

แหล่งกำเนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยในอาคารสำนักงาน
ในกรุงเทพมหานคร



นายรัฐเขต มุลรินตะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SOURCES AND CONCENTRATIONS OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOCs)
IN BANGKOK'S OFFICE BUILDINGS



Mr.Rathakheth Moonrinta

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แหล่งกำเนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์
ระเหยในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร

โดย

นาย รัฐเขต มูลรินดีะ

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

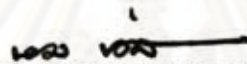
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณีรัตน์ องค์กรรนต์

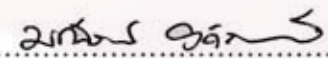
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

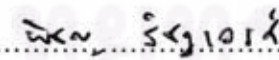

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงค์)

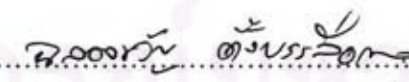
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสินีย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณีรัตน์ องค์กรรนต์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลองชวิญ ตั้งบรรลือกาล)

รัฐเขต มูลรัตนดิษฐ์ : แหล่งกำเนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร. (SOURCES AND CONCENTRATIONS OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOCs) IN BANGKOK'S OFFICE BUILDINGS อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล,อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.มณีนรัตน์ องค์กรวรรณี, 145 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาแหล่งกำเนิดและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหย (สารวีไอซี) และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานครจำนวน 17 ตึก ในช่วงเดือน กันยายน-ตุลาคม 2552 ทำการเก็บตัวอย่างสารวีไอซีด้วยหลอดเก็บตัวอย่างชนิดเรซินเทเน็กซ์ (Tenax-TA™ sorbent tube) ต่อกับบีมเก็บตัวอย่างชนิดพกพาดด้วยอัตราการดูดอากาศ 0.04 ลิตร/นาที ในช่วงเวลา 10:00 – 12:00 น. และ 13:00 – 15:00 น. เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่าง 3 จุด ได้แก่ ภายในอาคาร 2 จุด ภายนอกอาคาร 1 จุด ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง Thermal desorption / gas chromatography – mass spectrometer (TD/GC-MS) ทำการศึกษาสารวีไอซีจำนวน 13 ชนิด พบว่าสารโทลูอินมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดทั้งภายในและภายนอกอาคารเท่ากับ 110.19 และ 43.61 มค.ก./ลบ.ม. รองลงมาได้แก่ โลโมนีน เอ็ม/พี-ไซลีน เอทิลเบนซีน และ ไอ-ไซลีน มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายในอาคารเท่ากับ 73.53, 12.20, 12.09 และ 9.63 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ วัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของอาคาร (air exchange rate) ด้วยวิธี constant injection โดยใช้สารเฮกซะฟลูออโรเบนซีน (hexafluorobenzene) เป็นสารตามรอย (tracer gas) พบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.017-1.16 ชั่วโมง⁻¹ ทั้งนี้ร้อยละ 94 ของตึกตัวอย่างมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่ำกว่ามาตรฐาน 0.67 ชั่วโมง⁻¹ (พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ.2522) นอกจากนี้พบว่าสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสารวีไอซีภายในอาคารเปรียบเทียบกับภายนอกอาคาร (I/O ratio) มีค่าอยู่ในช่วง 1.68 – 12.29 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดสารวีไอซีภายในอาคารมีความสำคัญมากกว่าการแพร่ของสารวีไอซีจากภายนอกตัวอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2552

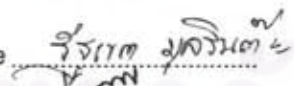
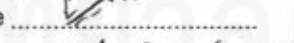
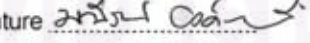
ลายมือชื่อ นิสิต..... รัชกฤต มณีรัตน์
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม..... อภิสิทธิ์ อิศกุล

4970531321: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : VOCs / INDOOR AIR / AIR EXCHANGE RATE/ OFFICE BUILDING

RATHAKHETH MOONRINTA : SOURCES AND CONCENTRATIONS OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOCs) IN BANGKOK'S OFFICE BUILDINGS. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. SIRIMA PANYAMETHEEKUL, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASST.PROF. MANEERAT ONGWANDEE, Ph.D., 145 pp.

This study was to investigate sources and concentrations of volatile organic compounds (VOCs) and air exchange rates (AER) in 17 office buildings in Bangkok, Thailand. Sampling was conducted during September – October 2009. Personal sampling pumps were used to draw air at a flow rate 0.04 l min⁻¹ through Tenax-TA™ sorbent tubes. The cartridges incorporated ozone scrubbers to prevent VOCs losses on the sorbent surface. Air sampling was taken during 10:00 – 12:00 am and 1:00 – 3:00 pm on a weekday. At each sampling site, three categories of samples were collected, i.e., two indoor samples and one outdoor sample. Samples were then analyzed using thermal desorption (TD) and a gas chromatography/mass spectrometer (GC/MS). Measurement of the office air exchange rates was performed by a constant injection technique using hexafluorobenzene as a tracer gas. Thirteen target VOCs were investigated including benzene, toluene, m/p-xylene, o-xylene, styrene, ethylbenzene, hexane, chloroform, 1,2-dichloroethane trichloroethylene, 1,2-dichloropropane, tetrachloro ethylene and limonene. Results showed that the levels of indoor and outdoor toluene were the highest value (110.19 and 43.61 µg./m.²), and followed by limonene, m/p-xylene, ethylbenzene, and o-xylene. The mean concentrations were 73.53, 12.20, 12.09 and 9.63 microgram/cubic meter, respectively. The air exchange rates ranged from 0.017 to 1.16 hr⁻¹. Ninety-four percent of the measured office had the air exchange rate below 0.67 hr⁻¹. (Building Control Act B.E.2522 (A.D.1979)). Furthermore, indoor /outdoor (I/O ratios) of the target compounds ranged from 1.68 to 12.29. This indicated that indoor sources are significant contributors to the level of indoor VOCs in comparison to the outdoor source.

Department : Environmental Engineering..	Student's Signature	
Field of Study : Environment Engineering..	Advisor's Signature	
Academic Year : 2009.....	Co-Advisor's Signature	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือและความร่วมมืออย่างดียิ่งจากหลายๆฝ่าย ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธิกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มณีรัตน์ องค์กรธรณี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉลองขวัญ ตั้งบรรลือกาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่างๆระหว่างการวิจัยด้วยดีตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และรองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ ที่กรุณาช่วยให้คำแนะนำในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ทรรศนีย์ พฤษชาติสิทธิ์อย่างสูง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในส่วนของการทำวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และทุน 90 ปีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอกราบพระคุณหน่วยงานดังกล่าวที่มีส่วนสำคัญยิ่งในการช่วยให้การทำวิจัยลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และพนักงานที่ประจำอาคารที่เก็บตัวอย่างทุกท่านที่อนุเคราะห์ให้ติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างบริเวณอาคารสำนักงานและอำนวยความสะดวกระหว่างเก็บตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการทางเคมีและขอขอบพระคุณ คุณสุธีระ บุญญาพิทักษ์ และคุณปริวิตร์ สุดประเสริฐ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ฯ ที่ให้ความช่วยเหลือในดูแลการใช้เครื่องมือตลอดการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณพจนีย์ หนักทอง ที่ช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณสมาชิกทุกคนในครอบครัว “มูลรินตะ” ที่เป็นกำลังใจให้เสมอมาทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 คุณภาพอากาศภายในอาคาร.....	6
2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษภายในอาคาร.....	6
2.2.1 แหล่งกำเนิดมลพิษจากภายนอกอาคาร.....	6
2.2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษจากภายในอาคาร.....	7
2.3 สารวีไอซีภายในอาคาร.....	7
2.3.1 ชนิดของสารวีไอซีที่พบในอาคาร.....	8
2.3.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์สารวีไอซี.....	17
2.3.3 ผลกระทบของสารวีไอซีต่อผู้อยู่อาศัย.....	25
2.3.4 การลดการปนเปื้อนของสารวีไอซีในอาคาร.....	28
2.3.5 แนวทางในการควบคุมค่าความเข้มข้นของสารวีไอซีในอาคาร.....	28
2.4 การระบายอากาศและการรั่วซึมของอากาศ.....	29
2.4.1 การระบายอากาศ.....	29
2.4.2 การรั่วซึมของอากาศ.....	30

บทที่	หน้า
2.5 อัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศ.....	31
2.5.1 การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศ.....	31
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	40
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	40
3.1.1 เกณฑ์การกำหนดพื้นที่ศึกษา.....	40
3.1.2 การพิจารณาสารไวรัสที่ทำการศึกษา.....	44
3.2 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างและเครื่องมือวิเคราะห์สารไวรัส.....	44
3.2.1 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างสารไวรัส.....	44
3.2.2 อุปกรณ์สำหรับวัดอัตราการไหลเวียนของอากาศ.....	46
3.2.3 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	46
3.3 วิธีการดำเนินการศึกษา.....	47
3.3.1 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารไวรัส.....	47
3.3.2 การเก็บตัวอย่าง.....	48
3.4 วิธีการทดลองเบื้องต้น.....	51
3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล.....	53
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	54
4.1 ผลการวิเคราะห์เบื้องต้น.....	54
4.1.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารไวรัสมาตรฐาน.....	54
4.1.2 การสร้าง Calibration curve.....	54
4.1.3 ค่า Limit of detection.....	60
4.2 ชนิดและปริมาณของสารไวรัสภายในอาคารและภายนอกอาคาร.....	60
4.2.1 ชนิดของสารไวรัสภายในสำนักงานและภายนอกอาคาร.....	60
4.2.2 ปริมาณของสารไวรัสภายในสำนักงานและภายนอกอาคาร.....	64
4.2.3 การเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารไวรัสแต่ละชนิดภายใน สำนักงานและภายนอกอาคารที่ทำการศึกษา.....	68
4.3 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคาร.....	87
4.3.1 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไวรัส.....	88

บทที่	หน้า
4.4 สัดส่วนเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายในและภายนอกอาคาร.....	91
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	94
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	94
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
รายการอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก.....	106
ภาคผนวก ข.....	115
ภาคผนวก ค.....	125
ภาคผนวก ง.....	140
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	145

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลำดับการวิเคราะห์สารวีไอซี.....	17
2.2 เครื่องตรวจสารวีไอซีชนิดแก๊สโครมาโตกราฟีแบบพกพาและวิธีการใช้.....	18
2.3 การรั่วซึมของอากาศผ่านทางประตูและรอยรั่วต่างๆ.....	30
2.4 สมดุลของอากาศภายในห้องที่ทำการทดลอง.....	32
3.1 (ก) แผนที่ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างอากาศภายในอาคารทั้ง 17 ตึก.....	41
3.1 (ข) ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณถนนพระราม 9 + รัชดาภิเษก.....	41
3.1 (ค) ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณถนนพระราม 1.....	42
3.1 (ง) ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณถนนพระราม 3.....	42
3.1 (จ) ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณถนนสีลม.....	42
3.1 (ฉ) ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณถนนพลับพลาไชย.....	43
3.1 (ช) ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณถนนพลับพลโยธิน.....	43
3.2 ลักษณะภายในและภายนอกของหลอดเก็บตัวอย่างชนิดเรซินเทเน็กซ์.....	45
3.3 เครื่องมือในการเก็บตัวอย่างอากาศ.....	45
3.4 Diffusion tube.....	46
3.5 Thermal Desorption และ Gas Chromatography/Mass Spectrometry.....	47
3.6 จุดเก็บตัวอย่างสารวีไอซีภายในสำนักงาน.....	50
3.7 จุดเก็บตัวอย่างสารวีไอซีภายนอกอาคาร.....	51
4.1 Chromatogram ของสารวีไอซีมาตรฐาน.....	57
4.2 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเฮกเซนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	69
4.3 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของคลอโรฟอร์มภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	71
4.4 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ 1,2 ไดคลอโรอีเทน ภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	72
4.5 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซินภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	73

ภาพที่	หน้า
4.6 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไตรคลอโรเอทิลีนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	75
4.7 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ 1,2 ไดคลอโรโพรเพนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึกในเขตกรุงเทพมหานคร.....	76
4.8 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอินภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	78
4.9 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเตตระคลอโรเอทิลีนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	79
4.10 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเอทิลเบนซีนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	81
4.11 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเอ็ม/พี – ไฮลีนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	82
4.12 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโอ-ไฮลีนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	84
4.13 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสไตรีนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	85
4.14 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไลโมนีนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	86
4.15 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในตึกที่ศึกษาจำนวน 17 ตึก ในเขต กรุงเทพมหานคร.....	87
4.16 ความเข้มข้นของสารวีไอซีต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ.....	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของสารมลพิษภายในอาคาร แบ่งตามแหล่งกำเนิด.....	8
2.2 สาเหตุที่มาของสารมลพิษภายในอาคาร.....	9
2.3 ประเภทและความเข้มข้นของสารวีไอซีภายในที่พักอาศัย.....	10
2.4 อัตราการปล่อยสารวีไอซีจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ภายในอาคาร	11
2.5 โครงสร้างทางเคมีและการใช้ประโยชน์ของสารวีไอซีบางชนิดที่ตรวจพบในอาคารทั่วไป.....	13
2.6 ชนิดของสารวีไอซีที่ปล่อยออกมาจากวัสดุภายในอาคาร.....	15
2.7 ชนิดของสารวีไอซีที่ส่งผลทำให้เกิดมะเร็งในร่างกาย.....	27
2.8 ผลกระทบของสารวีไอซีบางชนิดที่ทำลายเนื้อเยื่อในร่างกายและผลกระทบต่อร่างกาย.....	27
3.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคารที่ทำการเก็บตัวอย่าง.....	43
3.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์สารวีไอซีที่ทำการศึกษา.....	48
4.1 Retention time และ m/z ของสารวีไอซีมาตรฐาน.....	55
4.2 (ก) ค่า R ² ของสารวีไอซีมาตรฐานที่พบจำนวน 55 ชนิด จากการสร้าง Calibration curve (เรียงตามเวลาของการระเหย).....	58
4.2 (ข) ค่า R ² ของสารวีไอซีมาตรฐานที่พบจำนวน 55 ชนิด จากการสร้าง Calibration curve (เรียงลำดับตามตัวอักษรชื่อสารวีไอซี).....	59
4.3 ค่า Limit of detection (LOD)	61
4.4 ชนิดของสารวีไอซีที่พบภายในสำนักงานและภายนอกอาคารในกรุงเทพมหานคร.....	62
4.5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารวีไอซีภายในสำนักงานและภายนอกอาคาร.....	65
4.6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารวีไอซีที่พบปริมาณสูงสุดใน 17 ตึก ทั้งภายในสำนักงานและภายนอกอาคาร.....	67
4.7 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ยของอาคารที่ศึกษาในกรุงเทพมหานคร เปรียบเทียบกับงานวิจัยของต่างประเทศ.....	88

ตารางที่	หน้า
4.8 สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยภายในสำนักงานต่อภายนอกสำนักงานที่มีค่าสูงสุด	92
4.9 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารวีไอซีภายในและภายนอกอาคาร และสัดส่วนปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารวีไอซีภายในอาคารเปรียบเทียบกับภายนอกอาคาร (มค.ก./ลบ.ม.).....	93



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในแต่ละวันคนเราได้รับสารประเภทต่างๆ ในรูปของของไหล (fluids) เข้าสู่ร่างกายโดยการบริโภคและการหายใจประมาณร้อยละ 13 และ 87 ตามลำดับ โดยประมาณร้อยละ 88 ของมวลของไหลที่เข้าสู่ร่างกายทางการหายใจนั้น จะเกิดขึ้นในขณะที่คนเราอาศัยอยู่ภายในอาคาร (Layton, 1993) ข้อมูลดังกล่าวได้รับการสนับสนุนจากผลการศึกษารูปแบบการดำเนินชีวิตของประชากรในเขตเมืองในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า คนเมืองใช้เวลาโดยเฉลี่ยในแต่ละวันอยู่นอกอาคารหรือในพื้นที่โล่งแจ้งเพียงร้อยละ 6 ในขณะที่ใช้เวลาถึงร้อยละ 87 และ 7 ของแต่ละวันภายในอาคารและการโดยสารยานพาหนะ ตามลำดับ (Jenkins และคณะ, 1992) จึงอาจกล่าวได้ว่า การรับสารมลพิษในอากาศของประชากรในเขตเมืองเกิดขึ้นภายในอาคารมากกว่าจะเกิดขึ้นขณะดำเนินกิจกรรมภายนอกอาคาร จากข้อเท็จจริงดังกล่าวทำให้องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA) กำหนดให้ความเสี่ยงทางสุขภาพของมนุษย์อันเนื่องจากคุณภาพอากาศในอาคารอยู่ใน 5 อันดับแรกของความเสี่ยงทางสุขภาพเนื่องจากสภาวะแวดล้อมด้านต่างๆ (U.S. EPA, 1997A)

สารมลพิษที่ตรวจพบทั่วไปภายในอาคารหรือสิ่งแวดล้อมแบบปิดขนาดเล็ก (microenvironments) แบ่งได้ดังนี้ 1) สารปนเปื้อนอนินทรีย์ (inorganic contaminants) เช่น ใยหิน (asbestos) อนุภาคขนาดเล็ก (respirable particles) และควันบุหรี่ (environmental tobacco smoke, ETS) 2) สารปนเปื้อนอินทรีย์ (organic contaminants) เช่น กลุ่มของสารไวโอสซี (volatile organic compounds, VOCs) และยาฆ่าแมลง (pesticides) และ 3) อนุภาคทางชีวภาพ (biogenic particles) เช่น ไรฝุ่น รา เกสรดอกไม้ เป็นต้น (Godish, 1989) ซึ่งการได้รับสารมลพิษเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความเป็นอยู่ของผู้อาศัยภายในอาคาร (Andersson และ คณะ, 1996 ; Evans และ Jacobs, 1981; Hedge, 1989) ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีการประเมินว่า การปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารช่วยประหยัดเงินค่ารักษาพยาบาลที่เกี่ยวข้องกับโรคระบบทางเดินหายใจ อันเนื่องจากมลพิษอากาศภายในอาคารถึง 20 ล้านเหรียญสหรัฐ (Fisk และ Rosenfeld, 1997)

แม้ว่างานวิจัยด้านคุณภาพอากาศภายในอาคารในประเทศไทยจะได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมาก็ตาม แต่การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสารมลพิษในอากาศ

ภายในอาคารยังมีอยู่ค่อนข้างน้อยและจำกัดอยู่เพียงสารมลพิษไม่กี่ประเภท โดยส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับฝุ่นขนาดเล็กและผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อผู้ได้รับฝุ่นจากการประกอบอาชีพ หรืออาศัยในบริเวณที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดฝุ่น ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารวีไอซีในอากาศภายในอาคารสำนักงานในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษา มีเพียงการศึกษาการรับสัมผัสสารวีไอซีจากสิ่งแวดล้อมของผู้พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร (สาวิตรี พูลมา, 2548) การศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารวีไอซีบริเวณแทนพิมพ์ขนาดใหญ่ในโรงพิมพ์ (ธัญญา ล้อมลิ้ม, 2548 ; จันทร์เพ็ญ ฤกษ์ชนะ, 2546) ปริมาณของสารวีไอซีในอาคารสาธารณะและการรับสัมผัสในประเทศไทย (Klinmalee และ คณะ, 2009) นอกนั้นเป็นการตรวจวัดสารวีไอซีในบรรยากาศภายนอกอาคาร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547 ; Suwattiga, 2004) ทั้งที่สารวีไอซีในอากาศหลายชนิดที่ตรวจพบภายในอาคาร บ้านเรือน ที่ทำงาน เช่น เบนซิน (benzene) ไตรคลอโรเอทิลีน (trichloroethylene) โทลูอิน (toluene) สไตรีน (styrene) จัดอยู่ในกลุ่มสารมลพิษอันตราย (hazardous air pollutants, HAPs) ตามกฎหมาย “Clean Air Act” ประเทศสหรัฐอเมริกา (Heinsohn และ Cimbala, 2003) แต่กลับไม่มีการศึกษาหรือตรวจวัดสารวีไอซีเหล่านี้ภายในอาคารสำนักงานในประเทศไทยแต่อย่างใด

สารวีไอซีในอากาศที่พบภายในอาคารมีมากกว่า 300 ชนิด (Berglund และคณะ, 1986) และส่วนใหญ่มีระดับความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นที่พบในบรรยากาศภายนอกอาคาร 2-5 เท่า (Wallace และคณะ, 1987) บางแห่งมีค่าสูงถึง 400 เท่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของอาคาร เช่นการระบายอากาศ (ventilation) อัตราการหมุนเวียนอากาศ วัสดุตกแต่งหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในอาคาร กิจกรรมของผู้อยู่อาศัย เช่น การใช้สารเคมีทำความสะอาด การทำครัว การสูบบุหรี่ หรือแม้แต่การใช้ผลิตภัณฑ์ส่วนตัว เช่น น้ำหอม สเปรย์ รวมไปถึงแหล่งกำเนิดมลพิษจากภายนอกอาคาร เช่น การจราจร เป็นต้น ผลกระทบที่ผู้อาศัยได้รับจากการสัมผัสหรือหายใจเอาสารวีไอซีสามารถแบ่งได้คือ ผลกระทบต่อสภาวะสบาย (comfort problems) ซึ่งรวมถึงเรื่องของกลิ่น ความน่ารำคาญที่เกิดขึ้นและผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย งานวิจัยหลายบทความระบุตรงกันว่า กลุ่มอาการป่วยโดยมีสาเหตุจากสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (Sick Building Syndrome, SBS) เช่น ปวดศีรษะ วิงเวียน คัดจมูก คอแห้ง ระบายเคือง รู้สึกหายใจไม่ออก เป็นต้น มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับสารวีไอซีที่ตรวจพบในอากาศภายในอาคารอย่างชัดเจน แม้ว่าความเข้มข้นของสารวีไอซีจะอยู่ในระดับต่ำก็ตาม (Evans และ Jacobs, 1981; Hedge, 1989; Ten Brinke และคณะ, 1998) นอกจากนี้สารวีไอซีบางชนิดยังจัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งตามบัญชีรายชื่อสารเคมีที่มีแนวโน้มก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์โดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA, 2006) และองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการวิจัยมะเร็ง (International

Agency for Research Cancer (IARC), 2006) ตัวอย่างเช่น เบนซิน จัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งประเภท A (known human carcinogen)

ปัจจุบันการใช้ชีวิตของคนกรุงเทพฯ มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับชาวตะวันตกมากขึ้น โดยเฉพาะชนชั้นกลาง (middle class) ที่ใช้เวลาส่วนใหญ่แต่ละวันในที่ทำงานภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคาร ดังนั้นการได้รับสัมผัสมลพิษจึงเกิดขึ้นระหว่างอยู่ภายในอาคารมากกว่าหลายเท่าตัว นอกจากนี้อาคารสำนักงานในปัจจุบันถูกออกแบบในลักษณะที่ปิดมิดชิด เพื่อลดการรั่วไหลของอากาศร้อนและความชื้นเข้าสู่ตัวอาคาร (tight building) ตาม พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปี พ.ศ.2535 มาตรา 17 ที่ต้องการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในส่วนระบบปรับอากาศ ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าสูงสุดร้อยละ 50-60 (พินิจ ศิริพฤกษ์พงษ์, 2536) รวมถึงการรณรงค์ให้มีการปิดประตูหน้าต่างให้สนิทเมื่อมีการใช้เครื่องปรับอากาศ (จรรยา มูลเงิน, 2546) จึงส่งผลให้อัตราการระบายอากาศของห้องหรืออาคารต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม (อัตราการระบายอากาศสำหรับอาคารสำนักงานบริเวณพื้นที่ทำงานกำหนดไว้มากกว่า 8.5 ลิตร/วินาที/คน) ในแง่ของคุณภาพอากาศ (ASHRAE, 1999) โดยเฉพาะระบบปรับอากาศที่ไม่มีการนำอากาศจากภายนอกมาหมุนเวียน ประกอบกับภายในอาคารสำนักงานมีการใช้เครื่องอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร เฟอร์นิเจอร์ วัสดุตกแต่งในอาคาร พรมปูพื้น น้ำยาทำความสะอาด ผ้าปูโต๊ะ สารสร้างกลิ่นให้กับบรรยากาศ เป็นต้น ซึ่งจัดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษภายในอาคารที่สำคัญเช่นเดียวกัน (Godish, 1989) ด้วยปัจจัยดังกล่าวข้างต้น จึงเร่งให้ปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารสำนักงานปรากฏเร็วขึ้นและรุนแรงขึ้น จากการศึกษาของศศิธร ณรงค์ศักดิ์ (2536) และ กุลภรณ์ นกจันทร์ (2543) พบว่า กลุ่มอาการปวดศีรษะ คัดจมูก ไข้หวัด และระคายเคืองตา คอ ผิวหนัง มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับมลพิษที่ตรวจพบภายในอาคาร และบุคลากรที่ทำงานในอาคารที่มีการอนุรักษ์พลังงานในประเทศไทยมีแนวโน้มการเกิดกลุ่มอาการดังกล่าวมากกว่าร้อยละ 20 ผลดังกล่าววนนอกจากก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพแล้ว ยังลดประสิทธิภาพการทำงานของบุคลากรด้วยเช่นกัน

ดังนั้นจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ จึงเป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ด้านคุณภาพอากาศภายในอาคารสำนักงานที่เกี่ยวข้องกับมลพิษประเภทสารวีไอซี โดยแจกแจงถึงประเภทและระดับความเข้มข้น รวมทั้งระบุถึงแหล่งกำเนิดของสารวีไอซีที่ตรวจพบภายในอาคาร ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้จะช่วยผลักดันให้ประชาชนและภาครัฐได้ตระหนักถึงความสำคัญของคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงานที่มีการปรับอากาศและนำไปสู่การควบคุม ป้องกันและบริหารจัดการอาคารให้เหมาะสมกับสุขภาพอนามัยของผู้ที่ต้องทำงานในอาคารเหล่านั้น เช่น มีการควบคุมแหล่งกำเนิดสารมลพิษ หรือปรับอัตราการระบายอากาศให้เหมาะสม เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อตรวจสอบสารวีไอซีของอากาศในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ
- 2) เพื่อระบุแหล่งกำเนิดของสารวีไอซีที่ตรวจสอบภายในอาคารว่าเกิดจากแหล่งกำเนิดภายในหรือจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร
- 3) เพื่อตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของอาคารและอิทธิพลต่อสารวีไอซี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) กลุ่มตัวอย่างและสถานที่

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอาคารสำนักงานทั้งของภาคเอกชนและราชการภายในกรุงเทพมหานคร รวมทั้งสิ้น 17 อาคาร ซึ่งเป็นอาคารที่มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ อย่างไรก็ตามการเลือกตัวอย่างอาคารไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศและฤดูกาล นอกจากนี้งานวิจัยนี้ไม่มุ่งเน้นศึกษาผลกระทบจากควันบุหรี่ เนื่องจากสถานที่สาธารณะต่างๆ ในประเทศไทยได้ถูกจัดให้เป็นเขตปลอดบุหรี่ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ.2548 (กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, 2549)

สำหรับการระบุแหล่งที่มาของสารวีไอซีที่ตรวจพบภายในอาคารแต่ละชนิดทำการเก็บตัวอย่างอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคารในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี Wilcoxon rank sum test significance ในโปรแกรม SPSS

2) การพิจารณาความเข้มข้นสารวีไอซี

เนื่องจากสารวีไอซีที่ตรวจพบภายในอาคารมีมากกว่า 300 ชนิด (Burglund และคณะ, 1986) ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการระบุความเข้มข้นของสารวีไอซีบางชนิดที่คาดว่าจะพบในระดับสูง จำนวน 13 ชนิดได้แก่ เฮกเซน (hexane) คลอโรฟอร์ม (chloroform) 1,2 ไดคลอโรอีเทน (1,2-dichloroethane) เบนซีน (benzene) ไตรคลอโรเอทิลีน (trichloroethylene) 1,2 ไดคลอโรโพรเพน (1,2-dichloropropane) เตตระคลอโรเอทิลีน (tetrachloroethylene) โทลูอิน (toluene) เอทิลเบนซีน (ethylbenzene) สไตรีน (styrene) เอ็ม/พี-ไซลีน (*m/p*-xylene) โอ-ไซลีน (*o*-xylene) และไลโมนีน (limonene) เป็นต้น ซึ่งเกือบทั้งหมดจัดเป็นสารมลพิษอันตรายตามกฎหมาย "Clean Air Act" ประเทศสหรัฐอเมริกา ยกเว้น เฮกเซน ส่วนการระบุชนิดสารวีไอซีทำการวิเคราะห์โดยเครื่อง Gas Chromatography/ Mass Spectrometry (GC/MS)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพและปริมาณของสารวีไอซีในอากาศภายในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร
- 2) ทำให้ทราบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารสำนักงานที่ทำการศึกษาในกรุงเทพมหานคร ว่าเหมาะสมหรือไม่ เมื่อพิจารณาในแง่คุณภาพอากาศ เพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงระบบระบายอากาศให้เหมาะสม
- 3) ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลที่สำคัญสำหรับการวิจัยเชิงลึกต่อไปในอนาคต เช่น การศึกษาขนาดวิทยาของกลุ่มอาคาร SBS อันเนื่องมาจากสารวีไอซีในอาคารของประเทศไทย หรือการศึกษาปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมหรือกลไกที่มีอิทธิพลต่อการกำเนิดสารวีไอซีภายในสิ่งแวดล้อมแบบปิดขนาดเล็ก (microenvironments)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพอากาศภายในอาคาร

จากการสำรวจในประเทศสหรัฐอเมริกา คนเมืองใช้เวลาโดยเฉลี่ยในแต่ละวันอยู่ภายนอกอาคารหรือในพื้นที่โล่งแจ้งเพียงร้อยละ 6 ในขณะที่ใช้เวลาถึงร้อยละ 87 และ 7 ของแต่ละวันภายในอาคารและการโดยสารยานพาหนะ ตามลำดับ (Jenkins และคณะ, 1992) แม้ว่าในประเทศไทยไม่มีการสำรวจรูปแบบการดำเนินชีวิตในลักษณะนี้มาก่อน แต่คนชั้นกลางในเขตเมืองมีแนวโน้มที่จะใช้เวลาในแต่ละวันภายในอาคารและ/หรือ สถานที่ปิดมากขึ้น โดยคนส่วนใหญ่เข้าใจว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารมีคุณภาพดีกว่าคุณภาพอากาศภายนอกอาคาร แต่ความเป็นจริงแล้วคุณภาพอากาศภายในอาคารอาจมีคุณภาพต่ำกว่าภายนอกอาคาร เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ที่ก่อให้เกิดภาวะมลพิษ เช่น ความชื้นและอุณหภูมิ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงาน สีทาผนังและวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในอาคาร น้ำยาทำความสะอาด เป็นต้น รวมถึงการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอต่อผู้ใช้อาคาร ทำให้ผู้ใช้อาคารรับมลพิษต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ เช่น ไอร์เรเยสสารเคมี ฝุ่นละออง และ เชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น เข้าสู่ร่างกายโดยไม่รู้ตัว

2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษภายในอาคาร

แหล่งกำเนิดของมลพิษภายในอาคารแบ่งได้ 2 แหล่ง คือ

2.2.1 แหล่งกำเนิดมลพิษจากภายนอกอาคาร (sources from outdoor air pollution)

มลพิษภายนอกอาคารหรือมลพิษในบรรยากาศในที่โล่งแจ้ง มีแหล่งกำเนิดที่สำคัญ 2 ประเภท คือ 1. แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ (natural sources) เช่น ไฟไหม้ป่า ภูเขาไฟระเบิด การเน่าเปื่อยของซากพืชซากสัตว์โดยแบคทีเรีย เป็นต้น 2. แหล่งกำเนิดที่เกิดจากมนุษย์ (anthropogenic sources) เช่น ยานพาหนะที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง การระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิง ขณะถ่ายเทน้ำมัน การกำจัดของเสีย เช่น ระบบกำจัดขยะ ระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยมลพิษสู่บรรยากาศ การก่อสร้าง เป็นต้น มลพิษภายนอกอาคารจะไหลผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร (natural infiltration) โดยการซึมผ่านรอยต่อต่างๆ ของผนัง หลังคา ประตูหน้าต่าง ผ่านเครื่องกรองอากาศในเครื่องปรับอากาศแล้วหมุนเวียนอยู่ภายในห้องที่มีทางเข้า-ออกของอากาศ

2.2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษจากภายในอาคาร (sources from indoor air pollution)

มลพิษภายในอาคารเกิดจาก วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง อุปกรณ์ตกแต่ง เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงาน กิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ฝุ่นละอองที่ติดมากับเสื้อผ้าของพนักงาน และของเสียที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญสารอาหารในตัวพนักงาน เช่น แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น (Hansen, 1991 ; อ้างถึงใน ศศิธร ณรงค์ศักดิ์, 2536: 10) ได้ทำการระบุแหล่งกำเนิดและชนิดของสารพิษภายนอกและภายในอาคาร ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

สาเหตุของการเกิดมลพิษภายในอาคารเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การที่มีแหล่งกำเนิดของสารมลพิษภายในอาคาร อัตราการระบายอากาศที่ไม่ดีพอ มลพิษที่ซึมเข้ามาจากภายนอกอาคาร เป็นต้น ซึ่งได้สอดคล้องกับที่ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health อ้างถึงใน วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์, 2540) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพอากาศในประเทศสหรัฐอเมริกาภายในอาคารช่วงปีพ.ศ.2513 จากการวิจัยของประชาชนด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร จำนวน 1100 เรื่อง พบว่า มลพิษภายในอาคารส่วนร้อยละ 50 มีสาเหตุมาจากการระบายอากาศภายในอาคารมีไม่เพียงพอ ร้อยละ 30 มีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนของสารภายในอาคาร ในขณะที่มลพิษจากภายนอกอาคารมีผลเพียงร้อยละ 10 เท่านั้น รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2.2

2.3 สารวีไอซีภายในอาคาร

สารประกอบอินทรีย์ระเหยหรือสารวีไอซี (Volatile Organic Compounds, VOCs) เป็นมลพิษที่อยู่ในรูปของแก๊สและไอระเหย (gases and volatile substances) เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์ปกติ โครงสร้างสารประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมและอะตอมของธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน เป็นต้น ยกเว้นคาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดคาร์บอนิก เมทาลิกคาร์ไบด์หรือคาร์บอนเนท และแอมโมเนียคาร์บอนเนท สารวีไอซีมีหลายกลุ่ม ได้แก่ อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbons) อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbons) ฮาโลจีเนเตดไฮโดรคาร์บอน (Halogenated hydrocarbons) และ ออกซิเจนเตดไฮโดรคาร์บอน (Oxygenated hydrocarbons) เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ชนิดของสารมลพิษภายในอาคาร แบ่งตามแหล่งกำเนิด

แหล่งกำเนิด	ชนิดของสารมลพิษ
ภายนอกอาคาร	
แหล่งกำเนิดคงที่	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไอโซน ฝุ่น คาร์บอนมอนอกไซด์
ยานพาหนะ	คาร์บอนมอนอกไซด์ ตะกั่ว ไนโตรเจนออกไซด์
ดิน	เรดอน จุลินทรีย์
ภายในอาคาร	
วัสดุก่อสร้าง	
คอนกรีต หิน	เรดอน
แผ่นไม้อัด	ฟอร์มัลดีไฮด์ ไฟเบอร์กลาส
สี	สารวีไอซี ตะกั่ว
อุปกรณ์เครื่องใช้	
เครื่องทำความร้อน เครื่องครัว	คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์
เตาเชื้อเพลิง	ฟอร์มัลดีไฮด์ ฝุ่น
เครื่องถ่ายเอกสาร	ไอโซน สารวีไอซี
กิจกรรมของมนุษย์	
ควันบุหรี่	คาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่น กลิ่นไม่พึงประสงค์
สเปรย์	ฟลูออโรคาร์บอน กลิ่น
ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด	สารวีไอซี กลิ่น

ที่มา: ศศิธร ณรงค์ศักดิ์, 2536: 10

2.3.1 ชนิดของสารวีไอซีที่พบภายในอาคาร

โดยทั่วไปสารวีไอซีที่ตรวจพบภายในอาคารมีมากกว่า 300 ชนิด มีแหล่งกำเนิดและลักษณะแตกต่างกันไป ตัวอย่างชนิดและความเข้มข้นของสารวีไอซีที่ตรวจพบภายในที่พักอาศัยแสดงในตารางที่ 2.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 สาเหตุที่มาของสารมลพิษภายในอาคาร

แหล่งกำเนิดของสารพิษภายในอาคาร	ร้อยละ
การระบายอากาศภายในอาคารไม่เพียงพอ เช่น <ul style="list-style-type: none"> - มีอากาศจากภายนอกเข้ามาภายในอาคารน้อยเกินไป - การกระจายตัวของอากาศภายในอาคารไม่ดี - อุณหภูมิไม่เหมาะสม - ความชื้นไม่เหมาะสม - มีแหล่งของสารปนเปื้อนอยู่ในระบบระบายอากาศ 	50
มีสารปนเปื้อนอยู่ภายในอาคาร เช่น <ul style="list-style-type: none"> - ฟอร์มัลดีไฮด์ - ไอร์ระเหยของสารทำละลาย - ฝุ่นจุลชีพ 	30
มลพิษจากภายนอกอาคาร เช่น <ul style="list-style-type: none"> - การจราจร - ควัน - ฝุ่นจากการก่อสร้าง 	10
ไม่สามารถจำแนกสาเหตุได้	10
รวม	100

ที่มา: วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์, 2540 : 58-59

ความเข้มข้นของสารวีไอซีภายในอาคารขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่

- 1) อัตราการหมุนเวียนของอากาศภายในอาคาร
- 2) ลักษณะของแหล่งกำเนิดสารวีไอซี
- 3) การระบายอากาศ
- 4) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
- 5) อายุและการตกแต่งครั้งล่าสุดของอาคาร
- 6) การออกแบบของอาคาร
- 7) กิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (เช่น การใช้เครื่องถ่ายเอกสาร การใช้น้ำยาทำความสะอาด เป็นต้น)

สะอาด เป็นต้น)

- 8) อัตราการดูดซับและการปลดปล่อย (desorption) ของวัสดุ
- 9) การผสมและการกระจายของมลสาร
- 10) อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารออกสู่ภายนอกอาคาร (removal rate)
(Wolkoff, 1995, Zuraimi และคณะ, 2003)

ตารางที่ 2.3 ประเภทและความเข้มข้นของสารไวโอดีภายในที่พักอาศัย

ประเภทของสารไวโอดี	ความเข้มข้น (มค.ก./ลบ.ม.)
<u>Chlorinated</u>	
carbon tetrachloride	0.075 - 14
chloroform	0.008 - 43.9
m,p-dichlorobenzene	1.7 - 102.6
p-dichlorobenzene	1 - 32.7
1,2-dichlorobenzene	0.025 - 12.3
tetrachloroethene	0.3 - 18.3
trichloroethene	0.075 - 11
1,1,1-trichloroethane	1 - 110
<u>Aromatics</u>	
benzene	2.1 - 30
ethylbenzene	2 - 13
Styrene	0.5 - 3.6
toluene	20 - 84
<u>Aromatics</u>	
m,p-xylene	6.4 - 55
o-xylene	1.8 - 16
<u>Aliphatics</u>	
decane	2.3 - 31
dodecane	0.9 - 6
undecane	1.8 - 10
nonane	1.5 - 12

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) ประเภทและความเข้มข้นของสารไวโอลีภายในที่พักอาศัย

ประเภทของสารไวโอลี	ความเข้มข้น (มค.ก./ลบ.ม.)
Terpenes	
α -pinene	3.8 – 23
limonene	8.8 - 43

ที่มา: Won, D., 1999: 10

Zuraimi และคณะ (2003) ทำการวิจัยเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดของสารไวโอลีภายในอาคารพบว่ากิจกรรมที่ผู้อาศัยทำภายในอาคารเป็นแหล่งกำเนิดสารไวโอลีมากที่สุดถึงร้อยละ 73 การไหลเวียนของอากาศส่งผลต่อความเข้มข้นของสารไวโอลีร้อยละ 20 และวัสดุตกแต่งภายในอาคารร้อยละ 7 Englund และ Harderup (1996) ศึกษาความเข้มข้นของสารไวโอลีและสารไวโอลีทั้งหมด (total volatile organic compounds, TVOCs) ภายในอาคารพบว่ามีการปลดปล่อยสารไวโอลีเป็นเวลาหลายเดือนหรือนานกว่านั้น โดยได้ทำการศึกษาอพาร์ทเมนต์ใหม่เป็นระยะเวลา 10 เดือนพบว่าในระยะเวลา 3 เดือนแรกสารไวโอลีทั้งหมดจะลดลงประมาณ 10 เท่า สารไวโอลีบางชนิดที่มีความเข้มข้นลดลงเพียงเล็กน้อยใน 3 เดือนแรก ได้แก่ แอลดีไฮด์และเทอร์พีน (ไม่สามารถระบุที่มาได้) จะเห็นได้ว่าการปลดปล่อยสารไวโอลีนั้นเป็นผลมาจากลักษณะของอาคารที่เพิ่งสร้างเสร็จหรือมีการตกแต่งใหม่มีความเข้มข้นของสารไวโอลีปริมาณสูงในช่วง 6 เดือนแรก บางครั้งก็อาจนานถึงปีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของสารไวโอลีและลักษณะทางกายภาพของวัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้างหรือตกแต่ง ตารางที่ 2.4 แสดงอัตราการปล่อยสารไวโอลีของวัสดุตกแต่ง/ก่อสร้าง และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร

ตารางที่ 2.4 อัตราการปล่อยสารไวโอลีจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ภายในอาคาร

แหล่งกำเนิด	อัตราการปล่อย (มค.ก./ตร.ม./ชม.)
<u>ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด (“เป็ยก”)</u>	
1) Solvent-based waxes/detergents	Up to 2.6×10^8
2) Waxes spread on surface	$1.0 \times 10^6 - 9.4 \times 10^7$
3) Toilet deodorizers	$1.3 \times 10^6 - 3.7 \times 10^6$

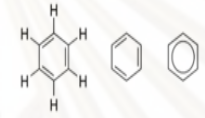
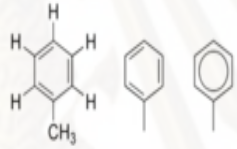
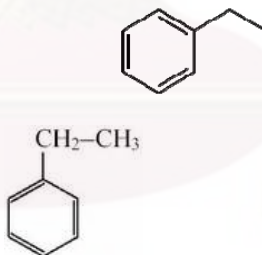
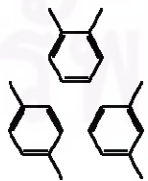
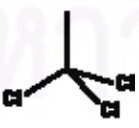
ตารางที่ 2.4 (ต่อ) อัตราการปล่อยสารวีไอซีจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ภายในอาคาร

แหล่งกำเนิด	อัตราการปล่อย (มค.ก./ตร.ม./ชม.)
4) Room deodorizers	$1.6 \times 10^5 - 2.0 \times 10^6$
5) Liquid cleaner/disinfectant	1.1×10^6
6) Carpet spray cleaner	1.1×10^6
7) Water-based waxes/detergents	$1.2 \times 10^5 - 1.2 \times 10^6$
8) Furniture spray polish	3.0×10^5
9) Floor cleaners	$< 10^4 - 1.5 \times 10^6$
10) Floor wax paste	6.0×10^4
11) Dry-cleaned clothing	2.7×10^4
12) Liquid floor detergent	1.7×10^4
<u>ผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง (“เปียก”)</u>	
1) Solvent-based adhesives	$5.1 \times 10^6 - 1.7 \times 10^7$
2) Water-based adhesives	$< 10^4 - 2.1 \times 10^6$
3) Wall/flooring glue (EVA)	2.7×10^5
4) Sealant (including silicones)	$300 - 7.2 \times 10^4$
5) Wood stain	1.7×10^4
6) Polyurethane lacquer	6×10^3
7) Floor vanishes (3 types)	$830 - 4.7 \times 10^3$
<u>ผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง (“แห้ง”)</u>	
1) New vinyl flooring	$1.9 \times 10^4 - 4.3 \times 10^4$
2) Rubber floor covering	1.4×10^3
3) Plywoods	$300 - 2.4 \times 10^3$
5) Textile floor covering	40
6) Plastic floor covering	$80 - 1.6 \times 10^3$
7) Rubber-backed nylon carpet	220 - 590
8) Felt-carpet	300

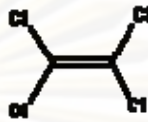
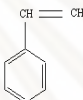
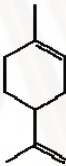

ที่มา : Brown และคณะ, 2002

โครงสร้างทางเคมีและการใช้ประโยชน์ของสารไวโอดีบางชนิดที่ตรวจพบได้ในอาคารทั่วไป ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีและการใช้ประโยชน์ของสารไวโอดีบางชนิดที่ตรวจพบในอาคารทั่วไป

ที่	ชื่อ	ชื่อพ้องอื่นๆ	สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง	การใช้ประโยชน์
1	benzene	benzol, 1,3,5-cyclohexatriene	C_6H_6		ใช้เป็นตัวทำละลาย ใช้ในกระบวนการดูดซับ และในน้ำมันปิโตรเลียมชนิด BTEX
2	toluene	methylbenzene, phenylmethane, toluol	C_7H_8		ใช้เป็นตัวทำละลาย ผสมในสีทาผนัง
3	ethylbenzene	ethylbenzol, EB, phenylthane	C_8H_{10}		ใช้เป็นตัวทำละลาย ใช้ในกระบวนการดูดซับ และในน้ำมันปิโตรเลียมชนิด BTEX
4	xylene	xylol, dimethylbenzene	$C_{10}H_{12}$		ใช้เป็นตัวทำละลาย
5	trichloroethane	chloroetene, methyltrichloromethane	$C_2H_3Cl_3$		ใช้ทำความสะอาดแผงวงจรไฟฟ้า ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับน้ำหมึก สี

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) โครงสร้างทางเคมีและการใช้ประโยชน์ของสารวีไอซีบางชนิดที่ตรวจพบในอาคารทั่วไป

ที่	ชื่อ	ชื่อพ้องอื่นๆ	สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง	การใช้ประโยชน์
6	tetrachloroethylene	Perchloroethylene (perc), PCE	$\text{Cl}_2\text{C}=\text{CCl}_2$		ใช้เป็นสารทำความสะอาด, สารกำจัดคราบไขมัน สำหรับโลหะและของแข็งอื่นๆ
7	styrene	styrol, cinnamene, ethenylbenzene	C_8H_8	 Styrene (C ₈ H ₈ vinylbenzene)	ใช้ในห้องปฏิบัติการ (laboratory reagent)
8	limonene	1-methyl-4-(1-methylethenyl)cyclohexene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$		ใช้เป็นสารอะโรมาติก น้ำยาสร้างกลิ่น
9	hexanal	hexanaldehyde, hexylaldehyde	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$		ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ สีทาผนัง

สารวีไอซีภายในอาคารสำนักงานเกิดจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ได้แก่ วัสดุที่ใช้ในการตกแต่ง เช่น พรม วอลเปเปอร์ ฝ้าเพดาน เป็นต้น เครื่องใช้สำนักงาน เช่น เครื่องพิมพ์เอกสาร เครื่องถ่ายเอกสาร คอมพิวเตอร์ เป็นต้น และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดในตารางที่ 2.6 แสดงชนิดของสารวีไอซีที่ปล่อยออกมาจากวัสดุภายในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 ชนิดของสารไวไอซีที่ปล่อยออกมาจากวัสดุภายในอาคาร

ชนิดของสารไวไอซี	แหล่งกำเนิด
Paradichlorobenzene	ลูกเหม็น สารให้ความหอมแก่อากาศ
Methylene chloride	ตัวทำละลาย ผลิตภัณฑ์ลอกสี
Formaldehyde	ผลิตภัณฑ์จากไม้อัด โฟม
Styrene	ฉนวน เครื่องพิมพ์เอกซเรย์ น้ำยาฆ่าเชื้อโรค พลาสติก สี
Acetaldehyde	กาว สารให้ความหอม เชื้อเพลิง น้ำยาฆ่าเชื้อ เครื่องหนัง
Acrolein	ผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไม้ น้ำมันก๊าด
Toluene diisocyanate	โพลียูรีเทนชนิดโฟม อนุภาคฝุ่น
Phthalic acid anhydride	} เรซินเคลือบพื้นผิว
Trimellitic acid	
Triethylene tetraamine	
Benzyl Chloride	แผ่นยางกระเบื้อง (ผสม butyl benzyl phthalate)
Ethylene oxide	น้ำยาฆ่าเชื้อ (โรงพยาบาล)
Amines (cyclohexylamine, Diethylaminoethanol, morpholine)	สารระเหยจากหม้อไอน้ำและส่วนประกอบของท่อไอน้ำ
Benzene	ควันจากบุหรี่
Tetrachloroethylene	การสวมใส่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำยาซักแห้ง
Chloroform	น้ำที่ประกอบด้วยคลอรีน (อาบน้ำ ล้างจาน ซักผ้า)
1,1,1-trichloroethane	สวมใส่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำยาซักแห้ง น้ำยาถอนขนผ้า
Carbon tetrachloride	อุตสาหกรรมทำความสะอาด
Aromatic hydrocarbons (toluene, ethylbenzene xylenes, trimethylbenzenes)	สี วัสดุประสาน แก๊สโซลีน แหล่งเผาไหม้เชื้อเพลิง

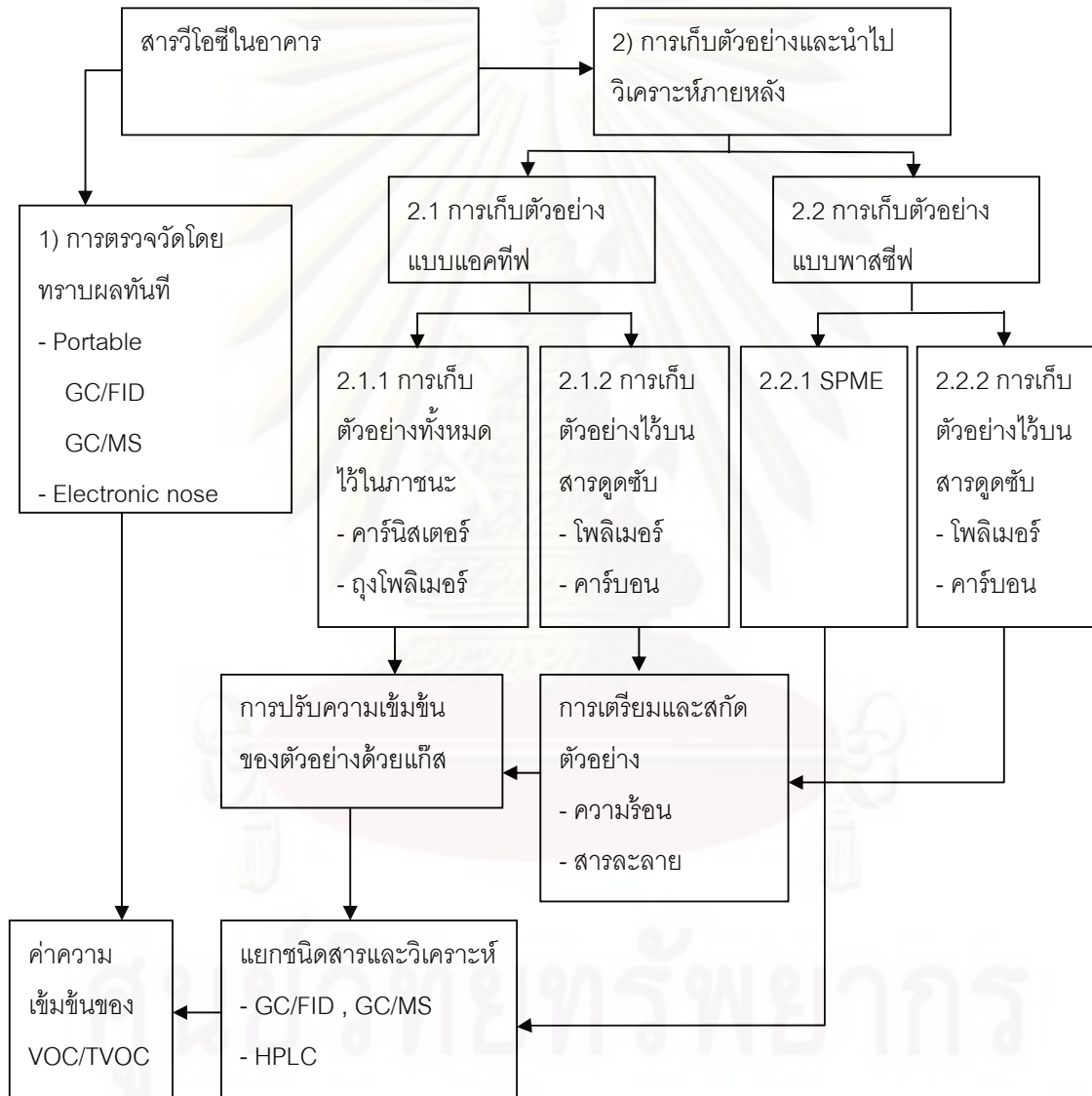
ตารางที่ 2.6 (ต่อ) ชนิดของสารไวโอซีที่ปล่อยออกมาจากวัสดุภายในอาคาร

ชนิดของสารไวโอซี	แหล่งกำเนิด
Aliphatic hydrocarbons (octane, decane, undecane)	สี วัสดุประสาน แก๊สโซลีน ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้
Terpenes (limonene, α -pinene)	สารให้ความหอม น้ำยาขัดเงา น้ำยาปรับผ้านุ่ม บุนหรี อาหารเครื่องดื่ม
Chloropyrifos (Dursban)	ผลิตภัณฑ์ฆ่าแมลงในบ้าน
Chlordane, heptachlor	ผลิตภัณฑ์กำจัดปลวกและแมลง
Diazinon	ผลิตภัณฑ์กำจัดปลวกและแมลง
PAHs	ผลผลิตจากการเผาไหม้ (การสูบบุหรี่ การเผาไม้)
Polychlorinated dibenzofurans (PCDs)	ควันจากเตาเผาขยะ
Acrylic acid esters, epichlorohydrin, vinyl chloride	โมเลกุลเดี่ยวที่หลุดมาจากโพลีเมอร์
Alcohols	อนุภาคฝุ่นละออง น้ำยาทำความสะอาดกระจก สี ทินเนอร์ เครื่องสำอางค์ และวัสดุประสาน แลกเกอร์ น้ำยาเคลือบเงา น้ำยาขัดเงา
Ketones	วัสดุประสาน
Ethers	เรซิน สี น้ำยาเคลือบเงา น้ำยาขัดเงา แลกเกอร์ สารย้อมสี สบู่ เครื่องสำอางค์
Esters	พลาสติก เรซิน พลาสติกไซเซออร์ แลกเกอร์
Pentachlorophenol	สารละลาย น้ำหอม
Lindane	น้ำยาเคลือบผิวไม้

ที่มา : Namiesnik และคณะ, 1992

2.3.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์สารวีไอซี

การวิเคราะห์สารวีไอซีแบ่งได้เป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ 1. การตรวจวัดแบบทราบผลทันที (real time measurement) 2. การเก็บอากาศไว้ในภาชนะปิดสนิทหรือสารดูดซับแล้วนำไปวิเคราะห์ในภายหลัง ขั้นตอนการวิเคราะห์สารวีไอซีอธิบายดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลำดับการวิเคราะห์สารวีไอซี

ที่มา : Godwin A. Ayoko, 2004

2.3.2.1 วิธีการเก็บตัวอย่างสารไวไอซี

1) เครื่องมือตรวจวัดชนิดพกพา (real time measurement) เป็นเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดสารไวไอซีในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของสารไวไอซี ณ เวลานั้นๆ ซึ่งสามารถทราบผลได้อย่างรวดเร็ว เครื่องมือตรวจวัดชนิดพกพา ได้แก่ เครื่องมือตรวจวัดสารไวไอซีชนิดแก๊สโครมาโตกราฟี/แมสสเปกโตรมิเตอร์แบบพกพา (field-portable gas chromatograph/ mass spectrometer (GC/MS)) (ภาพที่ 2.2) เครื่องมือตรวจวัดชนิดโฟโตอะคูสติค สเปกโตรสโคปี (photoacoustic spectroscopy, PAS) เครื่องมือตรวจวัดชนิดอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (IR spectroscopy) เครื่องมือเหล่านี้ได้ถูกเรียกว่า จมูกอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 2.2 เครื่องมือตรวจสารไวไอซีชนิดแก๊สโครมาโตกราฟีแบบพกพาและวิธีการใช้

ที่มา : <http://www.gasmonitors.co.kr/hapsitefield.htm>

ข้อดีคือ

- สามารถทราบค่าความเข้มข้นของสารไวไอซีในบริเวณที่ทำการตรวจวัดได้ทันที

ข้อเสียคือ

- ต้องทำการปรับเทียบเครื่องมือกับสารไวไอซีที่ต้องการจะวัดทุกครั้งที่จะทำการวิเคราะห์
- เครื่องมือมีราคาสูงมาก
- ในการตรวจวัดในที่ระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยต่างๆ จะไม่สามารถตรวจพบเมื่อเทียบกับใช้เครื่องมือวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) วิธีการเก็บอากาศไว้ในภาชนะปิดสนิทหรือสารดูดซับแล้วนำไปวิเคราะห์ในภายหลัง

การเก็บตัวอย่างสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคในการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ (active air sampling) หรือการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (passive air sampling) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1) การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ (Active Air Sampling)

การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ เป็นการเก็บกำหนดปริมาตรของอากาศที่ต้องการให้ไหลผ่านสารดูดซับที่บรรจุภายในหลอดเก็บตัวอย่างอากาศหรือภาชนะปิดสนิท โดยการปรับอัตราการไหลของอากาศจากปั๊มดูดอากาศ วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการเก็บตัวอย่างสารวีโอซีภายในอาคาร วิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟแบ่งได้ดังนี้

2.1.1) การเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด (Whole Air Sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างโดยการใช้อุปกรณ์ดูดอากาศในปริมาณที่ต้องการเข้าไปเก็บในภาชนะปิดสนิท ได้แก่ ถุงโพลีเอเธอร์ (Tedlar, Teflon or Mylar) หรือถังคานิสเตอร์ (เช่น SUMMA หรือ silocan canisters) การดูดอากาศเข้ามายังภาชนะบรรจุเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บตัวอย่างอากาศที่ไม่กำหนดช่วงเวลาในการเก็บ

ข้อดีคือ

- สามารถทำการวิเคราะห์สารซ้ำได้ด้วยตัวอย่างเดียว
- ไม่มีกรเกิดการรั่วไหลออกจากภาชนะที่เก็บตัวอย่าง (breakthrough)
- ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า เนื่องจากเป็นการดูดอากาศด้วยกระบวนการสุญญากาศ
- สามารถวิเคราะห์หาสารวีโอซีได้ในช่วงกว้าง

ข้อเสียคือ

- การเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารวีโอซีภายในถัง การดูดติดบนผิวของภาชนะ และการควบแน่นของน้ำในภาชนะที่เก็บตัวอย่าง ทำให้สารวีโอซีบางชนิดหายไป (Hsieh และ Tsai, 2003) ปัญหาเหล่านี้แก้ไขโดยถุงเก็บอากาศชนิดเทดลาร์ (Tedlar bag) จะต้องมีส่วนที่บีบคลุมทับไว้ ส่วนพื้นผิวด้านในของคาร์นิสเตอร์ควรเคลือบผิวด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโพลีเมอไรเซชัน (electroplated) หรือเคลือบด้วยซิลอกเซน (siloxane)
- มีราคาสูงและการเคลื่อนย้ายใช้พื้นที่มาก

แม้ว่าการเก็บตัวอย่างลักษณะนี้จะมีข้อเสียอยู่บ้าง แต่ก็ยังเป็นทางเลือกหนึ่งในการเก็บตัวอย่างและกักเก็บสารวีโอซีที่มีคาร์บอนสูง (สารประกอบที่มี C_2-C_4) และสารประกอบที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย เช่น เทอร์พีน (terpene) และแอลดีไฮด์ (aldehyde) (Betterman และคณะ,

1998) Hsieh และ Tsai (2003) ศึกษาการเก็บตัวอย่างสารวีไอซีจำนวน 56 ชนิด ประกอบด้วยสารกลุ่มแอลคีนที่มีความไวในการเกิดปฏิกิริยาดว้ยด้งคาร์นิสเตอร์ชนิด SUMMA และถุงเทดลาร์เป็นระยะเวลา 30 วัน โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารวีไอซีภายในด้ง

2.1.2) การเก็บตัวอย่างด้ว้ยหลอดเก็บตัวอย่างอากาศที่ภายในบรรจุสารดูดซับ (Sampling onto Sorbent Tube)

การเก็บตัวอย่างอากาศด้ว้ยหลอดเก็บตัวอย่างอากาศที่บรรจุด้ว้ยสารดูดซับ โดยการดูดอากาศผ่านสารดูดซับด้ว้ยปั้มดูดอากาศในอัตราคงที่ทำให้ทราบปริมาตรอากาศที่แน่นอน ขณะที่อากาศผ่านสารดูดซับ อากาศจะถูกดูดซับไว้บนสารดูดซับด้ว้ยแรงระหว่างโมเลกุล สารดูดซับที่นิยมใช้ในการเก็บสารวีไอซีภายในอาคารแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- 1) สารดูดซับชนิดโพลิเมอร์ที่มีรูพรุน (porous polymer-based sorbents) เป็นสารดูดซับที่เป็นประจุลบ ได้แก่ Tenax และ Chromosorb
- 2) สารดูดซับชนิดคาร์บอน (carbon-based sorbents) เป็นสารดูดซับที่ไม่มีขั้ว ได้แก่ activated charcoal, graphited carbon blacks, carbotraps, anasorb, carboxens และ carbosieve
- 3) สารดูดซับชนิดซิลิกาเจล (silica gels) เป็นสารดูดซับที่เป็นประจุบวก ได้แก่ activated silica gel

สารดูดซับชนิดโพลิเมอร์ที่มีรูพรุนและสารดูดซับชนิดคาร์บอนนิยมใช้ในการเก็บตัวอย่างสารวีไอซี การเลือกใช้สารดูดซับต้องดูประสิทธิภาพในการดูดซับและการขับหลุดออกจากผิว (desorption) สำหรับการดูดซับสารวีไอซีที่ต้องการทราบ อีกทั้งยังต้องดูความเสถียรของสารวีไอซีที่ดูดซับไว้บนสารดูดซับด้ว้ย ปริมาณสารวีไอซีที่ถูกดูดซับไว้บนสารดูดซับขึ้นอยู่กับปริมาณสารดูดซับที่บรรจุภายในหลอดเก็บตัวอย่าง ซึ่งหลอดเก็บตัวอย่างมาตรฐานจะมีความยาว 16 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 มม. และมีปริมาณสารดูดซับภายในหลอดหนัก 0.1 – 1 กรัม (Mattinen และคณะ, 1995) วัสดุที่ใช้ทำหลอดเก็บอาจเป็นสแตนเลสสตีลหรือแก้ว พารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาในการเลือกใช้สารดูดซับอีกก็คือ การไม่ดูดซับน้ำ (hydrophobicity) การทนความร้อน (thermostability) และความสามารถในการดูดซับ (loadability) ความชื้นส่งผลต่อการดูดซับเนื่องจากสารดูดซับจะดูดความชื้นไว้ที่ผิวทำให้ความเข้มข้นที่ได้ต่ำกว่าที่ควรเป็น อีกสิ่งหนึ่งที่ต้องตระหนักก็คือไม่ควรเกิด breakthrough หรือการอิ่มตัวของสารดูดซับภายในหลอดเก็บตัวอย่าง เนื่องจากจะทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้ การตรวจสอบการหลุดออกของสาร (breakthrough) ของหลอดเก็บตัวอย่างทำได้โดยการต่อหลอดเก็บตัวอย่าง 2 หลอดต่อกัน เมื่อ

นำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ได้ในหลอดที่ 2 (back up tube) ต้องไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของหลอดแรกจึงจะเป็นที่ยอมรับได้ (U.S. EPA, 1997)

สารดูดซับที่นิยมใช้ในการเก็บสารวีไอซีในอาคาร คือ เทเน็กซ์ (Tenax-TA poly (2,6-diphenyl-*p*-phenylene oxide)) ซึ่งมีคุณสมบัติในการทนความร้อนได้สูง ไม่ดูดซับน้ำ และมีประสิทธิภาพในการขับหลุดออกจากผิวที่ดีและดูดซับสารวีไอซีได้ในช่วงคาร์บอนกว้าง (C_5 - C_6 ถึง C_{18}) การใช้ Tenax-TA จะต้องระวังการทำปฏิกิริยากับโอโซนและ NO_x ซึ่งจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของสารดูดซับและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกับสารวีไอซีบนสารดูดซับทำให้ได้ผลผิดจากความจริง การแก้ไขสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องกำจัดโอโซน (ozone scrubber) ต่อก่อนเข้าหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ

ในบางครั้งสารดูดซับชนิดเดียวอาจไม่ครอบคลุมช่วงกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการทราบ ดังนั้นจึงมีการใช้สารดูดซับ 2 ชนิดร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารวีไอซีได้ในช่วงที่กว้างกว่าเดิม ตัวอย่างเช่น Anasorb GCB1, Carbotrap, Carbopack B, Carbopack C และ Carbosieve SIII เป็นต้น (Zuraimi และคณะ, 2003 และ Wu และคณะ, 2002)

2.2) การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive Air Sampling)

การเก็บตัวอย่างโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแก๊สจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ ณ สภาวะ steady state โดยอาศัยการดูดซึมทางเคมีหรือการดูดซับด้านภาพบนตัวกลาง (medium) (สาวิตรี พูลมา, 2548) ดังนั้นวิธีการเก็บอากาศแบบพาสซีฟนี้จึงไม่ต้องใช้ปั๊มในการดูดอากาศให้ผ่านตัวกลาง วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟแบ่งได้ดังนี้

2.2.1) Solid-Phase Microextraction (SPME)

การเก็บตัวอย่างโดยวิธี SPME เป็นการเก็บตัวอย่างสารวีไอซีที่อยู่ในรูปของแก๊สของแข็ง และของเหลว โดยอาศัยการแพร่ของแก๊สเข้ามายังผิวของโพลิเมอร์ที่เคลือบไว้บนเส้นใยซิลิกาไฟเบอร์ (silica fiber) ที่ทำหน้าที่ดูดสารวีไอซีไปเก็บไว้ในขวดเก็บตัวอย่าง ชนิดของโพลิเมอร์ที่เคลือบบนผิว เช่น polydimethylsiloxane (PDMS), PDMS/divinylbenzene และ corboxen/PDMS

2.2.2) การเก็บตัวอย่างด้วยหลอดเก็บตัวอย่างอากาศที่บรรจุสารดูดซับ (Passive Sampling onto Sorbent Tubes)

การเก็บตัวอย่างอากาศด้วยหลอดเก็บตัวอย่างอากาศที่ภายในบรรจุสารดูดซับนี้แตกต่างกับวิธีการเก็บแบบแอคทีฟคือ วิธีพาสซีฟนี้จะไม่ใช้ปั๊มในการดูดอากาศผ่านหลอดเก็บ

ตัวอย่างที่บรรจุสารดูดซับ แต่จะเป็นการปล่อยให้อากาศไหลผ่านสารดูดซับโดยกระบวนการแพร่ของโมเลกุลของแก๊สแทน ประเภทของสารดูดซับจะเหมือนกับสารดูดซับในการเก็บแบบแคดที่ฟ ทุกประการ อัตราการแพร่ของแก๊สเข้าสู่หลอดเก็บตัวอย่างที่เก็บภายในอาคารด้วยสารดูดซับต่างชนิดกันมีอัตราการแพร่ของแก๊สเข้าสู่หลอดเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.8 – 15 นน.ก. พีพีเอ็ม⁻¹ นาที⁻¹ การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้ค่อนข้างจะใช้เวลานานหลายชั่วโมงหรือหลายวัน แต่ก็ยังเป็นวิธีที่นิยมในการศึกษาการรับสัมผัสสารวิไอซีของผู้คน เนื่องจากสะดวกในการติดตั้งและสามารถเก็บตัวอย่างในการศึกษาได้มาก

ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือเราไม่สามารถทราบปริมาณของอากาศที่ผ่านเข้าหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ และยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการวิเคราะห์ได้แก่ ระยะเวลาในการเก็บ ความเร็วลม ณ เวลาเก็บ ความชื้น อุณหภูมิ เป็นต้น

2.3.2.2 การเตรียม/สกัดตัวอย่าง

กระบวนการสกัดและตัวอย่าง (Sample Desorption/ Preconcentration) เป็นกระบวนการที่ทำให้สารวิไอซีที่ถูกดูดซับไว้ในตัวกลางหรือภาชนะที่ใช้เก็บตัวอย่างมีสถานะที่เหมาะสมก่อนจะทำการวิเคราะห์ ซึ่งมีวิธีดังต่อไปนี้

1) ตัวอย่างอากาศทั้งหมด (whole air sample)

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่เก็บไว้ในถังคานิสเตอร์และถุงเก็บตัวอย่างอากาศทำโดยการดูดตัวอย่างอากาศเข้าสู่เครื่อง preconcentrator ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนด้วยกันคือ ขั้นตอนแรกแก๊สจะถูกดูดมาไว้ในท่อขนาดเล็กที่ภายในบรรจุด้วย glass bead จากนั้นจะทำการลดอุณหภูมิด้วยไฟฟ้าให้อยู่ที่ -150 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้น จากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 20 องศาเซลเซียส แก๊สจะไหลเข้าสู่ช่วงที่สองที่ภายในบรรจุด้วยเรซินเทเน็กซ์ เมื่อแก๊สเข้ามาอยู่ในช่วงนี้แล้วจะทำการลดอุณหภูมิด้วยไฟฟ้าอีกครั้งให้อยู่ที่ -190 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิไปที่ 180 องศาเซลเซียส แก๊สร้อนจะไหลเข้าไปอยู่ในท่อช่วงที่สาม จากนั้นทำการลดอุณหภูมิด้วยแก๊สไนโตรเจนเหลวที่ -160 องศาเซลเซียส แก๊สจะทำการเกาะที่ผิวของท่อแล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็นระดับ ก่อนที่จะส่งไปยังเครื่องวิเคราะห์ต่อไป

วิธีนี้สามารถทำการวิเคราะห์ซ้ำได้ (recovery) เนื่องจากยังมีตัวอย่างอากาศที่เหลือภายในภาชนะ แต่ความสามารถในการวิเคราะห์ซ้ำของคาร์นิสเตอร์จะดีกว่าถุงเก็บตัวอย่างอากาศ

2) SPME Samples

นำเส้นใยที่ดูดสารไวโอลีทำการสกัดด้วยความร้อนโดยนำไปฉีดที่ injector port ของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC) เพื่อให้สารไวโอลีที่เกาะบนเส้นใยไฟเบอร์หลุดเข้าสู่คอลัมน์ของเครื่อง GC

3) Sample Collected onto sorbents

ในการเตรียมตัวอย่างที่ถูกดูดซับไว้บนสารดูดซับขึ้นอยู่กับประเภทของสารดูดซับ วิธีการที่ใช้ในการขับหลุดออกจากผิว คือ การสกัดด้วยสารตัวทำละลาย (solvent desorption) การใช้คลื่นไมโครเวฟ (microwave desorption) และความร้อน (thermal desorption) เป็นต้น

ก) การใช้สารตัวทำละลาย (solvent desorption)

คาร์บอนไดซัลไฟด์ (carbon disulphide, CS₂) เป็นสารตัวทำละลายที่ใช้กับสารดูดซับชนิด charcoal, dichloromethane และ Anasorb เพื่อสกัดสารประกอบที่ไม่มีขั้วและมีความสามารถในการสกัดสารที่มีขั้วได้ในระดับต่ำ ดังนั้นจึงต้องเติมสาร polar cosolvent ได้แก่ dimethylformamide, dimethylsulfoxide และ ethanol ลงไปพร้อมกับคาร์บอนไดซัลไฟด์เพื่อสกัดสารประกอบที่มีขั้วออกมาจากสารดูดซับด้วย อะซิโตรไนไตรท์ (Acetonitrile) ถูกนำมาใช้เป็นสารตัวทำละลายที่นำมาสกัด 2,4 dinitrophenylhydrazones ของสารกลุ่มคาร์บอนิลที่ดูดซับบนสารดูดซับชนิดซิลิกาเจล (silica gel) ให้หลุดออกมาพร้อมที่จะทำการวิเคราะห์

ข.) การใช้ความร้อน (Thermal desorption)

การสกัดด้วยความร้อนเป็นวิธีที่นิยมกันมากในการสกัดสารไวโอลีและสารไวโอลีกึ่งระเหยง่าย (semi-volatile organic compound) ออกจากสารดูดซับโดยตรง ซึ่งอาศัยการนำพาของแก๊สร้อน (Carrier gas) (helium หรือ argon) ที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส ไหลในทิศทางทางด้านที่ดูดแก๊สตัวอย่างเข้าไป หลังจากนั้นสารไวโอลีจะหลุดออกมาพร้อมกับแก๊สร้อน ไหลเข้าสู่ท่อ (Trapping) ที่ภายในบรรจุสารดูดซับ (Tenax, Air Toxic, Carboxpack B) ที่ทำหน้าที่ดูดซับสารไวโอลีที่มากับแก๊สร้อนอีกครั้ง จากนั้นระบบจะทำการลดอุณหภูมิให้อยู่ที่ประมาณ -30 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งปล่อยไนโตรเจน (99.9999%) ไหลผ่านเพื่อไล่ความชื้นออกไป จากนั้นระบบจะค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิเพื่อขับสารไวโอลีเข้าสู่คอลัมน์ของเครื่อง GC เพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป วิธีนี้สามารถกับสารตัวอย่างที่มีช่วงการระเหยกว้าง และมีค่า Sensitivity อยู่ในช่วงความเข้มข้นต่ำในระดับ ppb เมื่อสารตัวอย่างน้อยกว่า 1 กรัม แต่ข้อด้อยของวิธีนี้คือตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วไม่สามารถวิเคราะห์ซ้ำได้ ดังนั้นในเก็บตัวอย่างจึงต้องทำการเก็บตัวอย่างครั้งละ 2 ตัวอย่าง

2.3.2.3 การจำแนกชนิดสารวิไอซี

เครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้สำหรับบ่งบอกชนิดของสารวิไอซีมีหลายประเภท ส่วนใหญ่จะใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatograph) คู่กับ เพรรมไอออนไนท์เซชันดีเทกเตอร์ (Flame-ionisation detectors, FID) อิเล็กตรอนแคปเจอร์ดีเทกเตอร์ (Electron Capture Detector, ECD) หรือแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Mass Spectrometer) GC/MS เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่นิยมใช้ในการสารวิไอซี เนื่องจากสามารถทราบข้อมูลทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพได้อย่างถูกต้องโดยอาศัยการเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะ (fingerprint) ของสารกับเลขมวลของสารตัวอย่างกับฐานข้อมูลที่มีอยู่แล้ว การทำงานของเครื่อง GC/MS คือ จะทำการแยกสารตัวอย่างเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ผ่านคอลลัมน์ (column) ที่อยู่ภายใน oven โดยจะทำการแยกสารให้ออกตามช่วงจุดเดือดของแต่ละชนิดเข้าสู่เครื่อง MS ซึ่งมีสถานะเป็นสุญญากาศแล้วเข้าสู่ ion source ซึ่งจะเกิดกระบวนการไอออนไนเซชัน (ionization) เปลี่ยนสารที่เข้ามาให้กลายเป็นประจุ จากนั้นประจุจะไหลผ่านเครื่องคัดเลือกและแยกขนาดของประจุ (mass analyzer) เพื่อดูว่าประจุเหล่านั้นประกอบด้วยมวลเท่าไร ก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องตรวจวัด (detector) เพื่อทำการตรวจหาปริมาณของประจุแล้วแปรผลออกมาเป็นปริมาณขององค์ประกอบแต่ละตัวที่ประกอบอยู่ในสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

2.3.2.4 การประกันคุณภาพ/ตรวจสอบคุณภาพการเก็บตัวอย่าง

ในการเก็บตัวอย่างอากาศ สิ่งที่ไม่ควรให้เกิดคือ ความผิดพลาดต่างๆ เช่น การปนเปื้อนของเครื่องมือเก็บตัวอย่าง การเก็บตัวอย่าง การเก็บรักษาตัวอย่าง และการวิเคราะห์ ดังนั้นทุกขั้นตอนต้องมีการตรวจสอบและประยุกต์ในการเก็บตัวอย่างให้มีคุณภาพมากที่สุด

1) การเก็บตัวอย่าง (Sampling)

เริ่มตั้งแต่การวางแผนในการเก็บตัวอย่าง จุดเก็บตัวอย่าง ระยะเวลาในการเก็บ สิ่งแวดล้อมบริเวณจุดเก็บ รวมไปถึงการวิเคราะห์ตัวแปรที่จะส่งผลต่อการเก็บ พร้อมหาวิธีการแก้ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นไว้ล่วงหน้า การเก็บตัวอย่างขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการทราบ การเก็บตัวอย่างในช่วงระยะเวลาสั้นเพื่อต้องการทราบปริมาณและชนิดของสารวิไอซีบริเวณนั้นอย่างคร่าวๆ และการเก็บตัวอย่างในระยะเวลาอันยาวนานหลายหรือหลายปี เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่บริเวณนั้นในระยะยาว หลอดเก็บตัวอย่างและคานิสเตอร์ต้องผ่านการทำความสะอาดและตรวจเช็คว่ามีปัญหาการปนเปื้อนก่อนที่จะนำไปเก็บตัวอย่าง บีมเก็บตัวอย่างต้องทำการปรับเทียบกับ rotameter ก่อนและหลังการเก็บ การใช้หลอดเก็บตัวอย่างต้องทำการทดสอบการหลุดออก

ของสาร (breakthrough) ก่อนที่จะทำการเก็บตัวอย่างจริง เพื่อหาปริมาณอากาศที่เหมาะสมสำหรับสารดูดซับแต่ละชนิด ในการเก็บตัวอย่างควรจะมีหลอดเปล่า (field blank tube) เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนขณะการขนย้ายอุปกรณ์ตรวจวัด

2) การเก็บรักษาตัวอย่าง (Sample Storage)

เมื่อทำเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว หลอดเก็บตัวอย่างจะต้องทำการปิดฝาหลอดเก็บตัวอย่างอากาศแล้วเก็บไว้ในภาชนะที่สะอาดที่บรรจุด้วยแก๊สไนโตรเจนหรือ activated charcoal เก็บไว้ในที่เย็น อุณหภูมิควรเก็บให้แห้ง ส่วนถังคาร์บอนิสเตอร์ปิดวาล์วให้แน่นไม่ให้อากาศไหลเข้าได้ ไม่ควรเก็บถังคาร์บอนิสเตอร์ไว้ใกล้แหล่งปนเปื้อน เช่น ท่อไอเสียรถยนต์ ควรเก็บไว้ในกล่องเพื่อลดการกระแทกซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกร้าวก่อนส่งเข้าห้องปฏิบัติการ

2.3.3 ผลกระทบของสารไวต่อผู้อยู่อาศัย

2.3.3.1 ผลกระทบต่อสภาวะสบาย (comfort problem)

ผลกระทบต่อสภาวะสบาย หมายถึง สภาวะที่ทำให้เกิดความไม่สบายต่อผู้อยู่อาศัย เช่น กลิ่นจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทำให้หายใจได้ไม่สะดวก การระคายเคืองต่อผิวหนัง ระคายเคืองต่อดวงตา อากาศร้อนหรือหนาวเกินไป ซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีอัตราการระบายอากาศไม่เหมาะสม การใช้ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยสารเคมี ส่งผลให้เกิดอาการหงุดหงิด ไม่มีสมาธิในการทำงาน ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานได้น้อยลง เป็นต้น

อาการป่วยโดยมีสาเหตุจากสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (Sick Building Syndrome, SBS) หมายถึง กลุ่มอาการเจ็บป่วยที่เกิดกับบุคลากรที่ทำงานในอาคารสำนักงานที่มีระบบปรับอากาศที่มีการระบายอากาศเข้าออกอย่างน้อยหรือน้อยกว่าร้อยละ 20 อาการเจ็บป่วยจะเกิดขึ้นระยะสั้นประมาณ 2-3 ชั่วโมง อาจทำให้เจ็บป่วยได้นานกว่า 2 สัปดาห์ และหายไปเมื่อเลิกทำงาน ตัวอย่างกลุ่มอาการ SBS ได้แก่

- กลุ่มอาการทางตา เช่น อาการระคายเคืองตา ตาแดง แสบตา ตาแห้ง น้ำตาไหล
- กลุ่มอาการทางจมูก เช่น อาการคัดจมูก ไอ จาม อาการมีลักษณะคล้ายภูมิแพ้
- กลุ่มอาการคล้ายหอบหืด หรือกลุ่มอาการระคายคอ และทางเดินหายใจส่วนล่าง เช่น อาการคอแห้ง ระคายคอ หายใจลำบาก หายใจเป็นช่วงๆ อึดอัด แน่นหน้าอก
- กลุ่มอาการปวดศีรษะ เช่น อาการปวดศีรษะ มึนงง เมื่อยล้า ครั่นเนื้อครั่นตัว
- กลุ่มอาการโรคผิวหนัง เช่น อาการผิวหนังแห้ง คันผิวหนัง ผิวหนังเป็นผื่น

(กุลภรณ์ นกจันทร์, 2543)

2.3.3.2 ผลกระทบต่อสุขภาพ

1) ผลกระทบแบบเฉียบพลัน (acute effect) เป็นอาการที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสารมลพิษที่มีความเข้มข้นที่สูงเข้าไปในปริมาณที่มากพอ ทำให้เกิดอาการในทันทีเมื่อได้รับสารมลพิษนั้นเข้าสู่ร่างกาย เช่น หน้ามืด อาเจียน หมดสติ เป็นต้น

2) ผลกระทบแบบเรื้อรัง (chronic effect) เป็นอาการที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะสมสารมลพิษที่มีความเข้มข้นต่ำเป็นระยะเวลานานพอที่จะส่งผลให้เห็นอาการที่เกิดขึ้น แต่การที่ได้รับสารมลพิษซึ่งสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ ก็ส่งผลให้เกิดอาการใกล้เคียงกับการได้รับสารมลพิษแบบเฉียบพลันได้เช่นกัน การได้รับสารมลพิษแบบเรื้อรังสามารถแบ่งอาการได้เป็น 2 ประเภท

ก) *Cancer effect* คือ การที่ได้รับสารมลพิษประเภทสารก่อมะเร็ง (carcinogens) เป็นระยะเวลานานๆ ซึ่งสารตัวนั้นจะสะสมในร่างกายส่งผลให้เกิดมะเร็ง ตัวอย่างสารไวโอลี่ที่ส่งผลทำให้เกิดมะเร็ง กล่าวไว้ดังตารางที่ 2.7

ข) *Noncancer effect* คือ การที่ได้รับสารมลพิษสะสมเป็นระยะเวลานานๆ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อภาวการณ์ทำงานของอวัยวะภายในร่างกาย เช่น ตับ ไต ระบบประสาท ระบบหายใจ สารมลพิษเช่น เมทิลแอลกอฮอล์ โทลูอิน และ ไซลีน เป็นต้น

ตารางที่ 2.7 ชนิดของสารไวโอลี่ที่ส่งผลทำให้เกิดมะเร็งในร่างกาย

สารไวโอลี่	ชนิดของมะเร็ง	สารไวโอลี่	ชนิดของมะเร็ง
เบนซิน	มะเร็งเม็ดเลือดขาว	ไวนิลคลอไรด์	มะเร็งปอด
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	มะเร็งปอด	เฮกซะคลอโรเบนซิน	มะเร็งปอด
ไดคลอโรโพเรน	มะเร็งปอด	ไดโบรมะคลอโรโพเรน	มะเร็งปอด
เอทิลเบนซิน	มะเร็งปอด	เอทิลีน ไดโบรมายด์	มะเร็งปอด
ไดคลอโรอีเทน	มะเร็งปอด	ไตรฮาโลมีเทน	มะเร็งปอด
โทลูอิน	มะเร็งปอด	ไตรคลอโรอะเซทีลีน	มะเร็งปอด
ไตรคลอโรเอทิลีน	มะเร็งปอด	ฮาโลอะซีติก แอซิด	มะเร็งปอด

ที่มา : สวัสดิ์ พูลมา, 2548 อ้างถึงใน ประสงค์ คุณานุกัณฑ์ชัยเดชและไมตรี สุทธิจิตต์, 2545

สารไวโอลี่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของคนเราขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสสารไวโอลี่ชนิดนั้น ทำให้ส่งผลกระทบต่อระบบต่างๆ ของร่างกาย ได้แก่ ระบบประสาท ระบบทางเดินหายใจ ระบบเลือด ระบบสืบพันธุ์ ระบบภูมิคุ้มกัน ผิวหนังและตา ตับ และไต เป็นต้น ในที่นี้จะยกตัวอย่างสารไวโอลี่บางชนิดที่ส่งผลกระทบต่อร่างกาย ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ผลกระทบของสารไวโอดีบางชนิดที่ทำลายเนื้อเยื่อในร่างกายและผลกระทบต่อร่างกาย

สารไวโอดี	เนื้อเยื่อที่ถูกทำลาย	ผลกระทบต่อสุขภาพ
เบนซิน	ระบบไขกระดูก เซลล์เม็ดเลือดแดง ระบบประสาท	ทำลายไขกระดูก เม็ดเลือดแดง โรคโลหิตจางและอาการหรือโรคทางประสาทส่วนกลาง
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCL ₄)	ตับ	ตับเสื่อม ตับแข็ง
คลอโรฟอร์ม (ไตรคลอโรฟอร์มมีเทน, CHC ₁₃)	ตับ ไต หัวใจ กล้ามเนื้อ ตา ผิวหนัง	ตับเสื่อม ตับแข็ง ไตเสื่อม หัวใจเต้นผิดปกติ การสลาย ระคายเคืองของตาและผิวหนัง
1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน	ตับ ไต ประสาท	อาการทางประสาทส่วนกลาง ชัก หมดสติและอาจตายได้
ไซลีน (ไดเมทิลเบนซิน)	ผิวหนัง ประสาท	ระคายเคือง โรคผิวหนังและ อาการเกิดจากการกดประสาท ส่วนกลาง
ไดคลอโรเบนซิน (เมธิลีน คลอไรด์, DCM)	ตับ ไต เลือด ผิวหนัง ตา	ฤทธิ์สลาย-ระคายเคือง ปวดปวม โรคตับ กดประสาทส่วนกลาง อาจหมดสติและตายได้
เอทิลเบนซิน (เอทิลเบนซอล) เอ็น-เฮกเซน	ตา ระบบประสาทส่วนกลาง จมูก	ทำให้ระคายเคือง แสบตา แสบจมูก กดประสาทส่วนกลาง ทำให้ปวดหัว สับสนงุนงง
โทลูอิน (เมทิลเบนซิน)	ระบบประสาทส่วนกลาง	อาการทางประสาทส่วนกลาง
ไตรคลอโรเบนซิน	ตับ ไต	ตับแข็ง ตับเสื่อม ไตเสื่อม

ที่มา : ประสงค์ คุณานูวัฒน์ชัยเดชและ ไมตรี สุทธิจิตต์, 2545

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.4 การลดการปนเปื้อนของสารวีไอซีในอาคาร

การควบคุมสารวีไอซีที่จะเกิดขึ้นภายในอาคารนั้นทำได้ยาก วิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ นำสิ่งที่เป็แหล่งกำเนิดสารวีไอซีออกไป หรือไม่ใช้วัสดุที่มีส่วนประกอบของสารวีไอซีภายในอาคารหรือเลือกใช้วัสดุที่ประกอบด้วยสารวีไอซีในระดับต่ำที่สุด ขั้นตอนการลดการรับสัมผัสสารวีไอซีในอาคารแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนด้วยกันคือ

1) ควบคุมแหล่งกำเนิดสารวีไอซี ได้แก่ การนำสารวีไอซีออกไปจากห้องหรือลดการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยสารวีไอซี เช่น การเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ตกแต่งหรือก่อสร้างที่มีส่วนผสมของสารวีไอซีในระดับต่ำ จัดทำห้องสำหรับถ่ายเอกสารไว้นัดละส่วนกับห้องที่นั้งทำงาน กำหนดช่วงเวลาในการใช้อุปกรณ์สำนักงานและการทำความสะอาดที่เป็นแหล่งกำเนิดให้จัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของสารวีไอซีไว้ในวัสดุที่มิดชิดไม่รั่วซึม ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไม่ให้สูงเกินไปเนื่องจากจะส่งผลให้สารวีไอซีได้เร็วขึ้น

2) การเจือจางและการนำพาสารวีไอซีออกจากอาคารโดย ระบบระบายอากาศ ได้แก่ การนำพาอากาศภายนอกอาคารเข้ามาเจือจางสารวีไอซี ภายในอาคารที่มีความเข้มข้นสูง ทั้งนี้อากาศที่นำเข้ามาจะต้องผ่านฟิลเตอร์สำหรับการกรองทำความสะอาด ก่อนจะนำมาจ่ายเข้าตัวอาคาร

3) ใช้ฟิลเตอร์กรองสารวีไอซีในระบบระบายอากาศ อากาศภายในอาคารที่ถูกดูดกลับหมุนเวียนเข้าสู่ห้องกรองอากาศจะต้องทำการบำบัดอากาศ โดยให้อากาศไหลผ่านฟิลเตอร์เพื่อดูดซับสารวีไอซีที่ปนเปื้อนมากับอากาศและผ่านระบบทำความสะอาด อากาศก่อนที่จะนำหมุนเวียนเข้าไปใช้ภายในอาคาร

2.3.5 แนวทางในการควบคุมค่าความเข้มข้นของสารวีไอซีในอาคาร

การกำหนดค่ามาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในต่างประเทศและประเทศไทยไม่ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของสารวีไอซีภายในอาคารสำนักงานแต่อย่างใด มีแต่การกำหนดค่าสัมผัสที่ยอมรับได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้คน

หน่วยงานที่ดูแลเรื่องความปลอดภัยสุขภาพจากการประกอบอาชีพ (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) ไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐานภายในอาคารแต่กำหนดไว้ว่า สารฟอร์มาลดีไฮด์และสารวีไอซีเป็นสารที่ทำให้ก่อมะเร็ง โดยกำหนดค่าความเข้มข้นที่สามารถรับสัมผัสได้ (Permissible Exposure Level, PEL) ไม่ควรเกิน 0.75 พีพีเอ็ม และที่ระดับขณะปฏิบัติงานไม่ควรเกิน 0.5 พีพีเอ็ม (U.S.EPA, 1997) แนวทางในการป้องกันทำโดยการกำหนดค่าความเข้มข้นของสารวีไอซีทั้งหมด (TVOC) ไม่ควรเกิน 300 มค.ก./ลบ.ม. และ

ค่าความเข้มข้นของสารวีไอซีไม่ควรเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของสารวีไอซีทั้งหมด ค่าความเข้มข้นของสารวีไอซีของแต่ละประเทศมีดังนี้ สหรัฐอเมริกาไม่ควรเกิน 200 มค.ก./ลบ.ม. เยอรมันไม่ควรเกิน 500 มค.ก./ลบ.ม. ออสเตรเลียไม่ควรเกิน 500 มค.ก./ลบ.ม. ฟินแลนด์อยู่ในช่วง 200 – 600 มค.ก./ลบ.ม. บางประเทศได้กำหนดค่าความเข้มข้นสำหรับสารวีไอซีจำแนกตามชนิดของสารไว้ เช่น ประเทศโปแลนด์ได้กำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารวีไอซีไว้ดังนี้ เบนซีน 10 มค.ก./ลบ.ม. โทลูอิน 200 มค.ก./ลบ.ม. บิวทิล อะซิเตต 100 มค.ก./ลบ.ม. เอทิลเบนซีน 100 มค.ก./ลบ.ม. เอ็ม-ไซลีน 100 มค.ก./ลบ.ม. สไตรีน 20 มค.ก./ลบ.ม. เป็นต้น

2.4 การระบายอากาศและการรั่วซึมของอากาศ (ventilation and infiltration)

อากาศที่ไหลเข้ามาแทนที่อากาศที่มีอยู่เดิมภายในอาคาร สามารถที่จำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การระบายอากาศและการรั่วซึมของอากาศ

2.4.1 การระบายอากาศ (ventilation)

การระบายอากาศเป็นกระบวนการที่อากาศภายนอกอาคารถูกจ่ายเข้าไปภายในอาคารเพื่อให้เกิดสภาวะสบายและยังเป็นการเคลื่อนย้ายมลพิษภายในอาคาร ซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยทางธรรมชาติหรือเครื่องมือทางกล การระบายอากาศทำให้เกิดการพัดพาความร้อนและความชื้นออกจากตัวอาคาร ซึ่งกระบวนการดังกล่าวส่งผลโดยตรงหรืออ้อมต่อการลด/เพิ่มความเข้มข้นของมลพิษภายในอาคารด้วย โดย American Society of Health Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) ได้กำหนดมาตรฐานอัตราการระบายอากาศสำหรับอาคารสำนักงานบริเวณพื้นที่ทำงานไว้มากกว่า 8.5 ลิตร/วินาที/คน (ASHRAE, 1999)

การระบายอากาศเกิดจากการที่อากาศจากภายนอกอาคารจะเข้าสู่ภายในตัวอาคารได้โดยไม่ได้ตั้งใจ หรือถูกออกแบบให้เกิดการไหลเวียนของอากาศเข้าสู่อาคารอย่างตั้งใจ และได้มีการออกแบบและคำนวณไว้ก่อนแล้ว ดังนั้นสามารถแบ่งการไหลเวียนของอากาศที่เข้าสู่อาคารได้ 2 ลักษณะดังนี้

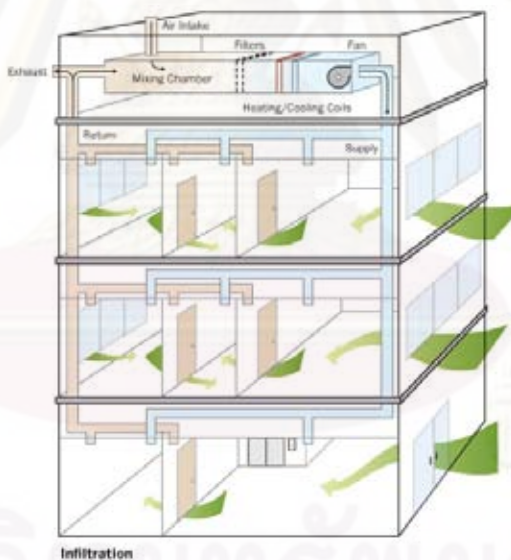
1) การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ (natural ventilation) คือ การไหลเวียนของอากาศเข้าอาคารที่เกิดโดยธรรมชาติ ผ่านช่องเปิดต่างๆ เข้าสู่ภายในอาคาร เช่น หน้าต่าง ประตู และกรอบของอาคารที่ได้ถูกออกแบบไว้แล้ว อาจเกิดจากธรรมชาติหรือเกิดจากการออกแบบเพื่อให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศโดยมนุษย์

2) การระบายอากาศแบบบังคับ (forced ventilation) คือ การไหลเวียนของอากาศเข้าสู่ตัวอาคารโดยการออกแบบบังคับจากเครื่องกล ได้แก่ การใช้พัดลมดูดอากาศนำ

อากาศเข้าและออกจากอาคารผ่านทางช่องรับลมเข้าและช่องระบายอากาศ (air intake and air exhaust) หรือสามารถที่จะเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า การระบายอากาศทางกล (Mechanical Ventilation) (ASHRAE, 1997 อ้างถึงใน ศศิน วิบูลย์บัณฑิตยกิจ, 2543:11)

2.4.2 การรั่วซึมของอากาศ (infiltration)

การรั่วซึมของอากาศ คือ การที่อากาศไหลเข้าสู่ตัวอาคารโดยที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยอากาศจะผ่านทางรอยแตกหรือช่องเปิดที่ไม่เป็นที่ต้องการให้อากาศไหลผ่านเข้ามา และการรั่วซึมของอากาศผ่านทางการใช้งานปกติของทางเข้า ประตู หน้าต่าง รอยรั่วตามหลังคา แสดงดังภาพที่ 2.3 เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการไหลของอากาศอีกประเภทคือ การรั่วซึมของอากาศออกนอกอาคารหรือ exfiltration ก็เกี่ยวพันกับการทดลองนี้ด้วย เช่นเดียวกับการระบายอากาศทางธรรมชาติ การรั่วซึมของอากาศก็เกิดจากสองลักษณะคือ เกิดตามธรรมชาติและเกิดจากการสร้างความแตกต่างของแรงดันอากาศ โดยมนุษย์เช่นกัน



ภาพที่ 2.3 การรั่วซึมของอากาศผ่านทางประตูและรอยรั่วต่างๆ

ที่มา : www.upmc-biosecurity.org/.../infiltration.html

การระบายอากาศตามธรรมชาติ และการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคารจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ 1. ความดันที่เปลี่ยนแปลงผ่านผนังด้านนอกของอาคารโดยลม 2. ความหนาแน่นของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร เช่น อากาศที่ลอยตัว (buoyancy) หรือ ผลกระทบที่เกิดจากการปล่อย

อากาศจากปล่อง (the stack effect) และ 3. การใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องควบคุม การเผาไหม้ ระบบการไหลเวียนอากาศโดยเครื่องกล เป็นต้น

อาคารปัจจุบันที่มีการปรับอากาศภายในอาคาร การรั่วซึมของอากาศจะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคาร ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการกำจัดความร้อน ความชื้น ความเข้มข้นของสารมลพิษ ที่เกิดจากการที่อากาศภายนอกอาคารหรือที่เกิดจากแหล่งกำเนิดภายในอาคารเอง ซึ่งลักษณะอาคารปัจจุบันได้ออกแบบให้มีความมิดชิดมากที่สุด เพื่อป้องกันการรั่วไหลของความร้อนหรือความเย็นไปกับอากาศที่ระบายออกนอกอาคาร และจำกัดอากาศจากภายนอกที่จะเข้ามายังตัวอาคารให้น้อยที่สุด ซึ่งก็ส่งผลให้เกิดการสะสมของสารมลพิษเพิ่มขึ้นภายในอาคาร ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่ทำงานในอาคาร

2.5 อัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศ (Air Exchange Rate, AER)

อัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศจะใช้ในการเปรียบเทียบการไหลของอากาศกับ ปริมาตร มีหน่วย 1/เวลา สามารถหาได้จาก

$$AER = \frac{Q}{V} \quad \dots(2.1)$$

โดยที่ AER คือ อัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศ, ชม.⁻¹

Q คือ ปริมาณของอากาศที่ไหลเข้า-ออกอาคาร, ลบ.ม./ชม.

V คือ ปริมาตรของห้อง, ลบ.ม.

อัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศจะใช้บอกถึงอากาศที่หมุนเวียนภายในห้องว่า ภายในหนึ่งชั่วโมงมีการหมุนเวียนอากาศกี่เท่าของปริมาตรห้อง โดยนิยมใช้หน่วยเป็น ชม.⁻¹

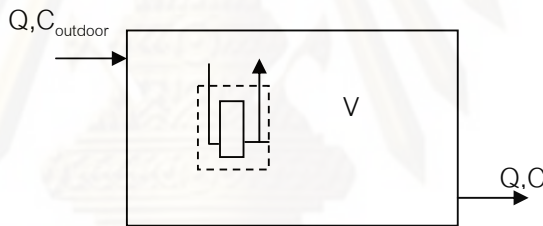
2.5.1 การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศ

การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศทำได้ 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ 1. การวัดโดยการใช้ tracer gas 2. การวัดโดยเครื่องมือทางกล

2.5.1.1 การวัดโดยการใส่ tracer gas

การหาอัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศด้วย tracer gas เป็นวิธีที่มีความถูกต้องมากกว่าการใช้เครื่องมือทางกล และทำได้ง่าย tracer gas ที่ใช้ควรมีลักษณะดังนี้คือ เป็นแก๊สที่คงตัว ไม่ทำปฏิกิริยากับผิววัตถุ มีความเข้มข้นในระดับต่ำ ไม่เป็นพิษ และมีราคาถูก tracer gas ที่นิยมใช้กันได้แก่ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (sulfur hexafluoride) ไนตรัสออกไซด์ (nitrous oxide) คาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide) และ เพอฟลูออโรคาร์บอน (perfluorocarbons) tracer gas ชนิดซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ และ เพอฟลูออโรคาร์บอน เป็นตัวที่ใช้กันมากเนื่องจากสามารถตรวจวัดได้ในช่วงหนึ่งวินาที (1 พีพีบี)

การใช้ tracer gas ขึ้นอยู่กับสมการสมดุลมวล ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลของ tracer gas ในห้องที่ทดสอบเท่ากับมวลของ tracer gas ที่ไหลเข้ามาในห้องลบด้วยมวลที่ถูกเคลื่อนย้ายออก โดยการระบายหรือรั่วซึมออกสู่ออกอาคาร และมวลที่สูญเสียภายในห้องต่อหนึ่งหน่วยเวลา แสดงให้เห็นดังสมการที่ 2.2



ภาพที่ 2.4 สมดุลของอากาศภายในห้องที่ทำการทดลอง

$$V \frac{dC}{dt} = QC_{outdoor} - QC - k_r CV \quad \dots(2.2)$$

โดยที่ V = ปริมาตรของห้องที่ใช้ทดสอบ, ลบ.ม.

t = เวลา, ชม.

Q = อัตราการไหลของอากาศเข้าออกห้อง, ลบ.ม./ชม.

$C_{outdoor}$ = ความเข้มข้นของ tracer gas ภายนอกห้อง, มค.ก./ลบ.ม.

C = ความเข้มข้นของ tracer gas ที่ระบายออกจากห้อง, มค.ก./ลบ.ม.

k_r = สัมประสิทธิ์ tracer gas ที่ลดลงโดยกระบวนการอื่นๆ เช่น การทำปฏิกิริยาที่ผิวของวัตถุ เป็นต้น

การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศด้วยการใช้ tracer gas สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

(1.) วิธีสลายตัว (decay method)

วิธีการสลายตัวเป็นวิธีการวัดที่ง่ายที่สุดของการวัดด้วย tracer gas ซึ่งตรงตามข้อกำหนดของ ASTM E741 ทดสอบโดยการพ่น tracer gas ปริมาณเล็กน้อยเข้าสู่พื้นที่ทดสอบ แล้วปล่อยให้ผสมกับอากาศภายในอย่างสมบูรณ์ อัตราการเคลื่อนย้ายมวลของ tracer gas ออกนอกห้อง สามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลมวลข้างต้น ตามปกติ tracer gas เช่น ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ และ เพอฟลูออโรคาร์บอน เป็นแก๊สที่ตรวจพบได้น้อยมากในบรรยากาศภายนอก จึงถือว่ามีความเข้มข้นเท่ากับศูนย์ ($C_{\text{Outdoor}} = 0$) ดังนั้นสมการที่ 2.2 นำมาจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$V \frac{dC_t}{dt} = -QC_t \quad \dots(2.3)$$

$$C_t = C_0 e^{-\left(\frac{Q}{V}\right)t} \quad \dots(2.4)$$

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = -\left(\frac{Q}{V}\right)t \quad \dots(2.5)$$

โดยที่ C_t = ความเข้มข้นของ tracer gas ณ t ใดๆ, มค.ก./ลบ.ม.

C_0 = ความเข้มข้นของ tracer gas ณ เวลาเริ่มต้น, มค.ก./ลบ.ม.

e = natural log base

t = เวลา, ชม.

อัตราส่วน Q/V จะพิจารณาในรูปของเวลาในหนึ่งชั่วโมง ในรูปของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อหนึ่งชั่วโมง (AER) โดยที่ $AER = Q/V$ จากสมการ 2.5 จะได้ว่า

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = -(AER)t \quad \dots(2.6)$$

$$-AER = \frac{\left(\ln \frac{C_0}{C_t}\right)}{t} \quad \dots(2.7)$$

ดังนั้นอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ สามารถหาได้จากความชัน (slope) ของกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln(C_t/C_0)$ และ เวลา

ข้อดีของวิธีนี้ คือ ใช้เวลาในการทดสอบสั้นประมาณ 1-3 ชม. และให้ความแม่นยำสูง ส่วนข้อด้อยก็คือ จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลตลอดเวลาในบริเวณที่ทดลอง พื้นที่ในอาคารที่วัดต้องอยู่ภายใต้ขอบเขตที่อุปกรณ์นั้นๆ สามารถวัดได้ นอกจากนี้ต้องให้ tracer gas ที่พ่นเข้าไปผสมกลมกลืนกับอากาศเป็นอย่างดี ซึ่งข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นก็คือ การที่ tracer gas ผสมกับอากาศได้ไม่ดีพอ ซึ่งจะทำให้ผลการวัดที่ได้ผิดพลาด นอกจากนี้กิจกรรมภายในอาคารที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบอาจส่งผลกระทบต่อค่าที่วัดได้เช่นกัน

(2.) วิธีอัตราคงที่ (constant Injection)

วิธีการวัดแบบการปล่อย tracer gas เข้าไปในพื้นที่ทดสอบด้วยอัตราการระเหยคงที่ตลอดเวลาที่ทดสอบ และต้องเป็นระยะเวลาานพอที่ความเข้มข้นของ tracer gas ในอากาศภายในห้องจะไม่มีเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) ซึ่งสามารถหาค่าความเข้มข้นของ tracer gas ในอากาศ ณ สภาวะคงที่ได้จากสมการ 2.8

$$C = \left(\frac{F}{Q} \right) \quad \dots(2.8)$$

โดยที่ F = อัตราการปลดปล่อย tracer gas สู่อากาศภายในห้อง, มค.ก./ชม.
 C = ความเข้มข้นของ tracer gas ในอากาศ ณ สภาวะคงที่, มค.ก./ลบ.ม.
 Q = อัตราการไหลของอากาศเข้า-ออกห้อง, ลบ.ม./ชม.

แทนค่า $AER = Q/V$ ในสมการที่ 2.8 จะได้

$$AER = \frac{F}{(C \times V)} \quad \dots(2.9)$$

ในปัจจุบันวิธีการปล่อย tracer gas สู่อากาศด้วยอัตราคงที่ นิยมใช้วิธีการควบคุมอัตราการระเหย tracer gas ในรูปของเหลว โดยใช้ diffusion tube ที่สามารถคำนวณ

อัตราการระเหยได้ค่อนข้างแม่นยำ ค่า F ในสมการที่ 2.9 สามารถหาได้โดยใช้น้ำหนักของเหลวของ tracer gas ก่อนทดสอบและหลังทดสอบในระยะเวลาที่กำหนด

ข้อดีของวิธีการวัดแบบนี้ คือ ใช้เวลาทดสอบนาน อย่างไรก็ตามค่า AER ที่ได้จะคำนึงถึงความผันผวนของการไหลของอากาศเข้าออกตลอดเวลานั้นเนื่องจาก กิจกรรมภายในอาคาร และปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทดสอบในบริเวณที่มีค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูงมาก

2.5.1.2. การวัดโดยเครื่องมือทางกล (mechanical ventilation)

การวัดการระบายอากาศโดยใช้เครื่องมือทางกล เป็นวิธีการวัดการระบายอากาศโดยใช้การประมาณจากความเร็วลมของพัดลมดูดอากาศ (forced ventilation) เนื่องจากความสะดวกและรวดเร็ว ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ สามารถทราบอัตราการระบายอากาศอย่างคร่าวๆ ได้อย่างรวดเร็ว ส่วนข้อเสียก็คือค่าที่คำนวณได้จากวิธีดังกล่าวจะน้อยกว่าความเป็นจริง เพราะไม่ได้คำนึงถึงการรั่วไหลของอากาศที่ไหลผ่านตามรอยแยกต่างๆ ซึ่งจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกัน นอกจากนี้วิธีนี้จะไม่สามารถใช้วัดอัตราการระบายอากาศตามธรรมชาติ (natural ventilation) ได้ เช่น การเปิดหน้าต่าง หรือการรั่วไหลของอากาศตามรอยแยกต่างๆ

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยทางด้านคุณภาพอากาศภายในอาคารของประเทศไทยยังจำกัดอยู่เพียงการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสารมลพิษเพียงไม่กี่ประเภท ทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้อจำกัดของเครื่องมือในการวัดและวิเคราะห์ นอกจากนี้งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาเน้นการศึกษาเฉพาะประชากรกลุ่มอาชีพที่มีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับสารมลพิษภายในโรงงานหรือประชากรที่อาศัยอยู่ใกล้บริเวณที่เป็นแหล่งกำเนิดสารมลพิษขนาดใหญ่ สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทยที่ผ่านมามีดังนี้

การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นในสิ่งแวดล้อมแบบปิดขนาดเล็ก ได้แก่ ศึกษาผลของฝุ่นขนาดเล็กและแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในที่พักอาศัยที่มีต่อสุขภาพของแม่บ้านและเด็กในกรุงเทพมหานคร (วนิดา ทรัพย์สุข, 2543) การตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นภายในอาคารเรียนของโรงเรียนในเขตอุตสาหกรรมย่อยหิน จ.สระบุรี และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของนักเรียน (พัชรี ชูติมาสกุล, 2543; Yooyen, 1998) การได้รับฝุ่นและผลกระทบของผู้ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ฝุ่นฝ้ายในอุตสาหกรรมสิ่งทอ (มาลี พงษ์โสภณ, 2545; กรองทอง ชื่นบำรุง, 2525) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในสิ่งแวดล้อมขนาด

เล็กอื่นๆ เช่น รถโดยสารประจำทางปรับอากาศ รถไฟฟ้า (ใต้ดินและลอยฟ้า) (จิตติมา จันทร์เรือง, 2547) เป็นต้น

โรฝุ่น เป็นสารมลพิษอีกชนิดหนึ่งที่มีการศึกษาค่อนข้างมากในประเทศไทย เช่น การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อโรฝุ่นในห้องนอน (Tualmoon, 2002) การศึกษาปริมาณสารก่อภูมิแพ้จากโรฝุ่นในที่นอน (นวลอนงค์ วิศิษฎ์สุนทร และคณะ, 2542) เป็นต้น นอกจากนี้มีการศึกษาคุณภาพอากาศทางจุลินทรีย์ภายในโรงพยาบาลทั่วไป (Khumsri, 2005)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารวีไอซีในอากาศภายในอาคารของประเทศไทยเท่าที่ปรากฏ ได้แก่ สวัสดิ์ พูลมา (2548) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารวีไอซีในที่พักอาศัยบริเวณข้างถนนในกรุงเทพมหานคร และการรับสัมผัสของผู้อาศัยจำนวน 9 เขต พบว่าสารวีไอซีที่พบทุกพื้นที่ได้แก่ กลุ่ม BTEX โดย toluene มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 213.7 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร สารวีไอซีที่ตรวจพบทุกชนิดบริเวณถนนมีค่าสูงกว่าภายในที่อยู่อาศัย ยกเว้น limonene ค่าความสัมพันธ์ของสารวีไอซีบริเวณริมถนนไม่สอดคล้องกับค่าความเข้มข้นที่บุคคลได้รับและภายในที่พักอาศัย และพบว่ากลุ่มสารวีไอซีเกือบทุกชนิดที่พบภายในอาคารมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันกับการรับสัมผัสของบุคคลที่อาศัยภายในอาคาร

ธัญญา ล้อมลิ้ม (2548) และจันทร์เพ็ญ ฤกษ์ชนะ (2546) ศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารวีไอซีบริเวณแทนพิมพ์ในโรงพิมพ์ ผลการตรวจวัดสารวีไอซีจากตัวอย่างอากาศบริเวณแทนพิมพ์พบสารวีไอซีที่มีความเข้มข้นสูงสุด 5 อันดับแรก คือ toluene, hexane, cyclohexane, benzene และ carbontetrachloride ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากน้ำมันที่ใช้ทำความสะอาดหมึกพิมพ์ และยังพบว่าความเข้มข้นเบนซินมีค่าเกินมาตรฐานของ Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา

แก้ว ขจรไชยกุล (2543) ทำการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องปฏิบัติการในโรงพยาบาล จำนวน 5 ห้อง ได้แก่ ห้องดองศพและห้องปฏิบัติการกายวิภาค โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ห้องพยาธิวิทยา โรงพยาบาลตำรวจ ห้องตรวจศพและห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยาโรงพยาบาลรามธิบดี โดยทำการเก็บตัวอย่างแบบ Active และ Passive พบว่าทุกพื้นที่มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องสูงเกินกว่ามาตรฐาน TWA (Time Weighted Average) ของ OSHA ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 56 พีพีบี และผลการประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพพบว่าห้องดองศพ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์มีค่าความเสี่ยงสูงสุด

ลิขิต ศรีประเสริฐสุข (2540) ทำการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องดองสัตว์ ภาควิชาชีววิทยา ห้องพิพิธภัณฑ์สถานธรรมชาติวิทยาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องเก็บสารเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าระดับความ

เข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศของทั้ง 3 ห้อง มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานความเข้มข้นสูงสุด 30 นาที (ตามประกาศของกระทรวงมหาดไทย) และความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในแต่ละเดือนไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใช้ และพบว่าอุณหภูมิและความชื้นไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ

วิลาวัลย์ ศรีพรหม (2546) ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของตัวดูดซับ 6 ชนิด ได้แก่ Tenax TA, Tenax GR, Carbotrap B, C, Carbopack B,C ในการวิเคราะห์ปริมาณไอระเหยที่ออกมาจากส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยเทคนิคการดูดซับ/การคายการดูดซับด้วยความร้อน-จีซีเอ็มเอส พบว่า ตัวดูดซับกลุ่มโพลีเมอรัที่มีรูพรุนจะเหมาะสมในการตรวจวัดสารในช่วงกว้าง (มวลโมเลกุลต่ำ- มวลโมเลกุลสูง) ส่วนกลุ่มกราไฟต์คาร์บอนแบล็คจะมีความเหมาะสมกว่าในการวัดสารที่มีมวลโมเลกุลสูงๆ โดยตัวดูดซับชนิด Carbopack และ Carbotrap C/B สามารถดูดซับได้ดีกว่า Tenax TA ในช่วงสารที่มีคาร์บอน 10 ถึง 15

สำหรับการตรวจวัดสารวีไอซีในบรรยากาศ (ภายนอกอาคาร) ในประเทศไทยเท่าที่ปรากฏ ได้แก่

กรมควบคุมมลพิษ (2547) ทำการตรวจวัดสารวีไอซีในบรรยากาศบริเวณริมถนนและบริเวณรอบที่พักอาศัยของบางพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยได้ทำการตรวจวัดสารมลพิษในกลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl compounds) และ กลุ่มอะโรมาติก (aromatic compounds) พบว่าค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของสารประกอบคาร์บอนิล ได้แก่ formaldehyde, acetaldehyde และ acrolein อยู่ในช่วง 0.10-29.9, 0.13-15.32, และ 0.026-6.54 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของสารประกอบกลุ่มอะโรมาติก ได้แก่ benzene, toluene, ethylbenzene, และ xylene อยู่ในช่วง 0.02-18.76, 0.11-55.50, 0.02-7.82 ,และ 0.06-49.66 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ

Suwattiga (2004) ได้ทำการศึกษาเพื่อระบุสัดส่วนแหล่งที่มาของสารวีไอซีในบรรยากาศในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า สารวีไอซีในบรรยากาศส่วนใหญ่มาจากท่อไอเสียรถยนต์

งานวิจัยคุณภาพอากาศภายในอาคารที่เชื่อมโยงกับกลุ่มอาการ SBS ในประเทศไทยได้มีการศึกษาโดย

Boonyayothin (2005) ได้ทำการศึกษาอัตราการถ่ายเทอากาศที่เหมาะสมสำหรับโรงแรมในประเทศไทย พบว่า อัตราการระบายอากาศมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดอาการที่อยู่ในกลุ่มอาการ SBS ของผู้อยู่อาศัยในโรงแรมทุกห้องยกเว้นห้องนอน

ศศิธร ณรงค์ศักดิ์ (2536) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศภายในกับกลุ่มอาการเจ็บป่วยที่เกิดจากการทำงานภายในอาคาร (ธนาคาร) พบว่า อาการระคาย

เคื่องตาและอาการคัดจมูกมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของฝุ่นที่ตรวจพบในอาคาร อาการปวดศีรษะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อาการโรคติดเชื้อทางเดินหายใจส่วนบนมีความสัมพันธ์กับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียทั้งหมด

กุลภรณ์ นกจันทร์ (2543) ได้ทำการศึกษาแนวโน้มอาการ SBS ของบุคลากรในอาคารสำนักงานที่มีการอนุรักษ์พลังงาน โดยได้เปรียบเทียบอาการป่วยของบุคลากรในอาคารสำนักงานที่มีการอนุรักษ์พลังงานตามมาตรฐานกับบุคลากรที่อยู่ในสำนักงานที่มีการอนุรักษ์พลังงานทั่วไป พบว่าทั้งสองกลุ่มอาคารมีแนวโน้มการเกิดอาการป่วยโดยมีบุคลากรที่รู้สึกเจ็บป่วยที่มีลักษณะคล้ายไข้หวัดมากกว่าร้อยละ 20

งานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดสารวีไอซีในอากาศในสิ่งแวดล้อมขนาดเล็กต่างๆ ในช่วง 1-2 ทศวรรษที่ผ่านมา มีจำนวนมากทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา ยุโรป และเอเชีย ตัวอย่างงานวิจัยเหล่านี้ได้แก่

Betterman และคณะ (2004) ได้ทำการประเมินการได้รับสารวีไอซีภายในสิ่งแวดล้อมขนาดเล็ก ในรัฐมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยได้ทำการตรวจวัดสารวีไอซี บริเวณที่พักอาศัย ยานพาหนะ ที่ทำงาน และภายนอกอาคาร พบว่าสารวีไอซีที่ตรวจพบส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอะโรมาติก และสารประกอบคลอรีน ความเข้มข้นของสารวีไอซีมีความสัมพันธ์กับแหล่งกำเนิด เช่น ระดับสารวีไอซีในที่พักอาศัยมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของผู้อยู่อาศัย ตำแหน่งของโรงจอดรถ การระบายอากาศ เป็นต้น

Kim และคณะ (2001) ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นและแหล่งกำเนิดของสารวีไอซีในสิ่งแวดล้อมขนาดเล็ก ในเมืองเบอร์มิงแฮม ประเทศอังกฤษ โดยทำการตรวจวัดสารวีไอซี ได้แก่ benzene, toluene, ethylbenzene, p-xylene, m-xylene, o-xylene, 1,3,5-trimethylbenzene, p-isopropyltoluene, 1,2,4-trimethylbenzene, 1,3-butadiene, styrene, naphthalene, 3-ethylpyridine และ pyridine พบว่าระดับความเข้มข้นของสารวีไอซีส่วนใหญ่ในอาคารมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดภายนอกอาคาร นอกจากนี้การสูบบุหรี่ ยังเป็นปัจจัยที่ทำให้ระดับความเข้มข้นของ 1,3-butadiene เพิ่มขึ้น และการจราจรที่หนาแน่นก็ส่งผลทำให้ระดับสารวีไอซีในยานพาหนะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

Hodgson และคณะ (2003) ศึกษาผลกระทบของการระบายอากาศจากภายนอกต่อระดับความเข้มข้นของสารวีไอซีในศูนย์บริการโทรศัพท์ (call center) ในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า การลดอัตราการระบายอากาศมีผลทำให้ความเข้มข้นของ acetaldehyde และ hexanal เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของ 2,2,4-trimethyl-1,3-pentane diol monoisobutyrate มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งทางคณะผู้วิจัยสันนิษฐานว่าอาจเป็นผล

เนื่องจากกลไกอื่นร่วมด้วย ได้แก่ การคายตัว (desorption) ได้มากขึ้นของสารวีไอซีดังกล่าวที่ดูดซับอยู่บนพื้นผิวอาคารเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศขึ้น

Baek และคณะ (1997) ทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในที่พักอาศัย ที่ทำงานและร้านอาหาร ในกรุงโซล ประเทศเกาหลีใต้ พบว่าแหล่งกำเนิดสารวีไอซีส่วนใหญ่ทั้งภายในและภายนอกอาคารเกิดจากยานพาหนะ ในฤดูหนาวตรวจพบความเข้มข้นของเบนซินและ สารวีไอซีอื่นมากกว่าในฤดูร้อน การประกอบอาหารจากเตาถ่านและการใช้เครื่องทำความร้อนที่เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อระดับสารมลพิษต่างๆ ภายในอาคารเช่นกัน

Tang และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาการวัดปริมาณสารวีไอซีภายในศูนย์การค้า ในเมืองกวางโจว ประเทศจีน ค่าความเข้มข้นของสารวีไอซีที่วัดได้ขึ้นอยู่กับกิจกรรมในแต่ละบริเวณ โดยพบว่า สารวีไอซีกลุ่มอะโรมาติก และกลุ่มคลอไลเนเต็ด ไฮโดรคาร์บอนมีค่าสูงสุดในบริเวณร้านขายอาหารจานด่วน ซึ่งเกิดจากแก๊สหุงต้ม และการใช้น้ำยาทำความสะอาด รองลงมาคือบริเวณผลิตภัณฑ์เครื่องหนัง ซึ่งเกิดจากตัวผลิตภัณฑ์เอง

Godish (1995) ทำการทบทวนบทความต่างๆ ที่ได้เปรียบเทียบระหว่างการระบายอากาศของสำนักงานโดยวิธีธรรมชาติ (natural ventilation) กับการระบายอากาศแบบทางกล กับปรากฏการณ์อาการป่วย SBS ของบุคลากรในอาคารเหล่านั้น โดยมีข้อสรุปที่ชี้ชัดว่า อาคารที่ปิดสนิทมิดชิด โดยใช้การระบายอากาศแบบทางกลเป็นสาเหตุของการเกิดกลุ่มอาการป่วย SBS ในอาคารสำนักงานในทวีปยุโรปช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา

Molhave (1990) ได้ทำการเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารวีไอซีรวมที่วัดได้ในอากาศกับผลกระทบต่อผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร โดยแบ่งเป็นช่วงพบว่า ค่าความเข้มข้นสารวีไอซีรวม 0.20-3.0 มก./ล. อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองและปัญหาความสบาย ค่าความเข้มข้นที่ 3.0-25.0 มก./ล. จะก่อให้เกิดการระคายเคืองและปัญหาความสบาย และอาจทำให้ปวดศีรษะ ขณะที่ความเข้มข้นมากกว่า 25.0 มก./ล. จะส่งผลกระทบต่อระบบประสาทได้นอกจากนี้อาคารปวดศีรษะผู้วิจัยได้ตั้งข้อสังเกตด้วยว่า ผู้อยู่อาศัยในอาคารจะเริ่มรู้สึกไม่สบายเมื่อความเข้มข้นสารวีไอซีรวมมากกว่า 3 มก./ล. ขึ้นไป

จากงานวิจัยที่ศึกษา พบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดความเข้มข้นของสารวีไอซีสูงขึ้นเนื่องจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร และสารกลุ่ม BTEX เป็นสารกลุ่มหลักที่เจอบางที่สุดทั้งงานวิจัยภายในประเทศและต่างประเทศ อัตราการระบายอากาศที่ต่ำส่งผลให้มีการสะสมของมลพิษภายหลังส่งผลให้เกิดกลุ่มอาการ SBS ต่อผู้อยู่อาศัยภายในอาคารนั้นๆ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

3.1.1 เกณฑ์การกำหนดพื้นที่ศึกษา

การเลือกสถานที่เก็บตัวอย่างในการวิจัย ทำการเลือกสถานที่โดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive หรือ Judgmental Sampling) (พรศรี ศรีอัษฎาพร และ ยุวดี วัฒนานนท์, 2529) โดยมีการกำหนดคุณลักษณะของตัวอาคาร ดังนี้

- เป็นอาคารขนาดใหญ่พิเศษ ซึ่งมีนิยาม คือ อาคารที่เป็นสถานประกอบการ โดยมีพื้นที่รวมทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตารางที่เมตรขึ้นไป (พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร (ฉบับที่ 3) พ.ศ.2543)

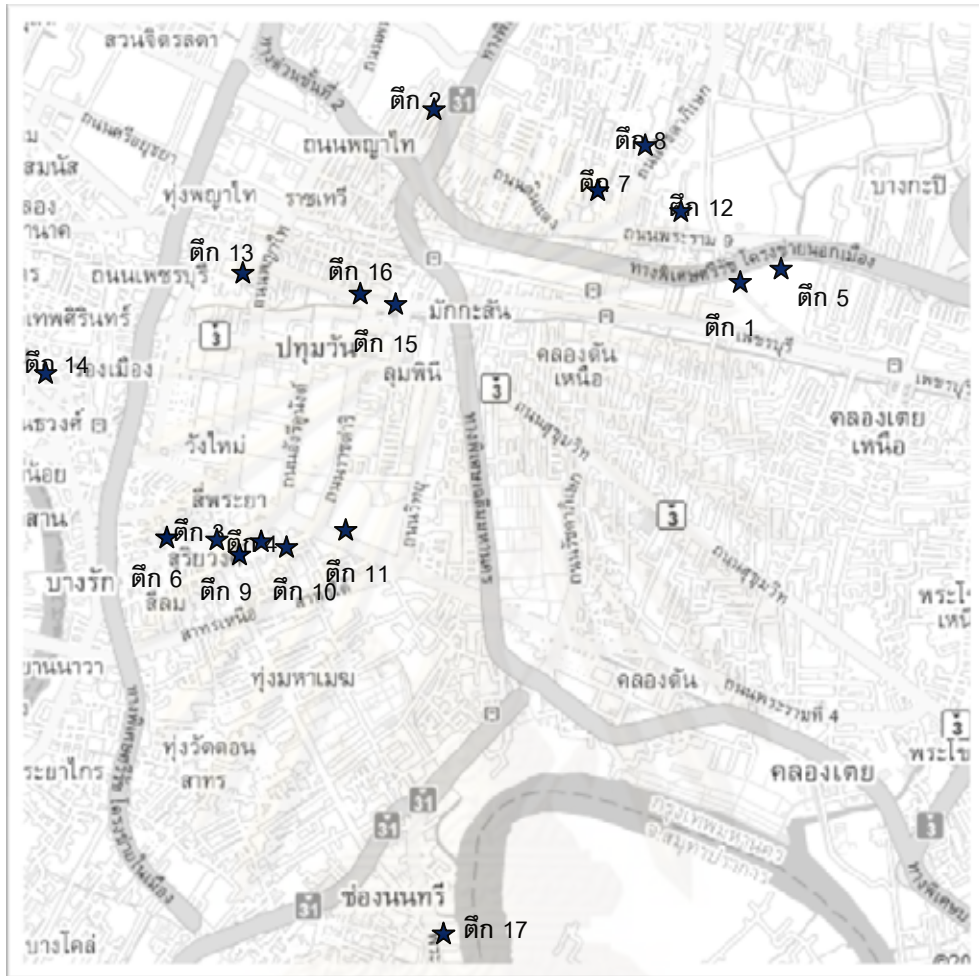
- การเลือกสถานที่เก็บตัวอย่างอากาศจะ ไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศและฤดูกาล

- ไม่เน้นทำการศึกษากลุ่มอาคารที่มีการสูบบุหรี่ภายในอาคาร เนื่องจากสถานที่สาธารณะต่างๆ ในประเทศไทยได้ถูกจัดให้เป็นเขตปลอดบุหรี่ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ.2548 (กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, 2549)

- เป็นอาคารที่มีระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

- การเลือกชั้นสำหรับเก็บตัวอย่างจะทำการเลือกชั้นที่เป็นสำนักงาน มีพนักงานทำงานประจำตามเวลาปกติ

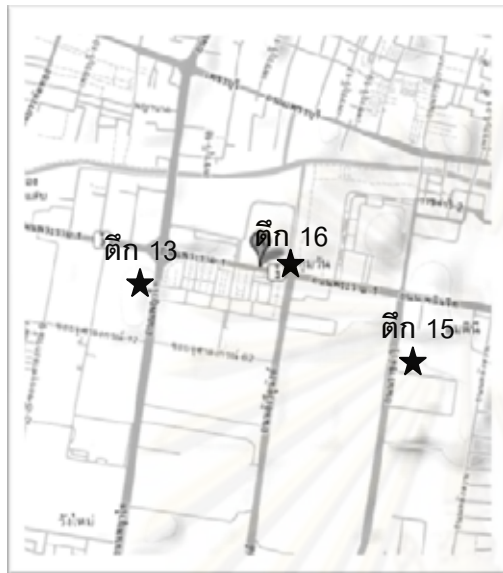
ข้อมูลทั่วไปและตำแหน่งที่ตั้งของอาคารสำนักงานที่ทำการศึกษา ดังภาพที่ 3.1 (ก) - (ข) และตารางที่ 3.1 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ธุรกิจ และมีการจราจรหนาแน่น โดยพื้นที่ทำการศึกษาได้แก่ บริเวณถนนพระราม 9 ถนนรัชดาภิเษก ถนนสีลม ถนนพระราม 1 ถนนหลวง ถนนพระราม 3 และ ถนนพหลโยธิน เป็นต้น



ภาพที่ 3.1 (ก) แผนที่ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างอากาศภายในอาคารทั้ง 17 ตึก



ภาพที่ 3.1 (ข) ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณถนนพระราม 9 + รัชดาภิเษก



ภาพที่ 3.1 (ค) ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณถนน
พระราม 1



ภาพที่ 3.1 (ง) ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณถนน
พระราม 3



ภาพที่ 3.1 (จ) ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณถนนสีลม



ภาพที่ 3.1 (ด) ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณถนน
พลับพลาชัย

ภาพที่ 3.1(ซ) ที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณ
ถนนพหลโยธิน

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคารที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ลำดับ ที่	อาคาร	ตำแหน่ง ที่ตั้ง(ถนน)	จำนวน ชั้น	พื้นที่เลือก/พื้นที่ ภายในชั้น(ตร.ม.)	จำนวนคน	ปีสุดท้ายที่มีการ ตกแต่ง
1	1	พระราม 9	32	15/628.8	48	2550
2	5	พระราม 9	8	4/4250	140	2547
3	7	รัชดาภิเษก	37	19/840	85	2551
4	8	รัชดาภิเษก	40	20/1225	147	2550
5	12	รัชดาภิเษก	31	29/1240	248	2551
6	3	สีลม	24	4/6500	504	2549
7	4	สีลม	7	6/1563.51	169	2548
8	6	สีลม	8	6/640	42	2548
9	9	สีลม	36	5/1560	173	2549
10	10	สีลม	12	5/150	20	2547
11	11	สีลม	30	10/960	125	2550
12	13	พระราม 1	28	17/1340	134	2550
13	15	พระราม 1	22	18/1298	151	2551

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) ข้อมูลทั่วไปของอาคารที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ลำดับ ที่	อาคาร	ตำแหน่ง ที่ตั้ง(ถนน)	จำนวน ชั้น	ชั้นที่เลือก/พื้นที่ ภายในชั้น(ตร.ม.)	จำนวนคน	ปีสุดท้ายที่มี การตกแต่ง
14	16	พระราม 1	34	19/655	49	2551
15	2	พหลโยธิน	24	16/1200	78	2551
16	14	หลวง	8	6/1125	126	2551
17	17	พระราม 3	17	13/1600	181	2549

3.1.2 การพิจารณาสารวีไอซีที่ทำการศึกษา

เนื่องจากสารวีไอซีที่ตรวจพบภายในอาคารมีมากกว่า 300 ชนิด (Burglund และคณะ, 1986) ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการระบุความเข้มข้นของสารวีไอซีบางชนิดที่คาดว่าจะพบในระดับสูง จำนวน 13 ชนิดได้แก่ เฮกเซน (hexane) คลอโรฟอร์ม (chloroform) 1,2 ไดคลอโรอีเทน (1,2-dichloroethane) เบนซีน (benzene) ไตรคลอโรเอทิลีน (trichloroethylene) 1,2 ไดคลอโรโพรเพน (1,2-dichloropropane) เตตระคลอโรเอทิลีน (tetrachloroethylene) โทลูอิน (toluene) เอทิลเบนซีน (ethylbenzene) สไตรีน (styrene) เอ็ม/พี-ไซลีน (*m/p*-xylene) โอ-ไซลีน (*o*-xylene) และไลโมนีน (limonene) เป็นต้น ซึ่งเก็บบันทึกทั้งหมดจัดเป็นสารมลพิษอันตรายตามกฎหมาย "Clean Air Act" ประเทศสหรัฐอเมริกา ยกเว้น เฮกเซน ส่วนการระบุชนิดสารวีไอซีทำการวิเคราะห์โดยเครื่อง Gas Chromatography/ Mass Spectrometry (GC/MS)

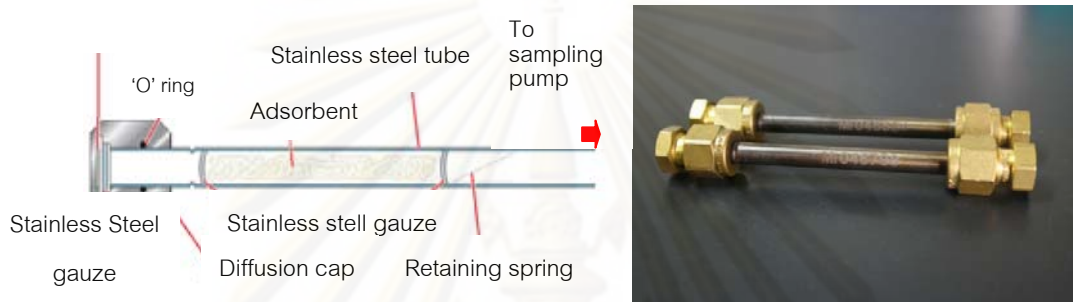
3.2 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างและเครื่องมือวิเคราะห์สารวีไอซี

3.2.1 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างสารวีไอซี

ในอาคารเก็บตัวอย่างสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างสารวีไอซีในอากาศด้วยวิธีแอคทีฟ (Active sampler) โดยการใช้ปั๊มเก็บอากาศชนิดพกพาดูดอากาศด้วยอัตราคงที่ให้ไหลผ่านหลอดเก็บตัวอย่างอากาศที่ภายในบรรจุสารดูดซับ อากาศเหล่านั้นจะถูกดูดซับไว้บนสารดูดซับด้วยแรงระหว่างโมเลกุล เมื่อทำการเก็บตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะนำสารดูดซับไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณสารวีไอซีต่อไป

3.2.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ ได้แก่

(1) หลอดเก็บตัวอย่างอากาศชนิดเรซินเทเน็กซ์ (Tenax-TA™ sorbent tube) ของบริษัท MARKES สหรัฐอเมริกา เป็นหลอดสแตนเลสยาว 3½-นิ้ว (89 มม.) x เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก¼-นิ้ว (6.4 มม.) ภายในบรรจุด้วยสารดูดซับชนิดเรซิน 200 มก. ลักษณะภายในและภายนอกของหลอดเก็บตัวอย่างชนิดเรซินเทเน็กซ์ แสดง ดังภาพที่ 3.2 (ก) และ (ข)



(ก) ลักษณะภายในหลอดเรซินเทเน็กซ์

(ข) ลักษณะภายนอกหลอดเรซินเทเน็กซ์

ที่มา : <http://www.scri.ac.uk/research>

ภาพที่ 3.2 ลักษณะภายในและภายนอกของหลอดเก็บตัวอย่างชนิดเรซินเทเน็กซ์

(2) บั๊มเก็บตัวอย่างแก๊สชนิดพกพา (personal sampling pump) ของบริษัท SKC สหรัฐอเมริกา รุ่น 224-PCXR 4 ดังภาพที่ 3.3 (ก) สามารถปรับค่าอัตราการดูดอากาศในช่วง 5 – 5000 มล./นาที ทำการปรับอัตราการไหลของอากาศด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (needle valves) ให้อยู่ในระดับที่ทำการศึกษา (40 มล./นาที) ทำการปรับเทียบอัตราการไหลด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศของบริษัท TSI สหรัฐอเมริกา รุ่น TSI 4100 series (ดังภาพที่ 3.3 (ข)) ก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศทุกครั้ง



(ก) บั๊มเก็บตัวอย่างแก๊สชนิดพกพา

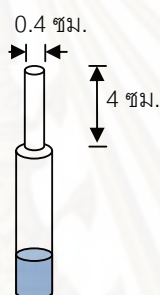


(ข) เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ

ภาพที่ 3.3 เครื่องมือในการเก็บตัวอย่างอากาศ

3.2.2 อุปกรณ์สำหรับวัดอัตราการไหลเวียนของอากาศ

อุปกรณ์ในการวัดอัตราการไหลเวียนของอากาศนั้นประกอบด้วย สารตามรอย (tracer gas) ในงานวิจัยนี้ใช้สารเฮกซะฟลูออโรเบนซีน (hexafluorobenzene, HFB) บรรจุในหลอดกระจายสาร (diffusion tube) ดังภาพที่ 3.4 (ก)-(ข) ที่ออกแบบให้สามารถกระจายสาร HFB ในอัตราคงที่เท่ากับ 6.8 มก./ชม. โดยหลอดแก้วส่วนบนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 ซม. และมีความยาว 4 ซม. หลอดแก้วกระจายสาร 1 หลอด ใช้สำหรับพื้นที่ภายในสำนักงานประมาณ 200 ตร.ม. ในการหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศนั้น คำนวณจากน้ำหนักรวมของสาร HFB ที่ระเหยออกไปต่อปริมาตรของห้องและความเข้มข้นที่ตรวจพบ ดังสมการที่ 2.9



ภาพที่ 3.4 Diffusion tube

3.2.3 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างสารวิโอซี คือ Thermal Desorption รุ่น UNITY 2™ ของบริษัท MARKES ต่อกับ Gas Chromatography/ Mass Spectrometry (GC/MS) รุ่น QP5000 ของ บริษัท SHIMADZU และติดตั้ง Capillary column ยาว 60 ม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มม. ขนาด film thickness 1.8 ไมครอน. (Agilent J&W GC column, USA) และใช้ Helium (99.9999%) เป็น carrier gas ด้วยอัตรา 1.3 มล./นาที ในการวิเคราะห์ตัวอย่างสารวิโอซี เครื่องมือวิเคราะห์ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 Thermal Desorption และ Gas Chromatography/Mass Spectrometry

3.3 วิธีดำเนินการศึกษา

3.3.1 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารวีไอซี

1) การหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารวีไอซี โดยเครื่อง TD GC/MS ที่ฝ่ายวิจัยด้านคุณภาพอากาศ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยี ต.คลองห้า ปทุมธานี โดยทำการวิเคราะห์สารวีไอซีมาตรฐาน 77 ชนิดและเพิ่มสารที่ต้องการศึกษาอีก 2 ชนิด ได้แก่ เฮกซะฟลูออโรเบนซีนและไลโมนีนทำการฉีดสาร 2 ชนิดนี้เพิ่มเข้าไปกับสารวีไอซีมาตรฐาน 77 ชนิด โดยการฉีดตัวอย่างสารที่ต้องการวัดเข้าไปในหลอดเทเนกซ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ ใช้สภาวะวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.2 ในการวิเคราะห์เบื้องต้นต้องใช้เทคนิค Scan mode เพื่อหาค่า Retention time ของสารละลายมาตรฐานแต่ละชนิด

เมื่อทราบค่า Retention time ของสารวีไอซีมาตรฐานแต่ละชนิดแล้ว ทำการปรับแต่งเทคนิคในการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ต้องการศึกษาให้เหมาะสมเพื่อหาชนิดและปริมาณของสารวีไอซี ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่า Selected-ion monitoring (SIM)

2) การสร้าง Calibration curve

ในการสร้าง calibration curve นั้นจะทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานสารวีไอซีโดยมีความเข้มข้นต่างๆกัน 6 ค่าความเข้มข้นได้แก่ 50, 150, 250, 500, 1000 และ 2500 นก./มล. ซึ่งแต่ละความเข้มข้นจะมีสารละลายมาตรฐาน toluene d-8 (internal standard) ที่ระดับความเข้มข้น 438 นก./มล. รวมอยู่ด้วย

3.3.2 การเก็บตัวอย่าง

3.3.2.1 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างสารวีไอซีเพื่อวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณความเข้มข้นภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน บริเวณพื้นที่ธุรกิจ จำนวน 17 ตึก โดยวิธีการเก็บแบบแอคทีฟ ในช่วงเดือน กันยายน – ตุลาคม 2552 แต่ละตึกใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศ 4 ชั่วโมง (เช้า 10:00 – 12:00 น. และ บ่าย 13:00 – 15:00) ในแต่ละพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างจะเริ่มทำงานตั้งแต่เวลา 08.30 น.

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์สารวีไอซีที่ทำการศึกษา

พารามิเตอร์	สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์เรซินเทเนกซ์
TD	
- Pre-Desorption	- Inject Internal Standard = 4 min - Prepurge tire N ₂ 99.9999% = 10 min
- Tube/Sample desorption	- Temp 300 °C : 10 นาที
- Trap Setting	- Pre-Trap Fire Purge / min = 2 min - Trap Low = -30 °C - Heating Rate = Max - Trap Hing = 300 °C - Trap Hold = 15 min
GC/MS	GC-MS-QP5000 (SHIMADZU Japan)
Carrier gas	Helium, flow rate 1.3 ml./min
Column	DB-624 Serial # US9471912H Thickness : 1.8 µm. Length:60 m., Diameter:0.32 mm., Max Usable 260 °C (Agilent J&W GC column USA)
Initial column temperature	35 °C

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์สารไวโอดีที่ทำการศึกษา

พารามิเตอร์	สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์เรซินเทเน็กซ์
Temperature program ramp rate	Injector temperature : 230 °C Oven temperature 35 °C (initial temperature), Holding at 35 °C for 5 min, then increased from 35 to 180 °C at 8 °C /min , next increased from 180 °C to 210 °C at 30 °C /min then increased from 210 °C at 230 °C at 20 °C /min and holding at 230 °C for 10 min.
Injector mode splitless	-
Purge flow split vent	-
Final temperature	230 °C
Final hold time	10 min
Analytical time	35.13 min
Detector	-
MS mode	EI mode (SIM mode)
MS detector temperature	300 °C
Mass range / scan speed	-
Transfer line temperature	230 °C
Filament / multiplier delay	3 min

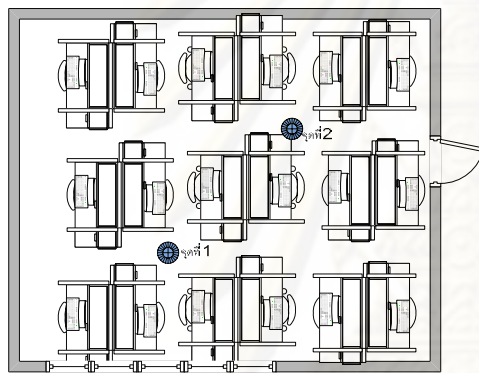
3.3.2.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

(1) การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคาร

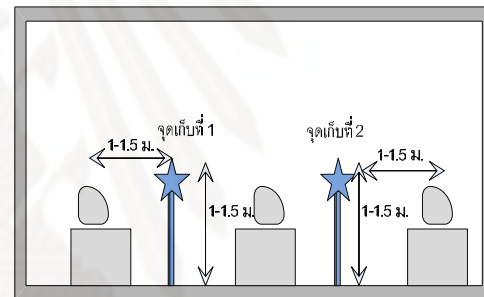
ในการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารที่ทำการศึกษานั้นจะใช้สารเฮกซะฟลูออโรเบนซีนซึ่งเป็นสารทำรอยไปวางภายในห้องสำนักงานที่จะทำการเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 6 ชม. โดยใช้สารเฮกซะฟลูออโรเบนซีน 1 หลอด ต่อปริมาตรห้อง 200 ลบ.ม. ทำการซั่งน้ำหนักสาร HFB ก่อนและหลังทำการเก็บตัวอย่างอากาศทุกครั้ง คำนวณหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ดังสมการ 2.9

(2) การเก็บตัวอย่างอากาศภายในอาคาร

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศโดยปั๊มเก็บตัวอย่างแก๊สชนิดพกพา (personal sampling pump) และหลอดเก็บตัวอย่างภายในบรรจุเรซินเทเน็กซ์ (Tenax-TA™ sorbent tube) ด้วยอัตราการดูดอากาศ 40 มล./นาที เป็นเวลา 4 ชม. ทำการเก็บตัวอย่างภายในอาคาร 2 จุด โดยจุดเก็บตัวอย่างอากาศภายในอาคารจะอยู่ในบริเวณพื้นที่หลักที่มีการดำเนินกิจกรรมภายในอาคาร ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเหนือจากพื้น 1-1.5 ม. ห่างจากกำแพงอย่างน้อย 1 ม. และห่างจากแหล่งกำเนิดมลพิษ เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องพิมพ์ เป็นต้น ดังภาพที่ 3.6 (ก) – (ข) (U.S. EPA, 1999)



(ก) แผนผังแสดงจุดเก็บตัวอย่าง
ภายในสำนักงาน (ภาพถ่ายด้านบน)

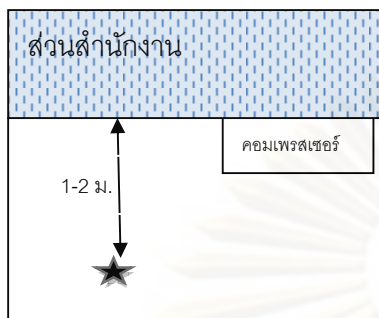


(ข) แผนผังแสดงจุดเก็บตัวอย่าง
ภายในสำนักงาน (ภาพถ่ายด้านข้าง)

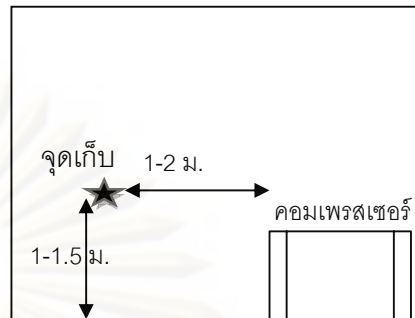
ภาพที่ 3.6 จุดเก็บตัวอย่างสารวีไอซีภายในสำนักงาน

(3) การเก็บตัวอย่างอากาศภายนอกอาคาร

การเก็บตัวอย่างอากาศภายนอกอาคารจะทำการเก็บตัวอย่าง 1 จุด สูงจากพื้น 1-1.5 ม. ห่างจากกำแพงและแหล่งกำเนิดอย่างน้อย 1-2 ม. ดังภาพที่ 3.7 (ก)-(ข) ระยะเวลาและอัตราการดูดอากาศในการเก็บตัวอย่างอากาศเท่ากันกับการเก็บตัวอย่างภายในอาคาร ทำการเก็บตัวอย่างภายในชั้นเดียวกันหรือชั้นใกล้เคียงที่มีระเบียงออกไปสู่ภายนอกอาคารได้ ถ้าไม่สามารถเก็บในชั้นเดียวกันหรือชั้นใกล้เคียงได้จะทำการเก็บบริเวณที่โล่งบริเวณลานจอดรถที่อยู่ด้านเหนือลมหรือทำการเก็บบริเวณชั้นหนึ่งด้านหน้าอาคาร



(ข) แผนผังแสดงจุดเก็บตัวอย่าง
ภายนอกอาคาร (ภาพถ่ายด้านบน)



(ข) แผนผังแสดงจุดเก็บตัวอย่าง
ภายนอกอาคาร (ภาพถ่ายด้านข้าง)

ภาพที่ 3.7 จุดเก็บตัวอย่างสารวีไอซีภายนอกอาคาร

(4) การเก็บรักษาตัวอย่าง

เมื่อทำการเก็บตัวอย่างอากาศเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการปิดฝาหลอดเก็บตัวอย่างอากาศทั้งสองด้าน แล้วห่อด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ใส่ในถุงซิปล็อคเก็บไว้ในภาชนะที่ความเย็น 4 องศาเซลเซียสขณะเดินทาง แล้วนำไปแช่แข็งตู้แช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

(5) การเก็บข้อมูลเพิ่มเติม

ทำการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้แก่ ข้อมูลทั่วไปทางร่างกายภาพ ได้แก่แผนผังห้อง วัสดุที่ใช้ในการตกแต่ง ปีสุดท้ายที่มีการตกแต่ง กิจกรรมที่เกิดภายในหนึ่งวัน ได้แก่ การทำความสะอาด ปริมาณการถ่ายเอกสาร การพิมพ์งาน เป็นต้น ตัวอย่างแบบสอบถาม แสดงไว้ในภาคผนวก ค

3.4 วิธีการทดลองเบื้องต้น

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาหาความเหมาะสมและประกันคุณภาพการวิจัยดังนี้

3.4.1 การเปรียบเทียบปริมาตรของอากาศ (Distributed Volume Air)

ทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารวีไอซีที่ตรวจวัด เพื่อหาความคงที่ของเครื่องมือ โดยหาจากความแตกต่างของปริมาตรอากาศ 2 ค่าด้วยกัน ที่ 1 ลิตร และ 4 ลิตร ภายในระยะเวลา 1 ชม. ที่อัตราการดูดอากาศคงที่เท่ากับ 16.7 มล./นาที และ 66.7 มล./นาที ตามลำดับ

เมื่อนำค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 2 หลอดมาเปรียบเทียบกันควรจะได้ค่าความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกัน และทั้ง 2 หลอดต้องมีความแตกต่างกันต่ำกว่าร้อยละ 25

3.4.2 การตรวจสอบการ breakthrough

ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารดูดซับภายในหลอดเก็บตัวอย่างในการดูดซับสารวีไอซีและเป็นการตรวจสอบอัตราการดูดอากาศที่ใช้ในการเก็บอากาศด้วย ทำการทดสอบโดยนำหลอดเก็บตัวอย่างสารวีไอซี 2 หลอดมาต่อกัน (หลอดตัวอย่างและหลอด back up) หลอดที่อยู่ทางด้านที่ทำการดูดอากาศเข้าจะเป็นหลอดตัวอย่างอากาศ ส่วนหลอดที่นำมาต่อท้ายหลอดเก็บตัวอย่างอากาศเรียกว่า หลอด back up ซึ่งเมื่อนำทั้ง 2 หลอดมาวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นหลอด back up จะต้องมีค่าความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดไม่เกินร้อยละ 5 ของหลอดเก็บตัวอย่าง ถ้าหากว่าหลอด back up มีค่าความเข้มข้นเกินร้อยละ 5 ของหลอดเก็บตัวอย่าง แสดงว่าหลอดเก็บตัวอย่างนั้นเกิดการ breakthrough จะไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้วิเคราะห์ได้

3.4.3 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารวีไอซีระหว่าง 2 จุด ภายในชั้นเดียวกัน

ทำการตรวจสอบค่าความเข้มข้นของจุดเก็บตัวอย่าง 2 จุด ภายในชั้นเดียวกัน เพื่อตรวจสอบว่า จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 2 จุด มีความแตกต่างกันหรือไม่ หากพบว่า ค่าความเข้มข้นที่วัดได้ทั้ง 2 จุด มีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 10 แสดงว่าค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ทั้ง 2 จุด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

3.4.4 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารวีไอซีระหว่างชั้น

ทำการตรวจสอบค่าความเข้มข้นของสารวีไอซีระหว่างชั้น เพื่อตรวจสอบว่า จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 2 จุด มีความแตกต่างกันหรือไม่ หากพบว่า ค่าความเข้มข้นที่วัดได้ทั้ง 2 จุด มีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 10 แสดงว่าค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ทั้ง 2 จุด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

3.4.5 ตรวจสอบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยการใช้สารตามรอยและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (ภาคผนวก ง)

การวิเคราะห์หาอัตราแลกเปลี่ยนอากาศโดยการวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศควบคู่ไปกับการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยสารตามรอย เพื่อตรวจสอบว่าการใช้สารตามรอยนั้นมีความน่าเชื่อถือมากเพียงใด ในการวิเคราะห์หาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยวิธีตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำการวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่องมือด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ บริเวณภายในอาคารและภายนอกอาคาร แล้วนำค่าที่ได้ไปทำการหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ดังสมการ 3.2 ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการเลือกใช้การหาอัตราการแลกเปลี่ยน

อากาศโดยการใส่สาร HFB เนื่องจากว่าวิธีนี้เป็น การหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยรวมตลอดระยะเวลาทั้งวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง ซึ่งมีประสิทธิภาพว่าการวัดด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะเป็นการวัดเป็นเฉพาะช่วงเวลาเท่านั้น

$$V \frac{dc}{dt} = Q C_{in} - Q C_{out} + E - K \quad \dots(3.1)$$

$$Q = \frac{E}{(C_{out} - C_{in})} \quad \dots(3.2)$$

- โดยที่
- V = ปริมาตรห้อง, ลบ.ม.
 - Q = อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ, ชม.⁻¹
 - C_{out} = ความเข้มข้นของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
ภายนอกอาคาร, พีพีเอ็ม
 - C_{in} = ความเข้มข้นของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
ภายในอาคาร, พีพีเอ็ม
 - K = สัมประสิทธิ์ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง
โดยกระบวนการอื่นๆ เช่น การทำปฏิกิริยากับผิวของวัตถุ
 - E = ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ,
กรัม(คาร์บอนไดออกไซด์)/ชม.

3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

- 1) วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารวีไอซี
- 2) คำนวณหาอัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศภายในอาคาร
- 3) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อความเข้มข้นสารวีไอซี
- 4) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารวีไอซีภายในต่อภายนอกอาคาร

โดยใช้ Wilcoxon rank sum test significance ในโปรแกรม SPSS 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์เบื้องต้น

4.1.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารวีไอซีมาตรฐาน

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้สารวีไอซีมาตรฐานจำนวน 77 ชนิด และเพิ่มสารเอกซะฟลูออโรเบนซีนและไลโมนีน เข้าไปอีกสองชนิด โดยมี โทลูอิน ดี – 8 (toluene d-8) เป็น internal standard ทำการแยกสารและวิเคราะห์โดยเครื่อง TD GC/MS ประกอบด้วย column DB-624 ยาว 60 ม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มม. ขนาด film thickness 1.8 ไมครอน. Agilent J&W GC column, USA) และใช้ Helium (99.9999%) เป็น carrier gas ด้วยอัตรา 1.3 มล./นาที ในการวิเคราะห์ ทำการใช้เทคนิค SCAN mode ในการวิเคราะห์หา Retention time ของสารแต่ละชนิดในเบื้องต้น ได้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้ อุณหภูมิเริ่มต้น 35 °C และคงอุณหภูมิไว้ 5 นาที หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 180 °C ด้วยอัตราคงที่ 8 °C/นาที หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 210 °C ด้วยอัตราคงที่ 30 °C/นาที หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 230 °C ด้วยอัตราคงที่ 20 °C/นาที ปล่อยให้คงที่ไว้ 10 นาที รวมเวลาทั้งสิ้น 35.13 นาที จะได้ค่า Retention time และ m/z (แสดงดังตารางที่ 4.1) แล้วทำการปรับแต่งค่าด้วยเทคนิค SIM mode (Selected-ion monitoring) จะได้ peak relation time ของสารแต่ละชนิดแสดงเป็นกราฟดังภาพที่ 4.1

4.1.2 การสร้าง Calibration curve

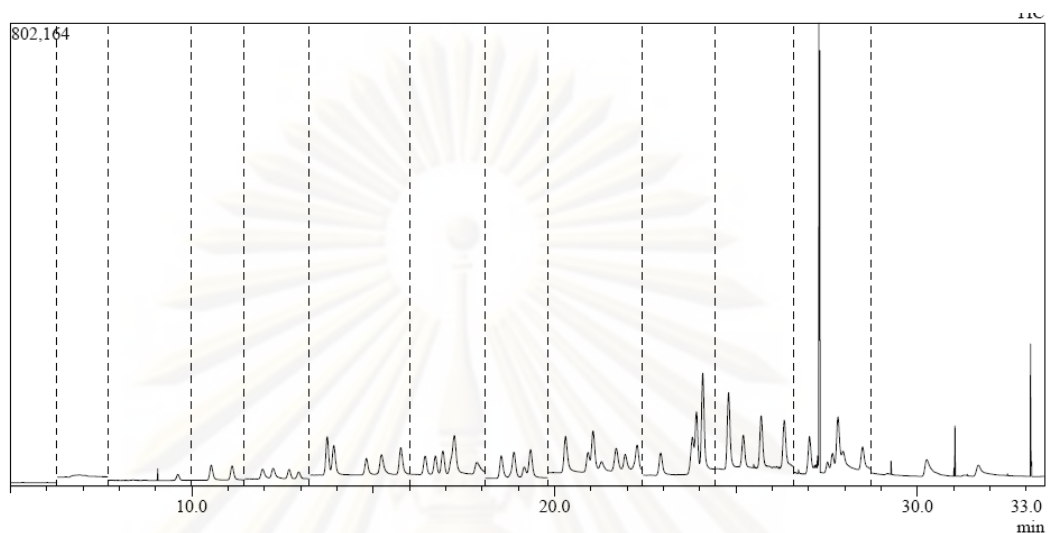
การสร้าง Calibration curve ทำโดยฉีดสารวีไอซีมาตรฐานที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ความเข้มข้น ได้แก่ 50 100 250 500 1000 และ 2500 นก./มล. จากการใช้สารวีไอซีจำนวน 55 ชนิด โดยแสดงผลในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง peak ratio ของสารวีไอซีมาตรฐานต่อ internal standard (toluene d-8) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ไว้ในภาคผนวก ก และได้สรุปความสัมพันธ์จากกราฟมาตรฐาน แสดงด้วยค่า R^2 ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 Retention time และ m/z ของสารวิเคราะห์มาตรฐาน

ชื่อสารประกอบ	Retention time (min)	m/z	
		first ion	secondary ion
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-	6.46	85.05	135.1
Trichloromonofluoromethane	9.52	101.05	103.05
1,3-Butadiene, 2-methyl-	10.42	67.05	53.05
Ethene, 1,1-dichloro-	11.00	61	96.05
Carbon disulfide	11.83	76	78.05
Methylene Chloride	12.11	49	84.05
Cyclopentane	12.56	55.05	70.02
Propane, 2-methoxy-2-methyl-	12.82	73.1	57.05
Hexane	13.61	57.1	56.1
Ethane, 1,1-dichloro-	13.78	63	65.1
Benzene,hexafluoro	14.81	186	117
Ethene, 1,2-dichloro-, (Z)-	15.07	61	96
Chloroform	15.60	83	85.05
Ethane, 1,1,1-trichloro-	16.26	97.05	99.05
Cyclohexane	16.55	56.05	84.15
Carbon Tetrachloride	16.75	117	119.05
Ethane, 1,2-dichloro-	16.97	61.95	49
Benzene	17.05	78.1	77.15
Trichloroethylene	18.33	95.05	132.05
Propane, 1,2-dichloro-	18.67	63	61.85
1,4-Dioxane	18.93	58.05	88.1
Methane, bromodichloro-	19.11	83	85
1-Propene,1,3-dichloro (z)	20.04	75.05	77.1
Methyl Isobutyl Ketone	20.04	58.05	57
Toluene d-8	20.80	98.2	100.2

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) Retention time และ m/z ของสารวิเคราะห์มาตรฐาน

ชื่อสารประกอบ	Retention time (min)	m/z	
		first ion	secondary ion
Toluene	20.94	91.15	92.15
1-Propene, 1,3-dichloro-, (E)-	21.17	75.05	110.1
Ethane, 1,1,2-trichloro-	21.59	57	61
Tetrachloroethylene	22.19	165.95	129.1
Ethane, 1,2-dibromo-	22.84	109.05	107.05
Benzene, chloro-	23.74	112.15	77.1
Ethylbenzene	23.84	91.15	51.15
m/p-Xylene	24.10	91.15	106.2
o-Xylene	24.76	91.1	106.2
Styrene	24.76	104.1	78
Methane, tribromo-	25.15	172.85	170.9
Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-	25.64	83	85
Benzene, 1,3,5-trimethyl-	26.26	105.15	120.25
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	26.92	105.15	120.25
Limonene	27.50	68	93
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	27.66	105.15	120.25
Benzene, 1,2-dichloro-	28.30	146.1	148.1



Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-	Cyclohexane	Tetrachloroethylene
Trichloromonofluoromethane	Carbon Tetrachloride	Ethane, 1,2-dibromo-
1,3-Butadiene, 2-methyl-	Ethane, 1,2-dichloro-	Benzene, chloro-
Ethene, 1,1-dichloro-	Benzene	Ethylbenzene
Carbon disulfide	Trichloroethylene	m/p-Xylene
Methylene Chloride	Propane, 1,2-dichloro-	o-Xylene
Cyclopentane	1,4-Dioxane	Styrene
Propane, 2-methoxy-2-methyl-	Methane, bromodichloro-	Methane, tribromo-
Hexane	1-Propene, 1,3-dichloro (z)	Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-
Ethane, 1,1-dichloro-	Methyl Isobutyl Ketone	Benzene, 1,3,5-trimethyl-
Benzene, hexafluoro	Toluene d-8	Benzene, 1,2,4-trimethyl-
Ethene, 1,2-dichloro-, (Z)-	Toluene	limonene
Chloroform	1-Propene, 1,3-dichloro-, (E)-	Benzene, 1,2,3-trimethyl-
Ethane, 1,1,1-trichloro-	Ethane, 1,1,2-trichloro-	Benzene, 1,2-dichloro-

ภาพที่ 4.1 Chromatogram ของสารวิเคราะห์มาตรฐาน

ตารางที่ 4.2 (ก) ค่า R^2 ของสารวิเคราะห์มาตรฐานที่พบจำนวน 55 ชนิด จากการสร้าง Calibration curve (เรียงตามเวลาของการระเหย)

ชื่อสารวิเคราะห์	R^2	ชื่อสารวิเคราะห์	R^2
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-	0.9955	Methane, bromodichloro-	0.9999
Trichloromonofluoromethane	0.9885	1-Propene,1,3-dichloro (z)	0.9995
1,3-Butadiene, 2-methyl-	0.997	Methyl Isobutyl Ketone	0.9998
Ethene, 1,1-dichloro-	0.9864	Toluene d-8	-
Carbon disulfide	0.9778	Toluene	0.9998
Methylene Chloride	0.9844	1-Propene, 1,3-dichloro-, (E)-	0.9994
Cyclopentane	0.9954	Ethane, 1,1,2-trichloro-	0.9992
Propane, 2-methoxy-2-methyl-	0.9846	Tetrachloroethylene	0.9998
Hexane	0.9999	Ethane, 1,2-dibromo-	0.9994
Ethane, 1,1-dichloro-	0.9998	Benzene, chloro-	0.9994
Benzene,hexafluoro	0.9999	Ethylbenzene	0.9994
Ethene, 1,2-dichloro-, (Z)-	0.9999	m/p-Xylene	0.9994
Chloroform	0.9999	o-Xylene	0.9996
Ethane, 1,1,1-trichloro-	0.9937	Styrene	0.9989
Cyclohexane	0.9914	Methane, tribromo-	0.9995
Carbon Tetrachloride	0.996	Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-	0.9994
Ethane, 1,2-dichloro-	0.9998	Benzene, 1,3,5-trimethyl-	0.9992
Benzene	0.9999	Benzene, 1,2,4-trimethyl-	0.999
Trichloroethylene	0.9999	limonene	0.9992
Propane, 1,2-dichloro-	0.9999	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	0.9985
1,4-Dioxane	0.9977	Benzene, 1,2-dichloro-	0.9986

ตารางที่ 4.2 (ข) ค่า R^2 ของสารวิเคราะห์มาตรฐานที่พบจำนวน 55 ชนิด จากการสร้าง Calibration curve (เรียงลำดับตามตัวอักษรชื่อสารวิเคราะห์)

ชื่อสารวิเคราะห์	R^2	ชื่อสารวิเคราะห์	R^2
1,3-Butadiene, 2-methyl-	0.997	Ethane, 1,1,2-trichloro-	0.9992
1,4-Dioxane	0.9977	Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-	0.9994
1-Propene, 1,3-dichloro-, (E)-	0.9994	Ethene, 1,1-dichloro-	0.9864
1-Propene, 1,3-dichloro (z)	0.9995	Ethene, 1,2-dichloro-, (Z)-	0.9999
Benzene	0.9999	Ethylbenzene	0.9994
Benzene, 1,2-dichloro-	0.9986	Hexane	0.9999
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	0.9985	limonene	0.9992
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	0.999	Methane, bromodichloro-	0.9999
Benzene, 1,3,5-trimethyl-	0.9992	Methane, tribromo-	0.9995
Benzene, chloro-	0.9994	Methylene Chloride	0.9844
Benzene, hexafluoro	0.9999	Methyl Isobutyl Ketone	0.9998
Carbon disulfide	0.9778	m/p-Xylene	0.9994
Carbon Tetrachloride	0.996	o-Xylene	0.9996
Chloroform	0.9999	Propane, 1,2-dichloro-	0.9999
Cyclohexane	0.9914	Propane, 2-methoxy-2-methyl-	0.9846
Cyclopentane	0.9954	Styrene	0.9989
Ethane, 1,1,1-trichloro-	0.9937	Tetrachloroethylene	0.9998
Ethane, 1,1-dichloro-	0.9998	Toluene	0.9998
Ethane, 1,2-dibromo-	0.9994	Trichloroethylene	0.9999
Ethane, 1,2-dichloro-	0.9998	Trichloromonofluoromethane	0.9885
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-	0.9955		

4.1.3 ค่า Limit of detection (LOD)

ค่า Limit of detection (LOD) เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นต่ำที่สุดที่เครื่อง GC/MS จะสามารถวิเคราะห์สารวีไอซีมาตรฐานได้ ค่า LOD ของสารวีไอซีทั้ง 55 ชนิด ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.066 – 0.71 นก./ลบ.ม. ตามลำดับ

Olasandan และคณะ (1999) ทำการศึกษาหาขีดความสามารถของเครื่อง GC/FID ของ โดยวิเคราะห์สารวีไอซีประเภท organhalogen 18 ชนิด พบว่าสามารถวิเคราะห์ค่า LOD ได้ถึงระดับ พค.ก. และจากการศึกษาของ Schneier และคณะ (2001) วิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX ได้ค่า LOD อยู่ในช่วง 0.34 – 13.533 มค.ก. และจากการศึกษาของ Edwards และคณะ (2001) ทำการศึกษาสารวีไอซีประเภท แอลกอฮอล์ แอลคานอล แอลเคน อะโรมาติกส์ เอสเทอร์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.69 – 4.13 มค.ก. ซึ่งจากการคำนวณ LOD ของสารทั้ง 55 ชนิด จากตารางที่ 4.3 นั้น พบว่าผลจากการหาค่า LOD ที่ได้ดีกว่าการศึกษาอื่นๆ ที่นำมาเปรียบเทียบ ยกเว้นการศึกษาของ Olasandan ที่ได้ผลการศึกษา ดีกว่าการศึกษานี้

4.2 ชนิดและปริมาณของสารวีไอซีภายในและภายนอกอาคาร

จากการเก็บตัวอย่างสารวีไอซีภายในอาคารและภายนอกอาคารบริเวณพื้นที่ธุรกิจ ในกรุงเทพมหานครจำนวน 17 ตึก ด้วยวิธี Active Sampling ในช่วงเดือน กันยายน – ตุลาคม 2552 โดยแต่ละตัวอย่างใช้เวลาในการเก็บ 4 ชั่วโมง (ตั้งแต่เวลา 10:00 – 12:00 น. และ 13:00 – 15:00 น.) ด้วยอัตราการดูดอากาศ 0.04 ลิตร/นาที จะได้ปริมาตรอากาศจำนวน 9.6 ลิตร ซึ่งผลการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารวีไอซีได้ผลดังนี้

4.2.1 ชนิดของสารวีไอซีภายในอาคารและภายนอกอาคาร

จากการเก็บตัวอย่างสารวีไอซีภายในและภายนอกอาคารบริเวณพื้นที่ธุรกิจจำนวน 17 ตึก ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างสารวีไอซีจำนวน 13 ชนิด โดยสารวีไอซีหลักที่พบทุกอาคารที่ทำการศึกษา จำนวน 7 ชนิด และ 6 ชนิด ภายในอาคารและภายนอกอาคารตามลำดับ ได้แก่ เฮกเซน เบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน โอ-ไซลีน และ สไตรีน ส่วนชนิดของสารวีไอซีหลักที่ไม่พบภายนอกอาคารได้แก่ โอ-ไซลีน ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่า Limit of detection (LOD)

ชื่อสารไวไอซี	LOD(ng/m ³)	ชื่อสารไวไอซี	LOD(ng/m ³)
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-	6.194	Toluene-D8	0.250
Trichloromonofluoromethane	0.272	Toluene	11.129
1,3-Butadiene, 2-methyl-	0.280	1-Propene, 1,3-dichloro-, (E)-	0.492
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro- (F113)	2.271	Ethane, 1,1,2-trichloro-	13.533
Carbon disulfide	5.085	3-Hexanone	10.463
Methylene Chloride	0.163	2-Hexanone	1.123
Cyclopentane	0.318	Tetrachloroethylene	5.377
Propane, 2-methoxy-2-methyl-	0.167	Chlorobenzene-d5	0.685
Hexane	0.066	Benzene, chloro-	0.882
Ethane, 1,1-dichloro-	0.179	Ethylbenzene	1.823
Chloroform	0.403	m/p-Xylene	0.854
Ethane, 1,1,1-trichloro-	0.621	o-Xylene	0.872
Cyclohexane	0.555	Styrene	2.495
Carbon Tetrachloride	0.308	Bromofluorobenzene	1.543
1,2-Dichloroethane	0.207	Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-	0.489
1,4-difluoroBenzene	0.274	Benzene, 1,3,5-trimethyl-	0.110
Trichloroethylene	0.475	Benzene, 1,2,4-trimethyl-	0.484
Propane, 1,2-dichloro-	0.226	Benzene, 1,3-dichloro-	0.218
1,4-Dioxane	1.414	Benzene, 1,4-dichloro-	0.119
Methane, bromodichloro-	1.623	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	0.316

จากตารางที่ 4.4 ชนิดของสารไวไอซีภายในอาคารพบมากกว่าภายนอกอาคาร เนื่องจากอาคารมีลักษณะปิดทึบเพื่อประหยัดพลังงาน มีการนำอากาศภายนอกเข้าสู่ตัวอาคารน้อย ประกอบอาคารร้อยละ 94 มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 0.67 ชม.⁻¹ (พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ.2522) ทำให้สารไวไอซีที่เกิดขึ้นภายในอาคารไม่สามารถเจือจางได้ รวมไปถึงการปนเปื้อนของสารไวไอซีภายในอาคารซึ่งเกิดจากผลิตภัณฑ์และกิจกรรมที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.4 ชนิดของสารไวโซซีที่พบภายในสำนักงานและภายนอกอาคาร ในกรุงเทพมหานคร

ตึก	ลักษณะตัวอย่าง	เยกเซน	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	เอ็กซ์โท-ไซลีน	โอ-ไซลีน	สไตรีน	ไตรคลอโรเอทิลีน	ไดคลอโรเอทิลีน	ไดเมทิล	คลอโรฟอร์ม	1,2 ไดคลอโรเทน	1,2 ไดคลอโรโพเทน
1	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	-
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	/	-	/	-	-	-
2	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	-	-
3	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	/
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	-	/	/	-	-	-
4	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	-	/	/	-	-	-
5	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	-	-
6	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	-
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	/	-
7	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	-	/	-	-	-	-
8	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	-	-	/
9	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	-	-	-
10	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	-
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	/	-	/	-	-	-
11	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	-
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	-	-	/	-	-	-
12	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	/	-
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	-	-	/	-	-	-
13	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	-	/	-	-	-
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	-
14	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	-	/	-	-	-
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	/	-	/	-	-	-
15	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	ภายนอก	/	/	/	/	/	-	/	-	-	/	/	/	/
16	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	/
	ภายนอก	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-	/	/
17	ภายใน	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	ภายนอก	/	/	/	/	/	-	/	-	/	/	-	-	-

ได้แก่ การตกแต่งสำนักงานใหม่ (การทาสี การทำฝ้าเพดาน การเปลี่ยนพื้น) การทำความสะอาด การถ่าย/พิมพ์เอกสาร Ohura และคณะ (2009) พบว่าอาคารสำนักงานที่ทำการศึกษานั้น ตรวจพบสารโทลูอินปริมาณสูง เนื่องจากสารโทลูอินเป็นสารที่ผสมอยู่ในสีทาผนัง ตัวทำละลาย กาว น้ำยาขัดพื้น หมึกพิมพ์ ปากกาสีและปากกาเน้นข้อความ ไม้อัดพาร์ติเคิล เฟอร์นิเจอร์ไม้และพื้นไวนิล เป็นต้น (ATSDR, 1994) รองลงมาคือ สารไลโมเนน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำยาทำความสะอาดต่างๆ น้ำหอม เป็นต้น (Brown และคณะ, 2002) และสารที่ตรวจพบปริมาณต่ำ ได้แก่ สารคลอโรฟอร์ม 1,2 ไดคลอโรอีเทน 1,2 ไดคลอโรโพรเพน และ ไตรคลอโรเอทิลีน เนื่องจากสารเหล่านี้เป็นส่วนประกอบในน้ำยาซักแห้ง น้ำยาทำความสะอาดคราบไขมัน ยาฆ่าแมลง น้ำยาหล่อลื่น มีการใช้ปริมาณน้อยหรือไม่มีการใช้ภายในอาคารสำนักงาน

จากการศึกษาสารวีไอซีในอาคารสำนักงานในต่างประเทศ ของ Daisey และคณะ (1994) ศึกษาสารวีไอซีในอาคารสำนักงานในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกาจำนวน 12 ตึก พบสารวีไอซีจำนวน 39 ชนิด งานวิจัยของ Baek และคณะ (1997) ทำการศึกษาสารวีไอซีในอาคารในประเทศเกาหลี พบสารวีไอซีจำนวน 8 ชนิด งานวิจัยของ Pekey และ Arslaubas (2007) ทำการศึกษาอาคารสำนักงานในประเทศตุรกี พบสารวีไอซีจำนวน 15 ชนิด ซึ่งจากงานวิจัยที่กล่าวมา พบว่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจำนวน 6 ชนิด ที่พบในทุกงานวิจัยได้แก่ เบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน โอ-ไซลีน และสไตรีน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษา

การศึกษาในประเทศไทยนั้นเป็นการศึกษาบริเวณที่พักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ของ สาวิตรี พูลมา (2548) พบสารวีไอซีจำนวน 8 ชนิด ได้แก่ เบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน โอ-ไซลีน 3-เอทิลโทลูอิน และ 4-เอทิลโทลูอิน เกิดจากรถยนต์เป็นหลัก เนื่องจากที่อยู่อาศัยอยู่ริมถนนและเป็นพื้นที่แบบเปิดโล่ง พบเพียงแค่สาร 1,2 ไดคลอโรเบนซิน ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดภายในอาคาร ได้แก่ ลูกเหม็น จากงานวิจัยที่กล่าวมามีเพียงสารกลุ่มบีเท็กซ์ (BTEX) ที่พบในทุกพื้นที่ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้

ชนิดของสารวีไอซีที่พบบริเวณภายนอกอาคารทุกอาคารที่ทำการศึกษา พบสารวีไอซีจำนวน 6 ชนิดหลัก ได้แก่ เฮกเซน เบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน และ สไตรีน โดยพบว่า สารโทลูอินมีปริมาณสูงที่สุดเกือบทุกตึก เนื่องจากโทลูอิน เป็นสารประกอบในน้ำมันที่เกิดจากการเผาไหม้รถออกมาจากรถยนต์ (วรรณภา เลาวกุล และคณะ, 2545) ยกเว้น ตึกที่ 11 ที่มีปริมาณของสารไลโมเนนสูงกว่าสารโทลูอินเนื่องจาก บริเวณที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่างอยู่ห่างปล่องระบายอากาศ (ประมาณ 10 ม.) ของอาคาร ซึ่งจากการสังเกตพบว่ามีกลิ่นของน้ำยาทำความสะอาด

สะอาดปนออกมาด้วย สารวีไอซีที่ตรวจพบในปริมาณต่ำ ได้แก่ 1,2 ไดคลอโรโร 1,2 ไดคลอโรโพรเพน ไตรคลอโรเอทิลีน และคลอโรฟอร์ม เนื่องจากสารเหล่านี้เป็นสารประกอบในน้ำยาซักแห้ง น้ำยาทำความสะอาดคราบไขมัน ยาฆ่าแมลง น้ำยาหล่อลื่น และไม่มีกิจกรรมที่ใช้สารเหล่านี้ บริเวณใกล้เคียงกับจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ ทำให้พบสารวีไอซีเหล่านี้ในปริมาณต่ำ

วรรณภา เลาวกุล และคณะ (2551) ทำการศึกษาสารวีไอซีในบรรยากาศในกรุงเทพมหานคร บริเวณริมถนน บริเวณแหล่งชุมชน และบริเวณทั่วไป จำนวน 11 จุด โดยทำการตรวจวัดสารเบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน โอ-ไซลีน สไตรีน 1,3,5 ไตรเมทิลเบนซิน พบว่าบริเวณริมถนน มีค่าความเข้มข้นของสารโทลูอิน เบนซิน และ 1,2,4-ไตรเมทิลเบนซิน มีค่าสูงกว่าบริเวณชุมชนและพื้นที่ทั่วไป ซึ่งสารดังกล่าวมีแหล่งกำเนิดจากยานพาหนะ เป็นหลัก สารวีไอซี พูลมา (2548) ทำการศึกษาการสัมผัสสารวีไอซีบริเวณที่พักอาศัยในกรุงเทพมหานคร พบสาร วีไอซี 8 ชนิด ได้แก่ เบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน เอ็ม-ไซลีน พี-ไซลีน โอ-ไซลีน 3-เอทิลโทลูอิน และ 4-เอทิลโทลูอิน เกิดจากรถยนต์เป็นหลัก พบว่าสารวีไอซีกลุ่ม BTEX พบทุกอาคารในการศึกษา

4.2.2 ปริมาณสารวีไอซีภายในสำนักงานและภายนอกอาคาร

ถึงแม้ว่าสารวีไอซีบางชนิดถูกจัดอยู่ในสารกลุ่มเสี่ยงที่ทำให้เกิดมะเร็งและสารวีไอซีบางชนิดเกิดขึ้นใหม่จากปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่นๆ ภายในอากาศ (Baek และคณะ 1997) การวิเคราะห์หาสารวีไอซีในอาคารสำนักงานยังไม่มีในประเทศไทย มีเพียงการวิเคราะห์หาสารวีไอซีซึ่งถ่ายภายในที่พักอาศัย (สารวีไอซี พูลมา, 2548) และการหาสารประกอบในพื้นที่สาธารณะ (Klinmalee, 2009) และยังไม่มีความมาตรฐานตัวชี้วัดเกี่ยวกับสารวีไอซีภายในอาคารสำนักงาน มีเพียงค่ามาตรฐานของสารวีไอซีในสถานประกอบการ และมาตรฐานสารวีไอซีในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของสารวีไอซีภายในอาคาร ด้วยมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศญี่ปุ่น และเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของสารวีไอซีภายนอกอาคารด้วยมาตรฐานสารวีไอซีในบรรยากาศโดยทั่วไปในระยะเวลา 1 ปีของประเทศ ไทย ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารวีไอซีภายในสำนักงานและภายนอกอาคารแสดงดังตารางที่ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไวรัสภายในสำนักงานและภายนอกอาคาร

สารประกอบ	จุดเก็บ	ความเข้มข้น (มค.ก./ลบ.ม.)					
		ค่าเฉลี่ย	SD	สูงสุด	ตึกที่ ¹	ต่ำสุด	ตึกที่ ²
เฮกเซน	ในอาคาร	7.46	5.17	23.15	5	2.03	12
	นอกอาคาร	1.47	1.26	5.28	6	0.32	1
คลอโรฟอร์ม	ในอาคาร	1.25	1.19	4.32	1	0.12	14
	นอกอาคาร	0.05	0.08	0.14	14	0.00	
1,2 ไดคลอโรอีเทน	ในอาคาร	0.26	0.26	0.80	15	0.01	12
	นอกอาคาร	0.15	0.14	0.28	16	0.08	15
เบนซีน	ในอาคาร	8.08	6.49	29.28	5	1.12	1
	นอกอาคาร	2.98	4.08	18.18	6	0.53	1
ไตรคลอโรเอทิลีน	ในอาคาร	0.59	0.62	2.25	7	0.09	2
	นอกอาคาร	0.20	0.15	0.46	13	0.03	4
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	ในอาคาร	0.18	0.12	0.41	15	0.05	3
	นอกอาคาร	0.11	0.11	0.24	16	0.04	8
โทลูอิน	ในอาคาร	110.19	55.66	230.16	7	35.33	1
	นอกอาคาร	43.61	24.26	111.39	6	15.43	12
เตตระคลอโรเอทิลีน	ในอาคาร	1.05	0.60	2.14	8	0.03	2
	นอกอาคาร	0.75	0.49	1.73	16	0.12	12
เอทิลเบนซีน	ในอาคาร	12.09	6.67	26.56	7	3.88	2
	นอกอาคาร	5.49	3.35	13.53	2	1.62	12
เอ็ม/พี-ไซลีน	ในอาคาร	12.20	6.79	27.88	5	3.96	2
	นอกอาคาร	5.32	3.82	13.70	10	1.39	12
โอ-ไซลีน	ในอาคาร	9.63	5.73	24.41	5	2.52	2
	นอกอาคาร	4.32	2.93	10.55	10	1.20	15
สไตรีน	ในอาคาร	3.22	1.34	5.10	9	0.82	12
	นอกอาคาร	1.00	0.61	2.01	8	0.26	12
ไลโมนีน	ในอาคาร	73.53	77.58	241.15	12	6.57	16
	นอกอาคาร	10.88	13.25	44.98	11	0.88	5

หมายเหตุ : ¹ = ตึกที่พบค่าความเข้มข้นของสารไวรัสสูงสุด

² = ตึกที่พบค่าความเข้มข้นของสารไวรัสต่ำสุด

จากตารางที่ 4.5 พบว่า สารวิโอซีที่พบในอาคารที่ทำการศึกษามีปริมาณสูงสุดคือ โลหะนิกเกิล รองลงมาคือ โทลูอิน เบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน เอทิลเบนซิน โอ-ไซลีน เฮกเซน สไตรีน คลอโรฟอร์ม ไตรคลอโรเอทิลีน เตตระคลอโรเอทิลีน 1,2 ไดคลอโรอีเทน และ 1,2 ไดคลอโรโพรเพน ตามลำดับ อาคารที่มีปริมาณของสารโลหะนิกเกิลสูงสุดได้แก่ ตึกที่ 12 ตึกที่ 14 และ ตึกที่ 11 ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 24 ของอาคารที่ทำการศึกษา แนวโน้มของสารโลหะนิกเกิลมีความเข้มข้นสูงกว่าตึกอื่นมาจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ได้แก่ การใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด การใช้สารให้ความหอมแก่บรรยากาศจากพนักงานทำความสะอาด การใช้เจลทำความสะอาดมือของพนักงาน (Wainman และคณะ, 2000) สารโทลูอินเป็นสารที่พบในปริมาณรองลงมา อาคารที่พบปริมาณสารโทลูอินสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 76 ของอาคารที่ทำการศึกษา เมื่อพิจารณาจากแบบสอบถามที่ทำการบันทึกกิจกรรมภายในสำนักงานพบว่าปริมาณสารโทลูอินที่สูงภายในสำนักงานเนื่องจาก วัสดุในการตกแต่งและกิจกรรมที่เกิดขึ้น ได้แก่ การตกแต่งอาคารภายในปีที่ผ่านมา การทาสีใหม่ การขัดพื้น เฟอร์นิเจอร์ พื้นไวนิล การถ่ายเอกสาร/พิมพ์เอกสาร การใช้ปากกาสี การใช้ปากกาเน้นข้อความ เป็นต้น

4.2.2.1 ปริมาณสารวิโอซีภายในสำนักงาน

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ภายในสำนักงานที่ 5 มีปริมาณของสารวิโอซีที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด โดยพบสารวิโอซี 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน เบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน และโอ-ไซลีน ตามลำดับ ปัจจัยที่ทำให้สำนักงานที่ 5 นั้นมีค่าความเข้มข้นของสารวิโอซีที่มีค่าสูงสุด เมื่อพิจารณาจากแบบสอบถาม (ดังภาคผนวก ค) พบว่ากิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคารนั้นส่งเสริมให้ตรวจพบสารวิโอซีดังกล่าวปริมาณสูง ได้แก่ การขัดเงาพื้นยางก่อนเข้าไปทำการเก็บตัวอย่างในช่วงวันหยุด (ประมาณ 1 อาทิตย์) สารเฮกเซนเป็นส่วนผสมในกลุ่มของตัวทำละลายสำหรับกาวน้ำยาขัดเงา เป็นต้น (ATSDR, 1994) การจัดวางห้องถ่ายเอกสารไว้ในพื้นที่ทำงาน บริเวณ 2 จุด และมีการเปิดประตูห้องถ่ายเอกสารทิ้งไว้ ส่งผลให้สารวิโอซีที่เกิดจากการถ่ายเอกสารได้แก่ เบนซิน และสารกลุ่มไซลีน หลุดออกมาภายในสำนักงาน รองลงมาคือ สำนักงานที่ 7 ตรวจพบสารวิโอซีจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ไตรคลอโรเอทิลีน โทลูอิน และเอทิลเบนซิน เนื่องจากสำนักงานเพิ่งมีการตกแต่งภายในปีที่ผ่านมา ได้แก่ การทาสี ปูพรมใหม่ รวมไปถึงเฟอร์นิเจอร์ใหม่ และมีการวางเครื่องถ่ายเอกสารไว้ในบริเวณพื้นที่ทำงาน ส่งผลให้ตรวจพบสารโทลูอิน ไตรคลอโรเอทิลีน และ เอทิลเบนซิน สูงกว่าตึกอื่นๆ เนื่องจากสารเหล่านี้ผสมอยู่ในกลุ่มสารตัวทำละลายที่ใช้ผสมสีในการทาสี สีที่ใช้ทาเฟอร์นิเจอร์ (ATSDR, 1994)

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารวีไอซีที่พบปริมาณสูงสุดใน 17 ดึก ทั้งภายในสำนักงาน และภายนอกอาคาร

สารวีไอซี \ ดึก	ภายในสำนักงาน							ภายนอกอาคาร						
	1	5	7	8	9	12	15	2	6	8	10	11	15	16
เฮกเซน		/							/					
คลอโรฟอร์ม	/												/	
1,2 ไดคลอโรอีเทน							/							/
เบนซีน		/							/					
ไตรคลอโรเอทิลีน			/											/
1,2 ไดคลอโรโพเรน							/							/
โทลูอิน			/						/					
เตตระคลอโรเอทิลีน				/										/
เอทิลเบนซีน			/					/						
เอ็มพี-ไซลีน		/									/			
โอ-ไซลีน		/									/			
สไตรีน					/					/				
ไลโมนีน						/						/		

4.2.2.2 ปริมาณสารวีไอซีภายนอกอาคาร

การเก็บตัวอย่างสารวีไอซีภายนอกอาคารนั้นทำการเก็บตัวอย่างภายในชั้นเดียวกันกับชั้นที่ทำการเก็บตัวอย่างภายในอาคารหรือชั้นใกล้เคียงกับชั้นที่เก็บตัวอย่างภายในอาคารมีเพียงตึกที่ 6 ที่ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณชั้น 1 ปริมาณของสารวีไอซีที่พบมากที่สุดบริเวณนอกอาคาร ได้แก่ สารโทลูอิน รองลงมาคือ โลโมเนน เบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน เอทิลเบนซิน โอ-ไซลีน เฮกเซน สไตรีน เตตระคลอโรเอทิลีน ไตรคลอโรเอทิลีน 1,2 ไดคลอโรอีเทน 1,2 ไดคลอโรโพรเพน และ คลอโรฟอร์ม ตามลำดับ สาเหตุที่ส่งผลให้โทลูอินมีปริมาณสูงกว่าสารอื่นๆ เนื่องจากตึกที่ทำการเก็บตัวอย่างอยู่บริเวณถนนเส้นหลักที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน สารโทลูอินเป็นสารที่ผสมในเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เป็นหลัก (วรรณฯ เลาวกุล และคณะ, 2545) ส่งผลให้ตรวจพบสารโทลูอินปริมาณสูง

จากตารางที่ 4.6 พบว่าบริเวณตึกที่ 16 ตรวจพบสารวีไอซีที่มีความเข้มข้นสูงสุดมากที่สุดจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ 1,2 ไดคลอโรอีเทน ไตรคลอโรเอทิลีน 1,2 ไดคลอโรโพรเพน และ เตตระคลอโรเอทิลีน เมื่อดูจากบริเวณที่ตั้งแล้วบริเวณรอบอาคารมีการจราจรหนาแน่น และมีการก่อสร้าง ทำให้ตรวจพบสารดังกล่าวซึ่งมีส่วนประกอบเป็นตัวทำละลายที่ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ รวมไปถึงเป็นส่วนผสมในน้ำมันรถ (ATSDR,1999) รองลงมาคือตึกที่ 6 พบสารวีไอซี 3 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน โทลูอิน และ เบนซิน เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างของตึกนี้อยู่บริเวณชั้น 1 ทำให้ตรวจพบปริมาณที่สูงกว่าตึกอื่นๆ เนื่องจากสารเหล่านี้เป็นส่วนประกอบในน้ำมันรถ และสีต่างๆ (วรรณฯ เลาวกุล และคณะ, 2551)

จากการเปรียบเทียบปริมาณของสารวีไอซีภายในสำนักงานและภายนอกอาคาร จะเห็นได้ว่าปริมาณของสารวีไอซีภายในสำนักงานจะมีค่าสูงกว่าภายนอกอาคาร เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดภายในอาคาร ประกอบกับลักษณะอาคารที่ปิดทึบ มีการนำอากาศเข้ามาภายในตัวอาคารน้อย และอาคารส่วนใหญ่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ต่ำทำให้การเจือจางของมลสารภายในอาคารเกิดขึ้นได้น้อย ซึ่งต่างกับภายนอกอาคารที่มีลักษณะโปร่งโล่ง มีลมพัดทำให้มลสารมีการเจือจางมากกว่าจึงตรวจพบว่าปริมาณต่ำกว่าภายในอาคาร

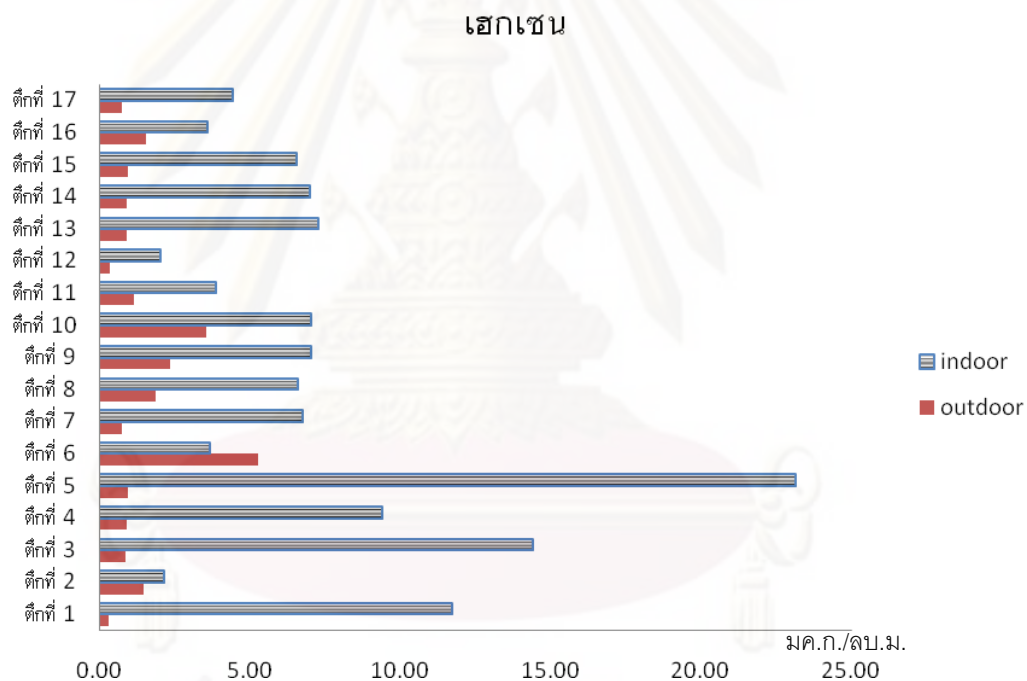
4.2.3 การเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารวีไอซีแต่ละชนิดภายในสำนักงานและภายนอกอาคารที่ทำการศึกษา

จากการเก็บตัวอย่างสารวีไอซีภายในและภายนอกอาคารสำนักงานทั้ง 17 ตึก บริเวณพื้นที่ธุรกิจในกรุงเทพมหานคร ได้นำผลปริมาณสารวีไอซีแต่ละชนิดได้แก่ เฮกเซน

คลอโรฟอร์ม 1,2 ไดคลอโรอีเทน เบนซิน ไตรคลอโรเอทิลีน 1,2 ไดคลอโรโพรเพน โทลูอิน เดตระคลอโรเอทิลีน เอทิลเบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน โอ-ไซลีน สไตรีน และไลโมนีน ของทุกอาคารที่ทำการศึกษามาเปรียบเทียบกัน ดังภาพที่ 4.2 – 4.14 โดยแสดงผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.2.3.1 เฮกเซน

จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเฮกเซนภายในอาคารสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 7.46 มค.ก./ลบ.ม. สำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ สำนักงานที่ 5 มีค่า 23.15 มค.ก./ลบ.ม. และสำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือสำนักงานที่ 12 มีค่า 2.03 มค.ก./ลบ.ม.



ภาพที่ 4.2 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเฮกเซนภายในสำนักงานและภายนอกอาคาร 17 ตึก
ในเขตกรุงเทพมหานคร

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเฮกเซนภายนอกอาคารมีค่า 1.74 มค.ก./ลบ.ม. โดยตึกที่ 6 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 5.28 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่ 1 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.32 มค.ก./ลบ.ม. จากภาพที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้นของสารเฮกเซนภายในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคารเกือบทั้งหมด ยกเว้นตึกที่ 6 ที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายนอก

อาคารสูงกว่าภายในอาคาร เนื่องจากตึกที่ 6 อยู่บริเวณถนนสีลมที่มีการจราจรคับคั่ง จุดเก็บอากาศด้านนอกอาคารอยู่บริเวณชั้น 1 ใกล้กับลานจอดรถและห้องซ่อมบำรุงที่มีการปฏิบัติงานในเวลานั้นทำให้ตรวจพบสารเฮกเซนสูงกว่าตึกอื่นๆ เนื่องจากเฮกเซนเป็นสารที่ประกอบอยู่ในวัสดุประสาน น้ำมันหล่อลื่นต่างๆ (Sack และคณะ, 1992) ปริมาณของเฮกเซนที่ตรวจพบภายในอาคารนั้นมีสาเหตุมาจากการใช้วัสดุประสานต่างๆ สีทาผนัง น้ำยาทำความสะอาด/ขัดเงา ซึ่งพบว่าในสำนักงานที่ 5 ที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเฮกเซนภายในอาคารสูงสุด เนื่องจากทางสำนักงานได้ มีการขัดเงาพื้นโวลนิกก่อนเข้าไปทำการเก็บตัวอย่างประมาณ 1 อาทิตย์ ทำให้ตรวจพบสารเฮกเซนสูงสุด

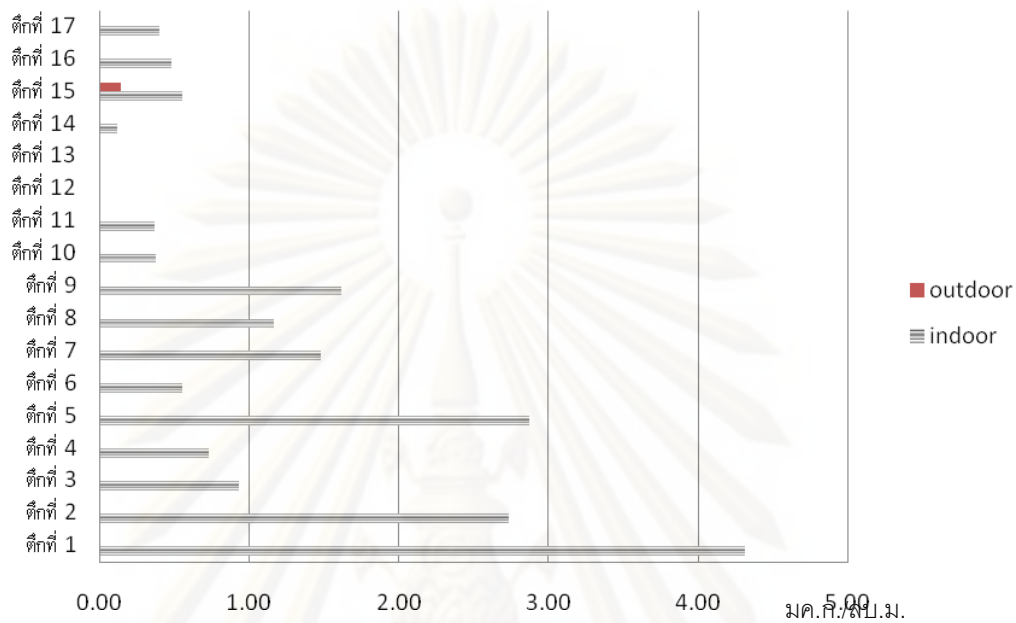
4.2.3.2 คลอโรฟอร์ม

จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของคลอโรฟอร์มภายในสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.25 มค.ก./ลบ.ม. สำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ สำนักงานที่ 1 มีค่า 4.32 มค.ก./ลบ.ม. และสำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือตึกที่ 14 มีค่า 0.12 มค.ก./ลบ.ม. โดยสำนักงานที่ 12 และ 13 ไม่สามารถหาค่าได้

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของคลอโรฟอร์มภายนอกอาคารร้อยละ 94 ไม่สามารถหาค่าได้ (Not Detected) โดยพบค่าความเข้มข้นของสารคลอโรฟอร์มเพียงตึกเดียวได้แก่ ตึกที่ 15 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 0.14 มค.ก./ลบ.ม. เนื่องจากสารคลอโรฟอร์มประกอบอยู่ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดบางชนิดที่มีส่วนผสมของคลอรีน จุดเก็บตัวอย่างภายนอกอาคารส่วนใหญ่ไม่มีแหล่งกำเนิดสารคลอโรฟอร์มบริเวณจุดเก็บตัวอย่างเป็นเพราะว่าคลอโรฟอร์มตรวจพบในปริมาณที่ต่ำ ประกอบเกิดการเจือจางด้วยลมที่พัดอยู่ตลอดเวลา ยกเว้นตึกที่ 15 ที่ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณระเบียงชั้น 14 ซึ่งในช่วงเวลา 14.00 -15.00 น. มีการล้างพื้นบริเวณชั้น 8 (ลานจอดรถ) ส่งผลให้ตรวจพบสารคลอโรฟอร์มบริเวณตึกที่ 15 ซึ่งลอยขึ้นมาสู่จุดเก็บตัวอย่างอากาศได้

จากภาพที่ 4.3 พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารคลอโรฟอร์มนั้นเกิดจากภายในอาคารเป็นหลักและมีปริมาณต่ำเนื่องจากสารคลอโรฟอร์มประกอบอยู่ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่มีส่วนผสมของคลอรีน เมื่อพิจารณาจากแบบสอบถาม (ภาคผนวก ค) พบว่า ตึกที่ 5 มีการทำความสะอาดขณะทำการเก็บตัวอย่างอากาศ ส่งผลให้ตรวจพบสารคลอโรฟอร์มสูงกว่าตึกอื่นๆ Sheldon และคณะ (1992) ทำการศึกษาการรับสัมผัสสารคลอโรฟอร์มในรัฐแคลิฟอร์เนีย

คลอโรฟอร์ม



ภาพที่ 4.3 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของคลอโรฟอร์มภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก
ในเขตกรุงเทพมหานคร

พบว่า ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มภายในอาคารที่เปอร์เซ็นต์ไอน้ำที่ 90 มีค่าความเข้มข้น 2.7 มค.ก./ลบ.ม. Wallace และคณะ (1989) พบว่าการใช้น้ำร้อนกับผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของคลอโรฟอร์มภายในบ้านเรือนส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของสารคลอโรฟอร์มมีค่าความเข้มข้นสูงขึ้นไปถึง 31 มค.ก./ลบ.ม. Pellizzari และคณะ (1987) ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารคลอโรฟอร์มในรัฐแคลิฟอร์เนียในช่วงปี 1984 และ 1987 พบว่าค่ากลางของสารคลอโรฟอร์มภายนอกอาคารมีค่าอยู่ในช่วง 0.03 – 0.65 มค.ก./ลบ.ม. และภายในสำนักงานมีค่าอยู่ในช่วง 0.56 – 1.11 มค.ก./ลบ.ม. และค่าที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่า 0.03 – 1.50 มค.ก./ลบ.ม. เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ทำงานศึกษาพบว่า สารคลอโรฟอร์มที่พบภายในสำนักงานที่ทำการศึกษาและงานวิจัยที่ผ่านมา มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยใกล้เคียงกัน

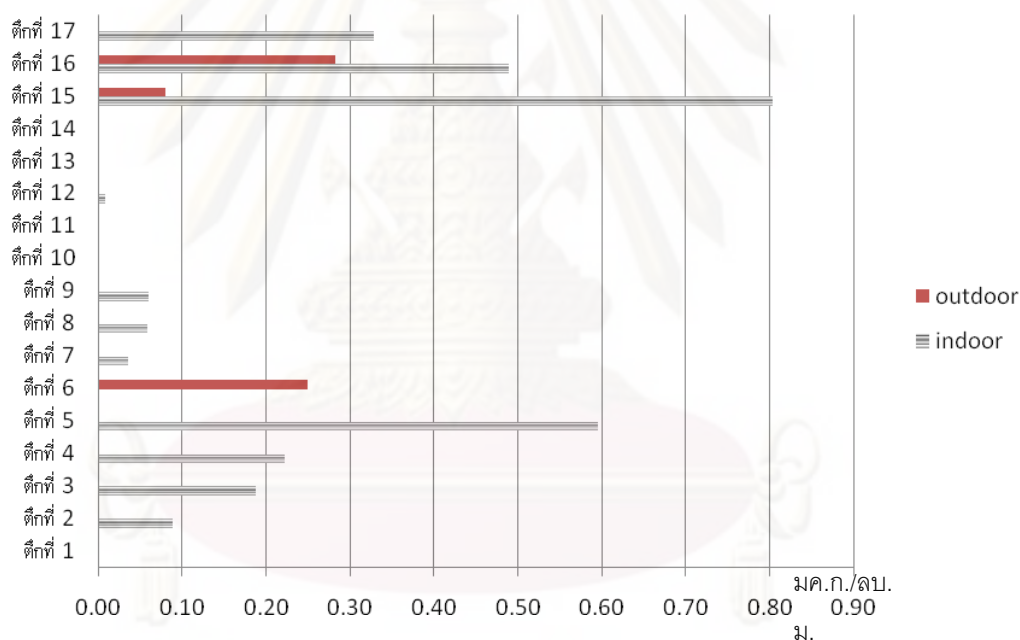
4.2.3.3 1,2 ไดคลอโรอีเทน

จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ 1,2 ไดคลอโรอีเทน ภายในสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.26 มค.ก./

ลบ.ม. สำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ สำนักงานที่ 15 มีค่า 0.80 มค.ก./ลบ.ม. และสำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือสำนักงานที่ 12 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.01 มค.ก./ลบ.ม.

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ 1,2 ไดคลอโรอีเทน ภายนอกอาคารมีค่า 0.15 มค.ก./ลบ.ม. โดยตึกที่ 16 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.28 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่ 15 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.08 มค.ก./ลบ.ม. ตรวจพบสาร 1,2 ไดคลอโรอีเทน ภายนอกอาคารเพียง 3 ตึก ได้แก่ ตึกที่ 16 ตึกที่ 6 และ ตึกที่ 15 ส่วนตึกที่เหลือไม่สามารถหาค่าได้

1,2 ไดคลอโรอีเทน



ภาพที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ 1,2 ไดคลอโรอีเทนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร

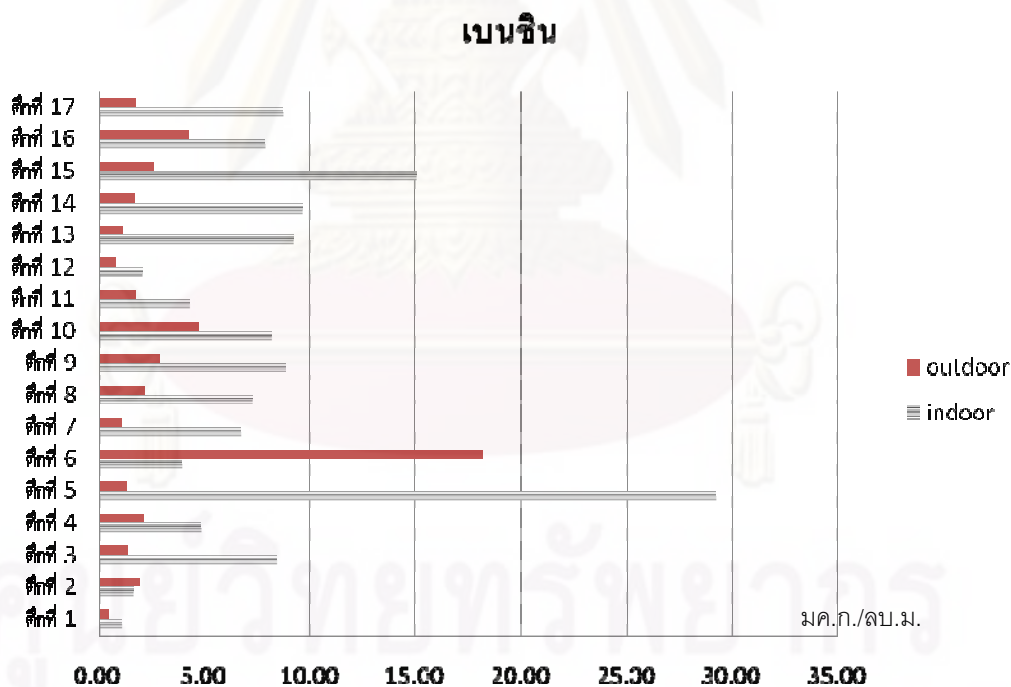
จากภาพที่ 4.4 สาร 1,2 ไดคลอโรอีเทน ตรวจพบภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคารเป็นส่วนใหญ่ แต่พบในปริมาณที่ต่ำซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากพลาสติกและไวโอลิตต่างๆ ยางไวนิลอน เฟอร์นิเจอร์ วัสดุปิดทับผนัง เป็นต้น (ATSDR, 2007) โดยพบว่าสำนักงานที่ 15 มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุด เมื่อพิจารณาจากแบบสอบถามดังกล่าวพบว่า ภายในสำนักงานที่ 15 พื้นห้องเป็นพรมและมีการตกแต่งผนังด้วยวอลเปเปอร์ ส่วนภายนอกอาคารนั้นพบความเข้มข้น

เฉลี่ยของสาร 1,2 ไดคลอโรอีเทน บริเวณตึกที่ 16 และ 6 มีปริมาณสูงกว่าตึกอื่นๆ เนื่องจากทั้ง 2 ตึกทำการเก็บตัวอย่างบริเวณชั้น 1 ห่างจากถนนประมาณ 4- 5 ม. ซึ่งมีการจราจรคับคั่ง เนื่องจากสาร 1,2 ไดคลอโรอีเทนเป็นใช้เติมลงไปในน้ำมันแทนสารตะกั่ว (ATSDR , 2007)

4.2.3.4 เบนซิน

จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซินภายในสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 8.08 มค.ก./ลบ.ม. สำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ สำนักงานที่ 5 มีค่า 29.28 มค.ก./ลบ.ม. และสำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือสำนักงานที่ 1 มีค่า 1.12 มค.ก./ลบ.ม.

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซินภายนอกอาคารมีค่า 2.98 มค.ก./ลบ.ม. โดยตึกที่ 6 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 18.18 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่ 1 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.53 มค.ก./ลบ.ม.



ภาพที่ 4.5 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเบนซินภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก
ในเขตกรุงเทพมหานคร

จากภาพ 4.5 พบว่าสารเบนซินปนเปื้อนในทุกสำนักงานที่ทำการศึกษ โดยเฉพาะสำนักงานที่ 5 มีปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด เนื่องจากเบนซินเป็นส่วนประกอบใน น้ำยาขัดพื้น น้ำหมัก สี พลาสติก ยาง (ATSDR, 2001) ซึ่งสำนักงานที่ 5 ได้มีการขัดเงาพื้นยางไวนิลก่อนที่จะเข้าไปทำการเก็บตัวอย่างประมาณ 1 อาทิตย์ และบริเวณห้องถ่ายเอกสารไม่ได้ปิด ประตูทำให้มีการฟุ้งกระจายของสารเบนซินออกมาบริเวณห้องทำงานได้ ส่วนสารเบนซินที่พบภายนอกอาคารพบว่าบริเวณตึกที่ 6 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเนื่องจากทำการเก็บตัวอย่าง บริเวณชั้น 1 ซึ่งใกล้เคียงกับห้องซ่อมบำรุงและลานจอดรถ ทำให้พบปริมาณสารเบนซินในระดับสูงกว่าบริเวณอื่น เพราะว่าเบนซินเป็นส่วนผสมในน้ำมันรถยนต์และสีต่างๆ

เมื่อนำค่าที่ตรวจวัดได้จากการศึกษานี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยในประเทศพบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่างานวิจัยของ Klinmalee และคณะ (2009) ที่ทำการศึกษารับสัมผัสสารวีไอซีในที่สาธารณะในกรุงเทพมหานคร (3.78 มค.ก./ลบ.ม.) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในต่างประเทศในที่พักอาศัยและอาคารสำนักงานพบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสารเบนซินภายในสำนักงานที่ทำงานศึกษานี้มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำกว่าสำนักงานในประเทศตุรกี สิงคโปร์ และกลุ่มประเทศยุโรป มีค่าเฉลี่ย 9.82, 87.7 และ 14.6 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ (Pekey และ Arslaubas, 2007., Zuraimi และคณะ, 2006.) ส่วนค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายนอกอาคารเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาภายในประเทศพบว่ามีความเข้มข้นต่ำกว่างานวิจัยของ Klinmalee และคณะ (2009) ที่ทำการศึกษาพื้นที่สาธารณะในกรุงเทพ (6.8 มค.ก./ลบ.ม.) และวรรณภา เลาวกุล และคณะ (2551) ที่ทำการศึกษาบริเวณพื้นที่ริมถนนในกรุงเทพ (8.8 มค.ก./ลบ.ม.)

4.2.3.5 ไตรคลอโรเอทิลีน

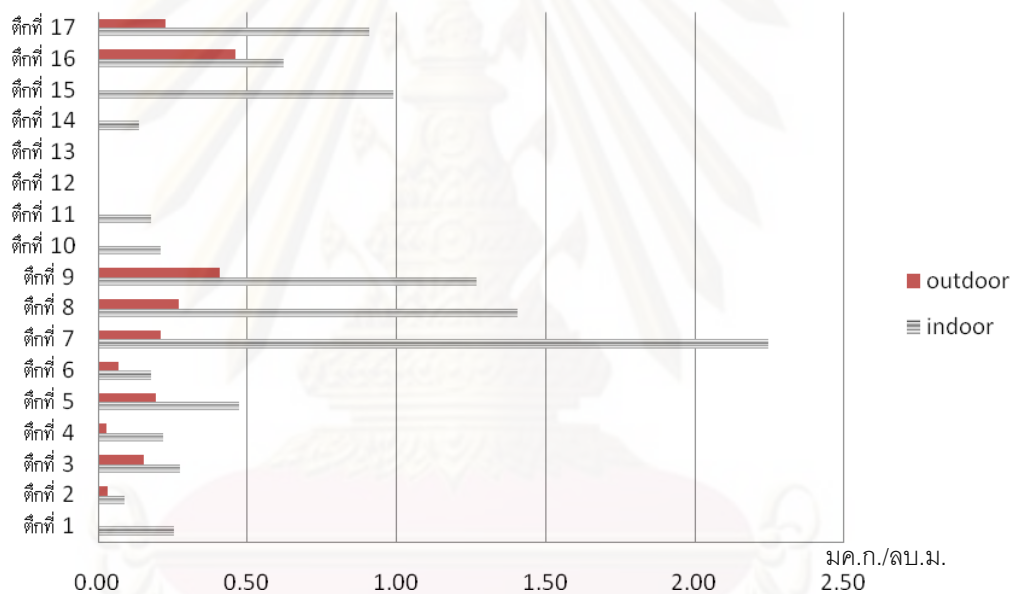
จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ ไตรคลอโรเอทิลีนภายในสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.59 มค.ก./ลบ.ม. สำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ สำนักงานที่ 7 มีค่า 2.25 มค.ก./ลบ.ม. และสำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือสำนักงานที่ 2 มีค่า 0.09 มค.ก./ลบ.ม.

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไตรคลอโรเอทิลีนภายนอกอาคารมีค่า 0.20 มค.ก./ลบ.ม. โดยตึกที่ 13 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.46 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่ 4 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.03 มค.ก./ลบ.ม.

จากภาพที่ 4.6 สามารถตรวจพบสารไตรคลอโรเอทิลีนภายในสำนักงานที่ทำการศึกษาคิดเป็นร้อยละ 88 โดยพบว่าตึกที่ 7 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเนื่องจากสารไตรคลอโร

เอทิลีนเป็นตัวทำละลายใช้คู่กับวัสดุประสาน สีทาผนัง น้ำยาขัดเงา ยาฆ่าแมลง และน้ำยาขัดคราบโลหะ ซึ่งภายในสำนักงานที่ 7 เพิ่งมีการตกแต่งใหม่ในปีที่ผ่านมา (ปี 2551) ได้แก่ทาสีผนังห้อง ปูพรม เพอร์นิเจอร์ ทำให้ตรวจพบสารไตรคลอโรเอทีนสูงกว่าตึกอื่นๆ ส่วนภายนอกอาคารพบสารไตรคลอโรเอทิลีนคิดเป็นร้อยละ 59 ของอาคารที่ศึกษาทั้งหมด โดยมีค่าความเข้มข้นไม่แตกต่างกันมากนัก พบว่าบริเวณตึกที่ 16 มีค่าความเข้มข้นสูงสุด De Bortoli และคณะ 1986 ตรวจพบสารไตรคลอโรเอทิลีนภายในอาคารทางตอนเหนือประเทศอิตาลีมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายในและภายนอก 18 และ 7.5 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่างานวิจัยที่ทำการศึกษานี้

ไตรคลอโรเอทิลีน

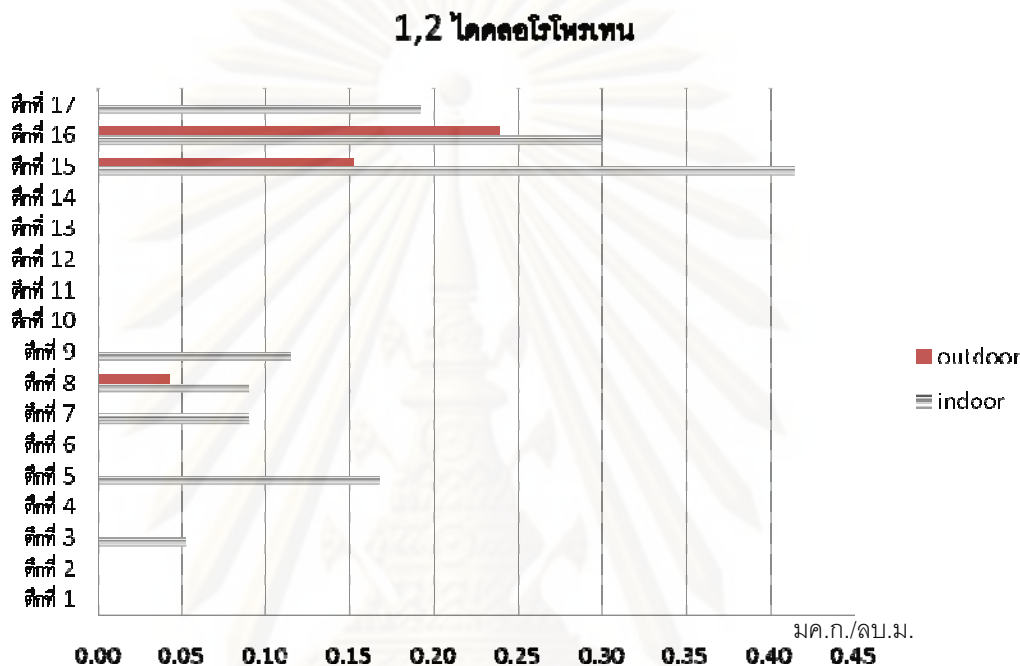


ภาพที่ 4.6 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไตรคลอโรเอทิลีนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก
ในเขตกรุงเทพมหานคร

4.2.3.6 1,2 ไดคลอโรโพรเพน

จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ 1,2 ไดคลอโรโพรเพนภายในสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 มค.ก./ลบ.ม. สำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ สำนักงานที่ 15 มีค่า 0.41 มค.ก./ลบ.ม. และสำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือตึกที่ 3 มีค่า 0.05 มค.ก./ลบ.ม.

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร 1,2 ไดคลอโรโพรเพนภายนอกอาคารมีค่า 0.11 มค.ก./ลบ.ม. โดยตึกที่ 16 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.24 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่ 8 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.04 มค.ก./ลบ.ม.



ภาพที่ 4.7 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ 1,2 ไดคลอโรโพรเพนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก
ในเขตกรุงเทพมหานคร

จากภาพที่ 4.7 สามารถตรวจพบสาร 1,2 ไดคลอโรโพรเพนภายในสำนักงานคิดเป็นร้อยละ 47 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก พบว่าภายในสำนักงานของตึกที่ 15 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด เนื่องจาก 1,2 ไดคลอโรโพรเพนใช้เป็นตัวทำละลายในสีน้ำยาขัดเงาและน้ำยาลอกสีเฟอร์นิเจอร์ (U.S. EPA, 2004) แต่ที่พบสาร 1,2 ไดคลอโรโพรเพนภายในสำนักงานและบริเวณนอกอาคารในปริมาณที่ต่ำหรือไม่พบเลย เนื่องจากไม่มีกิจกรรมที่ใช้สารชนิดนี้ภายในสำนักงาน

4.2.3.7 โทลูอิน

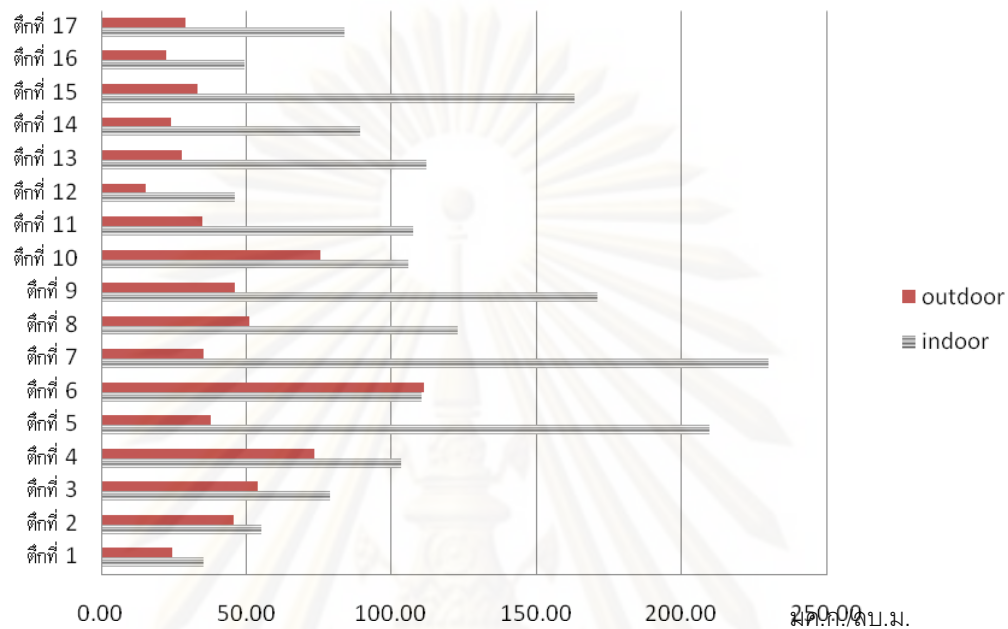
จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารโทลูอินภายในสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 110.19 มค.ก./ลบ.ม.

ตึกที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ ตึกที่ 7 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 230.16 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือตึกที่ 1 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 35.33 มค.ก./ลบ.ม.

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารโกลูอินภายนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 43.61 มค.ก./ลบ.ม. โดยตึกที่ 6 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 111.39 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่ 12 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 15.43 มค.ก./ลบ.ม.

จากภาพที่ 4.8 พบว่าสารโกลูอินปนเปื้อนในทุกสำนักงานที่ทำการศึกษามีช่วงความเข้มข้นที่กว้าง เนื่องจากโกลูอินเป็นส่วนประกอบในวัสดุประสาน น้ำยาขัดเงา น้ำยาขัดพื้น น้ำยาขจัดคราบ สี น้ำหมึก ทินเนอร์ น้ำยาเคลือบผิว ไม้อัดพาร์ติเคิล เครื่องหนัง น้ำยาขัดรองเท้า ปากกาสี ปากกาเน้นข้อความ เพอร์นิเจอร์ในสำนักงาน และพื้นไวนิล เป็นต้น (ATSDR, 1994) เมื่อพิจารณาข้อมูลจากแบบสอบถามพบว่าลักษณะการตกแต่งภายในในสำนักงานส่วนใหญ่ส่งผลให้ระดับโกลูอินมีปริมาณสูง ได้แก่ การทาสีภายในอาคาร พื้นไวนิล การขัดพื้น การตกแต่งด้วยพรม การตกแต่งด้วยไม้อัดพาร์ติเคิล เครื่องถ่ายเอกสาร เพอร์นิเจอร์ต่างๆ เครื่องถ่ายเอกสาร รวมไปถึงอุปกรณ์สำนักงานต่างๆ จึงส่งผลให้มีความเข้มข้นของสารโกลูอินสูง โดยเฉพาะตึกที่ 7 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเนื่องจากภายในสำนักงานที่มีการปรับปรุงทาสีและปูพรมใหม่ในปีที่ผ่านมา (ปี 2551) (Yu และ Cramp, 1988) Klinmalee และคณะ (2009) ทำการศึกษาสารวีโอซีในพื้นที่สาธารณะในกรุงเทพมหานคร โดยทำการศึกษาในห้องเรียน พบสารโกลูอินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.8 และ 8.2 มค.ก./ลบ.ม. ในห้องที่ปูพรมและพื้นไม้ตามลำดับ สวาตีรี พูลมา (2548) ทำการศึกษา สารวีโอซีในที่พักอาศัย 9 เขตในกรุงเทพมหานคร พบสารโกลูอินมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 93.5 – 183.5 มค.ก./ลบ.ม. มีแหล่งมาจากรถยนต์ภายนอกอาคารเนื่องจากที่อยู่อาศัยมีลักษณะเปิดโล่งส่งผลให้สารโกลูอินแพร่เข้ามาจากภายนอกอาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ทำการศึกษานี้ พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารโกลูอินสูงกว่างานวิจัยของ Klinmalee และคณะ (2009) และมีค่าอยู่ในช่วงที่สวาตีรีตรวจพบด้วย Zuraimi (2006) ศึกษาสารวีโอซีในสำนักงานในประเทศสิงคโปร์ พบสารโกลูอินที่ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 287.3 มค.ก./ลบ.ม. ซึ่งมีค่าสูงกว่าการศึกษาในนี้ Pekey และ Arslaubas (2007) ศึกษาความเข้มข้นสารวีโอซีในสำนักงานประเทศตุรกีมีค่าโกลูอินเฉลี่ย 50.79 และ 66.26 มค.ก./ลบ.ม. ในฤดูร้อนและฤดูหนาวตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในการศึกษานี้

โกลูอิน



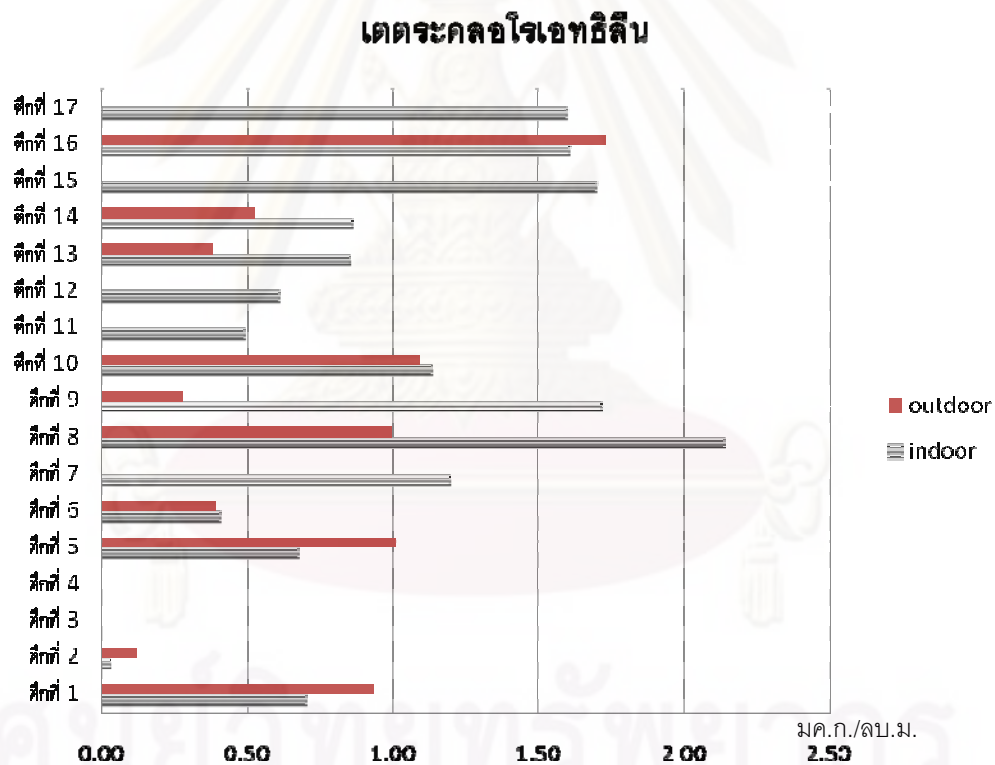
ภาพที่ 4.8 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโกลูอินภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก
ในเขตกรุงเทพมหานคร

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารโกลูอินภายนอกอาคารนั้นพบบริเวณตึกที่ 6 สูงที่สุด มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 43.61 มค.ก./ลบ.ม. เนื่องจากทำการเก็บตัวอย่างบริเวณชั้น 1 ซึ่งใกล้เคียงกับห้องซ่อมบำรุงและบริเวณที่จอดรถนอกอาคารทำให้ตรวจพบสารโกลูอินสูงกว่าจุดอื่นๆ เนื่องจากสารโกลูอินเป็นส่วนผสมในน้ำมันเชื้อเพลิง สี ตัวทำละลาย ซึ่งมีการทำสีอุปกรณ์สำนักงานบริเวณห้องซ่อมบำรุงขณะทำการเก็บตัวอย่างทำให้ตรวจพบสารโกลูอินสูงกว่าบริเวณตึกอื่นๆ จากการศึกษาของ วรธนา เลาวกุล และคณะ (2551) ทำการศึกษาความเข้มข้นของ สารวีไอซีบริเวณ รัชโยธิน อนุเสาวรีย์ชัยสมรภูมิ สีลม และ เยาวราช พบสารโกลูอินมีค่าเฉลี่ย 307.1, 307.1, 613.1 และ 745.1 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากรถยนต์และกิจกรรมบริเวณริมทางเท้าติดกับถนน ซึ่งพบว่ามีความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษาหลายเท่าตัว De Bortoli และคณะ (1986) ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารอินทรีย์บริเวณตอนเหนือของอิตาลี ตรวจพบสารโกลูอินภายนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 40 มค.ก./ลบ.ม. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้

4.2.3.8 เติระคคลอรเอทริลีน

จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเติระคคลอรเอทริลีนภายในสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.05 มค.ก./ลบ.ม. ตึกที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ ตึกที่ 8 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.14 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดคือ ตึกที่ 2 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.03 มค.ก./ลบ.ม.

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเติระคคลอรเอทริลีนภายนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 0.75 มค.ก./ลบ.ม. โดยตึกที่ 16 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.73 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่ 12 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.12 มค.ก./ลบ.ม.



ภาพที่ 4.9 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเติระคคลอรเอทริลีนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก
ในเขตกรุงเทพมหานคร

จากภาพที่ 4.9 พบว่าสารเติระคคลอรเอทริลีนปนเปื้อนในเกือบทุกสำนักงานที่ทำการศึกษายกเว้นสำนักงานที่ 3 และ 4 ที่ไม่สามารถตรวจพบ ปริมาณสารเติระคคลอรเอทริลีน

ในทุกสำนักงานมีความแตกต่างกันไม่มากนัก เนื่องจากสารเตตระคลอโรเอทิลีนนั้นใช้เป็นสารประกอบในสี ยาฆ่าแมลง เป็นต้น (ATSDR, 1997) ซึ่งใช้ภายในสำนักงานปริมาณต่ำ จึงทำให้ตรวจพบสารเตตระคลอโรเบนซินในปริมาณต่ำ Parra และคณะ (2008) ตรวจพบสารเตตระคลอโรเอทิลีนในผ้าและกาแฟที่ประเทศสเปนบริเวณพื้นที่ไม่สูบบุหรี่เท่ากับ 1.39 และ 0.38 มค.ก./ลบ.ม. ภายในและภายนอกบ้าน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาคือ De Bortoli และคณะ (1986) ตรวจพบสารเตตระคลอโรเอทิลีนภายในอาคารทางตอนเหนือของประเทศอิตาลีมีค่าเท่ากับ 18 และ 14 มค.ก./ลบ.ม. ภายในและภายนอกอาคาร ตามลำดับ ซึ่งค่าความเข้มข้นของสารเตตระคลอโรเอทิลีนทั้งภายในและภายนอกอาคารนั้นมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่างานวิจัยที่ทำการศึกษา

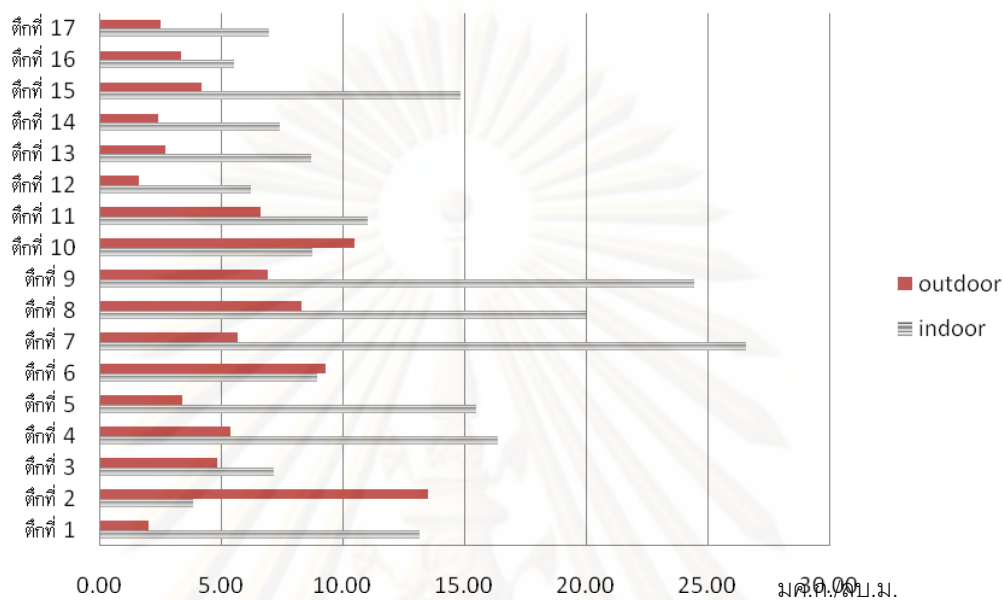
4.2.3.9 เททริลเบนซิน

จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเททริลเบนซินภายในสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 12.09 มค.ก./ลบ.ม. ตึกที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ ตึกที่ 7 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 26.56 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดคือ ตึกที่ 2 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 3.88 มค.ก./ลบ.ม.

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเททริลเบนซินภายนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 5.49 มค.ก./ลบ.ม. โดยตึกที่ 2 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 13.53 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่ 12 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.62 มค.ก./ลบ.ม.

จากภาพที่ 4.10 ภายนอกอาคารของตึกที่ 2 นั้นมีค่าสูงกว่าภายในสำนักงาน เนื่องจากสารเททริลเบนซินเป็นตัวทำละลายและเป็นส่วนผสมในน้ำมันเชื้อเพลิง (ATSDR, 1994) บริเวณจุดเก็บของตึกที่ 2 อยู่ตรงบริเวณลานด้านนอกของอาคารชั้น 14 ซึ่งห่างจากศูนย์ซ่อมรถประมาณ 20 เมตร จากการสังเกตพบว่า มีกลิ่นของสีและน้ำมันจากศูนย์ซ่อมรถลอยขึ้นมาบริเวณจุดเก็บตัวอย่างด้วย อาคารที่ 6 และ 10 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเททริลเบนซินภายนอกอาคารสูงกว่าภายในสำนักงาน เนื่องจากทั้ง 2 ตึก อยู่ติดกับถนนที่มีการจราจรหนาแน่นทั้งวัน ทำให้ตรวจพบสารเททริลเบนซินภายนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าในอาคาร

เอทิลเบนซิน



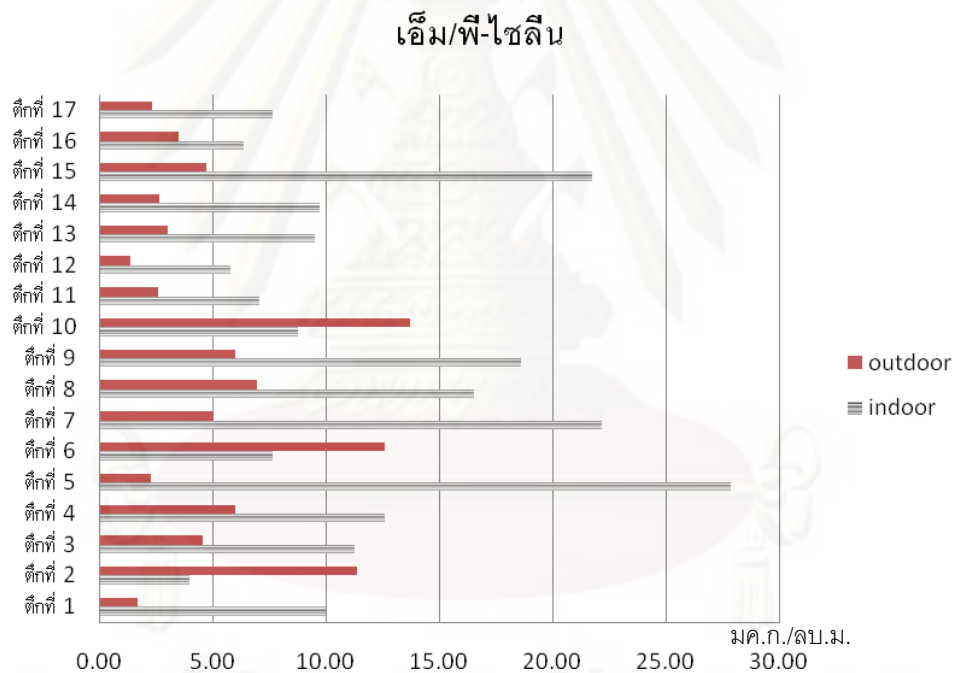
ภาพที่ 4.10 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเอทิลเบนซินภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก
ในเขตกรุงเทพมหานคร

ส่วนสารเอทิลเบนซินภายในสำนักงานพบว่า ตึกที่ 7 ตึกที่ 8 และตึกที่ 9 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงเนื่องจากสารเอทิลเบนซินนั้นเป็นส่วนประกอบในกระบวนการถ่ายภาพเอกสาร (Wei Lee และคณะ 2005; Kagi และคณะ 2007) เมื่อพิจารณาจากแบบสอบถามพบว่าสำนักงานในตึกที่ 7 ตึกที่ 8 และตึกที่ 9 ทำการติดตั้งเครื่องถ่ายภาพเอกสารบริเวณพื้นที่ทำงาน ทำให้มีการปนเปื้อนภายในสำนักงานได้ Daisey และคณะ (1999) พบสารเอทิลเบนซินภายในสำนักงานในรัฐแคลิฟอร์เนียมีค่าเท่ากับ 2.17 มค.ก./ลบ.ม. De Bortoli และคณะ (1986) พบสารเอทิลเบนซินภายในอาคารทางตอนเหนือของประเทศอิตาลีมีค่าเท่ากับ 27 มค.ก./ลบ.ม. Pekey และ Arslaubas (2007) พบสารเอทิลเบนซินภายในสำนักงานประเทศตุรกีมีค่าความเข้มข้น 9.16 และ 16.71 มค.ก./ลบ.ม. ในฤดูหนาวและฤดูร้อน ตามลำดับ เมื่อนำค่าที่ทำการศึกษางานวิจัยนี้มาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของสารเอทิลเบนซินภายในอาคารมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าสำนักงานในแคลิฟอร์เนีย มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของประเทศตุรกี และมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำกว่างานวิจัยของประเทศอิตาลี

4.2.3.10 เอ็ม/พี – ไซลิน

จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเอ็ม/พี-ไซลินภายในสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 12.20 มค.ก./ลบ.ม. ตึกที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ ตึกที่ 5 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 27.88 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดคือ ตึกที่ 2 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 3.96 มค.ก./ลบ.ม.

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเอ็ม/พี-ไซลินภายนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 5.32 มค.ก./ลบ.ม. โดยตึกที่ 10 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 13.70 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่ 12 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.39 มค.ก./ลบ.ม.



ภาพที่ 4.11 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเอ็ม/พี – ไซลินภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก
ในเขตกรุงเทพมหานคร

จากภาพที่ 4-11 พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเอ็ม/พี-ไซลิน ของตึกที่ 2 ตึกที่ 6 และตึกที่ 10 นั้นมีค่าสูงกว่าภายนอกอาคาร เนื่องจากสารเอ็ม/พี-ไซลิน เป็นส่วนผสมของสารเอทิลเบนซินซึ่งจะประกอบอยู่ในสารละลาย ผลิตภัณฑ์สีและเคลือบและผสมในเชื้อเพลิง (ATSDR, 1997) บริเวณจุดเก็บของตึกที่ 2 อยู่ตรงบริเวณลานด้านนอกของอาคารชั้น 14 ซึ่งห่าง

จากศูนย์ซ่อมรถประมาณ 20 เมตร จากการสังเกตพบว่า มีกลิ่นของสีและน้ำมันจากศูนย์ซ่อมรถลอยขึ้นมาบริเวณจุดเก็บตัวอย่างด้วย อาคารที่ 6 และ 10 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเอ็ม/พี-ไฮลีนภายนอกอาคารสูงกว่าภายในสำนักงาน เนื่องจากทั้ง 2 ตึก อยู่ติดกับถนนที่มีการจราจรหนาแน่นทั้งวัน ทำให้ตรวจพบสารเอ็ม/พี-ไฮลีน ภายนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าในอาคาร ส่วนค่าความเข้มข้นของสารเอ็ม/พี-ไฮลีน ภายในอาคารตรวจพบในตึกที่ 5 สูงสุดรองลงมาคือ ตึกที่ 7 ตึกที่ 15 ตึกที่ 9 และ ตึกที่ 8 เมื่อพิจารณาจากแบบสอบถามพบว่า ตึกที่ 5 เป็นห้องที่มีเอกสารปริมาณมากและมีการติดตั้งเครื่องพิมพ์เอกสารและเครื่องถ่ายเอกสารภายในห้องทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเอ็ม/พี-ไฮลีนในอากาศ ส่วนตึกที่ 15 ถึงแม้ว่าจะมีห้องถ่ายเอกสารแยกออกไปจากพื้นที่ทำงาน แต่ยังมีเครื่องพิมพ์เอกสารภายในบริเวณพื้นที่ทำงานจำนวนมากทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเอ็ม/พี-ไฮลีน ภายในสำนักงานเช่นกัน

Kagi และคณะ 2007 ทำการวัดปริมาณสารวีโอซีที่ออกมาจากเครื่องพิมพ์เอกสารพบว่ามีความเข้มข้นเท่ากับ 150 -200 มค.ก./ลบ.ม. ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความเข้มข้นสูงกว่าค่าที่วัดได้จากการศึกษาประมาณ 14 เท่า

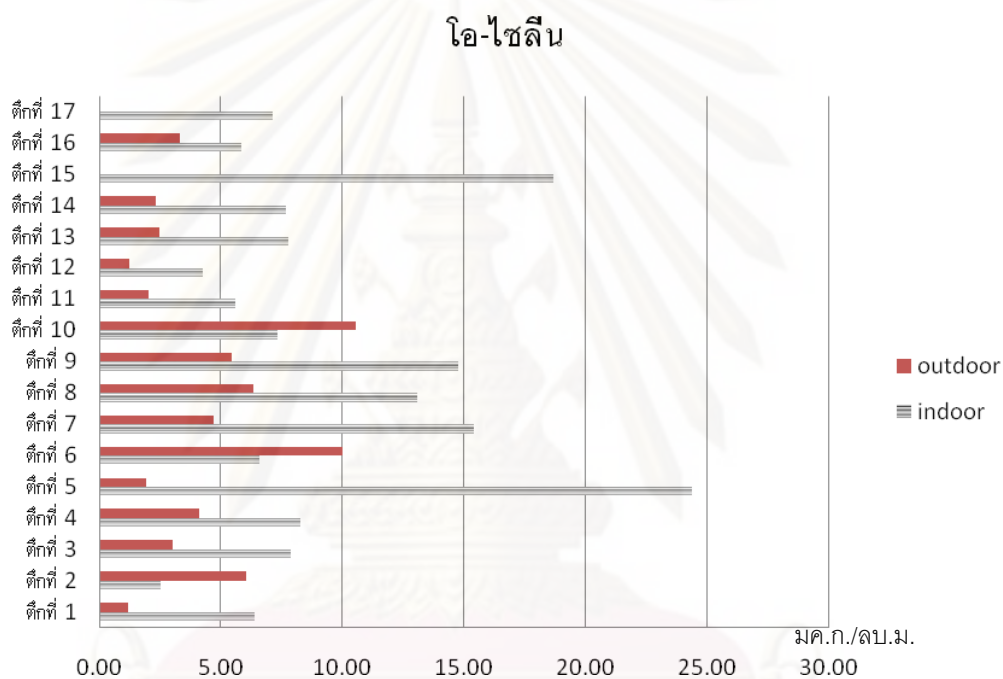
4.2.3.11 ไอ – ไฮลีน

จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอ-ไฮลีนภายในสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 9.63 มค.ก./ลบ.ม. ตึกที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ ตึกที่ 5 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 24.21 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดคือตึกที่ 2 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 2.52 มค.ก./ลบ.ม.

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอ-ไฮลีนภายนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 4.32 มค.ก./ลบ.ม. โดยตึกที่ 10 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 10.55 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่ 1 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.20 มค.ก./ลบ.ม.

จากภาพที่ 4-11 พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอ-ไฮลีน ของตึกที่ 2 ตึกที่ 6 และตึกที่ 10 นั้นมีค่าสูงกว่าภายนอกอาคาร เนื่องจากสารไอ-ไฮลีน เป็นส่วนผสมของสารเอทิลเบนซินซึ่งจะประกอบอยู่ในสารละลาย ผลิตภัณฑ์สีและเคลือบและผสมในเชื้อเพลิง (ATSDR, 1997) บริเวณจุดเก็บของตึกที่ 2 อยู่ตรงบริเวณลานด้านนอกของอาคารชั้น 14 ซึ่งห่างจากศูนย์ซ่อมรถประมาณ 20 เมตร จากการสังเกตพบว่า มีกลิ่นของสีและน้ำมันจากศูนย์ซ่อมรถลอยขึ้นมาบริเวณจุดเก็บตัวอย่างด้วย อาคารที่ 6 และ 10 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอ-ไฮลีนภายนอกอาคารสูงกว่าภายในสำนักงาน เนื่องจากทั้ง 2 ตึก อยู่ติดกับถนนที่มีการจราจรคับคั่งทั้งวัน ทำให้ตรวจพบสารไอ-ไฮลีน ภายนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าในอาคาร ส่วนค่าความเข้มข้นของ

สารไอ-โซลีน ภายในอาคารตรวจพบในตึกที่ 5 สูงสุดรองลงมาคือ ตึกที่ 7 ตึกที่ 15 ตึกที่ 9 และ ตึกที่ 8 เมื่อพิจารณาจากแบบสอบถามพบว่า ตึกที่ 5 เป็นห้องที่มีเอกสารปริมาณมากและ มีการติดตั้งเครื่องพิมพ์เอกสารและเครื่องถ่ายเอกสารภายในบริเวณพื้นที่ทำงาน ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารไอ-โซลีนในอากาศ ส่วนตึกที่ 15 ถึงแม้ว่าจะมีห้องถ่ายเอกสารแยกออกไปจากพื้นที่ทำงาน แต่ยังคงมีการวางเครื่องพิมพ์เอกสารภายในบริเวณพื้นที่ทำงานจำนวนมาก ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารไอ-โซลีน ภายในสำนักงานเช่นกัน

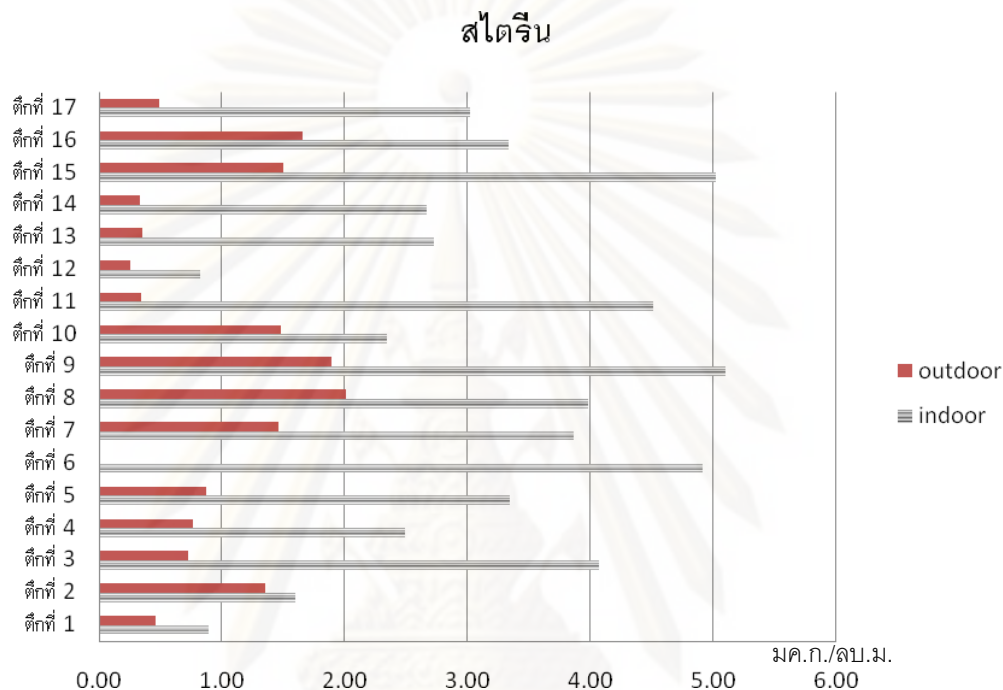


ภาพที่ 4.12 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอ-โซลีนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก
ในเขตกรุงเทพมหานคร

4.2.3.12 สไตรีน

จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารสไตรีนภายในสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 3.22 มค.ก./ลบ.ม. ตึกที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ สำนักงานที่ 9 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 5.10 มค.ก./ลบ.ม. และสำนักงานที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดคือ สำนักงานที่ 12 มีค่า 0.82 มค.ก./ลบ.ม.

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารสไตรีนภายนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 1.00 มค.ก./ลบ.ม. โดยตึกที่ 8 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.01 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่ 12 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.26 มค.ก./ลบ.ม. โดยไม่พบบริเวณตึกที่ 6



ภาพที่ 4.13 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสไตรีนภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก

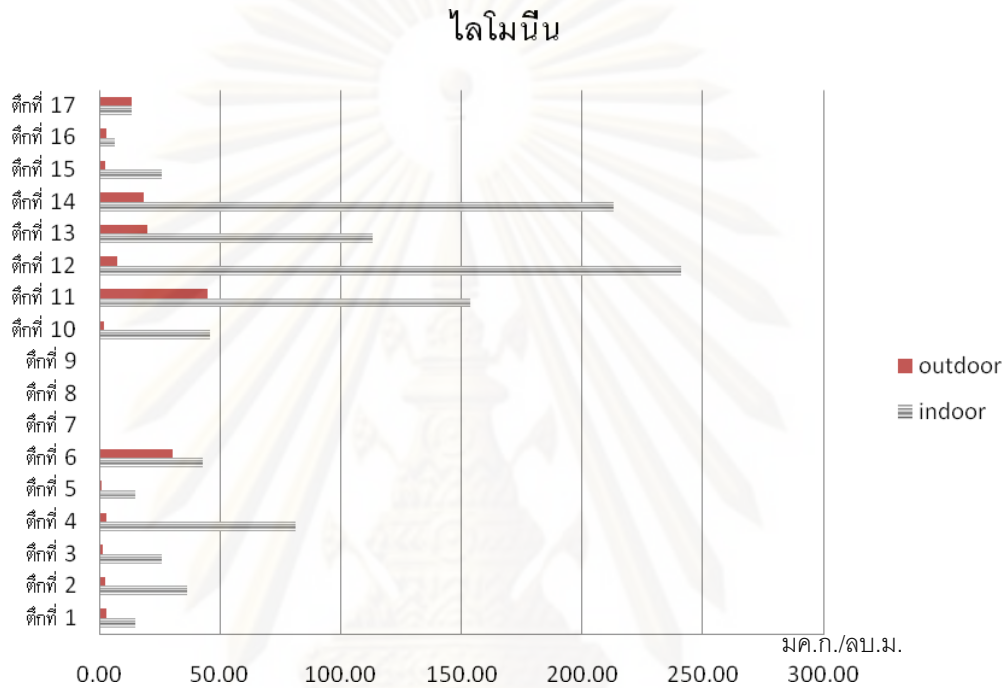
ในเขตกรุงเทพมหานคร

จากภาพที่ 4.13 พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารสไตรีนภายในสำนักงาน มีค่าอยู่ในช่วงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก สารสไตรีนภายในสำนักงานเกิดจากพรม (ATSDR, 2007) เครื่องพิมพ์เอกสาร (Kagi และคณะ, 2007) โดยตึกที่ 9 มีค่าความเข้มข้นสูงสุด เนื่องจากภายในอาคารมีการตกแต่งใหม่มีการปูพรม ทาสีใหม่ และมีการติดตั้งเครื่องถ่ายเอกสารบริเวณพื้นที่ทำงาน ตึกที่ 15 มีลักษณะคล้ายตึกที่ 9 คือพื้นที่ทำการปูพรม และมีการวางเครื่องพิมพ์เอกสารในบริเวณพื้นที่ทำงาน ส่วนบริเวณภายนอกอาคารตรวจพบสารสไตรีนเกือบทุกตึกเนื่องจากสารสไตรีนพบในควันจากเครื่องยนต์

4.2.3.13 ไลโมเนิน

จากการศึกษาอาคารสำนักงานจำนวน 17 ตึก พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไลโมเนินภายในสำนักงานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 73.53 มค.ก./ลบ.ม. ตึก

ที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ ตึกที่ 12 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 241.15 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดคือ ตึกที่ 16 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 6.57 มค.ก./ลบ.ม.



ภาพที่ 4.14 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไลโมเนียภายในและภายนอกอาคาร 17 ตึก
ในเขตกรุงเทพมหานคร

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไลโมเนียภายนอกอาคารมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 10.88 มค.ก./ลบ.ม. โดยตึกที่ 11 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 44.98 มค.ก./ลบ.ม. และตึกที่ 5 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.88 มค.ก./ลบ.ม.

จากภาพที่ 4.14 พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไลโมเนียภายในอาคารสำนักงานนั้นมีค่าความเข้มข้นสูงในตึกที่ 12 ตึกที่ 14 ตึกที่ 11 และตึกที่ 13 ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้สำนักงานในตึกที่ 12 มีความเข้มข้นของไลโมเนียสูงที่สุดเนื่องจากการใช้น้ำยาทำความสะอาดพื้น ไวนิลของพนักงานทำความสะอาด การใช้เจลล์แอลกอฮอล์ล้างมือ การใช้สารเพิ่มความหอมแก่บรรยากาศ เป็นต้น

4.3 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคาร (Air Exchange Rate, AER)

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารทั้ง 17 ตึกที่ทำการศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 ชม.^{-1} อาคารที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูงสุดได้แก่ ตึกที่ 5 มีค่า 1.16 ชม.^{-1} และต่ำสุดได้แก่ ตึกที่ 16 มีค่า 0.017 ชม.^{-1} อย่างไรก็ตามค่าที่ได้อาจต่ำกว่าผลจากการคำนวณเนื่องจากไม่ได้หักลบปริมาตรของสิ่งที่อยู่ภายในอาคาร เช่น คน ตู้วางหนังสือ โต๊ะ อุปกรณ์สำนักงาน เครื่องใช้ต่างๆ ภายในห้อง กล้องใส่กระดาษ ฯลฯ จากภาพที่ 4.15 เมื่อนำค่าที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 33 ภายใต้ พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ซึ่งกำหนดค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสำหรับอาคารสำนักงานที่มีระบบปรับอากาศไว้ที่ 2 ลบ.ม./ชม./ตร.ม. (0.67 ชม.^{-1}) (คำนวณตามภาคผนวก ง) พบว่าร้อยละ 94 ของสำนักงานที่ทำการตรวจวัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยสำนักงานที่ 10, 11, 12, 13, 14 และ 16 มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ถึง 13.4 – 39.4 เท่า



ภาพที่ 4.15 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในตึกที่ศึกษาจำนวน 17 ตึก ในเขตกรุงเทพมหานคร

เมื่อนำค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ยจากการศึกษานี้ไปเทียบกับงานวิจัยของต่างประเทศ ดังตารางที่ 4.7 พบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ยของอาคารที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ ต่ำกว่าของกลุ่มประเทศในยุโรปและสิงคโปร์ประมาณ 7.9 และ 3.2 เท่า ตามลำดับชี้ให้เห็นว่าระบบปรับอากาศของประเทศกลุ่มยุโรปนั้นมีมาตรฐานที่ต่ำกว่าของประเทศไทย

ตารางที่ 4.7 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ยของอาคารที่ศึกษาในกรุงเทพมหานครเปรียบเทียบกับงานวิจัยของต่างประเทศ

	งานวิจัยนี้	สิงคโปร์ ^a	ฝรั่งเศส ^b	อังกฤษ ^c	กรีซ ^d	เยอรมัน ^e
อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ, ชั่วโมง ⁻¹	0.28	0.90	1.06	3.18	1.89	2.78

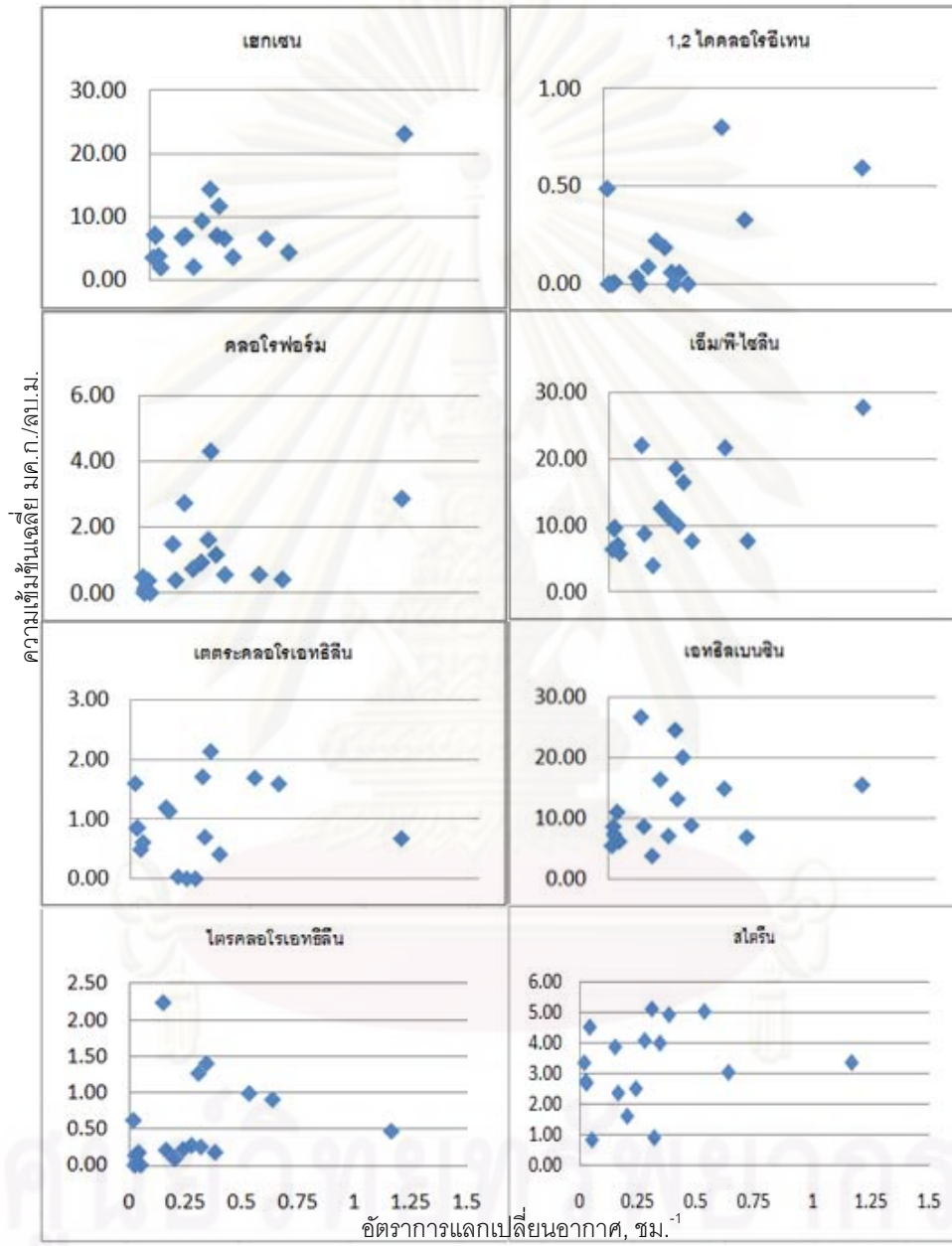
^a Zuraimi และคณะ (2005), ^{b-e} อ้างอิงจาก Zuraimi และคณะ(2005)

4.3.1 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อความเข้มข้นเฉลี่ยของสารวีไอซี

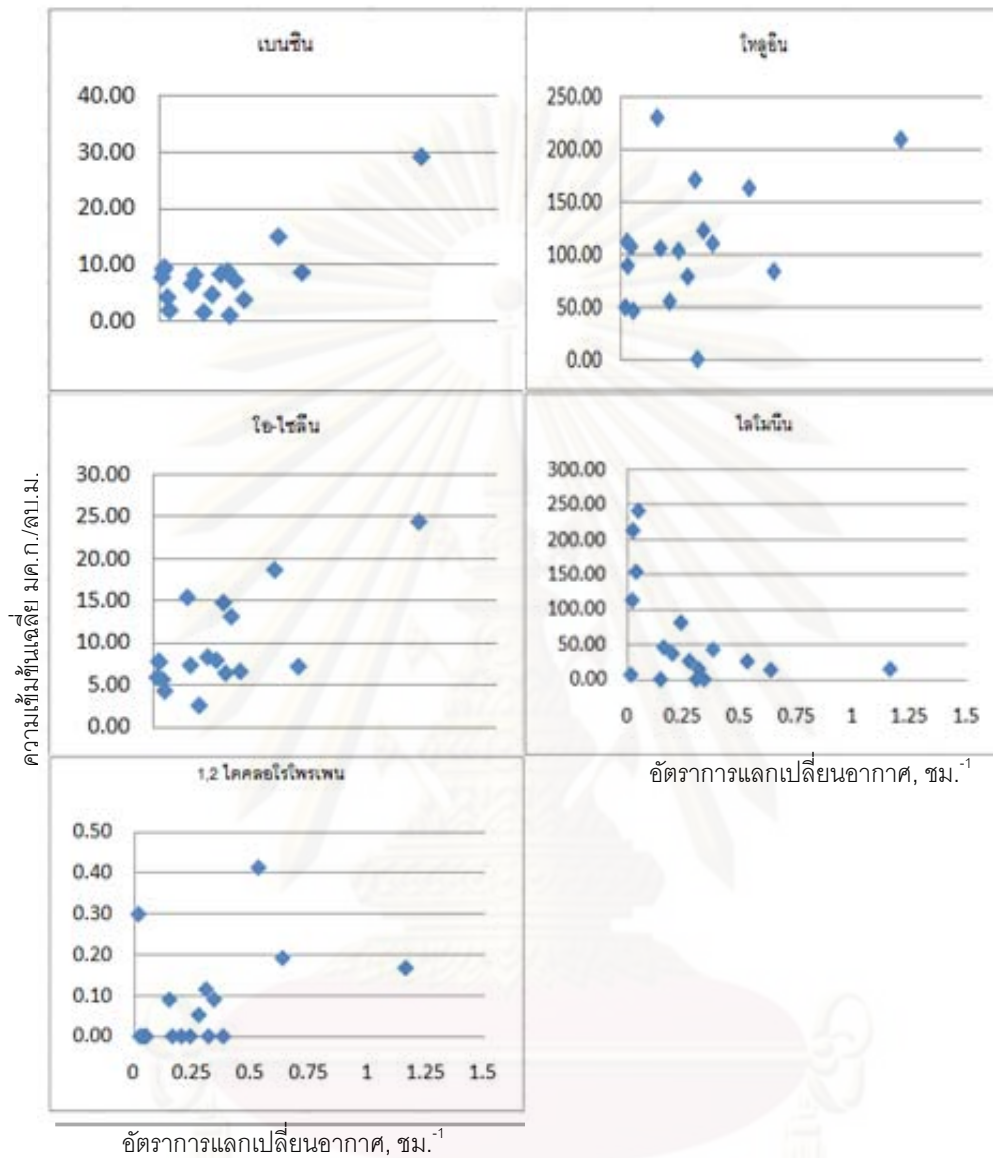
สาเหตุของมลพิษภายในอาคารเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารที่ไม่เพียงพอ มีอากาศที่เข้าสู่ตัวอาคารน้อยเกินไป การกระจายตัวของอากาศภายในอาคารไม่ดี ซึ่งคิดเป็นถึงร้อยละ 50 ของสาเหตุที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารมลพิษภายในอาคารมีความเข้มข้นสูง (วันที พันธุ์ประสิทธิ์, 2540: 58-59) ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบว่าแนวโน้มของสารวีไอซีที่ตรวจพบส่วนใหญ่ในทุกตึก จะพบในช่วงที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่ำกว่า 0.67 ชม.⁻¹ (พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522) เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารวีไอซี ต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ จำนวนคน/ตร.ม. ระยะเวลาที่มีการตกแต่งครั้งสุดท้าย และ กิจกรรมที่เกิดขึ้นโดยใช้ สถิติ Pearson's correlation อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 พบว่ามีสารเพียง 6 ชนิด (ภาคผนวก ข) ที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์ ดังนี้ สารเฮกเซนมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่มีการตกแต่ง และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ สารคลอโรฟอร์มมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถสนับสนุนการวิเคราะห์ได้ว่าสารคลอโรฟอร์มเกิดจากกิจกรรม ได้แก่ การใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของคลอรีน เป็นต้น สาร 1,2 ไดคลอโรอีเทน และเบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน และโอ-ไซลีน มีความสัมพันธ์กับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ในที่นี้หมายความว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ต่ำส่งผลให้ตรวจพบความเข้มข้นที่สูง

จากที่ทำการหาความสัมพันธ์ด้วยสถิติชนิด Pearson's correlation พบว่าความเข้มข้นของสารวีไอซีส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์กับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยสนับสนุนว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ต่ำส่งผลให้มีความเข้มข้นของสารวีไอซีสูง

ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีเพียงตึกที่ 5 เพียงตึกเดียวที่มีค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ อาจเป็นไปได้ว่าสำนักงานที่ 5 นี้มีการพิมพ์เอกสารจำนวนมาก ทำให้มีการปรับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงกว่าสำนักงานอื่นๆ



ภาพที่ 4.16 ความเข้มข้นสารวีไอซีต่อฮัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ



อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ, ชม.⁻¹

ภาพที่ 4.16 (ต่อ) ความเข้มข้นสารไวโรซีต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

จากภาพที่ 4.16 พบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ต่ำกว่าเกณฑ์ส่งผลให้ตรวจพบชนิดของสารไวโรซีเป้าหมายหลากหลายชนิดในอาคารที่ทำการศึกษารายใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์ (2540) ที่กล่าวว่าสาเหตุหลักของมลพิษภายในอาคารนั้นเกิดจากการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารที่ต่ำ ทำให้มลพิษที่เกิดขึ้นภายในอาคารไม่สามารถเจือจางได้ ในทางกลับกันอัตราการระบายอากาศที่สูงส่งผลให้พบปริมาณสารไวโรซีสูงได้เช่นกัน ยกตัวอย่างกรณีของสำนักงานที่ 5 จะเห็นได้ว่า สารที่ตรวจพบในปริมาณสูงคือ เฮกเซน เบนซิน ไอโซลีน และโทลูอิน เนื่องมาจากกิจกรรมภายในอาคารที่มากกว่าอาคารอื่นๆ ได้แก่ การขัดพื้น

สำนักงานก่อนเข้าไปเก็บตัวอย่างอากาศ การไม่ปิดประตูห้องถ่ายเอกสารถ่ายเอกสารถ่ายและมีคนเข้า-ออกห้องถ่ายเอกสารถ่ายบ่อยครั้ง บริเวณของห้องถ่ายเอกสารถ่ายอยู่ในพื้นที่ทำงานซึ่งสำนักงานที่ 5 นี้มีการถ่ายสำเนาและพิมพ์เอกสารเป็นจำนวนมากกว่าสำนักงานอื่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zuraimi และคณะ (2003) ที่กล่าวว่า กิจกรรมที่เกิดภายในอาคารเป็นสาเหตุหลักต่อระดับความเข้มข้นของสารวีไอซีภายในอาคารถึงร้อยละ 73 รองลงมาคือการแลกเปลี่ยนอากาศที่ต่ำคิดเป็นร้อยละ 20 และเกิดจากวัสดุภายในอาคารคิดเป็นร้อยละ 7 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเกณฑ์มาตรฐานการแลกเปลี่ยนอากาศภายในสำนักงานของประเทศไทยที่กำหนดไว้ 0.67 ชม.^{-1} จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าสามารถตรวจพบสารวีไอซีหลากหลายชนิด ซึ่งค่าที่กำหนดไว้นี้อาจต่ำเกินไปสำหรับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของประเทศไทย เนื่องจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในสำนักงานนั้นส่งผลให้ชนิดและปริมาณสารวีไอซีภายในอาคารสำนักงานมีปริมาณสูง

4.4 สัดส่วนเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio)

การหาสัดส่วนความเข้มข้นระหว่างภายในอาคารต่อภายนอกอาคาร เป็นเครื่องมือที่ใช้ชี้วัดว่าสารวีไอซีเกิดจากแหล่งใด โดยพิจารณาว่า

- ถ้าสัดส่วนความเข้มข้นของสารวีไอซีภายในอาคารต่อภายนอกอาคารมากกว่า 1 แสดงว่าแหล่งกำเนิดสารวีไอซีเกิดจากภายในอาคาร
- ถ้าสัดส่วนความเข้มข้นของสารวีไอซีภายในอาคารต่อภายนอกอาคารน้อยกว่า 1 แสดงว่าแหล่งกำเนิดสารวีไอซีเกิดจากภายนอกอาคาร

การหาสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยภายในสำนักงานต่อภายนอกสำนักงานที่มีค่าสูงสุด 11 ชนิด แสดงไว้ดังตารางที่ 4.8 พบว่า ตึกที่ 5 พบสารวีไอซีที่มีสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด 3 ชนิด ได้แก่ สารเบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน และ โอ-ไซลีน รองลงมาคือตึกที่ 1 และ ตึกที่ 7 พบตึกละ 2 ชนิด และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารวีไอซีภายในและภายนอกอาคาร ดังตารางที่ 4.9 คำนวณจากการใช้สถิติชนิด Wilcoxon เพื่อศึกษาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นของสารวีไอซีภายในอาคารกับภายนอกอาคาร พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารวีไอซีภายในและภายนอกอาคารมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Heavner และคณะ 1994) ค่า I/O ratio มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.68 – 12.29 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารวีไอซีภายในอาคารมีค่าสูงกว่าภายนอกอาคารทั้งหมด โดยพบว่าสารไลโมเนนมีสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดถึง 12.29 แสดงให้เห็นว่าสารไลโมเนนเกิดขึ้นภายในสำนักงานเป็น

หลัก สารไลโมเนนภายในสำนักงานนั้นเกิดจากการใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่มีกลิ่นหอม สารให้ความหอมในบรรยากาศ (ATSDR, 1997) เมื่อพิจารณาจากแบบสอบถามพบว่าสำนักงานที่มีค่าสัดส่วนความเข้มข้นของสารไลโมเนนภายในอาคารปริมาณสูง เป็นอาคารที่มีการใช้สารทำความสะอาดปรับอากาศ ใช้เจลทำความสะอาดมือ มีการใช้น้ำยาทำความสะอาดพื้นและห้องน้ำซึ่งลักษณะของห้องน้ำติดกับพื้นที่สำนักงานและใช้ระบบอากาศร่วมกัน ทำให้สารไลโมเนนจากผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดหมุนเวียนภายในสำนักงาน สารวีไอซีที่พบว่ามีแหล่งเกิดจากภายในสำนักงานอันดับรองลงมาคือ เฮกเซน และคลอโรฟอร์ม ส่วนสารที่พบว่ามีค่าสัดส่วน I/O ต่ำที่สุดคือ เตตระคลอโรเอทิลีน มีค่า 1.68 แสดงให้เห็นความเข้มข้นของสารเตตระคลอโรเอทิลีนภายในสำนักงานมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นภายนอกอาคาร โดยสารเตตระคลอโรเอทิลีนนั้นเป็นสารที่ประกอบอยู่ในวัสดุประสาน ยากำจัดแมลง สี เป็นต้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากแบบสอบถามไม่พบว่ามีการใช้ยากำจัดแมลงภายในสำนักงาน จึงทำให้พบค่าความเข้มข้นในปริมาณน้อย เมื่อนำค่าที่ได้จากการศึกษาไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยของต่างประเทศที่ผ่านมาพบว่าสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสารวีไอซีภายในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคาร 0.94 – 7.6 เท่า (Son และคณะ, 2003. Schneider และคณะ, 2001. และ Wallace และคณะ, 1987) ผลจากการศึกษานี้พบว่าแหล่งกำเนิดภายในอาคารมีความสำคัญต่อระดับความเข้มข้นของสารวีไอซีที่ตรวจพบภายในอาคารมากกว่าแหล่งกำเนิดภายนอกอาคาร เช่น การแทรกซึมของสารวีไอซีที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เข้าสู่ตัวอาคาร เป็นต้น

ตารางที่ 4.8 สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยภายในสำนักงานต่อภายนอกสำนักงานที่มีค่าสูงสุด

	ตึกที่ 1	ตึกที่ 3	ตึกที่ 4	ตึกที่ 5	ตึกที่ 7	ตึกที่ 9	ตึกที่ 15
เฮกเซน	36.35						
เบนซีน				21.33			
ไตรคลอโรเอทิลีน					10.75		
1,2 ไดคลอโรโพเพน							2.72
โทลูอิน					6.50		
เตตระคลอโรเอทิลีน						6.11	
เอทิลเบนซีน	6.48						
เอ็มพี-ไซลีน				12.18			
โอ-ไซลีน				12.53			
สไตรีน		5.62					
ไลโมเนน			26.70				

ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไวโรซีภายในและภายนอกอาคาร และสัดส่วนปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไวโรซีภายในอาคารเปรียบเทียบกับภายนอกอาคาร (มค.ก./ลบ.ม.)

สารไวโรซี	ในอาคาร				นอกอาคาร				I/O ratio ^a	WR ST ^b
	ค่าเฉลี่ย	SD ^c	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	SD ^c	ต่ำสุด	สูงสุด		
เฮกเซน	7.46	5.17	2.03	23.15	1.47	1.26	0.32	5.28	8.59	(+)
คลอโรฟอร์ม	1.25	1.19	0.12	4.32	0.05	0.08	0.00	0.14	3.88	(+)
1,2 ไดคลอโรอีเทน	0.26	0.26	0.01	0.80	0.15	0.14	0.00	0.28	5.89	(+)
เบนซิน	8.08	6.49	1.12	29.28	2.98	4.08	0.53	18.18	4.61	(+)
ไตรคลอโรเอทิลีน	0.59	0.62	0.00	2.25	0.20	0.15	0.03	0.46	4.22	(+)
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	0.18	0.12	0.05	0.41	0.11	0.11	0.00	0.24	2.02	(+)
โทลูอิน	110.19	55.66	35.33	230.16	43.61	24.26	15.43	111.39	2.93	(+)
เตตระคลอโรเอทิลีน	1.05	0.60	0.03	2.14	0.75	0.49	0.12	1.73	1.68	(+)
เอทิลเบนซิน	12.09	6.67	3.88	26.56	5.49	3.35	1.62	13.53	2.82	(+)
เอ็ม/พี-ไซลีน	12.20	6.79	3.96	27.88	5.32	3.82	1.39	13.70	3.38	(+)
โอ-ไซลีน	9.63	5.73	2.52	24.41	4.32	2.93	1.20	10.55	3.11	(+)
สไตรีน	3.22	1.34	0.82	5.10	1.00	0.61	0.26	2.01	4.28	(+)
ไลโมนีน	73.53	77.58	6.57	241.15	10.88	13.25	0.88	44.98	12.29	(+)

^a สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไวโรซีภายในอาคารเปรียบเทียบกับภายนอกอาคาร

^b WRST p = Wilcoxon rank sum test significance., nd = not detected., (+) = significantly different at the 0.05 level. ; ^c SD = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาแหล่งกำเนิดและชนิดของสารวีไอซีในสำนักงานในกรุงเทพมหานครจำนวน 17 ตึก บริเวณพื้นที่ธุรกิจ ได้ทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสม การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารวีไอซี การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นภายในสำนักงานและภายนอกอาคาร การหาอัตราการระบายอากาศภายในอาคาร จากการศึกษาได้ผลสรุปดังนี้

1) จากการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายตัวอย่างแก้สมมาตรฐาน 77 ชนิด แล้วเพิ่มสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าไปอีก 2 ชนิด สามารถพบ peak ทั้งหมด 55 ซึ่งสารวีไอซีที่พบมีค่า LOD อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.03 – 0.71 นน.ก./ลบ.ม.

2) การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารวีไอซีภายในสำนักงานและภายนอกอาคาร ในกรุงเทพมหานครสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ชนิดของสารวีไอซีที่ทำการศึกษาในอาคารสำนักงาน 13 ชนิด คือ เบนซิน คลอโรฟอร์ม 1,2 ไดคลอโรอีเทน ไตรคลอโรเอทิลีน 1,2 ไดคลอโรโพรเพน เบนซิน โทลูอิน เตตระคลอโรเอทิลีน เอทิลเบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน โอ-ไซลีน สไตรีน และ ไลโมนีน ซึ่งพบชนิดสารวีไอซีหลักที่พบทุกอาคารที่ทำการศึกษา จำนวน 7 ชนิด และ 6 ชนิด ภายในอาคารและภายนอกอาคารตามลำดับ ได้แก่ เฮกเซน เบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน โอ-ไซลีน และ สไตรีน ส่วนชนิดของสารวีไอซีหลักที่ไม่พบภายนอกอาคารได้แก่ โอ-ไซลีน

(2) ปริมาณสารวีไอซีแต่ละชนิดภายในสำนักงานที่ทำการศึกษาจะพบสารวีไอซีหลัก ได้แก่ เฮกเซน เบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน โอ-ไซลีน และ สไตรีน และมีปริมาณเฉลี่ยอยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.03 – 23.15, 1.2 - 29.28, 35.33 – 230.16, 3.88 – 26.56, 3.96 – 27.88, 2.52- 24.41 และ 0.82 – 5.10 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ

(3) ปริมาณสารวีไอซีแต่ละชนิดภายนอกอาคารที่ทำการศึกษาจะพบสารวีไอซีหลัก ได้แก่ เฮกเซน เบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน เอ็ม/พี-ไซลีน และ สไตรีน และมี

ปริมาณเฉลี่ยอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.32 – 5.28 , 0.53-18.18, 15.43 – 111.39, 1.62 – 13.53, 1.39-13.70 และ 0.26 – 2.01 มค.ก./ลบ.ม. ตามลำดับ

(4) จากการศึกษเปรียบเทียบปริมาณสารไวรัสฮีภายในในสำนักงานและภายนอกอาคารของแต่ละตึกพบว่า ปริมาณของสารไวรัสฮีภายในในสำนักงานส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือพบสารโทลูอินและไลโมนีนมีค่าสูงทั้งภายในสำนักงานและภายนอกอาคาร เนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นสารที่ใช้เป็นส่วนประกอบหลักในกิจกรรมต่างๆ และพบสารกลุ่ม 1,2 ไดคลอโรโพรเพน ไตรคลอโรเอทิลีน และ 1,2 ไดคลอโรอีเทน ในระดับต่ำ เนื่องจากสารเหล่านี้มีการใช้ปริมาณน้อยในกิจกรรมที่เกิดขึ้น

(3) อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 0.017 - 1.16 ชม.⁻¹ ร้อยละ 94 ของอาคารที่ทำการศึกษาทั้งหมดมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่ำกว่า 0.67 ชม.⁻¹ ซึ่งต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้

(4) การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารไวรัสฮีภายในและภายนอกอาคาร คำนวณจากการใช้สถิติชนิด Wilcoxon เพื่อศึกษาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นของสารไวรัสฮีภายในอาคารกับภายนอกอาคาร พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไวรัสฮีภายในและภายนอกอาคารมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ค่า I/O ratio มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.68 – 12.29 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไวรัสฮีภายในอาคารมีค่าสูงกว่าภายนอกอาคารทั้งหมด สามารถบอกได้ว่ากิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคารส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารไวรัสฮีภายในอาคาร

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรทำการเก็บตัวอย่างอาคารเดียวกัน 2-3 ครั้ง/เดือน เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสารไวรัสฮีภายในสำนักงาน
- 2) ควรเก็บตัวอย่างให้มากกว่านี้ เพื่อครอบคลุม พื้นที่กรุงเทพมหานครมากยิ่งขึ้น
- 3) ทำการเก็บตัวอย่างการรับสัมผัสสารไวรัสฮีของพนักงานภายในสำนักงานที่ทำการเก็บตัวอย่างด้วย
- 4) ทำการวิเคราะห์สารตกค้างในตัวอย่างมนุษย์ เช่น ในปัสสาวะ เลือด เพื่อนำข้อมูลมาประเมินความเสี่ยงการได้รับสัมผัสสารไวรัสฮี

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรองทอง ชื่นบำรุง. 2525. โรคแพ้ฝุ่นฝ้ายในคนงานโรงงานทอผ้าจังหวัดสมุทรปราการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- กุลภรณ์ นกจันทร์. 2543. แนวโน้มอาการอาคารป่วยของบุคลากรในอาคารสำนักงานที่มีการอนุรักษ์พลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- แก้ว ขจรไชยกุล. 2543. การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องปฏิบัติการในโรงพยาบาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิตติมา จันทร์เรือง. 2547. การรับสัมผัสฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ของบุคคลที่เดินทางโดยรถประจำทางปรับอากาศ รถไฟฟ้าใต้ดิน และรถไฟฟ้า BTS. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จันทร์เพ็ญ ฤกษ์ชนะ. 2546. การศึกษากิจกรรมกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยในโรงพิมพ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จรรยา เงินมูล. 2546. ฤดูร้อนนี้จะประหยัดพลังงานได้อย่างไร? โลกพลังงาน. เมษายน-มิถุนายน: 53-57.
- ธัญญา ล้อมลิ้ม. 2548. การศึกษาค่าความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณแท่นพิมพ์ในโรงพิมพ์ขนาดใหญ่. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ. 2547. สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- นวลอนงค์ วิศิษฎ์สุนทร, วรากร เชิดจระพงษ์, วิษณุ ภูทอง, วรณะ มหาภคิตติคุณ, จุฬาลักษณ์ โกลสตรี และ ปกิต วิชยานนท์. 2542. ปริมาณสารก่อภูมิแพ้จากไรฝุ่นในพื้นที่นอนชนิดต่างๆในประเทศไทย. คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล.

ประสงค์ คุณานูวัฒน์ชัยเดช และไมตรี สุทธิจิตต์. 2545. สารอินทรีย์ระเหยง่ายในสิ่งแวดล้อม.

พิษวิทยาสาร 11: 25-30.

พรศรี ศรีอัมภาพร และ ยุวดี วัฒนานนท์. 2529. สถิติและการวิจัยเบื้องต้น. คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ.

พินิจ ศิริพฤกษ์พงษ์. 2536. การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. ชัยพฤกษ์วิทยาศาสตร์.

1 (มีนาคม 2536): 25-26.

พัชรี ชุตติมาสกุล. 2543. การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศระหว่างภายในอาคารและภายนอกอาคารเรียนของโรงเรียนในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมย่อย อื่นจังหวัดสระบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการบริหาร สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

มหาดไทย, กระทรวง. 2543. พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2543.

กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย.

มหาดไทย, กระทรวง. 2535. พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522.

กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย.

มาลี พงษ์โสภณ. 2545. สถานการณ์การรับสัมผัสฝุ่นฝ้ายของคนงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอและคุณภาพของอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

ลิขิต ศรีประเสริฐสุข. 2540. การตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ภายในอาคาร โดยใช้ท่อบรรจุตัวดูดซับชนิดของแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สภาวະแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณภา เลาวกุล, หทัยรัตน์ การีเวทย์, ศิรพงศ์ สุขทวี, เดซี่ หมอกน้อย, เพลินพิศ พงษ์ประยูร, ศุภนุช รสจันทร์, สุธีระ บุญญาพิทักษ์, นิรัน เปี่ยมไย และ ปรีวัตร สุดประเสริฐ. 2551.

สถานการณ์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร.

กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อม.

วนิดา ทรัพย์สุข. 2543. ผลของฝุ่นละอองขนาดเล็กและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในที่พักอาศัยต่อสุขภาพของแม่บ้านและเด็กในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวະแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์. 2540. มา รู้จักกับปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารกันเถอะ. วารสารความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม 7: 57-60

- วิลาวัลย์ ศรีพรหม. 2546. ผลของตัวดูดซับต่อการตรวจวัดสารปนเปื้อนจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
 วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์โพลีเมอร์
 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
- ศศิณ วิบูลย์บัณฑิตยกิจ. 2543. อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับ
อากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการ
 อาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศศิธร ณรงค์ศักดิ์. 2536. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะอากาศภายในกับกลุ่มอาการ
เจ็บป่วยที่เกิดจากการทำงานภายในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขา
 สาขาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์
 มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สาธารณสุข, กระทรวง. กรมควบคุมโรค. 2549. พระราชบัญญัติคุ้มครองผู้ไม่สูบบุหรี่ พ.ศ.2535.
กลุ่มควบคุมบริโภคยาสูบและเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ สำนักโรคไม่ติดต่อ. กรุงเทพมหานคร:
 สันทวีการพิมพ์.
- สาวิตรี พูลมา. 2548. การรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยจากสิ่งแวดล้อมของผู้พักอาศัยในเขต
กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

- Andersson, K. et al. 1996. TVOC and health in non-industrial indoor environments.
Nordic Scientific Consensus meeting.
- ASHRAE. 1999. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Ashrae Standards No. 62,
 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ATSDA. 1994. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).
Toxicological Profile for Toluene (Update). U.S. Public Health Service.
 U.S Department of Health and Human Services. Atlanta, GA.
- ATSDA. 1999. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).
Toxicological Profile for Limonene. U.S. Public Health Service. U.S Department of
 Health and Human Services. Atlanta, GA.

- ATSDA. 2001. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Benzene. U.S. Public Health Service. U.S Department of Health and Human Services. Atlanta, GA.
- ATSDA. 2007. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Styrene. U.S. Public Health Service. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, GA.
- Baek, S., Kim, Y., and Perry, R. 1997. Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas-indoor/outdoor relationships. Atmospheric Environment 31: 529-544.
- Batterman, S.A., Jia, C., and Godwin, C. 2004. Sources and significance of VOC exposures In microenvironments: Schools, offices, residences, outdoors and vehicles. In Proceedings of A&WMA 's 97th Annual Conference & Exhibition, Indianapolis, Indiana.
- Batterman, S.A., Jia, C., Hatzivasilis, G., and Godwin, C. 2006. Simultaneous measurement of volatile using tracer gas techniques and VOC concentrations in homes, garages and vehicles. Journal of Environmental Monitoring 8: 249-256.
- Berglund, B., Berglund, U., and Lindvall, T. 1986. Assessment of discomfort and irritation from the indoor air. Proc IAQ-86 Atlanta, ASHRAE: 138-149.
- Boonyayothin, V. 2005. A suitable air intake rate for hotels in Thailand. Master's Thesis, Department of Industrial Hygiene and Safety Faculty of Science Mahidol University.
- Brown, V.M., Coward, S.K.D., Crump, D.R., Llewellyn, J.W., Mann, H.S., and Raw, G.J. 2002. Indoor air quality in England Homes-VOCs. In proceedings of Indoor Air.
- Daisey J.M., Hodgson, A.T., Fisk, W.J., Mendell, M.J., and Ten Brinke, J. 1994. Volatile organic compounds in twelve California office buildings: classes, concentrations and sources. Atmospheric Environment 28: 3557-3562.
- De Bortoli et al. 1986. Concentrations of selected organic pollutants in indoor and outdoor air in northern Italy. Environment International 12: 343-350.

- Edward, R.D., Jurvelin, J., Saarela, C.K., and Jantunen, M. 2001. VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS, Helsinki, Finland. Atmos Environ 35: 4531-4543.
- Englund, F., and Harderup, L.E. 1996. Indoor air VOC levels during the first year of a new three-story building with wooden frame. In Ikeda, K. and Iwata, T., Editors, 1996. In Proceedings of 7th international conference on indoor air quality and climate Vol 3, See Ishibashi Incorporated, Tokyo.
- Evans, G.,and Jacobs, S.V. 1981. Air pollution and human behavior. Journal of Social Issues 57: 95-125.
- Fisk, W.J.,and Rosenfeld, A.H. 1997. Estimates of improved productivity and health from better indoor environments. Indoor Air 7: 158-172.
- Godish, T. 1989. Indoor Air Pollution Control. Michigan : Lewis
- Godish, T. 1995. Sick Building : Definition, Diagnosis and Mitigation. Michigan : Lewis.
- Heavner, D.L., Morgan, W.T., and Ogden, M.W. 1994. Determination of volatile organic compounds and ETS apportionment in 49 homes. Environmental International 21: 3-21.
- Hedge, A. 1989. Work-related illness in offices: A proposed model of the "Sick Building Syndrome". Environmental International 15: 143-158.
- Heinsohn, R.J.,and Cimbala, J.M. 2003. Indoor Air Quality Engineering: Environmental Health and Control of Indoor Pollutants. New York : Marcel Dekker.
- Hodgson, A.T., Faulkner, D., Sullivan, D.P., DiBartolomeo, D.L., Russell, M.L.,and Fisk, W.J. 2003. Effect of outside air ventilation rate on volatile organic compound concentrations in a call center. Atmospheric Environment 37: 5517-5527.
- Hsieh C.C. and Tsai, J.H. 2003. VOC concentration characteristics in Southern Taiwan. Chemosphere 50: 545-556.
- IARC. 2006. Complete List of Agents evaluated and their classification. International Agency for Research on Cancer. Available from:
<http://monographs.iarc.fr/ENG/classification/index.php>. [2007, January 15]

- Jenkins, P.L., Phillips, T.J., Mulberg, E.J., and Hui, S.P. 1992. Activity patterns of Californians: Use of and proximity to indoor pollutant sources. Atmospheric Environment 26A: 2141-2148.
- Kagi, N., Fujii, Shuji., Horiba, Y., Namaki, N., Ohtani, Y., Emi, H., Tamura, H., and Kim, S. 2007. Indoor air quality for chemical and ultrafine particle concentrations from printer. Building and Environment 42: 1949-1954.
- Khumsri, J. 2005. Microbial air quality and infection control towards tuberculosis before and after intervention in a general hospital, Bangkok. Master's Thesis Department of Public Health Faculty of Science Mahidol University.
- Kim, Y., Harrad, S., and Harrison, R. 2001. Concentrations and sources of VOCs in urban domestic and public microenvironments. Environmental Science & Technology 35: 997-1004.
- Klinmalee, Aungsiri, Srimongkol, Kasama, and Thi Kim Oanh, Nguyen. 2009. Indoor air pollution levels in public buildings in Thailand and exposure assessment. Environ Monit Assess 156:581-594.
- Layton, D.W. 1993. Metabolically consistent breathing rates for use in dose assessments. Health Physics 64: 23-36.
- Mattinen, M.L., Tuominen, J., and Saarela, K. 1995. Analysis of TVOC and Certain Selected Compounds from Indoor Air using GC/FID-RIM Technique. Indoor Air 5:56-29
- Molhave, L. 1990. Volatile organic compounds, indoor air quality and health. In Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto.
- Namiesnik, J., Gorecki, T., Kozdron-Zabiegala, B., and Lukasiak, J. 1992. Indoor air quality pollutants their sources and concentration levels. Building and Environment 27:339-356.

- Ohura, T., Amagai, T. Shen, X., Li, S., Zhang, P., and Zhu, L. 2009. Comparative study on indoor air quality in Japan and China: characteristics of residential indoor and outdoor VOCs. Atmos Environ 43: 6352-6359.
- Olansandan, Anagai, T., and Matsushita, H. 1999. A passive sampler-GC/ECD method for analyzing 18 volatile organohalogen compounds in indoor and outdoor air and its application to a survey on indoor pollution in Shizuoka, Japan. Talanta 50: 851 – 863.
- Para, M.A., Elustondo, D., Bermejo, R., and Santamaria, J.M. 2008. Quantification of indoor and outdoor volatile organic compounds (VOCs) in pubs and cafes in Pamplona, Spain. Atmospheric Environment 42: 6647-6654
- Pekey, H., and Arslaubas, D. 2007. The relationship between indoor, outdoor and personal VOC concentrations in homes, offices and schools in the Metropolitan Region of Kocaeli, Turkey. Water Air Soil Pollut 191: 113-129.
- Pellizzari, E. D., Perritt, K., Hartwell, T.D., Michael, L.C., Whitmore, R., Handy, R.W., Smith, D., and Zelon, H. 1987. Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study: Selected Communities in Northern and Southern California. Volume III, Final Report. EPA Publication No. 600/6-87/002c. Washington,
- Sack, T.M., Steele, D.H., Hammerstrom, K., and Rammers, J. 1992. A survey of household products for volatile organic compounds. Atmospheric Environment 626A: 1063-1070.
- Schneider, P., Gebefugi, I., Richter, K., Wolke, G. Schnelle, J., and Wichmann, H.E. 2001. Indoor and outdoor BTEX levels in German cities. The Science of the Total Environment 267: 41-51.
- Sheldon, L.S., Clayton, A., and Jones, B. 1992. Indoor Pollutant Concentrations and Exposures. Final report. Sacramento, CA: California Air Resources Board.
- Son, B., Breyse, P. and Yang, W. 2003. Volatile organic compounds concentrations in residential indoor and outdoor and its personal exposure in Korea. Environment International 29: 79-85.

- Suwattiga, P. 2004. Source apportionment of volatile organic compounds in Bangkok ambient air. Doctoral dissertation Department of Environmental Management (Inter-Department) Chulalongkorn University.
- Tang, J., Chan, C. Y., Wang, X., Chan, L. Y., Sheng, G., and Fu, J. 2005. Volatile organic compounds in a multi-storey shopping mall in Guangzhou, South China Atmospheric Environment 39: 7374-7383.
- Ten Brinke, J., Selvin, S., Hodgson, A.T., Fisk, W.J., Mendell, M.J., Koshland, C.P., and Daisey, J.M. 1998. Development of new volatile organic compound (VOC) exposure metrics and their relationship to "Sick Building Syndrome" Symptoms. Indoor Air 8: 140-152.
- Tualmoon, S. 2002. Factors associated with the abundance of dust mites in bedrooms. Master's Thesis Department of Public Health Faculty of Science Mahidol University.
- U.S. EPA. 1984. Method TO-1, revision 1.0: method for the determination of volatile organic compounds in ambient air using Tenax[®] adsorption and gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S. EPA. 1997. Risk Assessment and Risk Management in Regulatory Decision-Making. Final Report. U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S. EPA. 2004 Revised Assessment of Detection and Quantitation Approaches. Engineering and Analysis Division Office of Science and Technology Office of Water (4303T), U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. EPA-821-B-04-005.
- U.S. EPA. 2006. EPA's Approach for Assessing the Risks Associated with Chronic Exposure to Carcinogens. Integrated Risk Information System. U.S. Environmental Protection Agency. Available from: <http://www.epa.gov/iris/carcino.htm>[2007, January 21]

- Wainman, T., Zhang, J., Weschler, C.J., and Liroy, P.J. 2000. Ozone and limonene in indoor air: a source of submicron particle exposure. Environ Health Perspect 108(12):1139–45.
- Wallace, L.A., Pellizzari, E., Leaderer, B., Zelon, H., and Sheldon, L. 1987. Emissions of volatile organic compounds from building materials and consumer products. Atmospheric Environment 21: 385-393
- Wallace, L.A., Pellizzari, E.D., and Hartwell, T.D. 1989. The influence of personal activities on exposure to volatile organic compounds. Environ Res 50(1):37-55.
- Wei Lee, C., Tung Dai, Yu., Hsueh Chien, Chih., and Jen Hsu, Der. 2005. Characteristics and health impacts of volatile organic compounds in photocopy centers. Environmental Research 100 : 139-149.
- Wolkoff, P. 1995. Volatile organic compounds – sources, measurements, emissions, and the impact on indoor air quality. Indoor Air 3:95.
- Won, D. 1999. The Effects of Adsorptive Sinks on Human Exposure to VOCs in Indoor Air. Dissertation. University of Texas at Austin.
- Wu, C.H., Lu, J.T., and Lo, J.G. 2002. Analysis of volatile organic compounds in wastewater during various stages of treatment for high-tech industries. Chromatographia 56:91-98.
- Yooyen, K. 1998. Impact study of air pollution from rock industry to the lung functions of the 6th grade student's case study: primary schools in Saraburi province, Thailand. Master's Thesis Department of Technology of Environmental Planning and Rural Development Faculty of Science Mahidol University.
- Yu, C. and Cramp, C. 1988. A review of the emissions of VOCs from polymeric materials used in buildings. Building and Environment 33: 357-374.
- Zuraimi, M.S., Tham, K.W., and Sekhar, S.C. 2003. The effects of ventilation operations in determining contributions of VOCs sources in air-conditioned tropical buildings. Building and Environment 38: 23-32.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

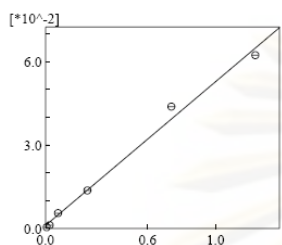


ภาคผนวก ก

Calibration curve

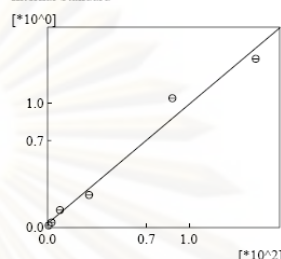
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ID# 3 Mass: 85.05 Name: Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-
 $f(x)=0.000517*x+0.001138$
 $r1=0.995566$ $r2=0.991152$
 MeanRF:0.00 RFSD:0.00 RFRSD:16.97
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



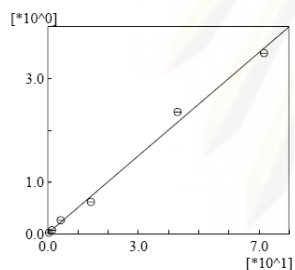
# nc.	Ratio (ng)	ean Area Ratio
1	0.740	0.00
2	2.470	0.00
3	7.400	0.01
4	24.680	0.01
5	74.030	0.04
6	123.380	0.06

ID# 10 Mass: 101.05 Name: Trichloromonofluoromethane
 $f(x)=0.009600*x+0.031872$
 $r1=0.988521$ $r2=0.977173$
 MeanRF:0.01 RFSD:0.00 RFRSD:28.90
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



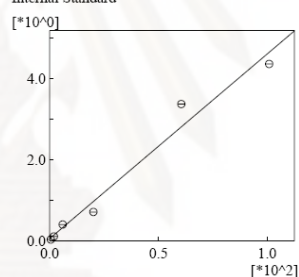
# nc.	Ratio (ng)	ean Area Ratio
1	0.880	0.02
2	2.940	0.04
3	8.830	0.14
4	29.440	0.26
5	88.310	1.04
6	147.180	1.36

ID# 11 Mass: 67.05 Name: 1,3-Butadiene, 2-methyl-
 $f(x)=0.049808*x+0.015976$
 $r1=0.997019$ $r2=0.994048$
 MeanRF:0.05 RFSD:0.01 RFRSD:15.05
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



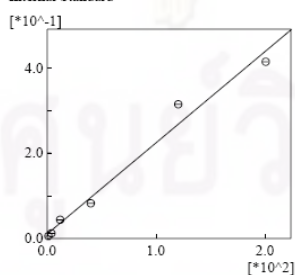
# nc.	Ratio (ng)	ean Area Ratio
1	0.430	0.03
2	1.430	0.07
3	4.300	0.27
4	14.320	0.62
5	42.960	2.35
6	71.600	3.48

ID# 12 Mass: 61.00 Name: Ethene, 1,1-dichloro-
 $f(x)=0.045469*x+0.056095$
 $r1=0.986372$ $r2=0.972930$
 MeanRF:0.05 RFSD:0.01 RFRSD:21.51
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



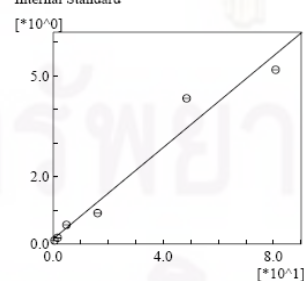
# nc.	Ratio (ng)	ean Area Ratio
1	0.610	0.04
2	2.020	0.11
3	6.050	0.40
4	20.180	0.71
5	60.540	3.37
6	100.900	4.36

ID# 13 Mass: 101.00 Name: Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-(F113)
 $f(x)=0.002134*x+0.010310$
 $r1=0.989524$ $r2=0.979158$
 MeanRF:0.00 RFSD:0.00 RFRSD:32.87
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



# nc.	Ratio (ng)	ean Area Ratio
1	1.200	0.01
2	4.020	0.01
3	12.050	0.04
4	40.150	0.08
5	120.460	0.31
6	200.760	0.41

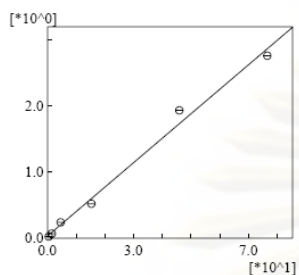
ID# 14 Mass: 76.00 Name: Carbon disulfide
 $f(x)=0.067863*x+0.154548$
 $r1=0.977815$ $r2=0.956122$
 MeanRF:0.11 RFSD:0.05 RFRSD:50.58
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



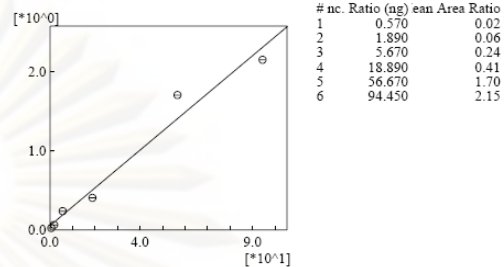
# nc.	Ratio (ng)	ean Area Ratio
1	0.490	0.10
2	1.620	0.18
3	4.850	0.57
4	16.170	0.92
5	48.500	4.33
6	80.830	5.18

ภาพที่ ก-1 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิด 77 component indoor air ทั้ง 55 ชนิด

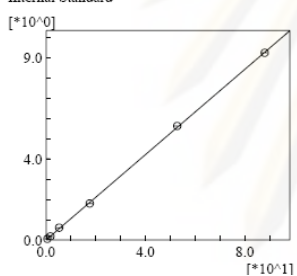
ID# 16 Mass:55.05 Name:Cyclopentane
 $f(x)=0.036962*x+0.033341$
 $r1=0.995405$ $r2=0.990831$
 MeanRF:0.04 RFSD:0.01 RFRSD:17.29
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



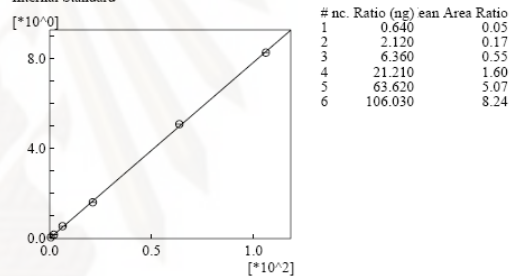
ID# 17 Mass:73.10 Name:Propane, 2-methoxy-2-methyl-
 $f(x)=0.023830*x+0.056151$
 $r1=0.9984698$ $r2=0.999630$
 MeanRF:0.03 RFSD:0.01 RFRSD:28.02
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



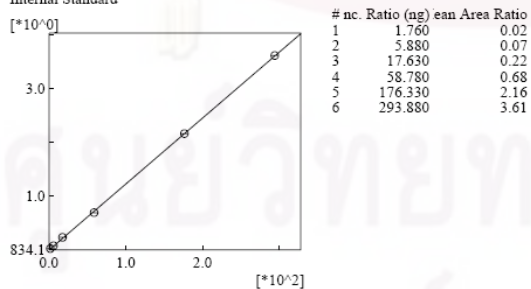
ID# 18 Mass:57.10 Name:Hexane
 $f(x)=0.105085*x+0.011131$
 $r1=0.999923$ $r2=0.999845$
 MeanRF:0.11 RFSD:0.01 RFRSD:4.94
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



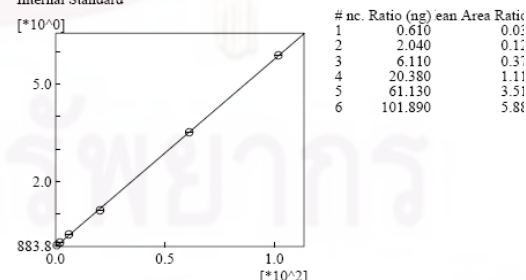
ID# 19 Mass:63.00 Name:Ethane, 1,1-dichloro-
 $f(x)=0.078038*x+0.013017$
 $r1=0.999855$ $r2=0.999711$
 MeanRF:0.08 RFSD:0.00 RFRSD:4.55
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



ID# 20 Mass:186.00 Name:Benzene,hexafluoro-
 $f(x)=0.012303*x+0.010167$
 $r1=0.999942$ $r2=0.999883$
 MeanRF:0.01 RFSD:0.00 RFRSD:12.97
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard

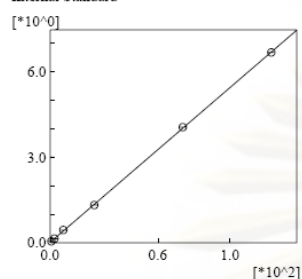


ID# 21 Mass:61.00 Name:Ethene, 1,2-dichloro-, (Z)-
 $f(x)=0.057733*x+0.012695$
 $r1=0.999926$ $r2=0.999853$
 MeanRF:0.06 RFSD:0.00 RFRSD:4.21
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard

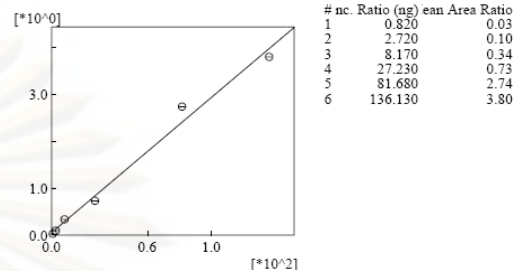


ภาพที่ ก-1(ต่อ) Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิด
 77 component indoor air ทั้ง 55 ชนิด

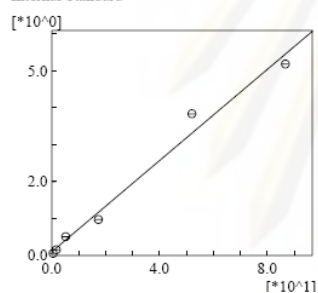
ID#:22 Mass:83.00 Name:Chloroform
 $f(x)=0.054226*x+0.014762$
 $rr1=0.999954$ $rr2=0.999908$
 MeanRF:0.06 RFRSD:0.00 RFRSD:5.24
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



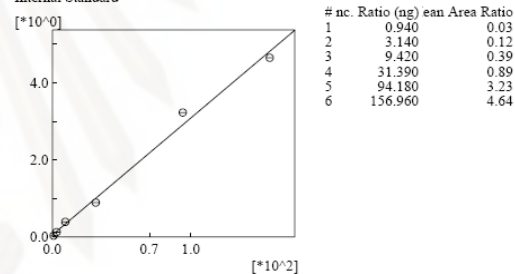
ID#:24 Mass:97.05 Name:Ethane, 1,1,1-trichloro-
 $f(x)=0.028799*x+0.057549$
 $rr1=0.993710$ $rr2=0.987460$
 MeanRF:0.03 RFRSD:0.01 RFRSD:16.18
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



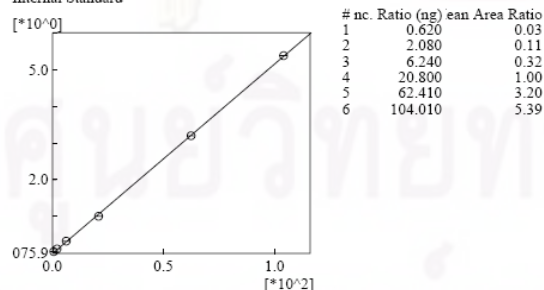
ID#:25 Mass:56.05 Name:Cyclohexane
 $f(x)=0.061802*x+0.099208$
 $rr1=0.991460$ $rr2=0.982992$
 MeanRF:0.08 RFRSD:0.02 RFRSD:24.87
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



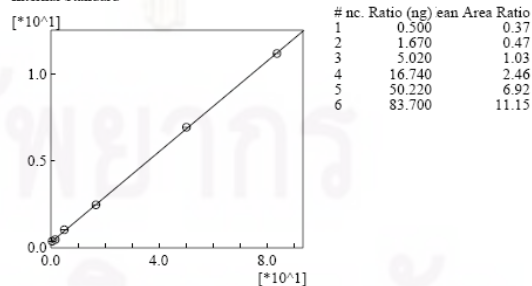
ID#:26 Mass:117.00 Name:Carbon Tetrachloride
 $f(x)=0.030296*x+0.056768$
 $rr1=0.996019$ $rr2=0.992055$
 MeanRF:0.03 RFRSD:0.01 RFRSD:15.14
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



ID#:27 Mass:61.95 Name:Ethane, 1,2-dichloro-
 $f(x)=0.051800*x-0.019736$
 $rr1=0.999887$ $rr2=0.999775$
 MeanRF:0.05 RFRSD:0.00 RFRSD:4.63
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



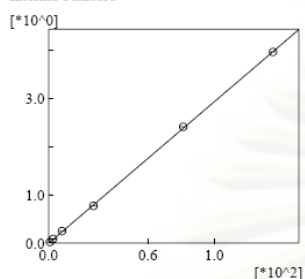
ID#:28 Mass:78.10 Name:Benzene
 $f(x)=0.129909*x+0.315481$
 $rr1=0.999911$ $rr2=0.999823$
 MeanRF:0.28 RFRSD:0.24 RFRSD:86.70
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



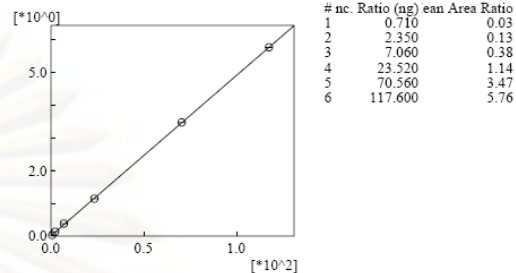
ภาพที่ ก-1(ต่อ) Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิด

77 component indoor air ทั้ง 55 ชนิด

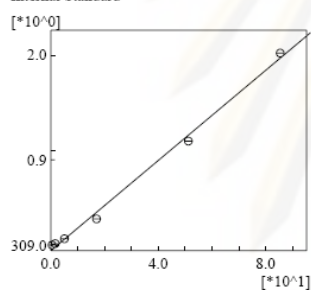
ID#30 Mass:95.05 Name:Trichloroethylene
 $f(x)=0.029364*x+0.002176$
 $r1=0.999937$ $r2=0.999874$
 MeanRF:0.03 RFSD:0.00 RFRSD:6.11
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



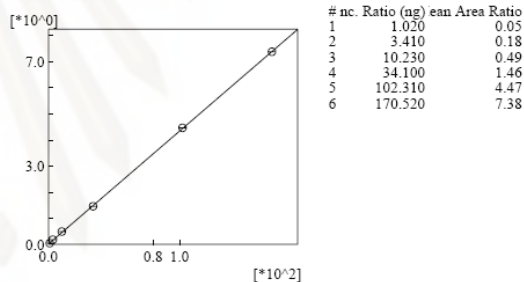
ID#31 Mass:63.00 Name:Propane, 1,2-dichloro-
 $f(x)=0.048888*x+0.009108$
 $r1=0.999974$ $r2=0.999947$
 MeanRF:0.05 RFSD:0.01 RFRSD:10.17
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



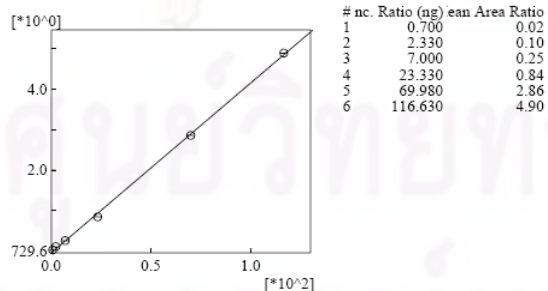
ID#32 Mass:58.05 Name:1,4-Dioxane
 $f(x)=0.023684*x-0.053039$
 $r1=0.997740$ $r2=0.995484$
 MeanRF:0.02 RFSD:0.01 RFRSD:31.14
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



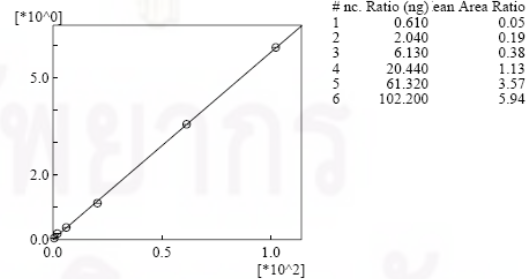
ID#33 Mass:83.00 Name:Methane, bromodichloro-
 $f(x)=0.043207*x+0.021588$
 $r1=0.999966$ $r2=0.999931$
 MeanRF:0.05 RFSD:0.00 RFRSD:8.06
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



ID#34 Mass:75.05 Name:1-Propene,1,3-dichloro (z)
 $f(x)=0.042034*x-0.046199$
 $r1=0.999583$ $r2=0.999166$
 MeanRF:0.04 RFSD:0.01 RFRSD:16.43
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard

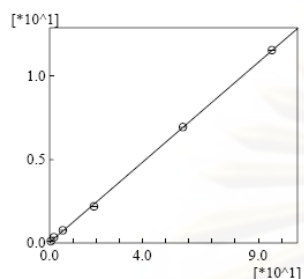


ID#35 Mass:58.05 Name:Methyl Isobutyl Ketone
 $f(x)=0.057890*x+0.014902$
 $r1=0.999859$ $r2=0.999719$
 MeanRF:0.07 RFSD:0.01 RFRSD:21.67
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard

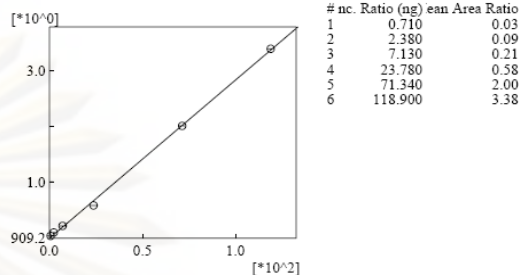


ภาพที่ ก-1(ต่อ) Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิด
 77 component indoor air ทั้ง 55 ชนิด

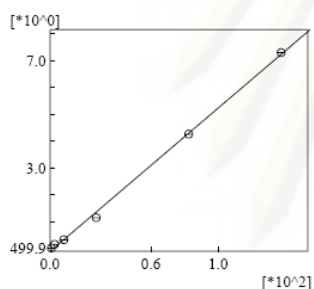
ID#37 Mass:91.15 Name:Toluene
 $f(x)=0.119858*x+0.028435$
 $r1=0.999871$ $r2=0.999743$
 MeanRF:0.14 RFS:0.03 RFRSD:20.09
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



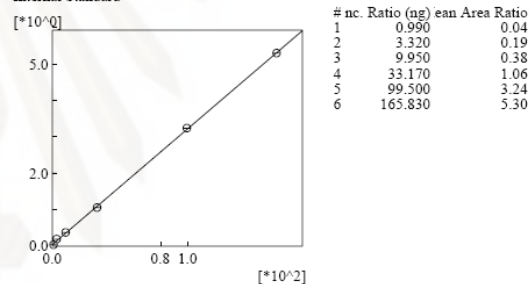
ID#38 Mass:75.05 Name:1-Propene, 1,3-dichloro-, (E)-
 $f(x)=0.028368*x-0.011763$
 $r1=0.999455$ $r2=0.998911$
 MeanRF:0.03 RFS:0.01 RFRSD:21.63
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



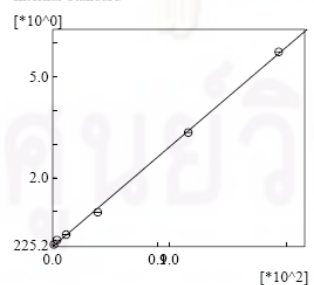
ID#39 Mass:57.00 Name:Ethane, 1,1,2-trichloro-
 $f(x)=0.053391*x-0.110496$
 $r1=0.999214$ $r2=0.998429$
 MeanRF:0.04 RFS:0.01 RFRSD:34.77
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



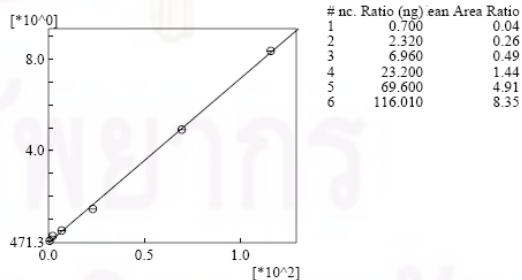
ID#40 Mass:165.95 Name:Tetrachloroethylene
 $f(x)=0.031789*x+0.043088$
 $r1=0.999850$ $r2=0.999700$
 MeanRF:0.04 RFS:0.01 RFRSD:26.32
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



ID#41 Mass:109.05 Name:Ethane, 1,2-dibromo-
 $f(x)=0.029486*x-0.036165$
 $r1=0.999477$ $r2=0.998955$
 MeanRF:0.03 RFS:0.01 RFRSD:20.54
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard

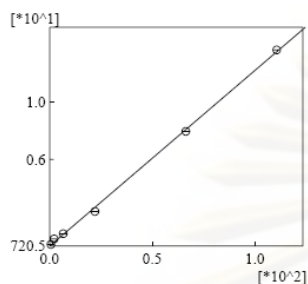


ID#43 Mass:112.15 Name:Benzen, chloro-
 $f(x)=0.071715*x-0.033098$
 $r1=0.999469$ $r2=0.998939$
 MeanRF:0.07 RFS:0.02 RFRSD:24.18
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard

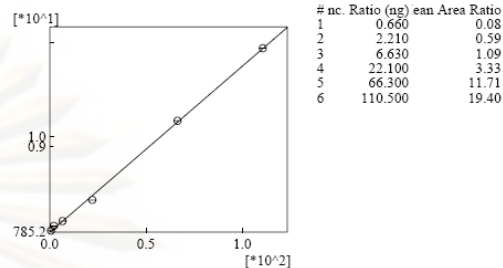


ภาพที่ ก-1(ต่อ) Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิด 77 component indoor air ทั้ง 55 ชนิด

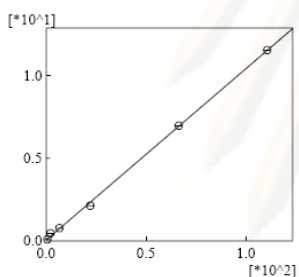
ID# 44 Mass:91.15 Name:Ethylbenzene
 $f(x)=0.122357*x-0.032953$
 $r1=0.999400$ $r2=0.998801$
 MeanRF:0.13 RFS:0.04 RFRSD:28.91
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



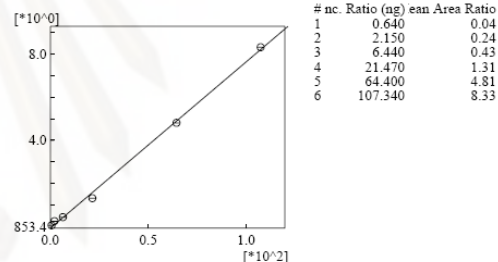
ID# 45 Mass:91.15 Name:m/p-Xylene
 $f(x)=0.176141*x-0.085361$
 $r1=0.999478$ $r2=0.998955$
 MeanRF:0.18 RFS:0.05 RFRSD:26.94
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



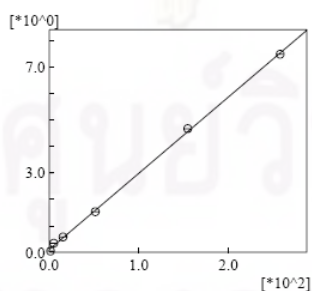
ID# 46 Mass:91.10 Name:o-Xylene
 $f(x)=0.103888*x+0.050121$
 $r1=0.999609$ $r2=0.999217$
 MeanRF:0.13 RFS:0.04 RFRSD:32.29
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



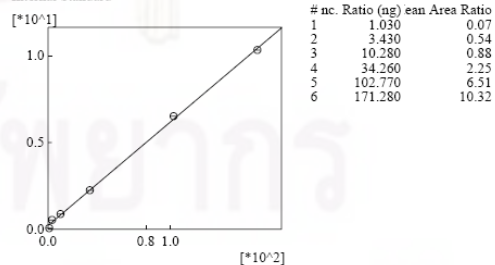
ID# 47 Mass:104.10 Name:Styrene
 $f(x)=0.077426*x-0.087901$
 $r1=0.998907$ $r2=0.997816$
 MeanRF:0.08 RFS:0.02 RFRSD:25.44
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



ID# 48 Mass:172.85 Name:Methane, tribromo-
 $f(x)=0.028762*x+0.108884$
 $r1=0.999577$ $r2=0.999154$
 MeanRF:0.04 RFS:0.01 RFRSD:39.91
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



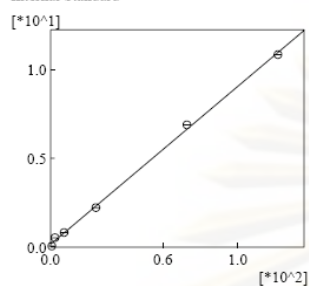
ID# 50 Mass:83.00 Name:Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-
 $f(x)=0.059535*x+0.221626$
 $r1=0.999401$ $r2=0.998802$
 MeanRF:0.08 RFS:0.04 RFRSD:45.27
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



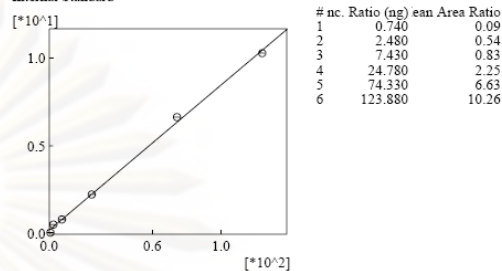
ภาพที่ ก-1(ต่อ) Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิด

77 component indoor air ทั้ง 55 ชนิด

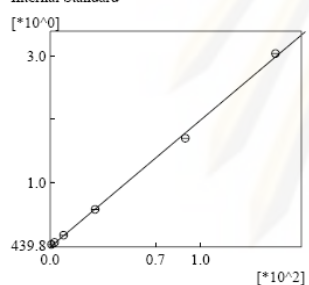
ID# 51 Mass:105.15 Name: Benzene, 1,3,5-trimethyl-
 $f(x)=0.088756*x+0.175967$
 $rr1=0.999297$ $rr2=0.998594$
 MeanRF:0.12 RFSD:0.05 RFRSD:43.94
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



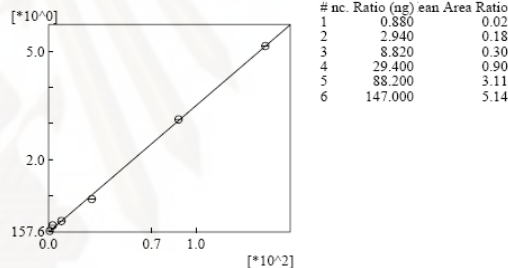
ID# 52 Mass:105.15 Name: Benzene, 1,2,4-trimethyl-
 $f(x)=0.082331*x+0.226370$
 $rr1=0.999032$ $rr2=0.998064$
 MeanRF:0.12 RFSD:0.05 RFRSD:43.08
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



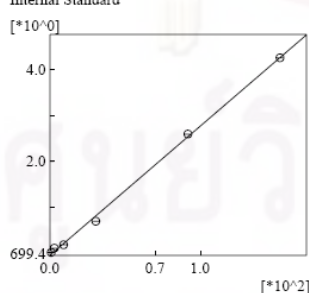
ID# 53 Mass:68.00 Name: Limonene
 $f(x)=0.020036*x-0.018387$
 $rr1=0.999280$ $rr2=0.998560$
 MeanRF:0.02 RFSD:0.00 RFRSD:10.73
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



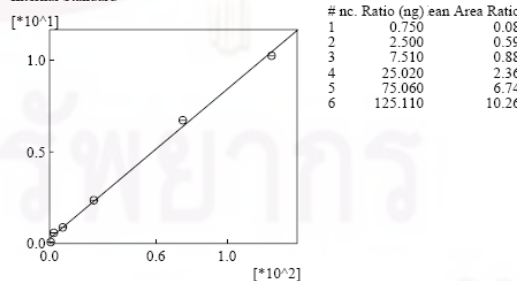
ID# 54 Mass:146.10 Name: Benzene, 1,3-dichloro-
 $f(x)=0.035005*x-0.009125$
 $rr1=0.999500$ $rr2=0.999001$
 MeanRF:0.04 RFSD:0.01 RFRSD:33.07
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



ID# 55 Mass:146.10 Name: Benzene, 1,4-dichloro-
 $f(x)=0.028146*x-0.046524$
 $rr1=0.999178$ $rr2=0.998356$
 MeanRF:0.02 RFSD:0.01 RFRSD:29.86
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



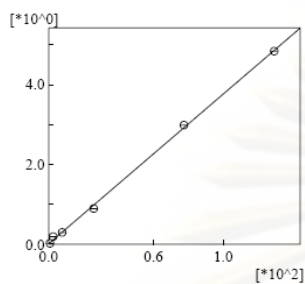
ID# 56 Mass:105.15 Name: Benzene, 1,2,3-trimethyl-
 $f(x)=0.081459*x+0.281350$
 $rr1=0.998547$ $rr2=0.997096$
 MeanRF:0.12 RFSD:0.06 RFRSD:47.51
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



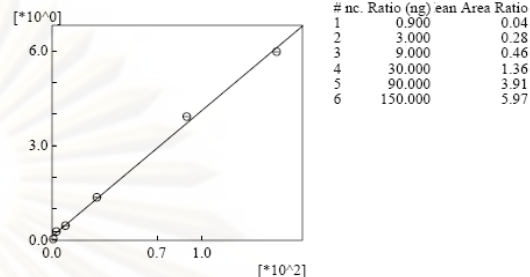
ภาพที่ ก-1(ต่อ) Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิด

77 component indoor air ทั้ง 55 ชนิด

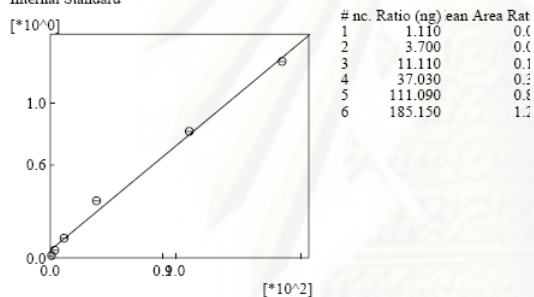
ID#:57 Mass:91.00 Name:Benzyl chloride
 $f(x)=0.037464*x+0.017867$
 $rr1=0.999498$ $rr2=0.998995$
 MeanRF:0.04 RFS:0.02 RFRSD:37.16
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



ID#:58 Mass:146.10 Name:Benzene, 1,2-dichloro-
 $f(x)=0.039798*x+0.126291$
 $rr1=0.998665$ $rr2=0.997331$
 MeanRF:0.05 RFS:0.02 RFRSD:37.92
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard

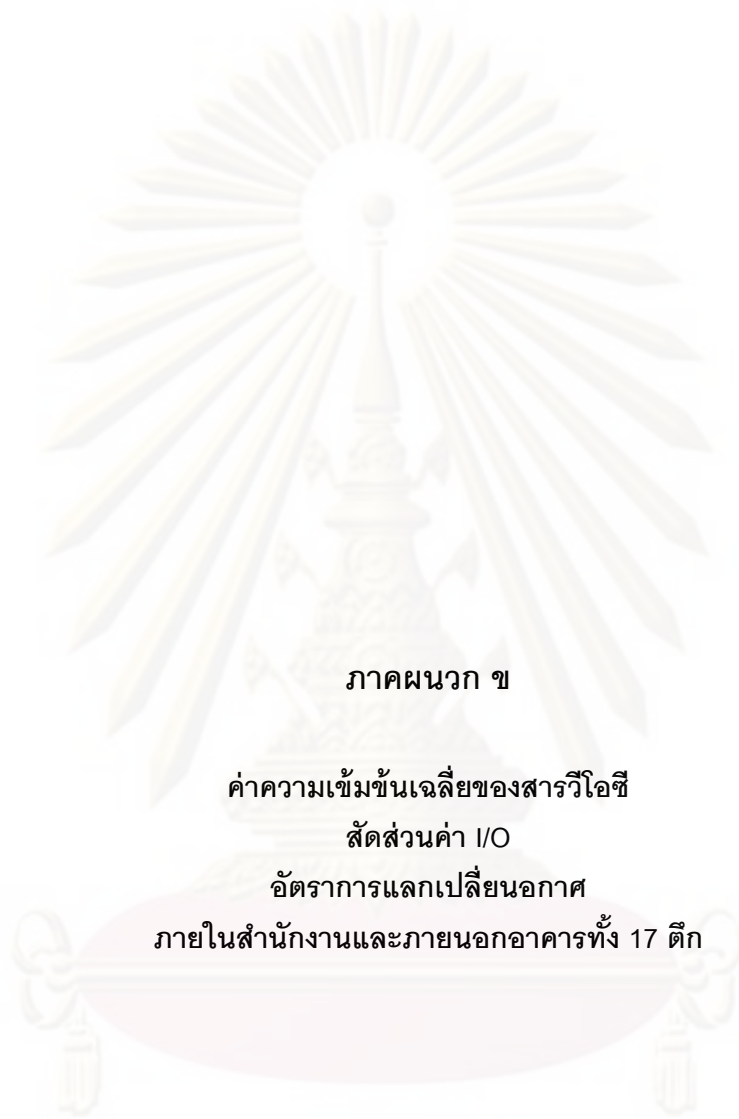


ID#:60 Mass:180.10 Name:Benzene, 1,2,4-trichloro-
 $f(x)=0.006723*x+0.050185$
 $rr1=0.996700$ $rr2=0.993410$
 MeanRF:0.01 RFS:0.00 RFRSD:28.54
 CurveType:Least Square Method
 ZeroThrough:Not Through
 WeightedRegression:None
 Internal Standard



ภาพที่ ก-1(ต่อ) Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิด
 77 component indoor air ทั้ง 55 ชนิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอโอดี

สัดส่วนค่า I/O

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

ภายในสำนักงานและภายนอกอาคารทั้ง 17 ตึก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.-1 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายในอาคารสำนักงานของตึกที่ 1-3

ชื่อสารประกอบ	ตึกที่ 1			ตึกที่ 2			ตึกที่ 3		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย
	ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร								
เฮกเซน	8.44	15.04	11.74	2.38	1.90	2.14	20.33	8.51	14.42
คลอโรฟอร์ม	5.52	3.11	4.32	3.57	1.90	2.74	1.07	0.79	0.93
1,2 ไดคลอโรอีเทน	nd	nd	nd	0.11	0.06	0.09	0.19	0.18	0.19
เบนซิน	1.09	1.14	1.12	1.84	1.47	1.65	8.79	8.11	8.45
ไตรคลอโรเอทิลีน	0.33	0.18	0.25	0.09	0.08	0.09	0.27	0.28	0.27
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.05	0.05
โทลูอิน	28.65	42.01	35.33	55.19	54.89	55.04	78.25	79.17	78.71
เตตระคลอโรเอทิลีน	0.71	0.69	0.70	0.03	nd	0.03	nd	nd	nd
เอทิลเบนซิน	8.18	18.15	13.17	3.90	3.86	3.88	7.11	7.23	7.17
เอ็มพี-ไซลีน	6.51	13.49	10.00	3.84	4.08	3.96	11.18	11.31	11.24
โอ-ไซลีน	4.43	8.35	6.39	2.38	2.66	2.52	7.98	7.82	7.90
สไตรีน	0.74	1.04	0.89	1.52	1.68	1.60	3.86	4.28	4.07
ไลโมนีน	16.15	14.00	15.07	27.06	46.20	36.63	21.85	30.49	26.17

ตาราง ข.-2 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายในอาคารสำนักงานของตึกที่ 4-6

ชื่อสารประกอบ	ตึกที่ 4			ตึกที่ 5			ตึกที่ 6		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย
	ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร								
เฮกเซน	9.37	9.45	9.41	20.60	25.70	23.15	3.63	3.73	3.68
คลอโรฟอร์ม	0.75	0.71	0.73	2.68	3.07	2.87	0.58	0.53	0.55
1,2 ไดคลอโรอีเทน	0.22	0.22	0.22	0.50	0.69	0.60	nd	nd	nd
เบนซิน	4.88	4.78	4.83	26.72	31.84	29.28	3.81	4.03	3.92
ไตรคลอโรเอทิลีน	0.24	0.20	0.22	0.46	0.48	0.47	0.18	0.18	0.18
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	nd	nd	nd	0.12	0.21	0.17	nd	nd	nd
โทลูอิน	105.74	100.84	103.29	210.45	208.64	209.54	101.21	119.62	110.41
เตตระคลอโรเอทิลีน	nd	nd	nd	0.71	0.65	0.68	0.38	0.44	0.41
เอทิลเบนซิน	16.44	16.28	16.36	15.71	15.23	15.47	8.02	9.88	8.95
เอ็มพี-ไซลีน	13.15	12.08	12.61	28.26	27.50	27.88	6.82	8.54	7.68
โอ-ไซลีน	8.44	8.14	8.29	24.52	24.30	24.41	5.85	7.33	6.59
สไตรีน	2.52	2.47	2.49	3.44	3.26	3.35	4.38	5.46	4.92
ไลโมนีน	79.99	82.46	81.22	15.69	13.73	14.71	38.56	47.13	42.85

ตาราง ข.-3 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายในอาคารสำนักงานของตึกที่ 7-9

ชื่อสารประกอบ	ตึกที่ 7			ตึกที่ 8			ตึกที่ 9		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย
	ไม่โครกรัม/ลูกบาศก์เมตร								
เฮกเซน	6.41	7.11	6.76	5.76	7.46	6.61	7.60	6.52	7.06
คลอโรฟอร์ม	1.55	1.42	1.48	0.91	1.42	1.16	1.78	1.45	1.61
1,2 ไดคลอโรอีเทน	0.07	nd	0.04	0.04	0.08	0.06	0.05	0.07	0.06
เบนซีน	7.10	6.36	6.73	6.42	8.13	7.27	8.90	8.95	8.92
ไตรคลอโรเอทิลีน	2.34	2.15	2.25	1.34	1.47	1.41	1.35	1.19	1.27
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	Nd	0.09	0.09	0.10	0.08	0.09	0.11	0.12	0.11
โทลูอิน	208.97	251.36	230.16	121.28	124.46	122.87	162.40	179.54	170.97
เตตระคลอโรเอทิลีน	1.05	1.34	1.20	2.31	1.97	2.14	1.51	1.92	1.72
เอทิลเบนซีน	24.97	28.15	26.56	20.45	19.52	19.99	21.41	27.45	24.43
เอ็มพี-ไซลีน	20.03	24.29	22.16	16.98	16.09	16.53	16.62	20.62	18.62
โอ-ไซลีน	14.02	16.78	15.40	13.42	12.79	13.11	12.56	16.98	14.77
สไตรีน	3.65	4.07	3.86	4.05	3.93	3.99	4.23	5.98	5.10
ไลโมนีน	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

ตาราง ข.-4 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายในอาคารสำนักงานของตึกที่ 10-12

ชื่อสารประกอบ	ตึกที่ 10			ตึกที่ 11			ตึกที่ 12		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย
	ไม่โครกรัม/ลูกบาศก์เมตร								
เฮกเซน	7.22	6.87	7.05	4.18	3.56	3.87	1.71	2.34	2.03
คลอโรฟอร์ม	0.42	0.35	0.38	0.39	0.34	0.37	nd	nd	nd
1,2 ไดคลอโรอีเทน	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.01	0.00	0.01
เบนซีน	7.99	8.45	8.22	4.85	3.84	4.34	2.13	1.93	2.03
ไตรคลอโรเอทิลีน	0.20	0.22	0.21	0.23	0.12	0.18	nd	0.04	nd
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
โทลูอิน	101.25	110.65	105.95	108.20	106.60	107.40	37.79	54.36	46.07
เตตระคลอโรเอทิลีน	1.08	1.19	1.13	0.50	0.49	0.49	0.55	0.67	0.61
เอทิลเบนซีน	8.40	9.07	8.74	11.17	10.92	11.04	5.15	7.35	6.25
เอ็มพี-ไซลีน	8.31	9.27	8.79	7.02	7.17	7.09	4.59	6.99	5.79
โอ-ไซลีน	6.96	7.66	7.31	5.43	5.78	5.61	3.45	5.05	4.25
สไตรีน	2.26	2.44	2.35	4.39	4.62	4.51	0.83	0.81	0.82
ไลโมนีน	44.07	47.26	45.66	153.50	154.18	153.84	236.10	246.20	241.15

ตาราง ข.-5 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายในอาคารสำนักงานของตึกที่ 13-15

ชื่อสารประกอบ	ตึกที่ 13			ตึกที่ 14			ตึกที่ 15		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย
	ไม่โครกรัม/ลูกบาศก์เมตร								
เฮกเซน	7.98	6.56	7.27	6.95	7.08	7.01	7.58	5.58	6.58
คลอโรฟอร์ม	nd	nd	nd	0.16	0.09	0.12	0.68	0.42	0.55
1,2 ไดคลอโรอีเทน	nd	nd	nd	Nd	nd	nd	1.02	0.59	0.80
เบนซีน	9.95	8.49	9.22	9.46	9.76	9.61	16.06	14.10	15.08
ไตรคลอโรเอทิลีน	nd	0.27	nd	0.17	0.11	0.14	1.03	0.95	0.99
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	nd	nd	nd	Nd	nd	nd	0.48	0.34	0.41
โทลูอิน	96.38	127.39	111.88	77.57	100.74	89.16	206.57	119.78	163.18
เตตระคลอโรเอทิลีน	0.82	0.89	0.85	0.72	1.00	0.86	1.79	1.60	1.70
เอทิลเบนซีน	8.36	9.06	8.71	6.09	8.75	7.42	17.57	12.16	14.87
เอ็ม/พี-ไซลีน	9.43	9.65	9.54	7.87	11.54	9.71	27.65	15.86	21.76
โอ-ไซลีน	7.74	7.85	7.79	6.11	9.26	7.68	23.31	14.04	18.67
สไตรีน	2.72	2.75	2.73	2.22	3.12	2.67	6.00	4.05	5.03
ไลโมนีน	116.36	110.25	113.31	145.01	281.14	213.08	34.21	17.28	25.75

ตาราง ข.-6 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายในอาคารสำนักงานของตึกที่ 16-17

ชื่อสารประกอบ	ตึกที่ 16			ตึกที่ 17		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เฉลี่ย
	ไม่โครกรัม/ลูกบาศก์เมตร					
เฮกเซน	3.67	3.51	3.59	4.68	4.18	4.43
คลอโรฟอร์ม	0.52	0.44	0.48	0.46	0.34	0.40
1,2 ไดคลอโรอีเทน	0.51	0.47	0.49	0.35	0.31	0.33
เบนซีน	8.02	7.73	7.88	8.64	8.85	8.75
ไตรคลอโรเอทิลีน	0.64	0.60	0.62	0.97	0.84	0.91
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	0.31	0.29	0.30	0.20	0.19	0.19
โทลูอิน	49.65	49.48	49.56	84.07	83.43	83.75
เตตระคลอโรเอทิลีน	1.62	1.58	1.60	1.50	1.70	1.60
เอทิลเบนซีน	5.50	5.59	5.54	6.96	6.94	6.95
เอ็ม/พี-ไซลีน	6.30	6.46	6.38	7.62	7.74	7.68
โอ-ไซลีน	5.79	5.93	5.86	7.08	7.24	7.16
สไตรีน	3.29	3.39	3.34	2.97	3.08	3.03
ไลโมนีน	6.44	6.70	6.57	13.40	13.38	13.39

ตาราง ข.-7 แสดงค่าความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ทำการศึกษา 17 ตีก

ชื่อสารประกอบ	ค่าเฉลี่ย	SD	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่ากลาง
	ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร				
เฮกเซน	7.46	5.17	23.15	2.03	6.76
คลอโรฟอร์ม	1.25	1.19	4.32	0.12	0.73
1,2 ไดคลอโรอีเทน	0.26	0.26	0.80	0.01	0.19
เบนซิน	8.08	6.49	29.28	1.12	7.88
ไตรคลอโรเอทิลีน	0.59	0.62	2.25	0.00	0.26
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	0.18	0.12	0.41	0.05	0.14
โทลูอิน	110.19	55.66	230.16	35.33	105.95
เตตระคลอโรเอทิลีน	1.05	0.60	2.14	0.03	0.86
เอทิลเบนซิน	12.09	6.67	26.56	3.88	8.95
เอม/พี-ไซลีน	12.20	6.79	27.88	3.96	9.71
โอ-ไซลีน	9.63	5.73	24.41	2.52	7.68
สไตรีน	3.22	1.34	5.10	0.82	3.34
ไลโมนีน	73.53	77.58	241.15	6.57	39.74

ตาราง ข.-8 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายนอกอาคารของตีกที่ 1-7

ชื่อสารประกอบ	ตีกที่ 1	ตีกที่ 2	ตีกที่ 3	ตีกที่ 4	ตีกที่ 5	ตีกที่ 6	ตีกที่ 7
	ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร						
เฮกเซน	0.32	1.46	0.87	0.91	0.97	5.28	0.75
คลอโรฟอร์ม	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1,2 ไดคลอโรอีเทน	nd	nd	nd	nd	nd	0.25	nd
เบนซิน	0.53	1.95	1.40	2.18	1.37	18.18	1.06
ไตรคลอโรเอทิลีน	nd	0.03	0.15	0.03	0.19	0.07	0.21
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
โทลูอิน	24.48	45.45	54.11	73.40	37.81	111.39	35.42
เตตระคลอโรเอทิลีน	0.94	0.12	nd	nd	1.01	0.40	nd
เอทิลเบนซิน	2.03	13.53	4.83	5.37	3.42	9.30	5.70
เอม/พี-ไซลีน	1.72	11.36	4.59	6.01	2.29	12.58	5.04
โอ-ไซลีน	1.20	6.06	3.04	4.10	1.95	10.02	4.71
สไตรีน	0.46	1.35	0.72	0.77	0.87	nd	1.46
ไลโมนีน	3.18	2.27	1.50	3.03	0.88	30.20	nd

ตาราง ข.-9 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายนอกอาคารของตึกที่ 8-14

ชื่อสารประกอบ	ตึกที่ 8	ตึกที่ 9	ตึกที่ 10	ตึกที่ 11	ตึกที่ 12	ตึกที่ 13	ตึกที่ 14
	ไม่โครกรัม/ลูกบาศก์เมตร						
เฮกเซน	1.89	2.36	3.55	1.17	0.37	0.92	0.91
คลอโรฟอร์ม	0.00	nd	nd	nd	nd	0.00	nd
1,2 ไดคลอโรอีเทน	nd	nd	nd	nd	nd	0.00	nd
เบนซิน	2.20	2.90	4.72	1.79	0.78	1.17	1.69
ไตรคลอโรเอทิลีน	0.27	0.41	nd	nd	nd	nd	nd
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	0.04	nd	nd	nd	nd	0.00	nd
โทลูอิน	50.90	46.17	75.56	34.78	15.43	27.65	23.99
เตตระคลอโรเอทิลีน	1.00	0.28	1.10	nd	nd	0.38	0.53
เอทิลเบนซิน	8.33	6.95	10.48	6.61	1.62	2.70	2.42
เอ็ม/พี-ไซลีน	6.94	6.02	13.70	2.62	1.39	3.02	2.63
โอ-ไซลีน	6.37	5.43	10.55	2.01	1.25	2.46	2.34
สไตรีน	2.01	1.89	1.48	0.34	0.26	0.35	0.34
ไลโมนีน	nd	nd	2.12	44.98	7.27	19.74	18.29

ตาราง ข.-10 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายนอกอาคารของตึกที่ 15-17

ชื่อสารประกอบ	ตึกที่ 15	ตึกที่ 16	ตึกที่ 17	ค่าเฉลี่ย	SD	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่ากลาง
	ไม่โครกรัม/ลูกบาศก์เมตร							
เฮกเซน	0.97	1.58	0.76	1.47	1.26	5.28	0.32	0.97
คลอโรฟอร์ม	0.14	nd	nd	0.05	0.08	0.14	0.00	0.00
1,2 ไดคลอโรอีเทน	0.08	0.28	nd	0.15	0.14	0.28	0.00	0.17
เบนซิน	2.61	4.28	1.78	2.98	4.08	18.18	0.53	1.79
ไตรคลอโรเอทิลีน	nd	0.46	0.23	0.20	0.15	0.46	0.03	0.20
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	0.15	0.24	nd	0.11	0.11	0.24	0.00	0.10
โทลูอิน	33.28	22.40	29.19	43.61	24.26	111.39	15.43	35.42
เตตระคลอโรเอทิลีน	nd	1.73	nd	0.75	0.49	1.73	0.12	0.73
เอทิลเบนซิน	4.19	3.38	2.53	5.49	3.35	13.53	1.62	4.83
เอ็ม/พี-ไซลีน	4.73	3.52	2.35	5.32	3.82	13.70	1.39	4.59
โอ-ไซลีน	nd	3.32	nd	4.32	2.93	10.55	1.20	3.32
สไตรีน	1.50	1.66	0.49	1.00	0.61	2.01	0.26	0.82
ไลโมนีน	2.55	2.82	13.45	10.88	13.25	44.98	0.88	3.10

ตาราง ข.-11 สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยภายในสำนักงานต่อภายนอกอาคาร ตึกที่ 1-8

ชื่อสารประกอบ	สัดส่วนความเข้มข้นภายในอาคารต่อภายนอกอาคาร (indoor/outdoor ratio)							
	ตึกที่ 1	ตึกที่ 2	ตึกที่ 3	ตึกที่ 4	ตึกที่ 5	ตึกที่ 6	ตึกที่ 7	ตึกที่ 8
	ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร							
เฮกเซน	36.35	1.47	16.58	10.29	23.80	0.70	9.06	3.49
คลอโรฟอร์ม	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1,2 ไดคลอโรอีเทน	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
เบนซิน	2.12	0.85	6.03	2.21	21.33	0.22	6.32	3.31
ไตรคลอโรเอทิลีน	nd	2.76	1.78	8.18	2.46	2.68	10.75	5.17
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2.09
โทลูอิน	1.44	1.21	1.45	1.41	5.54	0.99	6.50	2.41
เตตระคลอโรเอทิลีน	0.75	0.27	nd	nd	0.67	1.03	nd	2.15
เอทิลเบนซิน	6.48	0.29	1.48	3.05	4.52	0.96	4.66	2.40
เอ็ม/พี-ไซลีน	5.82	0.35	2.45	2.10	12.18	0.61	4.40	2.38
โอ-ไซลีน	5.33	0.42	2.60	2.02	12.53	0.66	3.27	2.06
สไตรีน	1.92	1.18	5.62	3.26	3.83	nd	2.64	1.98
ไลโมนีน	4.74	16.12	17.47	26.79	16.64	1.42	nd	nd

ตาราง ข.-12 สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยภายในสำนักงานต่อภายนอกอาคาร ตึกที่ 9-16

ชื่อสารประกอบ	สัดส่วนความเข้มข้นภายในอาคารต่อภายนอกอาคาร (indoor/outdoor ratio)							
	ตึกที่ 9	ตึกที่ 10	ตึกที่ 11	ตึกที่ 12	ตึกที่ 13	ตึกที่ 14	ตึกที่ 15	ตึกที่ 16
	ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร							
เฮกเซน	2.99	1.98	3.32	5.45	7.90	7.73	6.80	2.27
คลอโรฟอร์ม	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3.88	nd
เบนซิน	3.07	1.74	2.43	2.60	7.88	5.68	5.79	1.84
ไตรคลอโรเอทิลีน	3.11	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.35
1,2 ไดคลอโรโพรเพน	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2.72	1.25
โทลูอิน	3.70	1.40	3.09	2.99	4.05	3.72	4.90	2.21
เตตระคลอโรเอทิลีน	6.11	1.04	nd	nd	2.22	1.62	nd	0.93
เอทิลเบนซิน	3.52	0.83	1.67	3.86	3.22	3.06	3.55	1.64
เอ็ม/พี-ไซลีน	3.10	0.64	2.70	4.16	3.16	3.69	4.60	1.81
โอ-ไซลีน	2.72	0.69	2.79	3.41	3.17	3.28	nd	1.76
สไตรีน	2.70	1.58	13.30	3.20	7.72	7.91	3.35	2.01
ไลโมนีน	nd	21.49	3.42	33.17	5.74	11.65	10.08	2.33

ตาราง ข.-13 สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยภายในสำนักงานต่อภายนอกอาคาร ทั้ง 17 ตึก

ชื่อสารประกอบ	สัดส่วนความเข้มข้นภายในอาคารต่อภายนอกอาคาร					
	ตึกที่ 17	ค่าเฉลี่ย	SD	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่ากลาง
ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร						
เฮกเซน	5.80	8.59	11.74	36.35	0.70	6.28
คลอโรฟอร์ม	nd	3.88	-	-	-	-
1,2 ไดคลอโรอีเทน	nd	5.89	-	-	-	-
เบนซิน	4.92	4.61	6.17	21.33	0.22	2.64
ไตรคลอโรเอทิลีน	3.99	4.22	3.22	10.75	1.78	2.93
1,2 ไดคลอโรโพเรน	nd	2.02	-	2.09	2.09	2.09
โทลูอิน	2.87	2.93	1.98	6.50	0.99	1.45
เตตระคลอโรเอทิลีน	nd	1.68	2.02	6.11	0.27	1.03
เอทิลเบนซิน	2.74	2.82	2.00	6.48	0.29	2.72
เอ็มพี-ไซลีน	3.27	3.38	3.53	12.18	0.35	2.42
โอ-ไซลีน	nd	3.11	3.58	12.53	0.42	2.33
สไตรีน	6.22	4.28	1.36	5.62	1.18	2.64
ไดโมนีน	1.00	12.29	8.95	26.79	1.42	16.64

ตาราง ข-14 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในสำนักงาน

ตึกที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AER, ชม. ⁻¹	0.31	0.20	0.27	0.23	1.16	0.38	0.14	0.34	0.30	0.16
ตึกที่	11	12	13	14	15	16	17	MAX	MIN	AVG
AER, ชม. ⁻¹	0.04	0.05	0.02	0.02	0.53	0.01	0.63	1.16	0.01	0.28

ตาราง ข – 15 ค่าแนะนำของสารไว้อิทธิพลบางชนิดภายในอาคาร ของกระทรวงสาธารณสุข
ประเทศญี่ปุ่น

Substance	Indoor concentration guideline*	Primary sources
Formaldehyde	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08 ppm)	Adhesive for plywood, wallpaper, etc
Toluene	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppm)	Adhesive, paint for interior finishing materials, furniture, etc.
Xylene	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.20 ppm)	
Paradichlorobenzene	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)	Mothballs and toilet air fresheners
Ethylbenzene	3,800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88 ppm)	Adhesive, paint for plywood, furniture, etc.
Styrene	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)	Insulating material, bathroom unit, tatami padding
Chlorpyrifos	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppb) 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007 ppb) for children	Ant repellent
Di-n-butyl phthalate	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppm)	Paint, pigment, adhesive
Tetradecane	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)	Kerosene, paint
Di-n-ethyl hexyl phthalate	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.6 ppb)	Wallpaper, flooring material, electrical wire covering
Diazinon	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppb)	Insecticide
Acetaldehyde	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm)	Adhesive for building materials, wallpaper
BPMC	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8 ppb)	Termite eradicator

* Converted to values at 25degC; 1 ppb = 1/1,000 ppm

(สารที่ทำการวิจัยในครั้งนี้จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ โทลูอิน ไซลีน เอทิลเบนซีน สไตรีน)

ที่มา : <http://www.jama-english.jp/release/release/2005/050214.html>

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข – 16 มาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี

สารวีไอซี	ค่ามาตรฐาน
1. เบนซีน (Benzene)	ไม่เกิน 1.7 มค.ก./ลบ.ม
2. ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride)	ไม่เกิน 10 มค.ก./ลบ.ม
3. 1,2 - ไดคลอโรอีเทน (1,2 - Dichloroethane)	ไม่เกิน 0.4 มค.ก./ลบ.ม
4. ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	ไม่เกิน 23 มค.ก./ลบ.ม
5. ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	ไม่เกิน 22 มค.ก./ลบ.ม
6. 1,2 - ไดคลอโรโพรเพน (1,2 - Dichloropropane)	ไม่เกิน 4 มค.ก./ลบ.ม
7. เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	ไม่เกิน 200 มค.ก./ลบ.ม
8. คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	ไม่เกิน 0.43 มค.ก./ลบ.ม
9. 1,3 - บิวทาไดอีน (1,3 - Butadiene)	ไม่เกิน 0.33 มค.ก./ลบ.ม

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ.2550) เรื่องกำหนด
มาตรฐานค่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

แบบสำรวจคุณภาพอากาศภายในอาคาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสำรวจคุณภาพอากาศภายในอาคาร

1. ข้อมูลทั่วไป

วันที่ : _____

ชื่ออาคาร : _____

บริษัท : _____

ที่อยู่ : _____

บุคคลที่สามารถติดต่อได้ : _____

โทรศัพท์ : _____ แฟกซ์ : _____

แผนที่แสดงที่ตั้งอาคารและสถานที่สำคัญบริเวณ รัศมี 2 กม.



2. ลักษณะภายนอกของอาคาร

ปีที่สร้าง _____

จำนวนชั้น _____

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ลักษณะภายในของอาคาร

มีการตกแต่ง/ปรับปรุง ภายในอาคาร ครั้งสุดท้าย เมื่อ _____

ขนาดของห้อง พื้นที่ประมาณ _____ ตารางเมตร

ลักษณะของการตกแต่งของอาคาร ณ ปัจจุบัน

ผนังห้อง

วัสดุที่ใช้ทำ

___ บล็อก ___ อิฐแดง ___ อิฐมวลเบา

___ ยิปซัม ___ ไม้อัด ___ กระฉก ___ อื่นๆ _____

วัสดุที่ใช้ปิดทับผนังห้อง

___ ใช้สีทา สีที่ใช้ทาชชนิด _____

___ ดิวอลล์เปเปอร์

___ ใช้ไม้อัดตกแต่ง ___ อื่นๆ _____

พื้นห้อง

___ ไม้ปาร์เก้ ___ กระเบื้องเคลือบ ___ กระเบื้องยาง

___ หินอ่อน ___ หินขัด ___ หินแกรนิต

___ พรม ___ อื่น ๆ _____

ฝ้าเพดาน

___ แผ่นเรียบ ___ ยิปซัม ___ อื่น ๆ _____

ห้องที่ทำการตรวจวัดติดกับห้องอะไรบ้าง

___ ไม่มี

___ มี ได้แก่

___ ห้องน้ำ ___ ห้องอาหาร ___ ห้องถ่ายเอกสาร ___ อื่น ๆ _____

4. ระบบระบายอากาศ

ประเภทของระบบปรับอากาศ

___ แบบรวมศูนย์ เชื้อเพลิงที่ใช้ ___ ไฟฟ้า ___ น้ำมัน ___ อื่นๆ คือ _____

___ แบบแยกศูนย์ รุ่นของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ _____

จำนวนของเครื่องปรับอากาศ _____ เครื่อง

ความถี่ในการล้างเครื่องปรับอากาศ

___ เดือนละครั้ง ___ เดือนละ 2 ครั้ง ___ อื่นๆ _____

ล้างเครื่องปรับอากาศครั้งสุดท้ายเมื่อ _____

อุณหภูมิภายในห้องปกติที่ใช้เครื่องปรับอากาศอยู่ในช่วง _____

จำนวนหน้าต่างภายในห้อง

___ ไม่มี

___ มี จำนวนหน้าต่างภายในห้องที่บ้าน _____

ได้ทำการเปิดหน้าต่างหรือไม่

___ ไม่ได้เปิด

___ เปิดหน้าต่าง ในช่วงเวลาใดบ้าง _____

5. การควบคุมสภาพอากาศ

___ ใช้ฉนวนกันความร้อน ___ ใช้หน้าต่างสะท้อนความร้อน ___ อื่นๆ _____

6. แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ระเหย

6.1 กิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในตัวอาคาร

อุปกรณ์สำนักงาน

เครื่องคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ _____ เครื่อง

โน้ตบุค _____ เครื่อง

เครื่องพิมพ์เอกสาร

เลเซอร์ _____ เครื่อง

อัตราการพิมพ์กระดาษประมาณ _____ แผ่น/เครื่อง/วัน

Bubblejet _____ เครื่อง

อัตราการพิมพ์กระดาษประมาณ _____ แผ่น/เครื่อง/วัน

เครื่องถ่ายเอกสาร

จำนวน _____ เครื่อง

อัตราการใช้ถ่ายเอกสารต่อวัน ประมาณ _____ แผ่น/เครื่อง/วัน

แฟกซ์

จำนวน _____ เครื่อง

อัตราการพิมพ์แฟกซ์ต่อวัน ประมาณ _____ แผ่น/เครื่อง/วัน

6.2 อุปกรณ์ทำความสะอาด

การทำความสะอาดในห้องทำงาน

ในหนึ่งสัปดาห์ มีการทำความสะอาดทุกวันหรือไม่

___ ทุกวัน

ช่วงเวลาที่ทำความสะอาด _____

บริเวณที่ทำความสะอาด _____

___ ไม่ทุกวัน ทำวันไหนบ้าง _____

ช่วงเวลาที่ทำความสะอาด _____

บริเวณที่ทำความสะอาด _____

ในการทำความสะอาดพื้นใช้น้ำยาทำความสะอาดหรือไม่

___ ใช้ น้ำยาทำความสะอาดยี่ห้อ _____

___ ไม่ใช่ (น้ำเปล่า)

ในการทำความสะอาดกระจกใช้น้ำยาทำความสะอาดหรือไม่

___ ใช้ น้ำยาทำความสะอาดยี่ห้อ _____

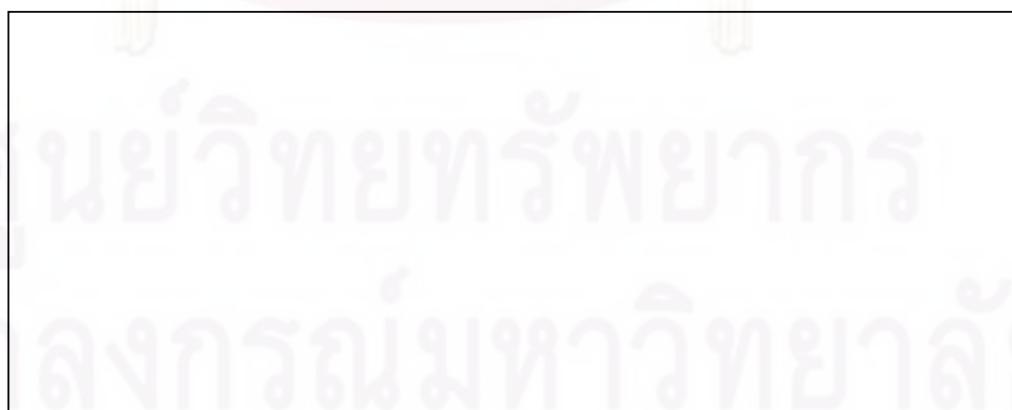
___ ไม่ใช่ (น้ำเปล่า)

การทำความสะอาดห้องน้ำ ทำช่วงเวลาใด _____

การใช้สารปรับความหอมในห้องน้ำ

___ ไม่มี ___ มี ประเภทที่ใช้ ___ สเปรย์ ___ ของแข็ง ___ ใจ ___ ของเหลว

แผนผังภายในห้อง



6.3 กิจกรรมอื่นๆ ที่ทำ

7. บริเวณภายนอกอาคาร

ลักษณะของภายนอกอาคารติดกับอะไรบ้าง

ทิศเหนือ _____

ทิศใต้ _____

ตะวันออก _____

ตะวันตก _____

มีการจราจรหนาแน่น ในช่วง

___ เข้า(6.00 – 9.00) ___ เที่ยง (11.00-13.30) ___ เย็น(16.00-19.00)

___ ไม่มีการจราจรหนาแน่น

___ สวนสาธารณะ ขนาดพื้นที่ประมาณ _____

___ ที่อยู่อาศัย

___ ตึกแถว,บ้าน ความสูงไม่เกิน 15 ม. (5 ชั้น)

___ ตึกอาคารสำนักงานที่สูงกว่า 5 ชั้น

___ อื่น ๆ _____

ตารางที่ ค - 1 (ต่อ) ข้อมูลอาคารสำนักงานทั้ง 17 ตึก

	ตึกที่ 13	ตึกที่ 14	ตึกที่ 15	ตึกที่ 16	ตึกที่ 17
ที่ตั้ง	พระราม 1	พลับพลา ชัย	พระราม 1	พระราม 1	พระราม 3
ปรับปรุงครั้งสุดท้าย	2550	2551	2551	2551	2549
พื้นที่(สูง) ตร.ม. (ม.)	1340(3)	1125(3)	1298(3)	655(3)	1150(3)
จำนวนพนักงาน	134	126	151	49	181
จำนวนพนักงานต่อพื้นที่ (คน/ตร.ม.)	0.10	0.112	0.116	0.074	0.157
การตกแต่ง					
สีทาสผนัง	/	/	/	/	/
ไม้อัด	-	-	-	-	-
กระจก	/	/	/	/	/
พื้นยางไวนิล	-	/	-	/	-
พรม	/	-	/	-	/
ยิปซัม (เพดาน)	/	/	/	/	/
ปูนเปลือย (เพดาน)	-	-	-	-	-
มู่ลี่	/	/	/	/	/
พาร์ทิชั่น	-	/	-	/	-
ระบบปรับอากาศ (รวมศูนย์)	/	/	/	/	/
อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	21.88	25.76	23.23	23.06	23.23
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	44.7	55.16	53.96	58.6	53.96
เครื่องถ่ายเอกสาร	/	/	/	/	/
เครื่องพิมพ์เอกสาร	/	/	/	/	/
รับ/ส่ง แฟกซ์	/	/	/	/	/
กวาดพื้น	-	-	-	/	-
เช็ดพื้น/เช็ดโต๊ะ	-	/	-	/	-
ใช้สารให้ความหอม	/	/	/	/	/
อาหาร	/*	/*	/*	/*	/*
ห้องน้ำ	-	-	-	-	-
* มีการนำอาหารเข้ามาทานภายในสำนักงานตอนพักเที่ยง ** มีการอุ่นอาหารด้วยไมโครเวฟ เครื่องต้มกาแฟ					

ตารางที่ ค-2 หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารวีไอซีต่อตัวแปร 4 ชนิด

		Hexane	people	decorated_year	AER	source_activties
Hexane	Pearson Correlation	1	.133	.519*	.670**	.081
	Sig. (2-tailed)		.611	.033	.003	.757
	N	17	17	17	17	17
people	Pearson Correlation	.133	1	-.027	-.010	.169
	Sig. (2-tailed)	.611		.919	.971	.517
	N	17	17	17	17	17
decorated_year	Pearson Correlation	.519*	-.027	1	.565*	-.117
	Sig. (2-tailed)	.033	.919		.018	.655
	N	17	17	17	17	17
AER	Pearson Correlation	.670**	-.010	.565*	1	.177
	Sig. (2-tailed)	.003	.971	.018		.497
	N	17	17	17	17	17
source_activties	Pearson Correlation	.081	.169	-.117	.177	1
	Sig. (2-tailed)	.757	.517	.655	.497	
	N	17	17	17	17	17

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-2 (ต่อ) หาคความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารวีโอซีต่อตัวแปร 4 ชนิด

		Correlations				
		Chloroform	people	decorated_ year	AER	source_activities
Chloroform	Pearson	1	.167	.113	.419	.724**
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)		.521	.666	.094	.001
	N	17	17	17	17	17
people	Pearson	.167	1	-.027	-.010	.169
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.521		.919	.971	.517
	N	17	17	17	17	17
decorated_year	Pearson	.113	-.027	1	.565*	-.117
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.666	.919		.018	.655
	N	17	17	17	17	17
AER	Pearson	.419	-.010	.565*	1	.177
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.094	.971	.018		.497
	N	17	17	17	17	17
source_activities	Pearson	.724**	.169	-.117	.177	1
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.001	.517	.655	.497	
	N	17	17	17	17	17

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ตารางที่ ค-2 (ต่อ) หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารวีไอซีต่อตัวแปร 4 ชนิด

		Correlations				
		1,2 dichloro ethane	people	decorated_year	AER	source_activties
1,2 dichloro ethane	Pearson	1	.047	.019	.604*	-.040
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)		.856	.943	.010	.878
	N	17	17	17	17	17
people	Pearson	.047	1	-.027	-.010	.169
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.856		.919	.971	.517
	N	17	17	17	17	17
decorated_year	Pearson	.019	-.027	1	.565*	-.117
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.943	.919		.018	.655
	N	17	17	17	17	17
AER	Pearson	.604*	-.010	.565*	1	.177
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.010	.971	.018		.497
	N	17	17	17	17	17
source_activties	Pearson	-.040	.169	-.117	.177	1
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.878	.517	.655	.497	
	N	17	17	17	17	17

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-2 (ต่อ) หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารวีไอซีต่อตัวแปร 4 ชนิด

Correlations

		Benzene	people	decorated_year	AER	source_activities
Benzene	Pearson Correlation	1	-.159	.447	.748**	-.198
	Sig. (2-tailed)		.541	.072	.001	.445
	N	17	17	17	17	17
people	Pearson Correlation	-.159	1	-.027	-.010	.169
	Sig. (2-tailed)	.541		.919	.971	.517
	N	17	17	17	17	17
decorated_year	Pearson Correlation	.447	-.027	1	.565*	-.117
	Sig. (2-tailed)	.072	.919		.018	.655
	N	17	17	17	17	17
AER	Pearson Correlation	.748**	-.010	.565*	1	.177
	Sig. (2-tailed)	.001	.971	.018		.497
	N	17	17	17	17	17
source_activities	Pearson Correlation	-.198	.169	-.117	.177	1
	Sig. (2-tailed)	.445	.517	.655	.497	
	N	17	17	17	17	17

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-2 (ต่อ) หาคความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารวีไอซีต่อตัวแปร 4 ชนิด

Correlations

		m_p_Xylene	people	decorated_year	AER	source_activities
m_p_Xylene	Pearson Correlation	1	.001	.218	.631**	-.120
	Sig. (2-tailed)		.997	.401	.007	.646
	N	17	17	17	17	17
people	Pearson Correlation	.001	1	-.027	-.010	.169
	Sig. (2-tailed)	.997		.919	.971	.517
	N	17	17	17	17	17
decorated_year	Pearson Correlation	.218	-.027	1	.565*	-.117
	Sig. (2-tailed)	.401	.919		.018	.655
	N	17	17	17	17	17
AER	Pearson Correlation	.631**	-.010	.565*	1	.177
	Sig. (2-tailed)	.007	.971	.018		.497
	N	17	17	17	17	17
source_activities	Pearson Correlation	-.120	.169	-.117	.177	1
	Sig. (2-tailed)	.646	.517	.655	.497	
	N	17	17	17	17	17

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-2 (ต่อ) หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารไวโอลีนต่อตัวแปร 4 ชนิด

Correlations

		O_Xylene	people	decorated_year	AER	source_activities
O_Xylene	Pearson Correlation	1	-.078	.286	.704**	-.138
	Sig. (2-tailed)		.765	.265	.002	.598
	N	17	17	17	17	17
people	Pearson Correlation	-.078	1	-.027	-.010	.169
	Sig. (2-tailed)	.765		.919	.971	.517
	N	17	17	17	17	17
decorated_year	Pearson Correlation	.286	-.027	1	.565*	-.117
	Sig. (2-tailed)	.265	.919		.018	.655
	N	17	17	17	17	17
AER	Pearson Correlation	.704**	-.010	.565*	1	.177
	Sig. (2-tailed)	.002	.971	.018		.497
	N	17	17	17	17	17
source_activities	Pearson Correlation	-.138	.169	-.117	.177	1
	Sig. (2-tailed)	.598	.517	.655	.497	
	N	17	17	17	17	17

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

การหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ
ผลการทดลองเบื้องต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การคำนวณหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยสารตามรอย (Tracer gas) เปรียบเทียบกับการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

1.1 การคำนวณหาขนาดหลอดกระจายสาร (diffusion tube)

วิธีการคำนวณ

$$F = \left(\frac{D}{L}\right) \left(P_v \cdot \frac{MW}{RT}\right) \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)$$

โดยที่ F = Flux diffusion ; mg./hr.

D = ความหนาแน่นของสาร HFB ที่อุณหภูมิห้อง ; cm²/sec.

L = ความยาวของหลอดกระจายสาร (ช่วงบน) ; mm.

Pv = ความดันบรรยากาศ ; atm

MW = มวลโมเลกุล ; mol

R = สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร = 8.21 x 10⁻⁵ m³.atm.K⁻¹.mol⁻¹

T = อุณหภูมิขณะทำการเก็บตัวอย่าง ; Kelvin.

d = เส้นผ่านศูนย์กลางหลอดกระจายสาร ; mm.

HFB, hexafluorobenzene

weight 21.229 g. d= 0.4 cm

MW 186.05 g/mol 0.114103736 mol

D@25 Celcius 0.0719 cm²/sec

D@ Troom 0.071158519 cm²/sec

L 4 cm. 40 mm.

R 8.21E-05 m³.atm.K⁻¹.mol⁻¹

Pv 84.5 mm.Hg 0.111184211 atm

T 23.24 C 296.24 K

$$F = (D/L)(Pv.MW/RT).(\pi d^2/4)$$

flux diffusion,

$$F = 1.902 \text{ cm}^3/\text{sec} \cdot \text{m}^3$$

$$1.902 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{sec} \cdot \text{m}^3$$

$$F = 1.902 \text{ ug/sec}$$

$$6.848 \text{ mg/hr}$$

1.2 คำนวณหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ โดยใช้สาร HFB เป็นสารตามรอย

$$\text{AER} = F/C \times V$$

$$F = (\text{น้ำหนักสารก่อนเก็บตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักสารหลังเก็บตัวอย่าง}) / \text{เวลา}$$

$$F_{t=0} = 21.229 \text{ g}$$

$$F_{t=n} = 21.1 \text{ g}$$

$$F = 0.895 \text{ g}$$

$$t = 25 \text{ hr}$$

$$F = 0.0358 \text{ g/hr} \quad 35.8 \text{ mg/hr}$$

$$C = 3.62554 \times 10^{-5} \text{ g/m}^3$$

$$V = 3000 \text{ m}^3$$

$$\text{AER} = 0.329146269 \text{ 1/hr}$$

1.3 Carbondioxide check

$$\text{MW} = 44 \text{ g/mol}$$

$$\text{from } V_{dc}/dt = \text{QC in} - \text{QC out} + E - K$$

$$\text{emission source} = 1 \text{ person emitted } 35 \text{ g.CO}_2/\text{hr}$$

$$\text{person in the room} = 40 \text{ person}$$

$$\text{so, } E = 1400 \text{ g.CO}_2/\text{hr}$$

$$V_{dc}/dt = 0$$

$$Q = E/(C_{in} - C_{out})$$

$$C_{out} = 410 \text{ ppm} = 0.742 \text{ g/m}^3$$

$$C_{in} = 1200 \text{ ppm} = 2.172 \text{ g/m}^3$$

$$Q = 978.973 \text{ m}^3/\text{hr} \text{ เมื่อ } V = 3000 \text{ m}^3$$

$$\text{AER} = 0.32632 \text{ hr}^{-1}$$

จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน

2. ผลการทดลองเบื้องต้น

2.1 การหาความแตกต่างภายในชั้นเดียวกัน

ทำการเก็บตัวอย่างภายในชั้นเดียวกัน 2 จุด เพื่อทดสอบว่ามีความแตกต่างกัน

ระหว่าง 2 จุดหรือไม่ ในกรณีนี้จะยกตัวอย่างสารเอทิลเบนซีน โทลูอิน และพี-ไซลีน

ตาราง ง-1 ความเข้มข้นสารวีไอซี 2 จุดเก็บตัวอย่างภายในชั้นเดียวกัน

	ความเข้มข้นเฉลี่ย (มค.ก./ลบ.ม.)		
	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	พี-ไซลีน
จุดที่ 1	170.81	5.26	4.45
จุดที่ 2	165.28	5.55	4.10
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง	-3.348	5.102	-8.637

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของทั้ง 2 จุดเก็บตัวอย่างไม่ควรแตกต่างกันเกิน 10 เปอร์เซ็นต์

2.2 การหาความแตกต่างของสารวีไอซีระหว่างชั้น

ทำการเก็บตัวอย่างระหว่างชั้น 2 จุด เพื่อทดสอบว่ามีความแตกต่างกัน ระหว่าง 2 ชั้น หรือไม่ ในกรณีนี้จะยกตัวอย่างสารเอทิลเบนซีน โทลูอิน และพี-ไซลีน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยสารวีไอซี 2 จุดเก็บตัวอย่างระหว่างชั้น

	ความเข้มข้นเฉลี่ย (มค.ก./ลบ.ม.)		
	โทลูอิน	เอทิลเบนซิน	พี-ไซลีน
ชั้น A	469.0364	29.21141	15.58619
ชั้น B	591.4277	65.36	30.99
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง	-26.0942	-123.758	-98.8264

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของทั้ง 2 จุดเก็บตัวอย่างไม่ควรแตกต่างกันเกิน 10 เปอร์เซ็นต์

3. การคำนวณหาค่ามาตรฐานอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในสำนักงานที่กำหนดไว้ใน

พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร 2522

วิธีการคำนวณ

สมมติ พื้นที่สำนักงานเท่ากับ 800 ตร.ม. สูง 3 ม.

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ = 2 ลบ.ม./ชม./ตร.ม.

$$\begin{aligned} \text{AER, ชม.}^{-1} &= \frac{2 \text{ ลบ.ม.} \times 800 \text{ ตร.ม.}}{\text{ชม.} \times \text{ตร.ม.} \times (800 \text{ ตร.ม.} \times 3 \text{ ม.})} \\ &= 0.67 \text{ ชม.}^{-1} \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายรัฐเขต มุลรินตะ เกิดเมื่อวันที่ 9 ตุลาคม 2526 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษา
ระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมและ
เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ ปีการศึกษา
2548 และเข้าศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย