ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาลกลาง

นายกฤษฎากร ศิริ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RELATIONSHIP BETWEEN VENTILATION RATE AND AIR QUALITY IN KLANG HOSPITAL

Mr. Kritsadakorn Siri

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศ และคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาลกลาง
โดย	นายกฤษฎากร ศิริ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตะวัน ลิมปิยากร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัฒิกะ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กฤษฎากร ศิริ : ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาลกลาง (RELATIONSHIP BETWEEN VENTILATION RATE AND AIR QUALITY IN KLANG HOSPITAL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 128 หน้า.

การศึกษานี้ทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศ ได้แก่ ฝุ่นละออง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดและปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อัตราการระบายอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์ ความเร็วลม ความหนาแน่นของคนภายในโรงพยาบาลกลาง จำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม ผลการศึกษาพบว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีอัตราการระบายอากาศสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) และมีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.003 และ p=0.002) แต่ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศมีความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดสูงกว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 และ p=0.000) สำหรับห้องภายในอาคารโดยทั่วไปตรวจพบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีความเข้มข้นต่ำ นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด มีแหล่งกำเนิดจากภายในอาคารและแตกต่างกันตามลักษณะของแต่ละกิจกรรม สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์แหล่งกำเนิดหลักมาจากภายนอกอาคาร การศึกษาความสัมพันธ์พบว่า ความหนาแน่นของคนภายในห้องเพิ่มขึ้นส่งผลให้ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นไปด้วยอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.014 และ p=0.000) และห้องที่มีอัตราการระบายอากาศสูงจะพบการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) นอกจากนี้ยังพบว่าห้องที่มีการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะพบความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดสูงไปด้วย โดยเฉพาะห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจะพบความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเพิ่มขึ้นด้วยอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 และ p=0.003)

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต กฤษฎากร ศิริ

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

5170210421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : INDOOR AIR QUALITY / VENTILATION RATE / PARTICULATE MATTER / CARBON DIOXIDE / CARBON MONOXIDE / TVOC

KRITSADAKORN SIRI: RELATIONSHIP BETWEEN VENTILATION RATE AND AIR QUALITY IN KLANG HOSPITAL.THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WONGPUN LIMPASENI, 128 pp.

This study was carried out to measure indoor air quality including particulate matter (PM), carbon dioxide (CO_2), carbon monoxide (CO) and total volatile organic compounds (TVOC) and physical parameters including ventilation rate, air velocity, relative humidity, temperature and population density in Klang hospital which was classified by air conditioning system and activity. The results demonstrated that the air change rate in naturally ventilated room was significantly higher than air conditioning room at 95% confidence limit (p=0.000), PM10 and PM2.5 concentrations were higher than air-conditioning room (p=0.003 and p=0.002) while CO_2 and TVOC concentrations in air-conditioning room were significantly higher than in naturally ventilated room (p=0.000 and p=0.000), however indoor concentration of CO were at low levels for all rooms experimental period. In addition it showed that the different concentrations of PM10, CO_2 and TVOC were due to indoor sources and depend on indoor activity while PM2.5 and CO had no source in the hospital. The study of relationship between the parameters revealed that increased population density resulted significantly in increased PM10 and CO_2 at 95% confidence limit (p=0.014 and p=0.000). It also found that high CO_2 accumulated-rooms resulted significantly in high TVOC concentration at 95% confidence limit (p=0.000) and, moreover, showed that the split type air conditioning room provided significantly increased PM10 at 95% confidence limit (p=0.000 and p=0.003)

Department : Environmental Engineering Student's Signature Kritsadakorn Siri

Field of Study : Environmental Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจและสนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตะวัน ลิมปิยากร และอาจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัฒิกะ ที่กรุณาสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์นี้และให้คำแนะนำอันเป็นแนวทางที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรของโรงพยาบาลกลางที่ช่วยแนะนำและอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างจนกระทั่งสำเร็จมาด้วยดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย รวมทั้งการให้ความรู้และการแนะนำในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้องที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ แนะนำและให้ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ช่วยส่งเสริมสนับสนุนในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจ จนทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 ความหมายของคุณภาพอากาศภายในอาคาร..... 5

2.2 แหล่งมลพิษภายในอาคาร..... 5

2.2.1 แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศจากภายนอกอาคาร 7

2.2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศจากภายในอาคาร..... 8

2.2.3 ปัจจัยทางกายภาพ..... 9

2.3 มลพิษอากาศภายในอาคาร..... 10

2.3.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์..... 10

2.3.2 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์..... 11

2.3.3 สารประกอบอินทรีย์ระเหย..... 12

2.3.4 ฝุ่นละอองในอากาศ..... 17

2.4 คุณภาพอากาศภายในอาคารที่เหมาะสม..... 20

2.5 ระบบระบายอากาศและระบบปรับอากาศ..... 21

2.5.1 ระบบระบายอากาศ..... 21

2.5.2 ระบบปรับอากาศ..... 24

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 33

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย…… 38
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี…….. 38
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง……... 38
3.1.2 สารเคมี…… 38
3.2 สถานที่เก็บตัวอย่างและจุดเก็บตัวอย่าง…… 38
3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง……...……...…… 38
3.2.2 จุดเก็บตัวอย่าง……. 45
3.3 ระยะเวลาที่ทำการศึกษา……... 45
3.4 การดำเนินการศึกษา...……... 46
3.4.1 การศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองในอากาศ…….. 46
3.4.2 การศึกษาความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซ
คาร์บอนมอนอกไซด์……... 46
3.4.3 การศึกษาความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด…….. 47
3.4.4 การศึกษาอัตราการระบายอากาศ……. 47
3.4.5 การสำรวจปัจจัยอื่นๆ……... 48
3.5 การวิเคราะห์ผล…… 48
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ……. 50
บทที่ 4 ผลการศึกษา…… 52
4.1 ปัจจัยทางกายภาพ……. 52
4.2 อัตราการระบายอากาศ…….. 54
4.2.1 อัตราการระบายอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศ…….. 54
4.2.2 อัตราการระบายอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม 55
4.3 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์……. 56
4.3.1 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศ…….. 56
4.3.2 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศและ
ลักษณะกิจกรรม……...……...…….. 57
4.4 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์…...……...…… 59
4.4.1 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศ…… 59
4.4.2 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศและ
ลักษณะกิจกรรม……...……...…….. 59

หน้า

4.5 ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด……..…… 60
4.5.1 ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดจำแนกตาม ระบบปรับอากาศ……..……..……. 60
4.5.2 ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดจำแนกตาม ระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม……..……..…… 61
4.6 ความเข้มข้นฝุ่นละออง……..……..……. 63
4.6.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามระบบปรับอากาศ…..……. 63
4.6.2 ความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม 64
4.6.3 ความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามฤดูกาล……..……. 67
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพอากาศกับปัจจัยทางกายภาพ…..…… 68
4.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองกับปัจจัยทางกายภาพ…… 68
4.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับปัจจัย ทางกายภาพ……..……..……. 72
4.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดกับ ปัจจัยทางกายภาพ……..……..…… 76
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศ..…… 78
4.8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์……..……..…… 78
4.8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นสารประกอบ อินทรีย์ระเหยทั้งหมด……..……..……... 79
4.8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นฝุ่นละออง 81
4.8.4 ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นฝุ่นละออง 82
4.8.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด……..……..……... 85
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ…… 90
5.1 สรุปผลการศึกษา..…… 90
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต…… 92
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับโรงพยาบาล……... 93
รายการอ้างอิง……. 94
ภาคผนวก…… 99

หน้า

ภาคผนวก ก.ข้อมูลปัจจัยทางกายภาพ…….. 100
ภาคผนวก ข.ข้อมูลคุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศ. …….. 114
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์…….. 128

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ชนิดและแหล่งกำเนิดของมลพิษภายในอาคาร…….	6
ตารางที่ 2.2	มาตรฐานก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศและภายในอาคารของหน่วยงานในต่างประเทศ……..	12
ตารางที่ 2.3	สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่พบในอาคารและแหล่งที่พบ……...	13
ตารางที่ 2.4	มาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี.....	14
ตารางที่ 2.5	มาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงานของประเทศไทย……..	15
ตารางที่ 2.6	มาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยในสถานที่ทำงานของแต่ละหน่วยงานในต่างประเทศ……..	16
ตารางที่ 2.7	มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศในประเทศไทย……	18
ตารางที่ 2.8	มาตรฐานฝุ่นละอองที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงานของประเทศไทย……...	19
ตารางที่ 2.9	มาตรฐานฝุ่นของ United States Environmental Protection Agency และองค์การอนามัยโลก……...	19
ตารางที่ 2.10	ค่ามาตรฐานต่างๆของคุณภาพอากาศภายในอาคาร……..	20
ตารางที่ 2.11	อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องและความดันสัมพัทธ์สำหรับห้องภายในโรงพยาบาล……	23
ตารางที่ 3.1	จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน……..	39
ตารางที่ 3.2	จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม……	43
ตารางที่ 3.3	จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ……...	43
ตารางที่ 3.4	พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด……..	48
ตารางที่ 3.5	ตัวแปรในงานวิจัย……	49
ตารางที่ 4.1	ปัจจัยทางกายภาพ……..	53
ตารางที่ 4.2	อัตราการระบายอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศ……	54
ตารางที่ 4.3	อัตราการระบายอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม…...	56

หน้า

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศ..... 56
ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม..... 58
ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จำแนกตามลักษณะกิจกรรม..... 59
ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม..... 60
ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดจำแนกตามระบบปรับอากาศ 61
ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม..... 62
ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามระบบปรับอากาศ..... 63
ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม..... 65
ตารางที่ 4.12 สัดส่วนของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม..... 66
ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามฤดูกาล 67
ตารางที่ 4.14 สรุปพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศ 86
ตารางที่ 4.15 สรุปพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม..... 87
ตารางที่ 4.16 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศและปัจจัยทางกายภาพ..... 88
ตารางที่ 4.17 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราระบายอากาศและพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศ..... 88
ตารางที่ 4.18 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศ..... 89
ตารางที่ ก.1 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 1..... 101
ตารางที่ ก.2 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมตรวจวัดรอบที่ 1 105
ตารางที่ ก.3 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติตรวจวัดรอบที่ 1..... 105

หน้า

ตารางที่ ก.4 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 2..... 107
ตารางที่ ก.5 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมตรวจวัดรอบที่ 2 111
ตารางที่ ก.6 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติตรวจวัดรอบที่ 2..... 111
ตารางที่ ก.7 ปัจจัยทางกายภาพบริเวณภายนอกอาคาร..... 113
ตารางที่ ข.1 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 1..... 115
ตารางที่ ข.2 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมตรวจวัดรอบที่ 1..... 119
ตารางที่ ข.3 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติตรวจวัดรอบที่ 1..... 119
ตารางที่ ข.4 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 2..... 121
ตารางที่ ข.5 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมตรวจวัดรอบที่ 2..... 125
ตารางที่ ข.6 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติตรวจวัดรอบที่ 2..... 125
ตารางที่ ข.7 คุณภาพอากาศบริเวณภายนอกอาคาร..... 127

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 การลดความชื้นโดยอากาศสัมผัสกับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดน้ำค้างที่ผิวอีแวปปอเรเตอร์…… 25
รูปที่ 2.2 กระบวนการของเครื่องกรองอากาศไฟฟ้าสถิต…….. 26
รูปที่ 2.3 ลักษณะการกระจายลมของเครื่องปรับอากาศ…… 27
รูปที่ 2.4 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างและลักษณะการติดตั้ง……... 28
รูปที่ 2.5 แฟนคอยล์ยูนิตรูปแบบต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน…… 29
รูปที่ 2.6 เครื่องปรับอากาศแบบตู้ตั้ง……. 30
รูปที่ 2.7 เครื่องปรับอากาศแบบแพ็กเกจ…….. 31
รูปที่ 2.8 เครื่องปรับอากาศแบบชีลเลอร์…….. 31
รูปที่ 2.9 วงจรระบบปรับอากาศแบบชีลเลอร์…….. 32
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างจุดตรวจวัด ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ชั้นที่ 15 แผนกห้องพักผู้ป่วยพิเศษห้อง 1501……... 45
รูปที่ 3.2 เครื่อง Real Time : Portable Dust Monitor ชนิด GRIMM version 1.100 models 1.108…….. 46
รูปที่ 3.3 เครื่อง Q™-Trak Model 7565…… 46
รูปที่ 3.4 เครื่อง Mini RAE…… 47
รูปที่ 3.5 แผนภูมิการดำเนินงานวิจัย……. 51
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองกับความหนาแน่นของคนภายในห้อง…… 68
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองกับความหนาแน่นของคนภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน……... 69
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองกับความหนาแน่นของคนภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม……... 69
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองกับความหนาแน่นของคนภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ……... 70
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองกับความเร็วลมภายในห้อง…….. 71

หน้า

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความหนาแน่นของคนภายในห้อง..... 72
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความหนาแน่นของคนภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน..... 73
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความหนาแน่นของคนภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม..... 73
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความหนาแน่นของคนภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ..... 74
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเร็วลมภายในห้อง..... 75
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดกับความหนาแน่นของคนภายในห้อง..... 76
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดกับความเร็วลมภายในห้อง..... 77
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้อง..... 79
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้อง..... 80
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นฝุ่นละออง..... 81
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้อง..... 82
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน..... 83
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม..... 84
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ..... 84
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้อง..... 85

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันในหลายประเทศทั่วโลกให้ความสนใจเกี่ยวกับคุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นอย่างมาก เนื่องจากคนส่วนใหญ่ใช้เวลาอยู่ในอาคารเกือบร้อยละ 90 ของเวลาในแต่ละวัน อาทิเช่น บ้าน โรงเรียน สถานที่ทำงาน โรงพยาบาล และในอาคารอื่นๆ องค์การอนามัยโลก คาดว่าร้อยละ 30 ของอาคารทั่วโลกอาจมีปัญหาด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร (วิกรม เสงคิสิริ และสสิธร เทพตระการพร, 2548)

สารมลพิษที่มักพบภายในอาคาร ได้แก่ ฝุ่นละออง สารประกอบอินทรีย์ระเหย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น สารเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อระบบการหายใจ ระบบหมุนเวียนโลหิต ระบบประสาท นอกจากนี้อาจเป็นสาเหตุของการก่อมะเร็งโดยพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารส่วนหนึ่งมาจากแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศภายในอาคาร การออกแบบอาคารให้มีลักษณะปิดมิดชิด อัตราการระบายอากาศที่ไม่เหมาะสม รวมถึงความหนาแน่นและกิจกรรมของผู้ที่ใช้และรับบริการภายในอาคาร นอกจากนี้ยังมีสารเคมีที่ใช้ในอาคาร เช่น น้ำยาทำความสะอาด ยาฆ่าแมลง สารเคมีเหล่านี้อาจระเหยกลายเป็นไอปนเปื้อนในอากาศได้ ทั้งนี้ตัวชี้วัดอีกตัวหนึ่งที่ใช้บ่งบอกคุณภาพอากาศภายในอาคาร คือ ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกการระบายอากาศภายในอาคารว่าเพียงพอหรือไม่ หากพบการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น บ่งบอกว่าการระบายอากาศภายในอาคารไม่เพียงพอ อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสะสมตัวของสารมลพิษตัวอื่นและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ที่อยู่อาศัยภายในอาคารได้ (Helmis และคณะ, 2007)

โรงพยาบาล เป็นสถานที่รักษาพยาบาลคนไข้หรือผู้ป่วย มุ่งเน้นทางด้านการส่งเสริม ป้องกัน รักษาและฟื้นฟูภาวะเจ็บป่วย หรือโรคร้ายต่างๆ ซึ่งมีคนเข้าไปใช้และรับบริการเป็นจำนวนมาก มีทั้งบุคลากรทางการแพทย์ พยาบาล เจ้าหน้าที่ พนักงานและผู้ป่วยที่เข้าไปรับบริการรวมถึงญาติผู้ป่วยเอง หากเกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาล อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ที่ทำงานและผู้รับบริการได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาอัตราการระบายอากาศและคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาล โดยทำการตรวจวัด ฝุ่นละออง สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราการระบายอากาศภายในโรงพยาบาล เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอัตราการระบายอากาศ ในห้องภายในโรงพยาบาลตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

2. เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอัตราการระบายอากาศ ในห้องที่มีระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรมแตกต่างกัน

3. หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พื้นที่ทำการตรวจวัดในแผนกต่างๆ ภายในโรงพยาบาลกลาง สังกัดสำนักการแพทย์ กรุงเทพมหานคร โดยพิจารณาห้องเก็บตัวอย่างตามระบบปรับอากาศ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 ระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศแบบแยก ระบบปรับอากาศแบบรวมและระบายอากาศแบบธรรมชาติ และพิจารณาตามลักษณะกิจกรรมภายในโรงพยาบาล ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คือ แผนกบริหารงานทั่วไป กลุ่มที่ 2 คือ แผนกผู้ป่วยใน กลุ่มที่ 3 คือ แผนกผู้ป่วยนอก กลุ่มที่ 4 คือ แผนกบริการทางการแพทย์ กลุ่มที่ 5 คือ ห้องพักพยาบาล กลุ่มที่ 6 คือ ห้องพักแพทย์ กลุ่มที่ 7 คือ แผนกสาธารณูปโภค กลุ่มที่ 8 คือ อาคารจอดรถ และตรวจวัดภายนอกอาคาร

2. พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด

- ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน
- สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
- อัตราการระบายอากาศ
- อุณหภูมิ
- ความชื้นสัมพันธ์
- ความเร็วลม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศ ได้แก่ ประเภทระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ ความหนาแน่นของคนและกิจกรรมต่างๆภายในห้อง

4. ทำการตรวจวัด 2 ครั้งในแต่ละฤดู คือ ฤดูฝน (เดือนกันยายน 2552) และฤดูแล้ง (เดือนกุมภาพันธ์ 2553)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาการระบายอากาศภายในโรงพยาบาล

2. นำข้อมูลไปใช้เป็นแนวทางเพื่อลดการสัมผัสมลพิษอากาศของผู้ที่ใช้และรับบริการภายในอาคารของโรงพยาบาล

3. นำข้อมูลไปใช้ในการจัดการและปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นเรื่องสำคัญซึ่งหลายประเทศทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมาก องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: U.S.EPA) ได้จัดความสำคัญของปัญหามลพิษอากาศภายในอาคารให้เป็นปัญหาหนึ่งในห้าของปัญหาสิ่งแวดล้อมในสหรัฐอเมริกา คนทั่วไปใช้เวลาอยู่ภายในอาคารถึงร้อยละ 90 ของเวลาในแต่ละวัน ถ้ามลพิษอากาศมีค่าสูงเกินค่ากำหนดอาจส่งผลให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพของผู้อาศัยภายในอาคารได้ องค์การอนามัยโลกคาดว่าร้อยละ 30 ของอาคารทั่วโลกอาจมีปัญหาด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality) ส่งผลต่อสุขภาพของผู้ที่อาศัยอยู่ภายในอาคาร สถาบันความปลอดภัยในการทำงานและอาชีวอนามัยแห่งชาติ (National Institute of Occupational Safety and Health: NIOSH) ของสหรัฐอเมริกา ทำการศึกษากลุ่มอาการป่วยที่เกิดกับผู้ที่อาศัยภายในอาคาร อาการดังกล่าว ได้แก่ อาการแน่นจมูก อ่อนเพลีย ปวดหัว คอแห้งและเคืองตา เป็นต้น (ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล, 2546) ซึ่งสามารถแยกสาเหตุที่สำคัญที่อาจก่อให้เกิดอาการป่วย ได้ดังนี้ (สมชัย บวรกิตติ และคณะ, 2542)

- การระบายอากาศไม่พอเพียง เช่น การนำอากาศภายนอกเข้าไปในอาคารไม่พอเพียง การกระจายอากาศไม่ดีพอ ระบบระบายอากาศไม่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น
- สารเคมีที่ปนเปื้อนภายในอาคาร เช่น สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่อาจมาจากน้ำยาทำความสะอาดและยาฆ่าแมลง เชื้อรา แบคทีเรีย เป็นต้น
- สารเคมีจากภายนอกอาคาร เช่น มลพิษจากการจราจร ควันจากท่อไอเสีย เป็นต้น
- ปัจจัยทางด้านกายภาพ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงและเสียง เป็นต้น

อาการป่วยเนื่องจากการรับสัมผัสสารปนเปื้อนภายในอาคารอาจแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ผลกระทบแบบเฉียบพลันเกิดขึ้นหลังจากการได้รับสัมผัสทันที หรืออาจมีผลในระยะเวลาต่อมา อาการที่เกิดขึ้น เช่น การระคายเคืองตา จมูก ลำคอ ปวดศีรษะ วิงเวียน และอ่อนเพลีย ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันสามารถแก้ไขได้โดยป้องกันไม่ให้เกิดการรับสัมผัสสารปนเปื้อนอีก และผลกระทบแบบเรื้อรังอาจปรากฏภายหลังจากการสัมผัสสารปนเปื้อนเป็นเวลานาน หรือหลายปี เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ ระบบหมุนเวียนโลหิต ระบบประสาท หรืออาจกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้ ซึ่งก่อให้เกิดความเจ็บป่วยร้ายแรง และอาจถึงขั้นเสียชีวิต ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องดูแลคุณภาพอากาศภายในอาคาร เพื่อลดความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสารปนเปื้อนภายในอาคารของผู้ที่ทำงานหรืออาศัยอยู่ในอาคาร (ปุญญานิช บริเวธานันท์, 2549)

2.1 ความหมายของคุณภาพอากาศภายในอาคาร

คุณภาพอากาศภายในอาคาร หมายถึง สภาวการณ์ที่อากาศภายในอาคารอาจมีหรือไม่มีสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณที่อาจทำหรือไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ต่อทรัพย์สินของมนุษย์หรือต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบๆอาคารนั้นๆหากปริมาณสิ่งปนเปื้อนต่ำกว่าระดับที่อาจก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าว ก็ถือว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารอยู่ในระดับดีเหมาะสำหรับการอยู่อาศัย แต่ถ้าปริมาณสิ่งปนเปื้อนเท่ากับหรือสูงกว่าระดับที่ก่อให้เกิดปัญหาก็ถือว่าคุณภาพอากาศในบริเวณนั้นไม่ดี ไม่เหมาะแก่การอยู่อาศัย (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2551) คุณภาพอากาศโดยรวมภายในอาคารจะครอบคลุมฝุ่นละอองในอากาศ สารเคมี ก๊าซต่างๆ รวมถึงจุลชีพที่แขวนลอยในอากาศ และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกสบายและพึงพอใจของผู้ที่อยู่ภายในอาคารด้วย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เสียง แสง เป็นต้น (วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, 2549)

สภาวะมลพิษทางอากาศภายในอาคาร หมายถึง สภาวการณ์ที่อากาศภายในอาคารมีสิ่งปนเปื้อนอยู่ในปริมาณและระยะเวลาที่นานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ต่อทรัพย์สินของมนุษย์หรือบริเวณรอบๆ สารปนเปื้อนภายในอาคาร เช่น ฝุ่นละอองในอากาศ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ก๊าซอนินทรีย์ต่างๆ รวมไปถึงสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่แขวนลอยในอากาศ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2551)

2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษภายในอาคาร

แหล่งกำเนิดมลพิษที่ก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารนั้นแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.1) มลพิษอากาศภายในอาคารอาจเกิดจากกิจกรรม เช่น การเผาไหม้จากการประกอบอาหาร การสูบบุหรี่ เป็นต้น มลพิษบางชนิดเกิดจากวัสดุและอุปกรณ์ตกแต่งอาคาร เช่น เฟอร์นิเจอร์ พรม ผ้าม่าน มลพิษจากอุปกรณ์หรือเครื่องใช้สำนักงานรวมถึงอุปกรณ์หรือเครื่องมือของระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องปรับอากาศ สารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาด สเปรย์ปรับอากาศ น้ำยาลบคำผิด และมลพิษจากภายนอกอาคาร เช่น ไอเสียจากการจราจร การเผาขยะภายนอกอาคาร เป็นต้น แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศภายในอาคารขึ้นอยู่กับลักษณะกิจกรรม ซึ่งส่งผลต่อความเข้มข้นและชนิดของมลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมา นอกจากนี้อายุการใช้งาน และการบำรุงรักษาอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ภายในอาคารยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มข้นสารมลพิษภายในอาคารอีกด้วย

ตารางที่ 2.1 ชนิดและแหล่งกำเนิดของมลพิษภายในอาคาร

ชนิดมลพิษ	แหล่งกำเนิด	ผลกระทบต่อสุขภาพ
แอสเบสตอส	ฉนวนกันความร้อน แผ่นไวนิล และผลิตภัณฑ์ซีเมนต์	ระคายเคืองผิวหนัง มะเร็งปอด
ละอองไอชีวภาพ (bioaerosol)	ผู้ป่วยติดเชื้อ จุลชีพในระบบปรับอากาศ บริเวณที่เปียกชื้น	โรคติดเชื้อ โรคภูมิแพ้ และโรคหอบหืด
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ยานพาหนะ เตาประกอบอาหาร เตาผิง ควันบุหรี่ และมนุษย์	วิงเวียน ปวดศีรษะ คลื่นไส้
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	ยานพาหนะ เตาประกอบอาหาร เตาผิง ควันบุหรี่และเครื่องทำความร้อน	วิงเวียน ปวดศีรษะ คลื่นไส้ เสียชีวิต
ฟอร์มาลดีไฮด์	โฟมกันไฟ ไม้อัด ฝ้าเพดาน วงกบประตู และโครงสร้างอื่นๆ	ระคายเคืองผิวหนัง สารก่อมะเร็ง
ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Respirable dust)	เตาผิง ควันบุหรี่ ฝุ่นจากภายนอก การเผาไหม้อื่นๆ เช่น การเผาขยะ	ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ สารก่อมะเร็ง
ฝุ่นอนินทรีย์		
- ไนเตรต (NO_3^-)	จากอากาศภายนอก	ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ
- ซัลเฟต (SO_4^{2-})	จากอากาศภายนอก	
ก๊าซเรดอน (Rn)	ระเหยจากดินและซึมเข้าอาคาร	มะเร็งปอด
ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	เครื่องทำความร้อน เตาประกอบอาหาร ยานพาหนะ	ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ
ยาฆ่าแมลง	การใช้ทั้งภายใน-ภายนอกอาคาร	สารก่อมะเร็ง
ฝุ่นโลหะ		
- สารหนู (As)	ควันบุหรี่ ยาฆ่าแมลง ยาเบื่อหนู	เป็นพิษ สารก่อมะเร็ง
- แคดเมียม (Cd)	ควันบุหรี่ ยาฆ่ารา	
- ปรอท (Hg)	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล	
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	การเผาไหม้ถ่านหินและน้ำมันในเครื่องทำความร้อน และจากภายนอก	ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ
สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)	ควันบุหรี่ การประกอบอาหาร สีทาผนัง น้ำยาทำความสะอาด พรม เฟอร์นิเจอร์	สารก่อมะเร็ง

ที่มา : Botkin และ Keller, 2003

มลพิษอากาศภายในอาคารมีทั้งแหล่งกำเนิดจากภายในและภายนอกอาคาร รวมทั้งลักษณะกิจกรรมของผู้ที่ใช้หรือผู้ที่อยู่อาศัยภายในอาคารอาจก่อให้เกิดสารปนเปื้อนและส่งผลต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่อาศัยและใช้อาคารในที่สุด โดยทั่วไปปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารสามารถควบคุมได้โดยใช้ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ (Heating, Ventilation, and Air Conditioning: HVAC) ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามหากระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศขาดประสิทธิภาพเนื่องจากการออกแบบ ขาดการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม อาจเป็นแหล่งกำเนิดและสะสมสารมลพิษได้เช่นกัน โดยสามารถจำแนกแหล่งกำเนิดของมลพิษภายในอาคารได้ดังนี้

2.2.1 แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศจากภายนอกอาคาร

แหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคาร เกิดจากการไหลของอากาศภายนอกเข้ามาภายใน (Natural Infiltration) โดยการแทรกผ่านรอยต่อของผนัง หน้าต่าง ประตู เข้าสู่ภายในตัวอาคาร หรือเกิดจากการดึงอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารผ่านทางช่องนำอากาศบริสุทธิ์เข้า (Fresh Air Intake) (จิตรพรรณ ภูษาภักดีภพ และชมภูศักดิ์ พูลเกษ, 2544) มลพิษที่เกิดจากแหล่งกำเนิดภายนอกอาคารอาจเข้าไปปนเปื้อนอากาศภายในอาคารได้ (สมชัย บวรกิตติ, 2542) เช่น

- อาคารในย่านการจราจรของยานพาหนะบนท้องถนน ได้รับฝุ่น ไอเสียจากการจราจรบริเวณถนนที่มีการจราจรหนาแน่นใกล้เคียงกับอาคารหรือลานจอดรถ
- การเผาขยะ เผาหญ้าและอื่นๆ ภายนอกอาคาร
- บ้านสวนและริมสนามกอล์ฟมีโอกาสได้รับสารเคมีประเภท สารฆ่าแมลงและปุ๋ยเคมี
- อาคารในย่านโรงงาน เช่น โรงไฟฟ้า โรงน้ำกลั่น และโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะได้รับสารมลพิษเข้าสู่อาคารได้
- อาคารที่อยู่ในบริเวณที่มีการก่อสร้างอาคาร ถนน จะได้ผลกระทบจากฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง
- การปลูกต้นไม้ชิดอาคาร หรือปลูกไว้ในอาคาร อาจได้รับสารก่อภูมิแพ้หรือสารพิษจากต้นไม้ได้
- สารมลพิษจากเอกสารและสิ่งพิมพ์ใหม่ เช่น หนังสือพิมพ์ วารสาร ที่นำเข้าไปในอาคารอาจก่อโรคและอาการโรคได้ เช่น จาม คัดจมูก น้ำมูกไหล เป็นต้น

2.2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศจากภายในอาคาร

แหล่งกำเนิดจากภายในอาคารมักเกิดจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เช่น ควันจากการประกอบอาหาร ควันบุหรี่ เป็นต้น จากส่วนประกอบของอาคาร เช่น เฟอร์นิเจอร์ ไม้อัด ฝ้าเพดาน ผนัง หรือ พื้นที่ผุพัง วัสดุสิ่งทอ ผ้าม่าน พรม เป็นต้น จากอุปกรณ์หรือเครื่องใช้สำนักงาน เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เป็นต้น สารเคมีที่ใช้ภายในอาคาร เช่น น้ำยาทำความสะอาด สเปรย์ปรับอากาศ ยาฆ่าแมลง น้ำยาลบคำผิด กาว เป็นต้น รวมถึงอุปกรณ์หรือเครื่องมือของระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ ซึ่งหากมีการสะสมของมลพิษอากาศภายในอาคารและผู้ที่ทำงานหรืออยู่อาศัยภายในอาคารได้รับสัมผัส อาจทำให้เกิดความไม่สบายกายหรือรบกวนความรู้สึกเวลาทำงานและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ที่ทำงานหรืออยู่อาศัยภายในอาคารนั้นได้ในที่สุด ซึ่งสามารถจำแนกแหล่งกำเนิดภายในอาคาร (ณัฐพงศ์ แหละหมัน, 2548) ได้ดังนี้

- ส่วนประกอบของอาคาร เฟอร์นิเจอร์ และการตกแต่ง

ส่วนประกอบของตัวอาคาร และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆที่ใช้ในการตกแต่ง พบว่า มีการปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยออกมาจากวัสดุดังกล่าว ซึ่งวัสดุที่มักคายสารเคมีออกมา ได้แก่ สี กาว เฟอร์นิเจอร์ พรมปูพื้น แผ่นไวนิลปิดผนัง สารเคมีสำคัญที่คายออกมา ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งมีกลิ่นฉุน มักพบในสารที่ใช้ทำการยึดสิ่งต่างๆ เช่น กาวยึดเศษไม้ของแผ่นไม้อัด (Particle Board) กาวที่ใช้ติดกระดาษอ่อน กระดาษแข็ง กาวยึดพรมหรือวัสดุปูพื้นต่างๆ ดังนั้นอาคารที่เพิ่งสร้างเสร็จหรือตกแต่งภายในใหม่ จึงมีไอระเหยของสารเคมีชนิดนี้ปนเปื้อนอยู่ในอากาศปริมาณที่ค่อนข้างสูง วัสดุก่อสร้างบางอย่าง เช่น กระเบื้องยาง ฉนวนกันความร้อนและกันไฟ ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยละเอียด เช่น แร่ใยหิน (Asbestos) ใยแก้วนั้น เมื่อยังอยู่ในสภาพใหม่และดี มักไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อคน แต่หากผิวหน้าที่มีวัสดุอื่นปกคลุม เช่น แผ่นอลูมิเนียม เกิดการฉีกขาดจนเส้นใยภายในหลุดออกมาจะทำให้เกิดการระคายเคืองแก่ตา จมูก คอ และผิวหนังได้ ตัวทำละลายและแอมโมเนียจากสารที่ใช้ในการทำความสะอาดพรมก็ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา จมูก และคอ ได้เช่นกัน อาคารที่มีการทำความสะอาดในเวลาเย็นหรือวันหยุด ขณะที่ปิดการระบายอากาศหรือไม่มีหน้าต่างที่สามารถเปิดออกสู่ภายนอกได้ จะมีสารเหล่านี้ปะปนกับอากาศภายในอาคารในปริมาณสูงและทำให้ผู้ที่เข้ามาปฏิบัติงานในวันถัดไปเกิดการระคายเคืองได้

- อุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงานและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ

อุปกรณ์หรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในสำนักงานหลายชนิด พบว่าเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยและอนุภาค เช่น เอทานอล เมทานอล ไตรคลอโรเอททีลีน เกิดจากเครื่องถ่ายเอกสาร กระดาษอัดสำเนา และโอโซนเกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดที่มีความต่างศักย์สูง เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องฟอกอากาศ เป็นต้น

- กิจกรรมของมนุษย์

การเผาไหม้และการเผาผลาญสารอาหารเพื่อสร้างพลังงานของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งถูกนำออกมาจากร่างกายพร้อมกับลมหายใจออก นอกจากทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วยัง พบว่า การหายใจออกของมนุษย์นั้นยังมีการปล่อยไอน้ำและจุลชีพบางชนิดออกสู่อากาศได้อีกด้วย นอกจากนี้การทำกิจกรรมบางอย่างของมนุษย์ภายในอาคาร เช่น การประกอบอาหาร การสูบบุหรี่ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารทั้งสิ้น

2.2.3 ปัจจัยทางกายภาพ (ณัฐพงศ์ แหละหมัน, 2548)

ปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร ได้แก่

- ความชื้น ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่า 70% พบว่ามีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและสารปนเปื้อนต่างๆ ในสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงที่ต่ำกว่า 20% จะทำให้เกิดอาการทางผิวหนัง เยื่อบุแห้ง และเกิดอาการระคายเคืองได้ นอกจากนี้ยังพบว่าอาการอักเสบนั้นมีความสัมพันธ์กับความร้อน ความแห้งของอากาศ และอัตราการระบายอากาศในบริเวณนั้นด้วย U.S.EPA ได้เสนอแนะค่าความชื้นสัมพัทธ์ควรอยู่ในช่วง 45-50% และ The American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) ได้เสนอแนะว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศควรอยู่ในช่วง 30-60%

- อุณหภูมิ อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกไม่สบายกาย พบว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการรับรู้ถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร ASHRAE (1981) ได้เสนอแนะเกี่ยวกับอุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้คนรู้สึกสบายกาย คือ อุณหภูมิ 20-26 องศาเซลเซียส (68-79 องศาฟาเรนไฮต์) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมของผู้ที่ใช้อาคาร เสื้อผ้าที่สวมใส่และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิที่สูงกว่าในช่วงที่แนะนำมีผลต่อการคายหรือปล่อยออกของสารประกอบอินทรีย์ระเหยจากวัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในปริมาณที่มากขึ้น จากการศึกษาของ Wyon (1974) พบว่า อุณหภูมิของอากาศที่สูงกว่า 24 องศาเซลเซียสและต่ำกว่า 22 องศาเซลเซียสมีผลต่อการเกิดกลุ่มอาการป่วยเหตุอาคารที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3 มลพิษอากาศภายในอาคาร

มลพิษอากาศภายในอาคารอาจมาจากแหล่งกำเนิดภายในอาคารและภายนอกอาคาร แหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันส่งผลต่อชนิดและความเข้มข้นของสารปนเปื้อนนั้นๆ ซึ่งสารมลพิษที่พบได้บ่อยในอาคาร ได้แก่

2.3.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่มีตามธรรมชาติในบรรยากาศทั่วไป มีประมาณ 340 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ และกระบวนการสันดาปในร่างกายเพื่อสร้างพลังงานทั้งในมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารเกิดจากสันดาปหรือการหายใจของมนุษย์ โดยปกติแล้วคนที่ทำงานในอาคารจะขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อนาทีต่อคน (สร้อยสุดา เกสรทอง, 2549) ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์แต่เป็นตัวชี้บ่งว่ามีการระบายอากาศเพียงพอหรือไม่ หากการระบายไม่เพียงพอก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีการสะสมทำให้มีระดับเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากเกิน 1,000 ส่วนในล้านส่วนหรือ 1,800 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่งผลให้เกิดความรำคาญและความไม่สบายกายในการทำงาน (ASHRAE, 2003)

ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สถาบันความปลอดภัยในการทำงานและอาชีวอนามัยแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอาคารกับอาการต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับคนภายในอาคาร (สร้อยสุดา เกสรทอง, 2549) ดังนี้

- ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 600 ส่วนในล้านส่วน เริ่มมีผู้ร้องเรียนเกี่ยวกับปัญหาคุณภาพอากาศในอาคาร
- ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 600-1,000 ส่วนในล้านส่วน มีผู้ร้องเรียนเกี่ยวกับปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารแต่มักไม่สามารถหาสาเหตุได้
- ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 1,000 ส่วนในล้านส่วน บ่งชี้ว่าการระบายอากาศไม่เพียงพอ และมีการร้องเรียนว่าผู้ที่อยู่ในอาคารมีอาการปวดศีรษะ เหนื่อยล้า และมีปัญหาทางเดินหายใจส่วนบน

มาตรฐานของ ASHRAE 62-1989 ได้กำหนดระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความสัมพันธ์กับอัตราการระบายอากาศ มีการจัดแบ่งไว้ดังนี้ กรณีไม่มีแหล่งกำเนิดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการระบายอากาศควรเป็น 15 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีต่อคนและยอมให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 1,000 ส่วนในล้านส่วน กรณีที่เกิดจากการทำงานหรือเกี่ยวเนื่องจากการทำงาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) ได้กำหนดค่า Threshold Limit Values (TLV) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง ต้องไม่เกิน 5,000 ส่วนในล้านส่วน (ณัฐพงศ์ แหละหมัน, 2548)

2.3.2 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ พบได้ทั้งภายนอกและภายในอาคาร แหล่งกำเนิดภายนอกอาคาร เช่น เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เครื่องยนต์ต่างๆ ดังนั้นอาคารสำนักงานที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นหรือมีที่จอดรถอยู่ในอาคารเดียวกันอาจทำให้เกิดปัญหาจากการที่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์รั่วไหลเข้ามาในอาคารได้ อาคารที่มีช่องทางนำอากาศจากภายนอกเข้ามาภายในอาคารควรติดตั้งไว้ไม่ต่ำกว่าระดับความสูงเทียบเท่าตึก 3 ชั้น หากอยู่ระดับต่ำกว่านี้มีโอกาสที่ได้รับควันจากท่อไอเสีย ปนเปื้อนเข้ามาในอาคารได้มาก สำหรับภายในอาคารก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ด์อาจเกิดจากการสูบบุหรี่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากกิจกรรมที่เกิดขึ้น เช่น การหุงต้มหรือประกอบอาหาร เป็นต้น (สร้อยสุดา เกสรทอง, 2549) การสัมผัสก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายตั้งแต่ระดับไม่รุนแรง เช่น ปวดหัว เวียนศีรษะ มึนงง จนถึงขั้นที่รุนแรง เช่น ไม่รู้สึกตัว และบางครั้งอาจเสียชีวิต เนื่องจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นก๊าซที่มองไม่เห็นไม่มีกลิ่น และไม่มีรส จึงไม่มีการเตือนถึงภาวะความเป็นพิษของก๊าซชนิดนี้ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในระดับต่ำๆ พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ระดับความเข้มข้นต่ำๆ โดยปกติจะไม่คุกคามสุขภาพจึงเป็นสาเหตุที่ไม่มีการสอบสวนหาสาเหตุ ผลกระทบต่อสุขภาพเมื่อต้องสัมผัสในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ยังไม่ชัดเจน แต่จะมีผลกระทบเมื่อความเข้มข้นอยู่ในระดับค่า Threshold Limit Value (TLV) คือ 25 ส่วนในล้านส่วน ตลอดเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง ความเข้มข้นของระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ทำอันตรายต่อชีวิตทันทีทันใด Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH) คือ 1,200 ส่วนในล้านส่วน สำหรับผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพร่างกายแข็งแรง (ณัฐพงศ์ แหละหมัน, 2548)

ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในประเทศไทยตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ยอมให้มีในบรรยากาศของการทำงานภายในสถานที่ทำงานไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน สำหรับค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในต่างประเทศได้รวบรวมไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศและภายในอาคารของหน่วยงานในต่างประเทศ

หน่วยงาน	ระยะเวลาเฉลี่ย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น (ส่วนในล้านส่วน)	มาตรฐานอ้างอิง
ASHRAE	8	9	ASHRAE Standard 62.1 (2007)
U.S.EPA	1 8	35 9	U.S.EPA (2009)

2.3.3 สารประกอบอินทรีย์ระเหย (ไมตรี สุทธจิตต์, 2545)

สารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds: VOCs) หมายถึงกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย กระจายตัวไปในอากาศได้ในอุณหภูมิและความดันปกติ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักของสาร ได้แก่ อะตอมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และมีองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ออกซิเจน ฟลูออไรด์ คลอไรด์ โบรไมด์ ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน สามารถแบ่งกลุ่มสาร VOCs ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามลักษณะของโมเลกุลของสาร คือ

1. กลุ่ม Non-chlorinated VOCs หรือ Non-Halogenated Hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีอะตอมของธาตุคลอรีนหรือธาตุฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุล ประกอบด้วย อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน เช่น ออกเทน เฮกเซน แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์และคีโตน เป็นต้น และกลุ่มสาร อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เช่น โทลูอีน ไซลีน เอทธิลเบนซีน ไซลีน ฟีนอล เป็นต้น สารกลุ่มนี้เกิดจาก การเผาไหม้กองขยะ วัสดุ สารตัวทำละลาย สีทาวัสดุ เป็นต้น

2. กลุ่ม Chlorinated VOCs หรือ Halogenated Hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีอะตอมของธาตุคลอรีนหรือธาตุฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุล ได้แก่ สารเคมีสังเคราะห์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม สารกลุ่มนี้มีความเป็นพิษมากกว่าและเสถียรในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารในกลุ่มสาร Non-chlorinated VOCs นั่นคือ สลายตัวได้ยากในธรรมชาติ และในทางเคมีจะมีความคงตัวสูง รบกวนการทำงานของสารพันธุกรรม ยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีใน

เซลล์ มีฤทธิ์ในการก่อมะเร็ง หรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้ ตัวอย่างของ Chlorinated VOCs เช่น ไดคลอโรมีเทน ไตรคลอโรมีเทน ไวนิลคลอไรด์ ไตรคลอโรเอทธิลีน เป็นต้น

สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่เป็นสาเหตุของปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร มักเป็นสารที่มีความดันไอต่ำ ระเหยสู่อากาศอย่างช้าๆ และอาจมีการระเหยนานเป็นเดือน หากพบระดับของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด (Total Volatile Organic Compounds: TVOC) ในห้องเกินกว่า 1-2 ส่วนในล้านส่วน แสดงว่าห้องนั้นอาจมีปัญหาคุณภาพอากาศ แม้ไม่มีเรื่องร้องเรียนใดๆ จากผู้อาศัยในอาคาร (สร้อยสุดา เกสรทอง, 2549)

แหล่งกำเนิดสำคัญของสารประกอบอินทรีย์ระเหยในอาคาร คือ วัสดุและสารต่างๆ ที่ใช้ภายในอาคาร รวมทั้งกิจกรรมบางชนิด เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงาน เครื่องถ่ายเอกสาร สีทาห้อง ไม้อัด สารเคลือบเงาไม้ กาว สารทำละลาย เฟอร์นิเจอร์ น้ำยาฆ่าเชื้อโรค น้ำยาทำความสะอาดพื้นห้องน้ำ น้ำยารีดผ้า สเปรย์ฉีดผม ควันบุหรี่ ซึ่งมีสารประกอบของไอระเหยแอลกอฮอล์ อะซีโตน เบนซีน ฟอร์มาลดีไฮด์ แอมโมเนีย โทลูอีน และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น โดยแหล่งกำเนิดและชนิดของสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่พบในอาคารแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่พบในอาคารและแหล่งที่พบ

สารเคมี	แหล่งที่พบ
อะซิโตน(Acetone)	สี สีเคลือบ ทินเนอร์
อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbons) (ออกเทน เฮกเซน ดีเคน และอื่นๆ)	สี ก๊าซโซลีน แหล่งที่มีการเผาไหม้
อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน(Aromatic hydrocarbons) (โทลูอีน ไซลีน เอทธิลเบนซีน)	แหล่งที่มีการเผาไหม้ สี ก๊าซโซลีน พรมน้ำมัน
สารละลายที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ(Chlorinated solvents) (ไดคลอโรมีเทน ไตรคลอโรมีเทน)	น้ำยาทำความสะอาดห้อง แลกเกอร์ น้ำยาลบคำผิด เสื้อผ้าที่ซักแห้ง
เอน-บิวธิลอะซิเตท (n-Butyl acetate)	ผนังเพดานที่ป้องกันเสียงสะท้อน พรมน้ำมัน
ไดคลอโรเบนซีน (Dichlorobenzene)	พรม สเปรย์ปรับอากาศ
4-ฟีนิลไซโคลเฮกเซน (4-Phenylcyclohexene)	พรม สี
เทอปีน (Terpenes)	น้ำยาดับกลิ่นตัว น้ำยาทำความสะอาด

ที่มา: สร้อยสุดา เกสรทอง, 2549

ผลกระทบต่อสุขภาพของสารประกอบอินทรีย์ระเหยต่อมนุษย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ (สาวิตรี พูลมา, 2548) ได้แก่

1) พิษแบบเฉียบพลัน คือ อาการที่มักเกิดขึ้นทันที ได้แก่ อาการระคายเคืองต่อตา เยื่อบุ ทางเดินหายใจ หากระดับความเข้มข้นต่ำกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน จะทำให้เกิดอาการ ปวดศีรษะ มึนงง คลื่นไส้ อาเจียน อ่อนเพลีย ประสาทหลอน และควบคุมตัวเองไม่ได้ ถ้าระดับความเข้มข้นสูงกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน จะทำให้ง่วงซึม ชัก หมดสติ และเสียชีวิตได้

2) พิษแบบเรื้อรัง คือ อาการที่เกิดขึ้นเมื่อร่างกายได้รับสารประกอบอินทรีย์ระเหยต่างๆ ปริมาณน้อยเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดพยาธิสภาพกับอวัยวะเป้าหมาย เช่น สมอง ตับ ไต มีผลทำให้ผิดปกติไปจนถึงทำงานไม่ได้ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการทำงานของสารพันธุกรรม ยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ มีฤทธิ์ในการก่อมะเร็งหรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้ (ไมตรี สุทธจิตต์, 2545)

- **มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบอินทรีย์ระเหยในประเทศไทย**

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ.2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ได้กำหนดค่ามาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ยอมให้มีในบรรยากาศไว้ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี

สารมลพิษ	**ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)**
1. เบนซีน (Benzene)	1.7
2. ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride)	10
3. 1,2 - ไดคลอโรอีเทน (1,2 - Dichloroethane)	0.4
4. ไตรคลอโรเอทธิลีน (Trichloroethylene)	23
5. ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	22
6. 1,2 - ไดคลอโรโพรเพน (1,2 - Dichloropropane)	4
7. เตตระคลอโรเอทธิลีน (Tetrachloroethylene)	200
8. คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	0.43
9. 1,3 - บิวทาไดอีน (1,3 - Butadiene)	0.33

ที่มา : กรมควบคุมลพิษ, 2550

สำหรับมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยในสถานที่ทำงานกระทรวงมหาดไทยได้ออกประกาศ เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) โดยกำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารเคมีที่ยอมให้มีในบรรยากาศภายในสถานที่ทำงาน สำหรับค่ามาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยบางชนิดได้รวบรวมไว้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงานของประเทศไทย

สารเคมี	**ความเข้มข้นตลอดระยะเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (ส่วนในล้านส่วน)**
เบนซีน (Benzene)	10
ไวนิล คลอไรด์ (Vinyl chloride)	1
คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	50
ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	3
ฟีนอล (Phenol)	5
โทลูอีน (Toluene)	200
ไตรคลอโรเอทธิลลีน(Trichloroethylene)	100
เตตราคลอโรเอทธิลลีน(Tetrachloroethylene)	100
เมทธิลลีนคลอไรด์ (Methylene chloride)	500
เอทธิลลีนไดคลอไรด์ (Ethylene dichloride)	50
เมทธิลแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol)	200
เอทธิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol)	1,000
ไซลีน (ไซลอล) [Xylene (Xylol)]	100

ที่มา : กระทรวงมหาดไทย, 2520

- **มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบอินทรีย์ระเหยในต่างประเทศ**

ในต่างประเทศค่ามาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงานในกลุ่ม BTEX ได้รวบรวมไว้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยในสถานที่ทำงานของแต่ละหน่วยงานในต่างประเทศ

สาร	หน่วยงาน	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
Benzene	OSHA	1.0 ส่วนในล้านส่วน > 8 ชั่วโมง (TWA) 5.0 ส่วนในล้านส่วน < 5 ชั่วโมง (STEL)	3.1 15
	NIOSH	0.1 ส่วนในล้านส่วน > 10 ชั่วโมง (TWA) 1.0 ส่วนในล้านส่วน < 15 นาที (STEL)	0.31 3.1
	ACGIH	0.5 ส่วนในล้านส่วน > 8 ชั่วโมง (TWA) 2.5 ส่วนในล้านส่วน < 15 นาที (STEL)	1.5 7.9
Toluene	OSHA	100 ส่วนในล้านส่วน (TWA) 500 ส่วนในล้านส่วน (STEL)	370 1,800
	NIOSH	100 ส่วนในล้านส่วน (TWA)	370
	ACGIH	50 ส่วนในล้านส่วน (TWA)	180
Ethyl benzene	OSHA	100ส่วนในล้านส่วน >10 ชั่วโมง (TWA) 125 ส่วนในล้านส่วน (STEL)	430 540
	ACGIH	100 ส่วนในล้านส่วน > 8 ชั่วโมง (TWA) 125 ส่วนในล้านส่วน (STEL)	430 540
Xylene	OSHA	0.1 มก.ต่อลบ.ม. (TWA)	0.43
	ACGIH	0.1 มก.ต่อลบ.ม. (TWA)	0.43
MTBE	OSHA	100 ส่วนในล้านส่วน (TWA)	430
	ACGIH	50 ส่วนในล้านส่วน (TWA)	210

หมายเหตุ

TWA = Time Weighted Average STEL = Short Term Exposure Limit

ที่มา : สาวิตรี พูลมา, 2548

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.4 ฝุ่นละอองในอากาศ

ฝุ่นละออง โดยทั่วไปแล้วมีขนาดตั้งแต่ 200 ไมครอนลงไป ถึงต่ำกว่า 0.1 ไมครอน ซึ่งอยู่ในสภาพของแข็งหรือของเหลว ที่อุณหภูมิและความดันปกติ ทั้งนี้ยกเว้นไอน้ำ ศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคของมลสาร (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ, 2538)

ฝุ่น ประกอบด้วยอนุภาคของแข็งใหญ่กว่าคอลลอยด์และอาจลอยอยู่ได้ในอากาศชั่วครู่หนึ่ง

ละอองไอ (Aerosol) ได้จากการฟุ้งกระจายของของเหลว หรือของแข็งในตัวกลางซึ่งเป็นก๊าซรวมความถึงหมอก ควัน และละอองน้ำ อาจมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงไป จนถึง 0.1 ไมครอน อนุภาคที่เล็กกว่า 5 ไมครอนจะสามารถแขวนลอยอย่างสมบูรณ์ อนุภาคที่ใหญ่กว่า 5 ไมครอนจะตกลงสู่พื้น

ขี้เถ้า หรือ ขี้เถ้าลอยที่ปลิวออกมากับไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ได้แก่ เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และแร่ธาตุ

หมอก คือ ละอองไอ ซึ่งฟุ้งกระจายเป็นของเหลว ในทางอุตุนิยมวิทยา หมอก คือ น้ำหรือน้ำแข็งที่ฟุ้งกระจาย

ไอเสีย ประกอบด้วยอนุภาคซึ่งเกิดจากการกลั่นตัว หรือปฏิกิริยาเคมี ส่วนใหญ่แล้วมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ควันบุหรี่และไอระเหยของโลหะออกไซด์ที่กลั่นตัวเป็นตัวอย่างหนึ่ง

ละอองน้ำ (mist) เป็นการฟุ้งกระจายอย่างเบาบางของหยดเล็กๆ ของของเหลว ในทางอุตุนิยมวิทยา ละอองน้ำ คือ การฟุ้งกระจายอย่างเบาบางของหยดน้ำซึ่งมีขนาดใหญ่พอที่จะหล่นลงมาจากอากาศ ละอองน้ำอาจมาจากการกลั่นตัวของก๊าซหรือไอระเหย หรืออาจมาจากการกระจายของเหลวด้วยการตีน้ำ พ่น หรือกวนให้เป็นฟอง

ควัน ได้แก่ อนุภาคขนาดเล็กๆ จากเชื้อเพลิงซึ่งเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และลอยไปกับอากาศ

การขัดสีโลหะ มักจะก่อให้เกิดอนุภาคขนาดใหญ่กว่าหลายไมครอน อนุภาคที่เล็กกว่านั้น (0.1-1 ไมครอน) เกิดจากการกลั่นตัวของไอระเหย

โดยสรุป เราพอจะแบ่งขนาดของฝุ่นตามแหล่งกำเนิดได้คือ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน มาจากไอเสียรถยนต์ ปฏิกิริยาระหว่างก๊าซชนิดต่างๆ ควันไฟ พายุฝุ่น ละอองน้ำทะเล และโรงงานอุตสาหกรรม ฝุ่นขนาด 0.1-1.0 ไมครอน มาจากการรวมตัวของควัน ไอเสีย กับไอน้ำ ฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 1.0 ไมครอน มาจากการรวมตัวของควัน ขี้เถ้า ผงโลหะจากการขัดสี เกสรดอกไม้ และแมลง

ผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากฝุ่นละอองมีขนาดเล็กพอที่จะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและถุงลมปอดของมนุษย์ได้เป็นผลให้เกิดโรคทางเดินหายใจ โรคปอดต่างๆ เกิดการระคายเคืองและทำลายเยื่อหุ้มปอด หากได้รับในปริมาณมากและเป็นเวลานานจะเกิดการสะสมทำให้เกิดพังผืดและเป็นแผลได้ ทำให้การทำงานของปอดลดลง ความรุนแรงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของฝุ่นละอองนั้น ส่วนฝุ่นขนาดใหญ่ที่เกิดจากการก่อสร้างและการฟุ้งกระจายของฝุ่นจากพื้นที่ว่างเปล่า ฝุ่นประเภทนี้ไม่มีผลต่อสุขภาพอนามัยมากนักเพียงแต่จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจส่วนต้น และอาจเป็นเพียงการรบกวนและก่อให้เกิดความรำคาญเท่านั้น (สมชัย บวรกิตติ และ รังสรรค์ ปุษปาคม, 2552)

- **มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองในประเทศไทย**

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองในประเทศไทย ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ได้กำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศในประเทศไทยไว้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศในประเทศไทย

สารมลพิษ	**ระยะเวลาเฉลี่ย**	**ความเข้มข้น (มิลลิกรัมกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)**
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	24 ชั่วโมง	0.050
	1 ปี	0.025
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	24 ชั่วโมง	0.12
	1 ปี	0.05
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน	24 ชั่วโมง	0.33
	1 ปี	0.10

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550, 2553

สำหรับมาตรฐานในสถานที่ทำงานกระทรวงมหาดไทยได้ออกประกาศ เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) โดยกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองที่ยอมให้มีในบรรยากาศของการทำงานภายในสถานที่ทำงานไว้ ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 มาตรฐานฝุ่นละอองที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงานของประเทศไทย

สารมลพิษ	ระยะเวลาเฉลี่ย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
ฝุ่นขนาดที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมของปอดได้(respirable dust)	8	5
ฝุ่นทุกขนาด (Total dust)	8	15

ที่มา : กระทรวงมหาดไทย, 2520

- **มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองในต่างประเทศ**

United States Environmental Protection Agency และองค์การอนามัยโลก ได้กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 มาตรฐานฝุ่นของ United States Environmental Protection Agency และองค์การอนามัยโลก

สารมลพิษ	ระยะเวลาเฉลี่ย	ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัมกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	มาตรฐานอ้างอิง
ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	24 ชั่วโมง	0.15	U.S.EPA(2009)
	24 ชั่วโมง	0.05	WHO(2005)
	1 ปี	0.02	WHO(2005)
ฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5ไมครอน	24 ชั่วโมง	0.035	U.S.EPA(2009)
	24 ชั่วโมง	0.025	WHO(2005)
	1 ปี	0.01	WHO(2005)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 คุณภาพอากาศภายในอาคารที่เหมาะสม

ค่ามาตรฐานต่างๆ ที่ใช้เป็นแนวทางในการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคารให้เหมาะสม รวบรวมไว้ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ค่ามาตรฐานต่างๆของคุณภาพอากาศภายในอาคาร

สารมลพิษ	ระยะเวลา	ค่ามาตรฐาน	มาตรฐานอ้างอิง
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	8 ชั่วโมง	1,000 ส่วนในล้านส่วน	ASHRAE Standard 62
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	8 ชั่วโมง	9 ส่วนในล้านส่วน	ASHRAE Standard 62
ฟอร์มาลดีไฮด์	8 ชั่วโมง	0.027 ส่วนในล้านส่วน	ASHRAE Standard 62
โอโซน	8 ชั่วโมง	0.05 ส่วนในล้านส่วน	ASHRAE Standard 62
	8 ชั่วโมง	0.05 ส่วนในล้านส่วน	WHO(2005)
	8 ชั่วโมง	0.075 ส่วนในล้านส่วน	U.S.EPA(2009)
อนุภาคขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	1 ปี	0.05 มก.ต่อลบ.ม.	ASHRAE Standard 62
อนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	1 ปี	0.015 มก.ต่อลบ.ม.	ASHRAE Standard 62
ไนโตรเจนไดออกไซด์	ตลอดเวลา	0.1 ส่วนในล้านส่วน	WHO(2005)
จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด	ตลอดเวลา	100 โคโลนีต่อลบ.ม.	WHO(1988)
จำนวนราทั้งหมด	ตลอดเวลา	50 โคโลนีต่อลบ.ม.	WHO(1988)

สำนักงานระบาดวิทยาสิ่งแวดล้อม กระทรวงสิ่งแวดล้อมของประเทศสิงคโปร์ได้เสนอแนะค่าความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดที่ยอมให้มีภายในอาคารไว้ไม่ควรเกิน 3 ส่วนในล้านส่วน (Institute of Environmental Epidemiology, Ministry of the Environment, Singapore, 1996)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 ระบบระบายอากาศและระบบปรับอากาศ

2.5.1 ระบบระบายอากาศ

การระบายอากาศ คือ กระบวนการจ่าย และการเอาอากาศออกโดยวิธีธรรมชาติหรือโดยเชิงกลทั้งเข้าและออกจากพื้นที่ การระบายอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2545)

การระบายอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1. การระบายอากาศแบบทั่วไป (General Ventilation) หรืออาจเรียกว่าการระบายอากาศเพื่อเจือจาง (Dilution Ventilation) และ 2. การระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation) และเนื่องจากอากาศเป็นสสารจึงต้องการที่ครอบครอง อากาศภายนอกจะเคลื่อนที่เข้ามาภายในห้องหรืออาคารได้ก็ต่อเมื่อมีอากาศภายในห้องหรืออาคารนั้นเคลื่อนที่ออกก่อน ดังนั้นการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพจึงต้องประกอบด้วยระบบที่สำคัญสองระบบเสมอ นั้นคือ ระบบระบายอากาศออก (Exhaust System) ทำหน้าที่นำอากาศออกจากพื้นที่ และระบบส่งอากาศ (Supply System) ทำหน้าที่ส่งอากาศที่ผ่านการปรับสภาพให้เหมาะสม คือ สะอาด ความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมเข้าแทนที่ เมื่อระบบทั้งสองมีความสมดุลจะทำให้ความดันอากาศภายในและภายนอกอาคารเกิดความสมดุลด้วย

- การระบายอากาศแบบทั่วไป (General Ventilation)

การระบายอากาศโดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์เพื่อเจือจางสารปนเปื้อนในอากาศให้อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ นั้นคือระดับที่เชื่อว่าไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนงานส่วนใหญ่ และไม่ทำให้เกิดสภาพที่อาจเกิดไฟไหม้หรือระเบิดได้ รวมทั้งทำให้เกิดความสบายต่อผู้ที่อยู่ในบริเวณนั้น การระบายอากาศประเภทนี้แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. การระบายอากาศโดยวิธีกล (Mechanical Ventilation) เป็นวิธีการระบายอากาศที่ต้องอาศัยอุปกรณ์หรือเครื่องกล เช่นพัดลม ช่วยให้อากาศเคลื่อนไหว หมุนเวียน เป็นต้น

2. การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural Ventilation) เป็นวิธีการระบายอากาศที่อาศัยธรรมชาติทำให้เกิดความดันบรรยากาศที่แตกต่างกันในสองพื้นที่ อากาศจึงเคลื่อนที่จากที่ซึ่งมีความดันบรรยากาศสูงไปยังที่ที่มีความดันบรรยากาศต่ำ เช่น อากาศร้อนลอยตัวขึ้นทำให้เกิดความดันบรรยากาศในบริเวณนั้นลดลง และอากาศที่เย็นกว่าซึ่งมีความดันบรรยากาศสูงกว่าจึงเคลื่อนเข้ามาแทนที่โดยอาศัยช่องเปิด เช่นประตูและหน้าต่าง หรือช่องระบายอากาศ

การระบายอากาศโดยทั่วไปเป็นการเจือจางสารปนเปื้อนเท่านั้น มิได้กำจัดให้หมดไปจากสิ่งแวดล้อม โดยหลักการระบายอากาศแบบทั่วไปมีดังนี้ (วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, 2549)

1. อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่พื้นที่หรือห้องที่มีสารปนเปื้อนต้องสามารถเจือจางสารปนเปื้อนให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

2. ติดตั้งช่องระบายอากาศออกให้อยู่ใกล้แหล่งของสารปนเปื้อนมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

3. ช่องอากาศเข้าและช่องระบายอากาศออกต้องอยู่ในตำแหน่งที่อากาศสามารถไหลผ่านพื้นที่ที่ถูกปนเปื้อน และผู้ปฏิบัติงานต้องอยู่ระหว่างช่องอากาศเข้าและแหล่งของสารปนเปื้อน

4. อากาศที่มาเจือจางสารปนเปื้อนต้องมีปริมาณมากพอและไหลเข้าอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงควรใช้เครื่องกล เช่น พัดลมช่วยไหลเวียนอากาศแทนการไหลเวียนของอากาศตามธรรมชาติ

5. อากาศที่ระบายออกจากพื้นที่ทำงานแล้วต้องไม่ถูกนำกลับเข้ามาในอาคารอีก ดังนั้นตำแหน่งของช่องระบายอากาศออกจึงควรอยู่ห่างจากช่องทางเข้าสู่อาคารหรืออยู่ในทิศทางที่อากาศไหลกลับเข้าอาคาร

- การระบายอากาศแบบเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation)

การระบายอากาศแบบเฉพาะที่ หมายถึง การนำสารปนเปื้อนที่กำลังเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดออกสู่สิ่งแวดล้อมการทำงานไปบำบัดก่อนปล่อยอากาศสะอาดออกสู่บรรยากาศภายนอกโดยระบบระบายอากาศซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อรวบรวมสารปนเปื้อนที่แหล่งหรือใกล้กับแหล่งของสารนั้น ก่อนที่สารจะฟุ้งกระจายหรือระเหยขึ้นสู่บรรยากาศในระดับหายใจของผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นการระบายอากาศแบบเฉพาะที่จึงเป็นมาตรการควบคุมสารปนเปื้อนที่แหล่งกำเนิดที่มีประสิทธิภาพสูง และประหยัดพลังงาน เนื่องจากมีอัตราการไหลของอากาศออกสู่ภายนอกต่ำ จึงใช้พลังงานในการเคลื่อนที่อากาศต่ำ และทำให้สูญเสียความเย็นไปกับอากาศที่ระบายออกไปน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการระบายอากาศแบบทั่วไป

การระบายอากาศแบบเฉพาะที่ เป็นการนำสารปนเปื้อนซึ่งฟุ้งกระจายจากแหล่งกำเนิดออกไปสู่สิ่งแวดล้อม โดยหลักการทำงานของระบบระบายอากาศเฉพาะที่อาศัยหลักการไหลของอากาศจากที่ซึ่งมีความดันสูงไปยังที่ที่มีความดันต่ำ เช่น การทำงานของพัดลมทำให้เกิดความดันต่ำที่ด้านหน้าของพัดลม ดังนั้นอากาศที่อยู่ด้านนอกบริเวณช่องเปิดของท่อ (ฮูด) ซึ่งมีความดันสูงกว่าจึงเคลื่อนที่เข้ามาในท่อ ในขณะที่ด้านหลังพัดลมมีความดันสูงกว่าอากาศภายนอกท่อ ทำให้อากาศสามารถเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกได้ (วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, 2549)

การวัดอัตราการระบายอากาศหรืออัตราแลกเปลี่ยนอากาศสามารถทำได้โดยการใช้ก๊าซเทรเซอร์ ในการพิจารณาการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องโดยใช้วิธีคำนวณจาก American Society for Testing and Material (ASTM) E741 (2006) เป็นข้อปฏิบัติสำหรับกระบวนการทดสอบการลดลงของความเข้มข้นก๊าซ เพื่อใช้ในการหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Change Rate) จากนั้นนำไปคำนวณหาอัตราแลกเปลี่ยนอากาศโดยใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{Air Change Rate} = \frac{(lnC_1 - lnC_2)}{t_2 - t_1}$$

โดยที่ C_1 = ความเข้มข้นของก๊าซเทรเซอร์ (tracer gas) ที่เริ่มต้น

C_2 = ความเข้มข้นของก๊าซเทรเซอร์ (tracer gas) ที่เวลาสุดท้าย

t_1 = เวลาที่เริ่มต้นวัดก๊าซเทรเซอร์ (tracer gas)

t_2 = เวลาสุดท้ายที่วัดก๊าซเทรเซอร์ (tracer gas)

โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้กำหนดค่าอัตราการนำเข้าอากาศ อัตราการหมุนเวียนอากาศและความดันสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับห้องภายในโรงพยาบาล ไว้ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องและความดันสัมพัทธ์สำหรับห้องภายในโรงพยาบาล

ลำดับ	สถานที่	อัตราการนำเข้าอากาศภายนอกไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อ 1 ชั่วโมง	อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อ 1 ชั่วโมง	ความดันสัมพัทธ์กับพื้นที่ข้างเคียง
1	ห้องผ่าตัด	5	25	สูงกว่า
2	ห้องคลอด	5	25	สูงกว่า
3	ห้องNursery	5	12	สูงกว่า
4	หออภิบาลผู้ป่วยหนัก	2	6	สูงกว่า
5	ห้องตรวจรักษาผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
6	ห้องฉุกเฉิน	5	12	สูงกว่า
7	บริเวณพักคอยสำหรับแผนกผู้ป่วยนอกและห้องฉุกเฉิน	2	12	ต่ำกว่า
8	ห้องพักผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
9	ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อ	2	12	ต่ำกว่า
10	ห้องแยกผู้ป่วยปลอดเชื้อทางอากาศ	2	12	สูงกว่า
11	ห้องปฏิบัติการ	2	6	ต่ำกว่า
12	ห้องชันสูตรศพ	2	12	ต่ำกว่า

ที่มา: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2551

2.5.2 ระบบปรับอากาศ (สุธิกานต์ วงษ์เสถียร, 2548)

เครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องใช้ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานานแล้ว ซึ่งสามารถใช้ได้ในทุกสภาพภูมิอากาศ กระบวนการปรับอากาศจึงมีเงื่อนไขหลายอย่าง ความสามารถของเครื่องปรับอากาศ คือ สามารถปรับสภาวะอากาศตามที่ร่างกายมนุษย์ต้องการ ซึ่งมีมากกว่าการลดอุณหภูมิ กล่าวโดยง่ายการปรับอากาศ คือ การรักษาสภาวะอากาศภายในพื้นที่ว่างหรือห้องหนึ่งๆให้ผู้ที่อาศัยอยู่รู้สึกสบาย โดยผ่านกระบวนการดังต่อไปนี้

(1) การควบคุมอุณหภูมิ

อุณหภูมิที่จะต้องปรับนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้อาศัยและบรรยากาศของสถานที่นั้นๆ การปรับอุณหภูมิจึงมีทั้งการทำความร้อนและการทำความเย็น

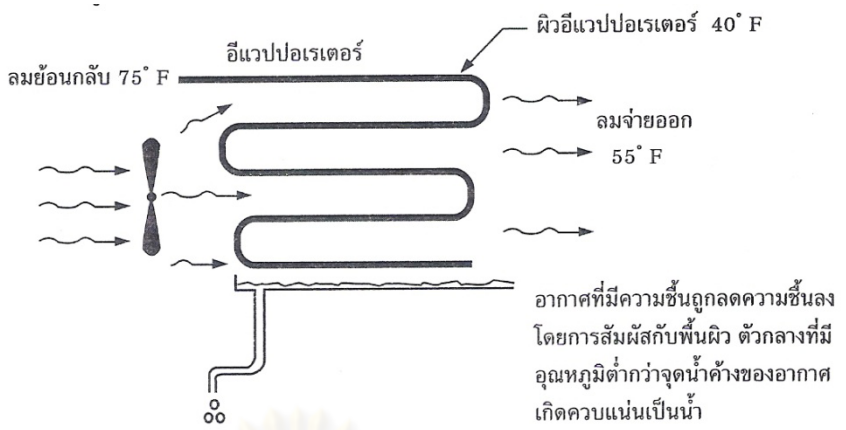
การทำความเย็นเป็นวิธีที่แพร่หลายมากที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทำความเย็น (Refrigeration Process) การทำความเย็นแบบอัดไอเป็นวิธีที่ถูกใช้มากที่สุดโดยความร้อนภายในห้องปรับอากาศจะถูกดูดออกไป เพื่อระเหยสารทำความเย็นในอิวาเพอร์เรเตอร์และถูกถ่ายเททิ้งออกไปสู่บรรยากาศหรือน้ำตัวกลาง โดยการควบแน่นกลายเป็นของเหลวของสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 24-26 องศาเซลเซียส

(2) การควบคุมความชื้น

ในบางพื้นที่ของโลกที่ภูมิอากาศมีความแห้ง จำเป็นจะต้องเพิ่มความชื้นภายในห้องปรับอากาศเพื่อความสบายของผู้อาศัย ตัวอย่างหนึ่งของการเพิ่มความชื้นก็คือ การฉีดน้ำเป็นละอองภายในท่อส่งลม จากนั้นพัดลมจะพาความชื้นไปสู่ส่วนปรับอากาศ

การลดความชื้นในห้องปรับอากาศเป็นกระบวนการโดยทั่วไปของการทำความเย็น การลดความชื้นลงจะวัดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity: RH) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างความชื้นจริงในขณะนั้นกับความชื้นอิ่มตัวของอากาศ ในการทำความเย็นและลดความชื้นนั้นจะปรับความชื้นอยู่ระหว่าง 50-55 % โดยความชื้นในระดับนี้จะเหมาะกับร่างกายของคนเรา เพราะจะทำให้รู้สึกสบาย

กระบวนการลดความชื้นนั้นมีทั้งการใช้วิธีเคมี คือ ใช้สารเคมีที่ดูดซับความชื้นและลดความชื้นโดยให้อากาศย้อนกลับไหลผ่านอิวาเพอร์เรเตอร์ที่มีอุณหภูมิที่ผิวต่ำเป็นจุดน้ำค้างความชื้นในอากาศจึงควบแน่นเป็นน้ำถ่ายทิ้งออกไปสู่ภายนอก ดังรูปที่ 2.1 อากาศย้อนกลับจึงควบแน่นที่ผิวอีแวปปอเรเตอร์ ทำให้อากาศที่ออกมาทางช่องจ่ายลมถูกลดความชื้นลง



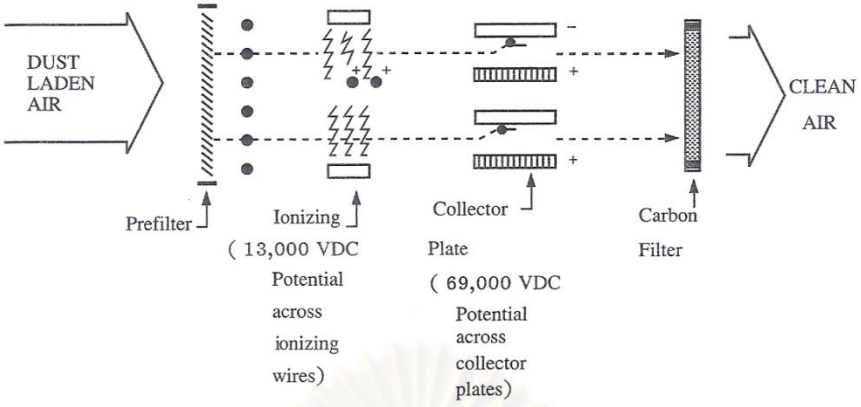
รูปที่ 2.1 การลดความชื้นโดยอากาศสัมผัสกับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดน้ำค้างที่ผิวอีแวปปอเรเตอร์ (ที่มา : สุธิกานต์ วงษ์เสถียร, 2548)

(3) การควบคุมความสะอาดและความบริสุทธิ์ของอากาศ

อากาศภายในห้องปรับอากาศจะสะอาด ปราศจากเชื้อโรค และกลิ่นต่างๆ จะบริสุทธิ์เพียงพอต่อการอาศัยอยู่ของคนได้นั้น จะต้องทำใน 2 เงื่อนไข คือ การทำให้อากาศภายในห้องสะอาดและการถ่ายเทอากาศบริสุทธิ์ (กว่า) จากภายนอกห้องเข้ามาแทนที่อากาศภายในห้อง

การทำความสะอาดหรือการกรองอากาศในห้องปรับอากาศนั้นจะต้องใช้อุปกรณ์กรองอากาศ ซึ่งมีทั้งชนิดที่ติดอยู่กับเครื่องปรับอากาศและเครื่องกรองเฉพาะ ความสามารถในการกรองอากาศขึ้นอยู่กับวัสดุและการออกแบบแผ่นกรองอากาศตั้งแต่แผ่นกรองแห้ง (Dry Filter) ซึ่งทำมาจากวัสดุประเภทไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) หรือวัสดุประเภทผ้า คาร์บอน ระบบปรับอากาศที่ใช้ท่อส่งลมจะใช้ชนิด Viscous Filter ที่มีความเหนียวและสามารถดักฝุ่นได้ดี ซึ่งมีทั้งที่เป็นผ้าและโลหะ

เครื่องกรองอากาศระบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Air Filter) ถูกนำมาใช้งานเป็นเวลาหลายปีมาแล้ว ได้มีการพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ ทั้งในเรื่องสมรรถนะ และขนาดกะทัดรัดขึ้น มีทั้งชนิดที่ติดตั้งอยู่กับแฟนคอยล์ ท่อส่งลม และเป็นเครื่องกรองเฉพาะ หลักการทำงาน คือ อากาศจะผ่านแผ่นกรองขั้นแรกหรือ Prefilter เพื่อกรองฝุ่นขนาดใหญ่ก่อน จากนั้นอากาศจะผ่านกระบวนการสร้างประจุ ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะถูกประจุให้เป็นประจุบวกและไหลผ่านแผ่นกรองที่เป็นอนุกรมของขั้วบวกและลบสลับกัน ฝุ่นละอองที่เป็นประจุบวกจะถูกผลักโดยแผ่นกรองขั้วบวกและถูกดูดโดยแผ่นขั้วลบ (Collector Plate) ขั้นสุดท้ายอากาศจะผ่านแผ่นกรองคาร์บอน (Carbon Filter) หรือ Charcoal Filter เพื่อขจัดกลิ่นในขั้นตอนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการของเครื่องกรองอากาศไฟฟ้าสถิต
(ที่มา : สุธิกานต์ วงษ์เสถียร, 2548)

การนำอากาศภายนอกเข้าสู่ห้องปรับอากาศ โดยหลักการสำหรับห้องทั่วไปจะต้องมีการแลกเปลี่ยนอากาศอยู่ระหว่าง 5 ลิตรต่อนาทีต่อคน สำหรับห้องที่มีอากาศเสียมาก เช่น ห้องที่มีการสูบบุหรี่ หรือโรงพยาบาล จะต้องมีการแลกเปลี่ยนอากาศมากถึง 20 ลิตรต่อนาทีต่อคน ในทางปฏิบัติห้องที่มีขนาดเล็กจะไม่คำนึงถึงข้อนี้มากนัก ด้วยเหตุผลของความประหยัดโดยถือว่าการเปิดและปิดประตูแต่ละครั้งจะเกิดการแลกเปลี่ยนอากาศจำนวนมาก แต่ห้องขนาดใหญ่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพื่อแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มเติม โดยใช้พัดลมดูดอากาศ

พัดลมดูดอากาศมีตั้งแต่ตัวเดี่ยว เหมาะสำหรับติดตั้งภายในห้องที่มีขนาดเล็ก ส่วนห้องที่มีขนาดใหญ่ เช่น ห้องประชุมหรือห้องที่มีจำนวนคนมาก ระบบระบายอากาศจะต้องติดตั้งท่อดูดอากาศออก โดยใช้พัดลมตัวใหญ่ที่ปลายทาง

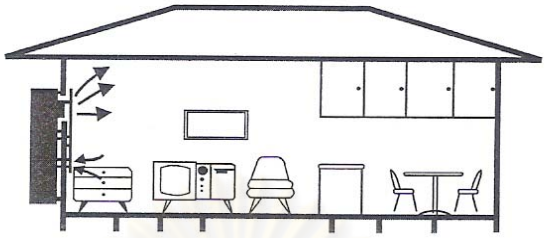
(4) ควบคุมการไหลเวียนของอากาศ

อากาศที่ไหลอยู่ในห้องปรับอากาศจะต้องมีลักษณะดังนี้

- หลีกเลี่ยงการไหลปะทะกันอย่างแรงของอากาศ
- หลีกเลี่ยงการเป่าโดนคนโดยตรง
- อย่าให้มีบริเวณที่มีลมนิ่ง
- รักษาระดับเสียงของพัดลมและลมให้เงียบที่สุด

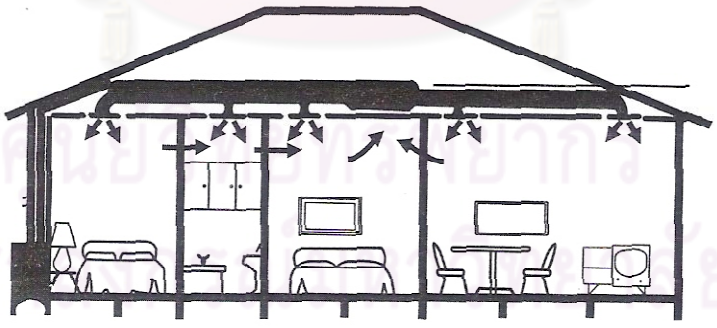
เครื่องปรับอากาศหน้าต่างนั้น มีข้อจำกัดตรงที่ไม่เหมาะกับห้องที่มีขนาดใหญ่ ถ้าจำเป็นจะต้องติดตั้งควรให้อยู่ในระดับสูงเท่าที่จะทำได้ ถ้าเครื่องปรับอากาศเหมาะสมกับห้องและปรับหน้ากากช่องลมจ่ายดี อากาศเย็นก็สามารถกระจายได้ทั่วห้อง ดังรูปที่ 2.3 (ก) เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้นจะมีข้อดีกว่าชนิดหน้าต่างตรงที่สามารถเลือกตำแหน่งติดตั้งได้

ดีกว่า สามารถอยู่กลางห้องภายในได้และมีเสียงรบกวนน้อยกว่า ดังรูปที่ 2.3 (ข) ส่วนระบบที่ใช้ท่อส่งลมนั้นถือว่าดีสุด หน้ากากส่งลมสามารถกระจายได้ทั่วทุกจุด ดังรูปที่ 2.3 (ค)



(ก) ชนิดหน้าต่าง

(ข) ชนิดแยกส่วน



(ค) ชนิดใช้ท่อส่งลม

รูปที่ 2.3 ลักษณะการกระจายลมของเครื่องปรับอากาศ

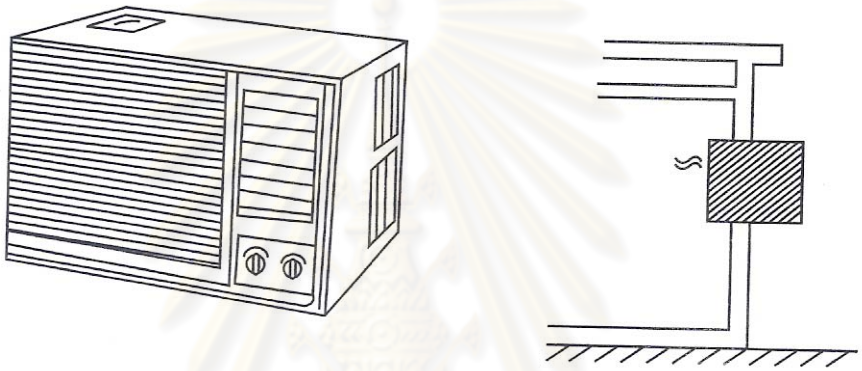
(ที่มา : สุธิกานต์ วงษ์เสถียร, 2548)

- ประเภทของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศเมื่อจำแนกตามการถ่ายเทความร้อน จะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศ (หรือถ่ายเทความร้อนโดยตรง) และชนิดที่ถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำ (หรือถ่ายเทความร้อนโดยอ้อม) ทั้งสองชนิดนี้เมื่อนำมาจำแนกตามลักษณะโครงสร้างจะสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายชนิด ดังนี้

(1) เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (Window Type Air Conditioner)

เป็นระบบที่มีขนาดเล็ก ส่วนประกอบทั้งหมดอยู่ในโครงลูกบาศก์ ติดตั้งที่ช่องหน้าต่างหรือช่องที่ทำขึ้นเฉพาะ ดังรูปที่ 2.4

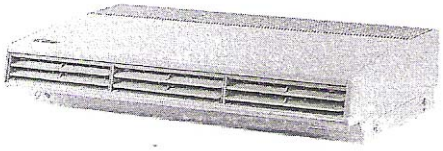


รูปที่ 2.4 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างและลักษณะการติดตั้ง
(ที่มา : สุธิกานต์ วงษ์เสถียร, 2548)

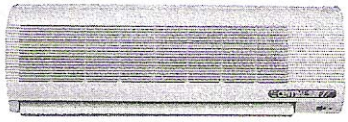
(2) เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioner)

ระบบนี้จะแยกส่วนประกอบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่อยู่ภายในห้องที่เรียกว่า แฟนคอยล์ยูนิต (Fan Coil Unit) หรือ Indoor Unit ภายในมีอิวาเพอร์เรเตอร์ มิเตอร์ริ่งดีไวซ์ และชุดควบคุมการทำงาน อีกส่วนหนึ่งอยู่นอกห้อง เรียกว่า คอนเดนซิ่งยูนิต (Condensing Unit) หรือ Outdoor Unit ภายในประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์เป็นส่วนประกอบหลัก

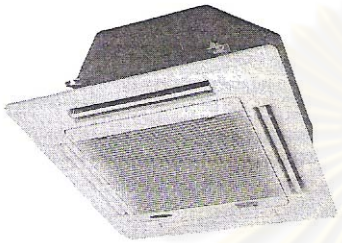
แฟนคอยล์ยูนิตนั้น ผู้ผลิตจะผลิตออกมาหลายลักษณะ ดังรูปที่ 2.5 (ก) เป็นแบบพื้นฐานติดตั้งโดยแขวนเพดานหรือตั้งพื้นก็ได้ ดังรูปที่ 2.5 (ข) เรียกว่า แบบติดผนัง ที่เน้นรูปร่างสวยงาม ส่วนรูปที่ 2.5 (ค)เป็นแบบฝังเหนือฝ้าเพดานแบบต่างระดับ เมื่อติดตั้งเสร็จแล้วจะเห็นหน้ากากเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีแบบเน้นความสวยงาม คือ แบบติดแนวเดียวกับฝาเพดาน ซึ่งการกระจายลมเย็นจะดีกว่า แต่ราคาสูง แสดงดังรูปที่ 2.5 (ง)



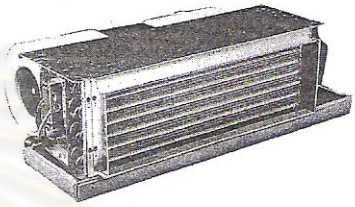
(ก) แบบตั้งพื้น หรือแขวนเพดาน



(ข) แบบติดผนัง



(ค) แบบฝังเหนือฝ้าต่างระดับ



(ง) แบบฝังแนวระดับฝ้า

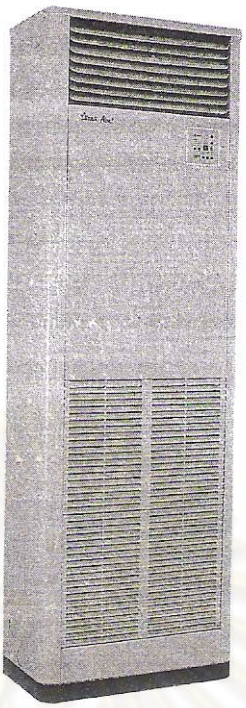
รูปที่ 2.5 แฟนคอยล์ยูนิตรูปแบบต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน
(ที่มา : สุธิกานต์ วงษ์เสถียร, 2548)

(3) เครื่องปรับอากาศแบบตู้ตั้ง

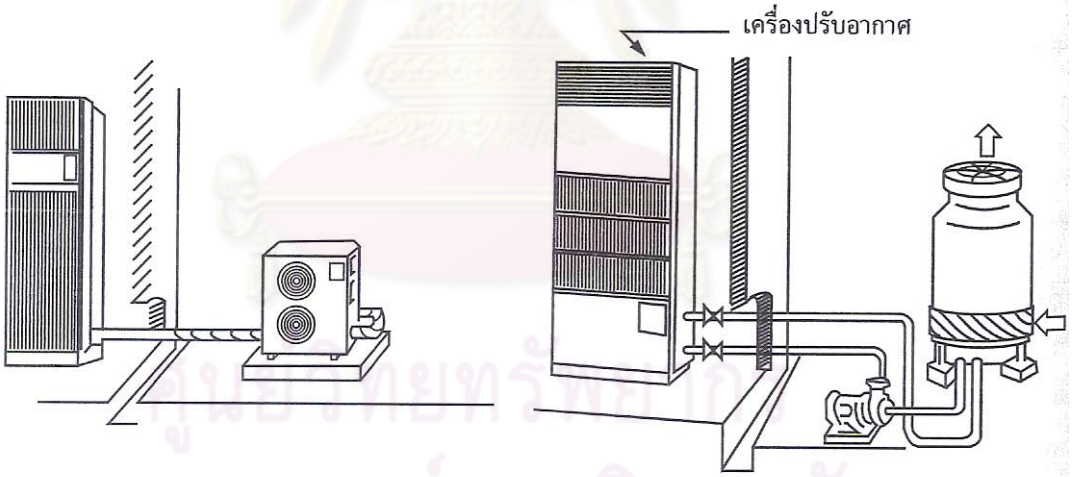
แบบตู้มีโครงสร้างคล้ายกับเครื่องปรับอากาศกลุ่มหน่วยเดียว (Unitary Type) และบางรุ่นจะคล้ายกับแบบแยกส่วนลักษณะเครื่องปรับอากาศชนิดนี้ แสดงดังรูปที่ 2.6 (ก) จำแนกออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

- ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ แสดงดังรูปที่ 2.6 (ข) ส่วนที่อยู่ภายในห้องจะประกอบไปด้วยคอมเพรสเซอร์ อิวาเพอร์เรเตอร์ มิเตอร์ริ่งดีไวซ์ และชุดเทอร์โมสตัต สำหรับส่วนที่อยู่นอกห้องจะมีเพียงคอนเดนเซอร์เท่านั้น

- ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ แสดงดังรูปที่ 2.6 (ค) ส่วนประกอบทั้งหมดจะอยู่ในโครงเดียวกัน รวมทั้งคอนเดนเซอร์ด้วย เนื่องจากคอนเดนเซอร์เป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ จึงต้องใช้หอหล่อเย็น (Cooling Tower) เป็นส่วนระบายความร้อนออกไป



(ก) เครื่องปรับอากาศตู้ตั้ง

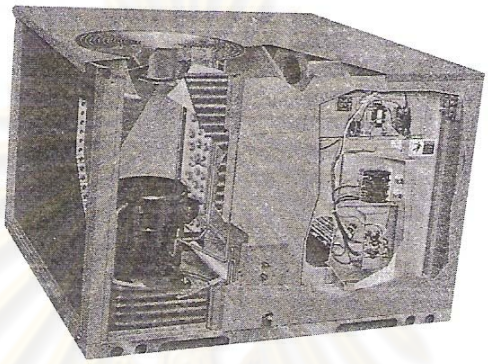


(ข) ระบายความร้อนด้วยอากาศ (ค) ระบายความร้อนด้วยน้ำพร้อมหอหล่อเย็น

รูปที่ 2.6 เครื่องปรับอากาศแบบตู้ตั้ง
(ที่มา : สุธิกานต์ วงษ์เสถียร, 2548)

(4) เครื่องปรับอากาศแบบแพ็กเกจ (Package Air Conditioner)

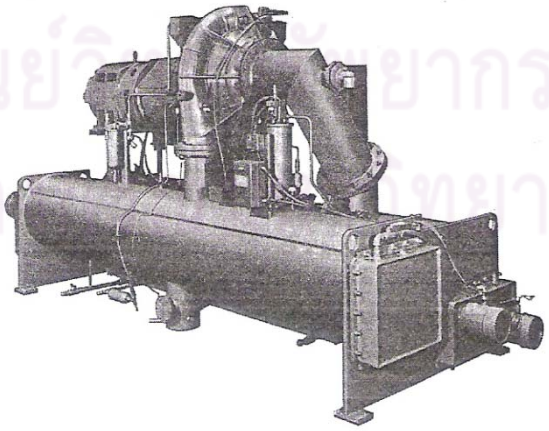
เครื่องปรับอากาศแบบแพ็กเกจ ดังรูปที่ 2.7 จัดอยู่ในกลุ่มหน่วยเดียวเหมือนชนิดหน้าต่างและชนิดตู้ตั้ง แต่มีขนาดใหญ่กว่าและจัดอยู่ในระบบส่วนกลาง (Central System) คือ จากเครื่องสามารถจ่ายความเย็นออกไปได้หลายๆ ห้องโดยผ่านท่อส่งลม เครื่องปรับอากาศแพ็กเกจนี้จะติดตั้งไว้บนพื้นล่างสุด หรือชั้นใดชั้นหนึ่งของอาคาร หรือบนหลังคา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางการเดินท่อส่งลมไปสู่ห้องบรรยากาศ



รูปที่ 2.7 เครื่องปรับอากาศแบบแพ็กเกจ
(ที่มา : สุธิกานต์ วงษ์เสถียร, 2548)

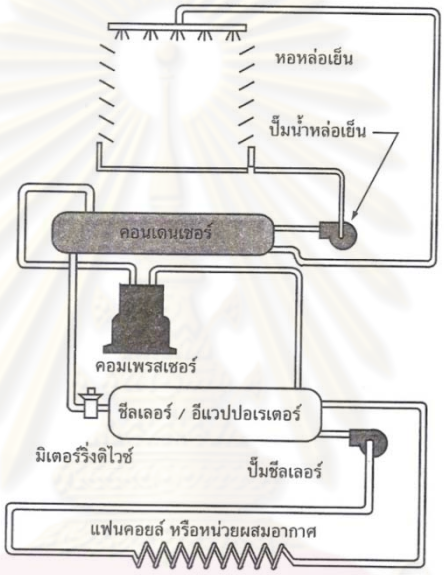
(5) เครื่องปรับอากาศแบบชีลเลอร์ (Chiller Air Conditioner)

ระบบนี้ใช้น้ำระบายความร้อนทั้งหมด ส่วนประกอบทุกส่วนของระบบการทำความเย็นจะติดตั้งอยู่ในชุดเดียวกัน ดังรูปที่ 2.8 โดยจะติดตั้งไว้ในพื้นที่หรือในห้องเฉพาะ



รูปที่ 2.8 เครื่องปรับอากาศแบบชีลเลอร์
(ที่มา : สุธิกานต์ วงษ์เสถียร, 2548)

อิวาเพอร์เรเตอร์ และคอนเดนเซอร์ของระบบปรับอากาศชีลเลอร์เป็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ น้ำที่นำมาหล่อเย็นให้กับคอนเดนเซอร์จะถูกพาไปถ่ายเทความร้อนออกให้กับบรรยากาศที่หอหล่อเย็น (Cooling Tower) และวนกลับมาสู่คอนเดนเซอร์เป็นวงจรปิดของน้ำหล่อเย็น ส่วนอิวาเพอร์เรเตอร์จะมีวงจรน้ำชีลเลอร์ โดยนำมาผ่านอิวาเพอร์เรเตอร์จนกลายเป็นน้ำเย็น จากนั้นจะส่งน้ำนี้ไปสู่ขดท่อน้ำเย็น (Chilled Water Coil) ซึ่งอาจเข้าสู่ห้องปรับอากาศโดยตรงหรือแฟนคอยล์ยูนิต (Fan Coil Unit) หรือนำน้ำเย็นไปที่หน่วยผสมอากาศ (Air Handling Unit) ก่อนและส่งความเย็นออกไปโดยท่อส่งลม (Air Duct) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรระบบปรับอากาศแบบชีลเลอร์
(ที่มา : สุธิกานต์ วงษ์เสถียร, 2548)

มลพิษทางอากาศอาจเกิดจากส่วนต่างๆ ภายในส่วนประกอบและท่อส่งของระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ เช่น หลายตำแหน่งในระบบปรับอากาศและระบายอากาศ อนุภาคสามารถไปเกาะติดและกลายเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ รวมถึงการเจริญเติบโตของจุลชีพในระบบทำความเย็น เช่น ท่อ ขดลวด เครื่องทำความชื้น เป็นต้นดังนั้นระบบระบายอากาศและระบบปรับอากาศนั้นอาจเป็นได้ทั้งอุปกรณ์ในการควบคุมคุณภาพอากาศในอาคารและแหล่งของปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร หากระบบระบายอากาศและระบบปรับอากาศไม่เหมาะสมและขาดการดูแล ซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ ระบบอาจกลายเป็นแหล่งของปัญหามลพิษอากาศภายในอาคารที่สำคัญได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปุญญานิช บริเวธานันท์ (2549) ทำการศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ปริมาณเชื้อราและอัตราการระบายอากาศภายในแผนกต่างๆ ได้แก่ แผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอก หน่วยจ่ายกลาง หอผู้ป่วย หอผู้ป่วยวิกฤติด้านอายุรกรรม และแผนกบริหารงานทั่วไป ของโรงพยาบาล 19 แห่ง ในเขตจังหวัดนนทบุรี ปทุมธานี และสมุทรปราการ พบว่าแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละอองคือ กิจกรรมภายในโรงพยาบาล โดยความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน จะแตกต่างกันตามกิจกรรมในห้องที่เก็บตัวอย่าง แต่พบความเข้มข้นเฉลี่ยฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนของแต่ละห้องมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากไม่มีแหล่งกำเนิดหลักภายในโรงพยาบาลและจากการศึกษาความสัมพันธ์ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาดกับปริมาณเชื้อราอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นของฝุ่นละออง แต่อย่างไรก็ตามอัตราการระบายอากาศที่มีค่าสูงจะช่วยเจือจางมลสารและลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อของผู้ที่อยู่อาศัยภายในโรงพยาบาล โดยอัตราการระบายอากาศจะขึ้นอยู่กับระบบระบายอากาศ นโยบายประหยัดพลังงานและการป้องกันการแพร่เชื้อของโรงพยาบาลเป็นสำคัญ

ณัฐพงศ์ แหละหมัน (2548) ศึกษาอัตราชุกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มอาการป่วยเหตุอาคารของเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานในอาคารของโรงพยาบาล โดยใช้ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวชี้วัดสภาพการระบายอากาศ ทำการเก็บข้อมูลในโรงพยาบาลสังกัดรัฐบาลจำนวน 9 แห่ง ในเขตพื้นที่ภาคกลาง โดยใช้แบบสอบถามและตรวจวัดระดับคุณภาพอากาศ (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ความชื้นสัมพันธ์ อุณหภูมิ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ฝุ่นละอองขนาดเล็ก เชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย) จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดอาการป่วยเหตุอาคาร ได้แก่ ปริมาณฝุ่นละออง จำนวนวันที่ทำงานต่อสัปดาห์ ความคิดว่าในอาคารที่ทำงานมีอัตราการระบายอากาศไม่เพียงพอ ความคิดว่าในอาคารที่ทำงานสกปรก ความคิดว่าในอาคารทำงานมีเสียงดัง การใช้อุปกรณ์สำนักงาน แต่ไม่พบว่าระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยที่สำคัญของการเกิดกลุ่มอาการป่วยเหตุอาคาร

จิตรพรรณ ภูษาภักดีภพ และ ชมพูศักดิ์ พูลเกษ (2544) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพอากาศภายในอาคารและกลุ่มอาการเจ็บป่วยของพนักงานจำนวน 143 คน ที่ทำงานในสำนักงานของโรงพยาบาล 11 แห่ง ของจังหวัดชลบุรี โดยตรวจวัดคุณภาพอากาศ (เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ฝุ่นละออง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซโอโซน ก๊าซแอมโมเนีย ไอระเหยขององค์ประกอบรวมของสารอินทรีย์ ฟอร์มาลดีไฮด์ เบนซิน โทลูอีนและไซลีน) รวมกับสัมภาษณ์กลุ่มอาการเจ็บป่วยของพนักงานด้วยแบบสัมภาษณ์ที่ประยุกต์มาจากการวิจัยของสถาบันความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ดัชนีมลพิษภายในอาคาร

ทั้งหมด 13 ชนิด ส่วนใหญ่ดัชนีความเข้มข้นของมลพิษอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีสารมลพิษจำนวน 4 ชนิด ที่อยู่ในระดับใกล้เคียงกับมาตรฐาน และบางสำนักงานของโรงพยาบาลมีสภาวะปนเปื้อนเกินมาตรฐาน สารมลพิษจำนวน 4 ชนิด ที่ควรพิจารณาและติดตามเฝ้าระวัง ได้แก่ แอมโมเนีย ไนโตรเจนไดออกไซด์ โทลูอีนและไซลีน จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพอากาศภายในอาคารกับกลุ่มอาการเจ็บป่วย พบว่ากลุ่มพนักงานที่ทำงานในสำนักงานที่มีไอระเหยขององค์ประกอบรวมของสารอินทรีย์ที่ระดับความเข้มข้น 0.70-0.80 ส่วนในล้านส่วน มีโอกาสที่จะเกิดกลุ่มอาการทางตาและทางปอด เป็น 1.99 เท่า และ 1.58 เท่า ตามลำดับเมื่อเทียบกับกลุ่มพนักงานที่ทำงานในสำนักงานที่มีไอระเหยขององค์ประกอบรวมของสารอินทรีย์ที่ระดับความเข้มข้นน้อยกว่า 0.70 ส่วนในล้านส่วน สำหรับกลุ่มพนักงานที่ทำงานในสำนักงานที่มีฝุ่นที่มีปริมาณความเข้มข้นมากกว่า 0.0180 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีโอกาสที่จะเกิดกลุ่มอาการ ทางตา เป็น 1.52 เท่า กลุ่มอาการทางเดินหายใจส่วนต้นเป็น 1.72 เท่า กลุ่มอาการทางปอดเป็น 1.10 เท่าและกลุ่มอาการทั่วไป 1.99 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มพนักงานที่ทำงานในสำนักงานที่มีฝุ่นที่มีปริมาณความเข้มข้น 0.0140-0.0149 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มพนักงานที่ทำงานในสำนักงานที่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 3 ส่วนในล้านส่วนและก๊าซแอมโมเนียที่มีปริมาณความเข้มข้นมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีโอกาสที่จะเกิดกลุ่มอาการทางเดินหายใจส่วนต้นเป็น 3.27 เท่า และ 1.38 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มพนักงานที่ทำงานในสำนักงานที่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1 ส่วนในล้านส่วนและก๊าซแอมโมเนียที่มีปริมาณความเข้มข้นมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มอาการป่วยมีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะสำนักงาน ประเภทวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในสำนักงาน ประเภทของสารปนเปื้อนและคุณภาพอากาศในอาคาร

ศรัญญู คำภาบุตร(2552) ทำการศึกษาอัตราการระบายอากาศ ฝุ่นละอองและปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศของห้องที่ใช้การระบายอากาศแตกต่างกัน ได้แก่ ห้องที่ใช้การระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบเดี่ยวและห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมภายในโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ พบว่า ห้องที่ใช้การระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองมากกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศ เนื่องจากการแพร่กระจากแหล่งกำเนิดภายนอกอาคาร แต่ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศมีปริมาณของจุลินทรีย์ในอากาศมากกว่าห้องที่ใช้การระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ และห้องที่ใช้การระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศมากที่สุด นอกจากนั้น พบว่า ความหนาแน่นของคนภายในห้องมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองและปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศ เนื่องจากคนภายในห้องทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองและเชื้อราในอากาศรวมทั้งยังเป็นแหล่งกำเนิดของแบคทีเรียในอากาศอีกด้วย และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องที่ใช้การระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับ

ปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศ ส่วนอัตราแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศมีความสัมพันธ์โดยตรงทั้งกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองและปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศ เนื่องจากอากาศที่เข้ามาภายในห้องมีความเข้มข้นของมลพิษอากาศสูง

Dascalaki และคณะ (2008) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของห้องที่มีการติดตั้งระบบบำบัดอากาศและตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด 17 ห้อง ของ 9 โรงพยาบาลในประเทศกรีซ พบว่า ร้อยละ 54 ของสารที่ตรวจพบภายในห้องผ่าตัดเป็นสารกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด ส่วนใหญ่ตรวจพบความเข้มข้นของก๊าซกลุ่มยาสลบ (Isoflurane, Sevoflurane) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,362 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 0.3 ส่วนในล้านส่วน โดยพบว่าร้อยละ 18 ของห้องผ่าตัดที่สำรวจมีค่ามากเกินค่ามาตรฐาน 4,000 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 0.5 ส่วนในล้านส่วน และตรวจพบสารเคมีที่ใช้ฆ่าเชื้อโรค พบความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 288 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเข้มข้นของกลูตาราลดีไฮด์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 207 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างห้องที่มีและไม่มีระบบบำบัดอากาศกับความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดพบว่า ห้องที่มีระบบบำบัดอากาศมีการสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดน้อยกว่าห้องที่ไม่มีระบบบำบัดอากาศ นอกจากนั้นพบว่าระบบบำบัดอากาศของห้องผ่าตัดยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำ เนื่องจากขาดการดูแลบำรุงรักษา และมีการออกแบบที่ไม่เหมาะสม

Helmis และคณะ (2007) ทำการศึกษาคุณภาพอากาศในคลินิกทันตกรรม คณะทันตแพทย์มหาวิทยาลัยเอเธนส์ ประเทศกรีซ ซึ่งทำการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ออกไซด์ของไนโตรเจนและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่า สารมลพิษที่พบได้บ่อยและมีความเข้มข้นสูง ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฝุ่นละอองและสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด ส่วนออกไซด์ของไนโตรเจนและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีความเข้มข้นต่ำ สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าความเข้มข้นสูงสุดระหว่างวันอยู่ในช่วง 1,500-4,600 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐาน 1,800 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด มีค่าความเข้มข้นสูงสุดระหว่างวันอยู่ในช่วง 2,000-5,500 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐาน 300 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 138 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและ 75 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และจากการตรวจสอบคุณภาพอากาศโดยใช้แบบจำลอง Computational Fluid Dynamics (CFD) model PHOENICS เพื่อทำการตรวจวัดอัตราการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ และปริมาณการสะสมตัวของก๊าซตามแผนที่จัดทำ โดยแต่ละแผนมีการเปิด-ปิด หน้าต่างและประตูแตกต่างกันพบว่า การเปิด-ปิดหน้าต่างที่ต่างกันส่งผลต่อการระบายอากาศ และการเปิดหน้าต่างให้กระจายทั่วห้องมี

ประสิทธิภาพการระบายอากาศดีที่สุด สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ใช้แบบจำลอง Multi Chamber Indoor Air Quality Model (MIAQ) พบว่าเมื่อมีการเปิดประตูและหน้าต่าง ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มีค่าน้อยกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Jaakkola และ Miettinen (1995) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและอาการป่วยภายในอาคารสถานที่ทำงาน 41 แห่งในเมืองเฮลซิงกิ ประเทศฟินแลนด์ พบว่า ห้องภายในอาคารที่มีอัตราการระบายอากาศต่ำกว่า 5 ลิตรต่อวินาทีต่อคนและอัตราการระบายอากาศสูงกว่า 25 ลิตรต่อวินาทีต่อคนส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของกลุ่มอาการป่วยภายในอาคาร และมีการเสนอแนะอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 15-25 ลิตรต่อวินาทีต่อคน

Ruotsalainen และคณะ (1993) ทำการศึกษาการระบายอากาศและคุณภาพอากาศในสถานรับเลี้ยงเด็ก 30 แห่งในเมือง Espoo ประเทศฟินแลนด์ ตรวจวัดระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน 1990 จากการตรวจวัด พบว่า อัตราการระบายอากาศอยู่ระหว่าง 0-11 ลิตรต่อวินาทีต่อคน และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.8 ลิตรต่อวินาทีต่อคน โดยร้อยละ 30 ของห้องที่ทำการตรวจวัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 5 ลิตรต่อวินาทีต่อคน ส่วนอุณหภูมิพบว่าอยู่ระหว่าง 19-26 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.2 องศาเซลเซียส สำหรับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 400-2,500 ไมโครลิตรต่อลิตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 810 ไมโครลิตรต่อลิตร เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับการระบายอากาศ พบว่า มีความสัมพันธ์กัน ($p<0.01$ และ$p<0.001$) ส่วนความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด อยู่ระหว่าง 0.05-0.63 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเข้มข้นเฉลี่ยของฟอร์มาลดีไฮด์อยู่ระหว่าง 0.002-0.038 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของฟินแลนด์ 0.15 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Turiel และคณะ (1893) ทำการศึกษาผลกระทบของการลดอัตราการระบายอากาศต่อคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงานเมืองซานฟรานซิสโก ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าเมื่ออัตราการระบายอากาศลดลงจะพบการสะสมของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ส่วนกลิ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับฝุ่นละออง สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ตรวจพบความเข้มข้นในระดับต่ำ

Wang และคณะ (2006) ทำการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองของโรงพยาบาล 4 แห่งในเมือง Guangzhou ประเทศจีน พบว่าระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีขนาดอนุภาคไม่เกิน 2.5 ไมครอนมีความเข้มข้นมากกว่ามาตรฐานของ U.S.EPA โดยพบว่ากิจกรรมที่ทำภายในอาคารส่งผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องและห้องที่มีจำนวนคนมากจะมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงสุดและความเข้มข้นต่ำสุดในห้องที่มีคนอยู่น้อย เช่น สำนักงานแพทย์ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความเข้มข้นของฝุ่นภายในอาคารต่อฝุ่นภายนอกอาคาร(I/O)มีค่ามากกว่า 1 ในทุกห้องที่มี

กิจกรรมยกเว้นในสำนักงานแพทย์ซึ่งมีกิจกรรมน้อย แสดงว่ากิจกรรมภายในอาคารมีผลต่อการเกิดฝุ่นละออง

จากการทบทวนเอกสารพบว่า สารปนเปื้อนที่มักพบในอาคารและมีผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฝุ่นละออง สารประกอบอินทรีย์ระเหย โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการปนเปื้อนของมลพิษเหล่านี้ ได้แก่

1. จำนวนคนที่อยู่ในอาคาร ในการออกแบบอาคารแต่ละอาคารจะออกแบบให้รองรับคนได้จำนวนจำกัดจำนวนหนึ่งตามความสามารถของระบบระบายอากาศและขนาดพื้นที่ของห้องหรืออาคาร หากจำนวนคนหนาแน่นเกินค่ามาตรฐานที่ออกแบบไว้ อาจก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารได้

2. ลักษณะกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร กิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคารส่งผลต่อชนิดและความเข้มข้นของสารมลพิษภายในอาคาร

3. ระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ อาจเป็นได้ทั้งแหล่งปัญหาและแก้ไขปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารได้ หากออกแบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ สามารถช่วยแก้ไขปัญหามลพิษภายในอาคารได้ แต่ถ้าระบบที่ใช้ขาดประสิทธิภาพเนื่องจากการออกแบบ และขาดการบำรุงรักษาที่เหมาะสมอาจกลายเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษได้เช่นกัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและคุณภาพอากาศในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภายในโรงพยาบาล เช่น แผนกบริหารงานทั่วไป แผนกผู้ป่วยใน แผนกผู้ป่วยนอก แผนกบริการทางการแพทย์ ห้องพักพยาบาล ห้องพักแพทย์ แผนกสาธารณูปโภค และอาคารจอดรถ เป็นต้น และพิจารณาปัจจัยต่างๆที่คาดว่าจะมีผลต่ออัตราการระบายอากาศและคุณภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความหนาแน่นของคน ลักษณะของห้อง ขนาดห้อง กิจกรรมภายในห้อง ประเภทระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษอากาศภายในอาคาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

1) เครื่องมือตรวจวัดฝุ่นแบบต่อเนื่อง
2) เครื่องมือตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดแบบต่อเนื่อง
3) เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
4) เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

3.1.2 สารเคมี

1) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3.2 สถานที่เก็บตัวอย่างและจุดเก็บตัวอย่าง

3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง ทำการตรวจวัดในแผนกต่างภายในโรงพยาบาลกลาง สังกัดสำนักการแพทย์ กรุงเทพมหานคร โดยพิจารณาห้องเก็บตัวอย่างตามระบบปรับอากาศ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 ระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (ตารางที่ 3.1) ระบบปรับอากาศแบบรวม (ตารางที่ 3.2) และระบายอากาศแบบธรรมชาติ (ตารางที่ 3.3) และพิจารณาตามลักษณะกิจกรรมภายในโรงพยาบาล ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คือ แผนกบริหารงานทั่วไป กลุ่มที่ 2 คือ แผนกผู้ป่วยใน กลุ่มที่ 3 คือ แผนกผู้ป่วยนอก กลุ่มที่ 4 คือ แผนกบริการทางการแพทย์ กลุ่มที่ 5 คือ ห้องพักพยาบาล กลุ่มที่ 6 คือ ห้องพักแพทย์ กลุ่มที่ 7 คือ แผนกสาธารณูปโภค กลุ่มที่ 8 คือ อาคารจอดรถ รวมทั้งสิ้นจำนวน 124 ห้อง และตรวจวัดภายนอกอาคาร คือ ดาดฟ้า ชั้น 21 ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ในการตรวจวัดรอบที่ 2 ทำการตรวจวัดภายนอกอาคารเพิ่ม 9 จุด ได้แก่ บริเวณหน้าอาคารอนุสรณ์ 100 ปี ลานออกกำลังกาย ระเบียงแผนกศัลยกรรมกระดูกชาย ชั้น 10 ระเบียงแผนกอายุรกรรมสามัญหญิง ชั้น 9 ระเบียงตึกเอื้อประชาห้อง common room ชั้น 7 8 9 และ10 และบริเวณลานข้างตึกเอื้อประชา โดยทำการเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศ (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด) และปัจจัยอื่นๆ (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์ ความเร็วลม ความหนาแน่นของคน ประเภทระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ) และตรวจวัดอัตราการระบายอากาศ ซึ่งมีห้องที่สามารถทำการตรวจวัดอัตราการระบายอากาศได้ รอบที่ 1 จำนวน 42 ห้อง และรอบที่ 2 ทำการตรวจเพิ่มจำนวน 16 ห้องเป็น 58 ห้อง

ตารางที่ 3.1 จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

พื้นที่	ตึก/ชั้น	บริเวณ	คุณภาพอากาศ	อัตราการระบายอากาศ	
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
บริหารงานทั่วไป	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องผู้อำนวยการ	โถงรับแขก	✓	NA	NA
		ห้องธุรการ	✓	NA	NA
		ห้องผู้อำนวยการ รพ.	✓	✓	✓
		ห้องรองผู้อำนวยการ	✓	✓	✓
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ฝ่ายการเงิน ชั้น 19	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงิน1	✓	NA	NA
		ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงิน2	✓	NA	NA
		ห้องถ่ายเอกสาร	✓	NA	✓
		ห้องหัวหน้าฝ่ายการเงิน	✓	NA	✓
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ฝ่ายบริหารงานทั่วไป ชั้น 19	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหาร1	✓	NA	NA
		ห้องหัวหน้าฝ่ายบริหารงาน	✓	✓	✓
		ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหาร2	✓	NA	NA
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ฝ่ายการพยาบาล ชั้น 19	ห้องทำงานฝ่ายพยาบาล	✓	NA	NA
		ห้องหัวหน้าฝ่ายพยาบาล	✓	✓	✓
		ห้องประชุมฝ่ายพยาบาล	✓	✓	✓
		ห้องรับประทานอาหาร	✓	✓	✓
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องประชุม	ห้องประชุมผู้บริหาร 1	✓	✓	✓
		ห้องประชุมไนติงเกล	✓	✓	✓
	ตึกเอื้อประชา ฝ่ายพัสดุ ชั้น 2	ทางเดินหน้าห้องฝ่ายพัสดุ	✓	NA	NA
		ห้องสอบราคา	✓	✓	✓
		ห้องคลังพัสดุ	✓	NA	✓
		ห้องสำนักงานฝ่ายพัสดุ	✓	NA	✓

หมายเหตุ ✓= ทำการตรวจวัด NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด

ตารางที่ 3.1 จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (ต่อ)

พื้นที่	ตึก/ชั้น	บริเวณ	คุณภาพอากาศ	อัตราการระบายอากาศ	
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
บริการทางการแพทย์	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องเอกซเรย์ ชั้นใต้ดิน	ห้องที่ 7 ตรวจอัลตราซาวด์	✓	NA	NA
		ห้องที่ 9 เอกซเรย์	✓	NA	NA
		ห้องล้างฟิล์ม	✓	NA	NA
		ห้องเอกซเรย์	✓	NA	NA
		บริเวณจุดรอตรวจ	✓	NA	NA
	MRI	บริเวณจุดรอตรวจ	✓	NA	NA
		ห้องทำงานเจ้าหน้าที่	✓	✓	✓
		ห้องอิเล็กทรอนิกส์	✓	NA	NA
		บริเวณโถงทางเดิน	✓	NA	NA
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องปรุงยา ชั้นใต้ดิน	ห้องปรุงยา บริเวณทางเดิน	✓	✓	✓
		ห้องผลิตยา	✓	✓	✓
		ห้องธุรการ	✓	✓	✓
		ห้องคลังเวชภัณฑ์	✓	✓	✓
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องชันสูตร โรคกลาง ชั้น 4	ห้องภูมิคุ้มกันวิทยาคลินิก	✓	NA	✓
		ห้องงานเคมีคลินิก 1	✓	NA	NA
		ห้องงานเคมีคลินิก 2	✓	NA	NA
		ห้องงานเคมีคลินิก 3	✓	NA	NA
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องพยาธิวิทยา	ห้องพยาธิวิทยา	✓	NA	✓

หมายเหตุ ✓= ทำการตรวจวัด NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (ต่อ)

พื้นที่	ตึก/ชั้น	บริเวณ	คุณภาพอากาศ	อัตราการระบาศอากาศ	
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
แผนกผู้ป่วยนอก	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี แผนกฉุกเฉิน ชั้น 1	รอตรวจแผนกฉุกเฉิน	✓	NA	NA
		ห้องตรวจแผนกฉุกเฉิน	✓	✓	✓
		ห้องสังเกตอาการ	✓	✓	✓
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี แผนกอายุรกรรม ชั้น 2	รอตรวจแผนกอายุรกรรม 1	✓	NA	NA
		ห้องตรวจอายุรกรรม 7	✓	NA	NA
		ห้องตรวจอายุรกรรม 6	✓	NA	NA
		รอตรวจแผนกอายุรกรรม 2	✓	NA	NA
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี แผนกสปสช ชั้น 2	รอตรวจแผนกสปสช. 1	✓	NA	NA
		รอตรวจแผนกสปสช. 2	✓	NA	NA
		ห้องตรวจ	✓	NA	NA
		ห้องทำแผล	✓	✓	✓
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องจ่ายยา ชั้น 2	บริเวณรอจ่ายยา 1	✓	NA	NA
		บริเวณรอจ่ายยา 2	✓	NA	NA
		ห้องเจาะเลือดหมายเลข 22	✓	✓	✓
		ห้องจ่ายยา	✓	NA	NA
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี แผนกหู ตา คอ จมูก ชั้น 3	บริเวณรอตรวจ 1	✓	NA	NA
		บริเวณรอตรวจ 2	✓	NA	NA
		ห้องตรวจหมายเลข 7	✓	NA	NA
		ห้องตรวจหมายเลข 5	✓	NA	NA
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี แผนกสูตินารี ชั้น 3	บริเวณรอตรวจ 1	✓	NA	NA
		บริเวณรอตรวจ 2	✓	NA	NA
		ห้องตรวจหมายเลข 5	✓	NA	NA
		ห้องตรวจหมายเลข 6	✓	NA	NA
	แผนกทันตกรรม	แผนกทันตกรรม	✓	NA	NA
	ห้องนวด	ห้องนวด	✓	✓	✓

หมายเหตุ ✓= ทำการตรวจวัด NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด

ตารางที่ 3.1 จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (ต่อ)

พื้นที่	ตึก/ชั้น	บริเวณ	คุณภาพอากาศ	อัตราการระบายอากาศ	
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
แผนกผู้ป่วยใน	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ชั้น 15	ห้อง 1501	✓	NA	✓
		ห้อง 1503	✓	NA	✓
		ห้อง 1506	✓	NA	✓
		เคาน์เตอร์พยาบาล	✓	NA	✓
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องปลอดเชื้อ ชั้น 17	ห้อง negative pressure	✓	NA	NA
		ห้องทำงานพยาบาล	✓	NA	NA
		ห้อง 1707	✓	NA	NA
		ห้อง 1710	✓	NA	NA
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องคลอด ชั้น 7	ห้องพักฟื้นหลังคลอด	✓	NA	NA
		ห้องคลอดพิเศษ	✓	NA	NA
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องผ่าตัด	ห้องรับประทานอาหาร	✓	NA	NA
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ศัลยกรรมกระดูกชาย สามัญ ชั้น 10	ห้องทำงานพยาบาล	✓	NA	✓
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี อายุรกรรมชายสามัญ ชั้น 14	ห้องทำงานพยาบาล	✓	NA	✓
ห้องพักแพทย์	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องพักแพทย์ ชั้น 18	ห้องพักแพทย์ 18/1	✓	✓	✓
		ห้องพักแพทย์ 18/8 (VIP)	✓	✓	✓
		ห้องพักนักศึกษาแพทย์ 4	✓	✓	✓
		ห้องพักแพทย์ใช้ทุน 2	✓	✓	✓
สาธารณูปโภค	แผนกควบคุมสาธารณูปโภค	ห้องฝ่ายโภชนาการ	✓	NA	✓
		แผนกซักฟอง(ห้องพับผ้า)	✓	✓	✓
		บำบัดน้ำเสีย	✓	✓	✓

หมายเหตุ ✓= ทำการตรวจวัด NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด

ตารางที่ 3.2 จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม

พื้นที่	ตึก/ชั้น	บริเวณ	คุณภาพอากาศ	อัตราการระบายอากาศ	
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
แผนกผู้ป่วยใน	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องผ่าตัด	จุดรับถ่ายคนไข้	✓	NA	NA
		ห้องพักฟื้น	✓	NA	NA
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องคลอด ชั้น 7	ห้องคลอด 1	✓	NA	NA
		ห้องรอคลอด	✓	NA	NA
ห้องพักแพทย์	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ห้องพักแพทย์ ชั้น 12	ห้อง common room	✓	NA	✓
		ห้องพักแพทย์ 1	✓	✓	✓
		ห้องพักแพทย์ 2	✓	NA	✓
		ห้องพักแพทย์ 3	✓	NA	✓

หมายเหตุ ✓= ทำการตรวจวัด NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด

ตารางที่ 3.3 จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ

พื้นที่	ตึก/ชั้น	บริเวณ	คุณภาพอากาศ	อัตราการระบายอากาศ	
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
แผนกผู้ป่วยใน	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี อายุรกรรมหญิง สามัญ ชั้น 9	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	✓	NA	NA
		บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	✓	NA	NA
		บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 3	✓	NA	NA
		บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 4	✓	NA	NA
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ศัลยกรรมกระดูกชายสามัญ ชั้น 10	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	✓	NA	NA
		บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	✓	NA	NA
		บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 3	✓	NA	NA
	ตึกอนุสรณ์ 100 ปี อายุรกรรมชาย สามัญ ชั้น 14	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	✓	NA	NA
		บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	✓	NA	NA
		ห้องผู้ป่วยวัณโรค	✓	NA	NA

หมายเหตุ ✓= ทำการตรวจวัด NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด

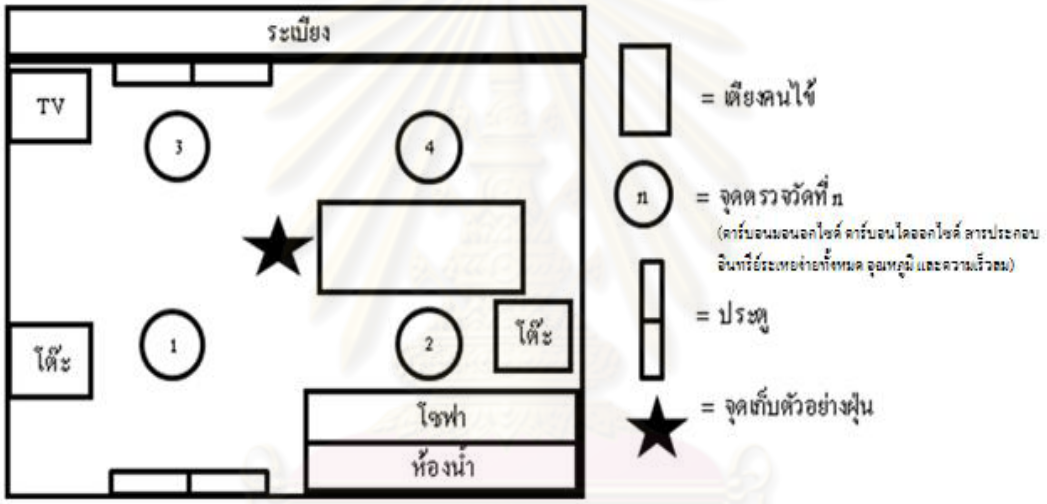
ตารางที่ 3.3 จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ (ต่อ)

พื้นที่	ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	คุณภาพอากาศ	อัตราการระบาศอากาศ	
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ห้องพักพยาบาล	ตึกเอื้อประชา ห้องพยาบาล ชั้น 7	ห้อง common room	✓	✓	✓
		ห้อง rest room	✓	✓	✓
		ห้อง 0719	✓	✓	✓
		ห้อง 0704	✓	✓	✓
	ตึกเอื้อประชา ห้องพยาบาล ชั้น 8	ห้อง common room	✓	✓	✓
		ห้อง rest room	✓	✓	✓
		ห้อง 0802	✓	✓	✓
		ห้อง 0817	✓	✓	✓
	ตึกเอื้อประชา ห้องพยาบาล ชั้น 9	ห้อง 0904	✓	✓	✓
		ห้อง common room	✓	✓	✓
		ห้อง 0903	✓	✓	✓
		ห้อง 0905	✓	✓	✓
	ตึกเอื้อประชา ห้องพยาบาล ชั้น 10	ห้อง 1001	✓	✓	✓
		ห้อง 1002	✓	✓	✓
		ห้อง 1004	✓	✓	✓
		ห้อง common room	✓	✓	✓
สาธารณูปโภค	สาธารณูปโภค	โรงครัว	✓	NA	NA
		หม้อไอน้ำ	✓	NA	NA
อาคารจอดรถ	อาคารจอดรถ	อาคารจอดรถชั้น 2A ตึกเก่า	✓	NA	NA
		อาคารจอดรถชั้น 2B ตึกเก่า	✓	NA	NA
		อาคารจอดรถใต้ดิน ชั้น B1A	✓	NA	NA
		อาคารจอดรถใต้ดิน ชั้น B1B	✓	NA	NA

หมายเหตุ ✓= ทำการตรวจวัด NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด

3.2.2 จุดเก็บตัวอย่าง

ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ในแต่ละห้องที่ทำการศึกษา โดยแบ่งพื้นที่ห้องเป็น 4 ส่วนและทำการตรวจวัดบริเวณตำแหน่งกึ่งกลางในแต่ละส่วน สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ทำการตรวจวัดบริเวณจุดกึ่งกลางห้อง ดังรูป 3.1 ซึ่งจากการศึกษาของ ศรัญญู คำภาบุตร (2552) พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองในอากาศระหว่างจุดเก็บตัวอย่างโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วนภายในห้องกับบริเวณกึ่งกลางห้องมีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเก็บข้อมูลกิจกรรมภายในห้อง ขนาดห้อง ความหนาแน่นของคน ประเภทระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างจุดตรวจวัด ตึกอนุสรณ์ 100 ปี ชั้นที่ 15 แผนกห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้อง 1501

3.3 ระยะเวลาที่ทำการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการตรวจวัด 2 ครั้ง ในแต่ละฤดู คือ

1) ครั้งที่ 1 ฤดูฝน เดือน กันยายน พ.ศ. 2552
2) ครั้งที่ 2 ฤดูแล้ง เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553

3.4 การดำเนินการศึกษา

3.4.1 การศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองในอากาศ

1) ทำการวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยเครื่องวัดความเข้มข้นฝุ่นแบบ Real Time: Portable Dust Monitor ชนิด GRIMM version 1.100 models 1.108 (รูปที่ 3.2) โดยวัดแบบต่อเนื่อง ได้ข้อมูลเฉลี่ยรายนาที แสดงผลผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์

2) ตั้งเครื่องวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองให้สูงจากระดับพื้น 1-1.5 เมตร

3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง 10 นาที ต่อ 1 จุด ทำการเก็บตัวอย่าง 2 ซ้ำ

รูปที่ 3.2 เครื่อง Real Time : Portable Dust Monitor ชนิด GRIMM version 1.100 models 1.108

3.4.2 การศึกษาความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

1) ทำการวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยเครื่อง Q^{TM}-Trak Model 7565 (รูปที่ 3.3) โดยวัดแบบต่อเนื่อง

2) ตั้งเครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงจากระดับพื้น 1-1.5 เมตร

3) ระยะเวลาที่ใช้เก็บตัวอย่าง รอจนค่าที่ปรากฏบนเครื่องคงที่ โดยประมาณ 5 นาที ต่อ 1 จุด ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 4 จุด ภายในห้องที่ทำการตรวจวัด แล้วทำการจดบันทึก

รูปที่ 3.3 เครื่อง Q^{TM}-Trak Model 7565

3.4.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด

1) วัดความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดด้วย Mini RAE (รูปที่ 3.4) โดยวัดแบบต่อเนื่อง

2) ตั้งเครื่องวัดความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด สูงจากพื้น 1-1.5 เมตร

3) ระยะเวลาที่ใช้เก็บตัวอย่าง รอจนค่าที่ปรากฏบนเครื่องคงที่ โดยประมาณ 5 นาที ต่อ 1 จุด ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 4 จุด ภายในห้องที่ทำการตรวจวัด แล้วทำการจดบันทึก

รูปที่ 3.4 เครื่อง Mini RAE

3.4.4 การศึกษาอัตราการระบายอากาศ

1) ทำการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่เดิมภายในห้อง

2) ทำการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากถังบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องจนความเข้มข้นประมาณ 700 ส่วนในล้านส่วน แล้วหยุดการปล่อย

3) วัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 15 นาที

4) นำค่าที่ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาไปคำนวณหาอัตราการระบายโดยใช้สูตร ASTM E741 (2006)

$$\text{Air Change Rate} = \frac{(lnC_1 - lnC_2)}{t_2 - t_1}$$

โดยที่

C_1 = ความเข้มข้นก๊าซเทรเซอร์ (tracer gas) ที่เวลาเริ่มต้น

C_2 = ความเข้มข้นก๊าซเทรเซอร์ (tracer gas) ที่เวลาสุดท้าย

t_1 = เวลาที่เริ่มต้นวัดก๊าซเทรเซอร์ (tracer gas)

t_2 = เวลาสุดท้ายที่วัดก๊าซเทรเซอร์ (tracer gas)

3.4.5 การสำรวจปัจจัยอื่นๆ

วัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมภายในห้อง เก็บข้อมูลลักษณะห้อง ขนาดห้อง ความหนาแน่นของคน ลักษณะกิจกรรมภายในห้อง รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับประเภทระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ช่วงการตรวจวัดและความละเอียดที่เครื่องมือสามารถวัดได้ แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด

พารามิเตอร์	เครื่องมือ	ช่วงการตรวจวัด	ความละเอียด
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	Q^{TM}-Trak Model 7565	0-5,000 ส่วนในล้านส่วน	1 ส่วนในล้านส่วน
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	Q^{TM}-Trak Model 7565	0-500 ส่วนในล้านส่วน	1 ส่วนในล้านส่วน
สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด	Mini RAE	0-99 ส่วนในล้านส่วน	0.1 ส่วนในล้านส่วน
ฝุ่นละออง	Portable Dust Monitor (ชนิด GRIMM version 1.100 models 1.108)	1-100,000 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	0.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ความเร็วลม	Hot wire anemometer	0-30 เมตรต่อวินาที	0.01 เมตรต่อวินาที
อุณหภูมิ	Q^{TM}-Trak Model 7565	0-60 องศาเซลเซียส	0.1 องศาเซลเซียส
ความชื้นสัมพันธ์	Q^{TM}-Trak Model 7565	5-95 %	0.1%

หมายเหตุ : เครื่องมือตรวจวัดแบบต่อเนื่องในแต่ละพารามิเตอร์ทำการตรวจวัด ประมาณ 5 นาทีต่อ 1 จุด สำหรับฝุ่นละอองทำการตรวจวัด 10 นาทีต่อ 1 จุด

3.5 การวิเคราะห์ผล

1) เปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในห้องที่มีระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรมแตกต่างกัน

2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด และอัตราการระบายอากาศ

3) ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อคุณภาพอากาศ ได้แก่ ความหนาแน่นของคน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และกิจกรรมภายในห้อง

ตัวแปรในงานวิจัย เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและคุณภาพอากาศในโรงพยาบาลกลาง แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรในงานวิจัย

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง/เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
ตัวแปรอิสระ	
- ประเภทการระบายอากาศและปรับอากาศ	- ห้องที่มีระบบปรับอากาศแบบแยก 84 ห้อง - ห้องที่มีระบบปรับอากาศแบบรวม 8 ห้อง - ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ 32 ห้อง
- กิจกรรมที่เกิดขึ้นในอาคาร	- แผนกบริหารงานทั่วไปและกิจกรรมด้านบริการ - แผนกผู้ป่วยนอก - ผู้ป่วยใน - แผนกบริการทางการแพทย์ - แผนกห้องพักพยาบาล - แผนกห้องพักแพทย์ - แผนกสาธารณูปโภค - อาคารจอดรถ
- ความหนาแน่นของคนภายในอาคาร	- นับจำนวนคนในแต่ละพื้นที่/พื้นที่
ตัวแปรตาม	
- ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	- เครื่อง Q™-Trak Model 7565
- ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	- เครื่อง Q™-Trak Model 7565
- ความเข้มข้นของฝุ่นละออง	- เครื่อง Portable Dust Monitor ชนิด GRIMM
- อุณหภูมิความ	- เครื่อง Q™-Trak Model 7565
- ความชื้นสัมพันธ์	- เครื่อง Q™-Trak Model 7565

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

- สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- สถิติเชิงวิเคราะห์ (Analytical Statistics) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows ดังนี้

(1) วิเคราะห์ความแตกต่างของคุณภาพอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศโดยใช้ Independent-Sample T Test โดยพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

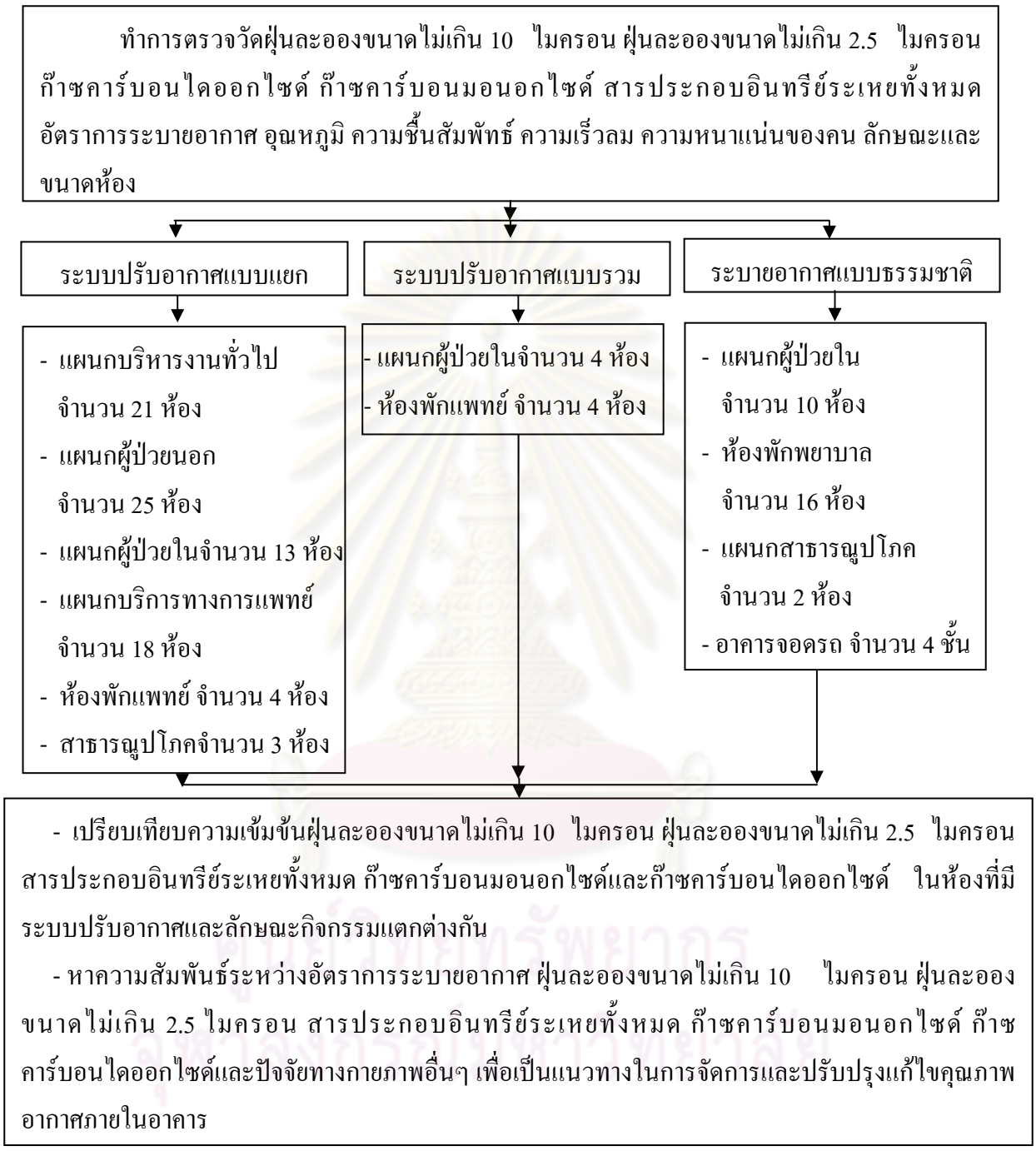
(2) วิเคราะห์ความแตกต่างของคุณภาพอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรมโดยใช้ ANOVA กรณีที่ความแปรปรวนของข้อมูลไม่เท่ากันใช้ Robust Tests of Equality of Means ของ Welch โดยพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(3) หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพอากาศ อัตราการระบายอากาศและปัจจัยทางกายภาพ โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) พิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95โดยค่า r เป็นบวก มีความสัมพันธ์แบบผันตรง หมายความว่าเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งเพิ่มอีกตัวแปรหนึ่งก็จะเพิ่มขึ้นแต่ถ้าตัวแปรหนึ่งลดลงอีกตัวแปรหนึ่งก็จะลดลงไปด้วย ถ้า r เป็นลบ มีความสัมพันธ์แบบผกผัน หมายความว่าเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอีกตัวหนึ่งจะมีค่าลดลง แต่ถ้าตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าลดลงอีกตัวหนึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นและค่า r เป็นศูนย์ หมายความว่าตัวแปรสองตัวไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ถ้าค่า r มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ -1 หมายความว่า ตัวแปรทั้ง 2 มีความสัมพันธ์กันมาก ถ้าค่า r มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายความว่าตัวแปรทั้ง 2 มีความสัมพันธ์กันน้อย และถ้าค่า r=0 หมายความว่าตัวแปรทั้ง 2 ไม่มีความสัมพันธ์กัน (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (พรเพ็ญ เพชรสุขศิริ, 2540) มีดังนี้

r = 0	ไม่มีความสัมพันธ์
r = 0.10	มีความสัมพันธ์ต่ำ
r = 0.20	มีความสัมพันธ์ต่ำ
r = 0.30	มีความสัมพันธ์ปานกลางค่อนข้างต่ำ
r = 0.40	มีความสัมพันธ์ปานกลาง
r = 0.50	มีความสัมพันธ์ปานกลาง
r = 0.60	มีความสัมพันธ์ปานกลางค่อนข้างสูง
r = 0.70	มีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง
r = 0.80	มีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง
r = 0.90	มีความสัมพันธ์สูงมาก
r = 1	มีความสัมพันธ์สูงมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในงานวิจัย เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและคุณภาพอากาศในโรงพยาบาลกลางกรอบแนวความคิดแสดงเป็นแผนภูมิ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภูมิการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 ปัจจัยทางกายภาพ

ปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความหนาแน่นของคนและความเร็วลมภายในห้อง โดยผลการศึกษา พบว่าห้องที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด คือ ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ ได้แก่ แผนกสาธารณูปโภค (33±3°ซ) อาคารจอดรถ (33±2°ซ)ห้องพักพยาบาล (31±1°ซ)และแผนกผู้ป่วยใน (31±1°ซ) ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน 23-26°ซ. ตามมาตรฐานของ ASHRAE 55-1992 เนื่องจากเป็นห้องที่ไม่มีระบบปรับอากาศทำให้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องได้ สำหรับห้องปรับอากาศส่วนใหญ่มีอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว แต่มีบางห้องที่อุณหภูมิเกินมาตรฐาน เนื่องจากห้องมีการเปิดหน้าต่างเพื่อระบายอากาศและกลิ่น รวมทั้งมาตรการประหยัดพลังงานของโรงพยาบาล เช่น ลดเวลาในการเปิดเครื่องปรับอากาศหรือเปิดเมื่อจำเป็น ได้แก่ โถงรับแขกห้องผู้อำนวยการ ห้องถ่ายเอกสารในฝ่ายการบริหารงานทั่วไป ห้องรับประทานอาหารในฝ่ายการพยาบาล แผนกสาธารณูปโภค เป็นต้น รวมทั้งห้องในแผนกผู้ป่วย เช่น ห้องพักผู้ป่วยพิเศษชั้น 15 และชั้น 17 ซึ่งอุณหภูมิภายในห้องขึ้นอยู่กับตามความต้องการของผู้ป่วย

ความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า แผนกผู้ป่วยในทั้งในห้องปรับอากาศแบบรวมและแบบแยกส่วนมีความชื้นสัมพันธ์สูง เท่ากับ 72±8% และ 68±10% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.1 อาจเนื่องมาจากภายในห้องมีแหล่งกำเนิดความชื้น เช่น ห้องน้ำ อ่างล่างมือ หรือระบบปรับอากาศขาดประสิทธิภาพทำให้ความชื้นภายในห้องสูงได้ นอกจากนี้ยังพบว่าห้องส่วนใหญ่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 30-60% ตามมาตรฐานของ ASHRAE 55-1992 เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ประกอบกับระบบปรับอากาศภายในห้องขาดประสิทธิภาพทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูง

ความเร็วลม พบว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยความเร็วลมสูงสุด เช่น อาคารจอดรถ (0.37±0.62 เมตรต่อวินาที) และห้องพักพยาบาล (0.13±0.17 เมตรต่อวินาที) ดังตารางที่ 4.1 เนื่องจากเป็นห้องเปิด ทำให้ลมจากภายนอกพัดเข้ามาภายในห้อง ประกอบกับมีการเปิดพัดลมติดเพดานและพัดลมตั้งโต๊ะทำให้ความเร็วลมภายในห้องมีค่าสูง สำหรับแผนกบริหารงานทั่วไป ซึ่งเป็นห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีความเร็วลมสูง (0.11±0.16 เมตรต่อวินาที) เนื่องจากลมที่พัดออกมาจากเครื่องปรับอากาศถูกออกแบบให้พัดเข้าสู่ตัวคนทำให้ความเร็วลมสูง

ความหนาแน่นของคน พบว่า แผนกผู้ป่วยนอกมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของคนสูงสุด เท่ากับ 0.87±0.90 คนต่อตารางเมตร ดังตารางที่ 4.1 เนื่องจากลักษณะกิจกรรมส่วนใหญ่มีคนเข้าไปใช้บริการเป็นจำนวนมาก เช่น บริเวณคนไข้รอตรวจทุกแผนก บริเวณรอรับยา รวมถึงห้องตรวจคนไข้ ซึ่งมีผู้ป่วยและญาติผู้ป่วยรวมถึงเจ้าหน้าที่ทางการแพทย์ที่เข้าไปทำการตรวจรักษาและดูแลผู้ป่วยภายในห้องเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 4.1 ปัจจัยทางกายภาพ

ระบบปรับอากาศ	กิจกรรม	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		อุณหภูมิ (°ซ)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	ความหนาแน่นของคน (คน/ ตารางเมตร)
แยกส่วน	บริหารงานทั่วไป (n=42)	25±2	56±7	0.11±0.16	0.16±0.09
	ผู้ป่วยนอก (n=50)	26±1	65±5	0.07±0.08	0.87±0.90
	ผู้ป่วยใน (n=26)	27±2	68±10	0.05±0.07	0.27±0.17
	บริการทางการแพทย์ (n=36)	24±2	59±6	0.02±0.03	0.26±0.21
	ห้องพักแพทย์ (n=8)	25±1	64±9	0.08±0.04	0.11±0.05
	สาธารณูปโภค (n=6)	30±2	54±12	0.08±0.07	0.19±0.12
แบบรวม	ผู้ป่วยใน (n=8)	26±1	72±8	0.05±0.08	0.19±0.14
	ห้องพักแพทย์ (n=8)	26±2	64±8	0.07±0.05	0.16±0.08
ระบายอากาศแบบธรรมชาติ	ผู้ป่วยใน (n=20)	31±1	66±5	0.09±0.11	0.42±0.11
	ห้องพักพยาบาล (n=32)	31±1	68±7	0.13±0.17	0.15±0.11
	สาธารณูปโภค (n=4)	33±3	61±12	0.09±0.07	0.04±0.00
	อาคารจอดรถ (n=8)	33±2	41±22	0.37±0.62	NA
ภายนอกอาคาร (n=11)		32±1	61±8	0.35±0.34	NA

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด

4.2 อัตราการระบายอากาศ

4.2.1 อัตราการระบายอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศ

การวัดอัตราการระบายอากาศในที่นี้จะแสดงเป็นค่าอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Change per Hour -ACH) ซึ่งมีหน่วยเป็นต่อชั่วโมง (hr^{-1}) ทำการวัดโดยปล่อยก๊าซเทรเซอร์ในห้องแล้ววัดความเข้มข้นก๊าซที่ลดลง ซึ่งแสดงถึงการแลกเปลี่ยนอากาศสะอาดกับบริเวณภายนอกห้อง ในกรณีที่เป็นห้องที่เปิดต่อกับห้องอื่นๆชั้นเดียวกันในอาคาร เช่น แผนกผู้ป่วยนอกที่เปิดต่อกันกับแผนกอื่น จะไม่สามารถวัดอัตราแลกเปลี่ยนอากาศที่แท้จริงได้ นอกจากนี้การปล่อยก๊าซเทรเซอร์ในห้องเปิดจะต้องปิดห้องก่อนปล่อยก๊าซ การกระทำดังกล่าวในแผนกผู้ป่วยในที่มีคนไข้จำนวนมากจะเป็นการรบกวนผู้ป่วยมากเกินไป จึงไม่ได้ทำการตรวจวัดอัตราการระบายอากาศมีเพียงบางห้องที่สามารถดำเนินการได้ โดยผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน มีค่าเท่ากับ 2.83±2.37 ต่อชั่วโมง ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม มีค่าเท่ากับ 3.42±0.62 ต่อชั่วโมง และห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 10.19±6.07 ต่อชั่วโมง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อัตราการระบายอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศ	ค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่อชั่วโมง)
1. แบบแยกส่วน (n =63)	2.83±2.37
2. แบบรวม (n =5)	3.42±0.62
3. ระบายอากาศแบบธรรมชาติ (n =32)	10.19±6.07

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศ (ตารางที่ 4.2) พบว่า ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) เนื่องจากภายในห้องมีการเปิดประตู-หน้าต่าง ประกอบกับมีการเปิดพัดลมเพดานหรือพัดลมตั้งโต๊ะ ทำให้อากาศจากภายนอกสามารถเข้ามาภายในห้องจึงมีการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องกับภายนอกห้องสูง ส่วนค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน

ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.584) เนื่องจากห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศส่วนใหญ่อัตราการระบายอากาศมาจากการเปิด-ปิดประตูหรือการเดินเข้า-ออกของคนภายในห้อง ทำให้ค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศของห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบปรับอากาศแบบรวมมีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ปุญญานิช บริเวธานันท์ (2549) และ ศรัญญู คำภาบุตร (2552) พบว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ มีค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศสูงกว่าห้องที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ ส่วนห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบปรับอากาศแบบรวมมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

4.2.2 อัตราการระบายอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศจำแนกตามลักษณะกิจกรรม (ตารางที่ 4.3) พบว่า ห้องพักพยาบาลซึ่งมีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมอื่นมีค่าเท่ากับ 10.19±6.07 ต่อชั่วโมง สำหรับแผนกสาธารณูปโภค ซึ่งเป็นห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีค่าเฉลี่ยสูง (4.61±5.99 ต่อชั่วโมง) เนื่องจากระหว่างการตรวจวัดมีการเปิดหน้าต่าง ทำให้อัตราการระบายอากาศมีค่าสูง

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการระบายอากาศจำแนกตามลักษณะกิจกรรม (ตารางที่ 4.3) ภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า ในแต่ละแผนกมีอัตราการระบายอากาศไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.082) ทั้งนี้อัตราการระบายอากาศแต่ละห้องขึ้นอยู่กับชนิดระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศเป็นปัจจัยหลัก ซึ่งจะเห็นได้จากห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติจะมีค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและแบบรวม นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศภายในกิจกรรมห้องพักแพทย์ ซึ่งมีทั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (n=8) และระบบปรับอากาศแบบรวม (n=5) พบว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมมีค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.002) เนื่องจากระบบปรับอากาศแบบรวมมีการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกซึ่งผ่านการทำความสะอาดเข้ามาแทนที่อากาศภายในห้อง ส่วนห้องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีอัตราการระบายอากาศต่ำเนื่องจากภายในห้องไม่มีพัดลมระบายอากาศ ดังนั้นการระบายอากาศส่วนใหญ่มาจากการเปิด-ปิดประตูหรือการเดินเข้า-ออกของคนภายในห้อง

ตารางที่ 4.3 อัตราการระบายอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

ระบบปรับอากาศ	กิจกรรม	ค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่อชั่วโมง)
แยกส่วน	บริหารงานทั่วไป (n=22)	2.91±2.00
	ผู้ป่วยนอก (n=10)	3.82±2.53
	ผู้ป่วยใน (n=6)	2.26±1.08
	บริการทางการแพทย์ (n=12)	1.74±0.61
	ห้องพักแพทย์ (n=8)	2.61±0.86
	สาธารณูปโภค (n=5)	4.61±5.99
แบบรวม	ห้องพักแพทย์ (n=5)	3.42±0.61
ระบายอากาศแบบธรรมชาติ	ห้องพักพยาบาล (n=32)	10.19±6.07

4.3 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.3.1 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศ

ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน มีค่าเท่ากับ 691±201 ส่วนในล้านส่วน ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม มีค่าเท่ากับ 539±61 ส่วนในล้านส่วน และห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 480±36 ส่วนในล้านส่วน ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศ	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ส่วนในล้านส่วน)
1. แบบแยกส่วน (n=168)	691±201
2. แบบรวม (n=16)	539±61
3. ระบายอากาศแบบธรรมชาติ (n=64)	480±36

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องจำแนกตามระบบปรับอากาศ (ตารางที่ 4.4) พบว่า ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) เนื่องจากเป็นห้องเปิด จึงมีการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องกับภายนอกห้องสูง ทำให้การสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องมีค่าต่ำ ส่วนห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีความเข้มข้นสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) ซึ่งห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีการแลกเปลี่ยนอากาศต่ำ ประกอบกับลักษณะกิจกรรมส่วนใหญ่มีคนเข้าไปใช้บริการเป็นจำนวนมาก เช่น แผนกผู้ป่วยนอกมีความหนาแน่นของคน เท่ากับ 0.87±0.90 คนต่อตารางเมตร ซึ่งมีคนหนาแน่นมากกว่าแผนกอื่น (ตารางที่ 4.1) อาจทำให้เกิดการสะสมของก๊าซซึ่งมาจากลมหายใจออกของผู้ใช้ห้อง เนื่องจากห้องมีการระบายอากาศไม่เพียงพอ

4.3.2 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำแนกตามลักษณะกิจกรรม (ตารางที่ 4.5) ภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า ลักษณะกิจกรรมที่แตกต่างกันในแต่ละแผนกส่งผลต่อความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) โดยแผนกผู้ป่วยนอก แผนกบริการทางการแพทย์และแผนกบริหารงานทั่วไปมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่าห้องพักแพทย์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 p=0.007 และ p=0.011) เนื่องจากแผนกผู้ป่วยนอกและแผนกบริการทางการแพทย์มีความหนาแน่นของคนสูง เท่ากับ 0.87±0.90 คนต่อตารางเมตร และ 0.27±0.17 คนต่อตารางเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ส่วนแผนกบริหารงานทั่วไปห้องส่วนใหญ่ไม่มีพัดลมระบายอากาศและมีเจ้าหน้าที่ทำงานอยู่ตลอดเวลาทำให้การสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องมีค่าสูง ส่วนห้องพักแพทย์มีความหนาแน่นของคนน้อยกว่ากิจกรรมอื่นเท่ากับ 0.11±0.05 คนต่อตารางเมตร (ตารางที่ 4.1) และมีคนอยู่ภายในห้องเป็นบางเวลา ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมตัวภายในห้องมีค่าต่ำ นอกจากนี้พบว่าแผนกผู้ป่วยนอกมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่าแผนกผู้ป่วยใน อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) ส่วนแผนกอื่นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่า ห้องพักแพทย์และแผนกผู้ป่วยในมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.870)

เนื่องจากระบบปรับอากาศแบบรวมมีการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกซึ่งผ่านการทำความสะอาดเข้ามาแทนที่อากาศภายในห้องทำให้ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องมีค่าไม่แตกต่างกัน

ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติพบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่ละแผนกมีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.674) เนื่องจากการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีการถ่ายเทอากาศกับภายนอกสูง ทำให้การสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องมีค่าต่ำ

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (ตารางที่ 4.5) พบว่า ภายในอาคารมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่าภายนอกอาคารอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) เนื่องจากแหล่งกำเนิดหลักของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาจากคนภายในอาคาร ประกอบกับภายในอาคารมีการถ่ายเทอากาศกับภายนอกห้องต่ำ ทำให้เกิดการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารสูงกว่าภายนอก

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

ระบบปรับอากาศ	กิจกรรม		ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ส่วนในล้านส่วน)
แยกส่วน	บริหารงานทั่วไป	(n=42)	700±219
	ผู้ป่วยนอก	(n=50)	779±231
	ผู้ป่วยใน	(n=26)	592±119
	บริการทางการแพทย์	(n=36)	686±148
	ห้องพักแพทย์	(n=8)	547±69
	สาธารณูปโภค	(n=6)	558±139
แบบรวม	ผู้ป่วยใน	(n=8)	536±60
	ห้องพักแพทย์	(n=8)	541±66
ระบายอากาศแบบธรรมชาติ	ผู้ป่วยใน	(n=20)	482±28
	ห้องพักพยาบาล	(n=32)	482±44
	สาธารณูปโภค	(n=4)	474±14
	อาคารจอดรถ	(n=8)	466±27
ภายในอาคาร		(n=248)	627±192
ภายนอกอาคาร		(n=11)	427±10

4.4 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

4.4.1 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศ

การศึกษาพบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าต่ำมากใกล้เคียงกับศูนย์ โดยห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.3±0.5 ส่วนในล้านส่วน (ตารางที่ 4.6) เนื่องจากลักษณะของกิจกรรมภายในห้องส่วนใหญ่เป็นแหล่งกำเนิดของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เช่น อาคารจอดรถ หม้อไอน้ำ เป็นต้น แต่ค่าที่ตรวจพบยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ ASHRAE 62.1-2007 ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 9 ส่วนในล้านส่วน เนื่องจากการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีการถ่ายเทอากาศกับภายนอกสูง ทำให้การสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องมีค่าต่ำ

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จำแนกตามลักษณะกิจกรรม

ระบบปรับอากาศ		ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ส่วนในล้านส่วน)
1. แบบแยกส่วน	(n=168)	0.1±0.1
2. แบบรวม	(n=16)	ND
3. ระบายอากาศแบบธรรมชาติ	(n=64)	0.3±0.5

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

4.4.2 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

กิจกรรมภายในอาคารโดยทั่วไปตรวจพบว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าต่ำมากใกล้เคียงกับศูนย์ กิจกรรมที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุดคือ อาคารจอดรถ มีค่าเท่ากับ 1.3±0.9 ส่วนในล้านส่วน (ตารางที่ 4.7) ทั้งนี้ยังมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 9 ส่วนในล้านส่วน เนื่องจากอาคารจอดรถออกแบบให้มีการระบายอากาศอย่างดีประกอบกับมีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ ซึ่งมีการถ่ายเทอากาศกับภายนอกสูง ส่วนแผนกสาธารณูปโภค ซึ่งเป็นห้องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีค่าเฉลี่ยสูงเท่ากับ 0.5±0.6 ส่วนในล้านส่วน (ตารางที่ 4.7) เนื่องจากตั้งอยู่ในบริเวณทางเข้าโรงพยาบาลและ

มีที่จอดรถอยู่ในอาคารเดียวกัน อาจทำให้เกิดปัญหาการรั่วไหลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าภายในอาคารได้

ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

ระบบปรับอากาศ	กิจกรรม	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ส่วนในล้านส่วน)
แยกส่วน	บริหารงานทั่วไป (n=42)	0.1±0.1
	ผู้ป่วยนอก (n=50)	ND
	ผู้ป่วยใน (n=26)	0.1±0.0
	บริการทางการแพทย์ (n=36)	ND
	ห้องพักแพทย์ (n=8)	ND
	สาธารณูปโภค (n=6)	0.5±0.6
แบบรวม	ผู้ป่วยใน (n=8)	ND
	ห้องพักแพทย์ (n=8)	ND
ระบายอากาศแบบธรรมชาติ	ผู้ป่วยใน (n=20)	ND
	ห้องพักพยาบาล (n=32)	ND
	สาธารณูปโภค (n=4)	0.2±0.3
	อาคารจอดรถ (n=8)	1.3±0.9
ภายนอกอาคาร (n=11)		0.1±0.1

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

4.5 ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด

4.5.1 ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดจำแนกตามระบบปรับอากาศ

ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน มีค่าเท่ากับ 0.5±0.6 ส่วนในล้านส่วน ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม มีค่าเท่ากับ 0.3±0.3 ส่วนในล้านส่วนและห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 0.1±0.0 ส่วนในล้านส่วน ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดจำแนกตามระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศ	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ส่วนในล้านส่วน)
1. แบบแยกส่วน (n=84)	0.5±0.6
2. แบบรวม (n=8)	0.3±0.3
3. ระบายอากาศแบบธรรมชาติ (n=32)	0.1±0.0

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้องจำแนกตามระบบปรับอากาศ (ตารางที่ 4.8) พบว่า ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดต่ำกว่าห้องที่มีการใช้ระบบปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) เนื่องจากเป็นห้องเปิด มีการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องกับภายนอกห้องสูง ทำให้การสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้องมีค่าต่ำ ส่วนห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่ามีความเข้มข้นไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.385)

4.5.2 ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดจำแนกตามลักษณะกิจกรรม (ตารางที่ 4.9) ภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า ลักษณะกิจกรรมที่แตกต่างกันในแต่ละแผนกส่งผลต่อความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) โดยแผนกผู้ป่วยนอก แผนกบริการทางการแพทย์และแผนกบริหารงานทั่วไปมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่าห้องพักแพทย์อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.001 p=0.021 และp=0.014) เนื่องจากลักษณะกิจกรรมเป็นแหล่งกำเนิดของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด เช่น การทำแผล การเจาะเลือด การปรุงยา การตรวจวิเคราะห์ทางปฏิบัติการ งานด้านเอกสาร ได้แก่ น้ำยาลบคำผิด การประทับตราเอกสาร เป็นต้น ประกอบกับห้องมีการระบายอากาศไม่เพียงพอ ส่งผลให้การสะสมของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้องมีค่าสูง ส่วนห้องพักแพทย์มีแหล่งกำเนิดของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดน้อย ส่วนแผนกอื่นไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม พบว่าแผนกผู้ป่วยในและห้องพักแพทย์มีความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.337)

ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ พบว่ากิจกรรมส่วนใหญ่มีความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดมีค่าต่ำใกล้เคียงกับศูนย์ โดยพบว่าอาคารจอดรถมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.2±0.1 ส่วนในล้านส่วน เนื่องจากลักษณะกิจกรรมเป็นแหล่งกำเนิดของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงรถยนต์ การรั่วไหลของน้ำมันรถยนต์ เป็นต้น

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (ตารางที่ 4.9) พบว่า ภายในอาคารมีความเข้มข้นสูงกว่าภายนอกอาคารอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) เนื่องจากแหล่งกำเนิดหลักของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดมาจากกิจกรรมภายในอาคาร

ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

ระบบปรับอากาศ	กิจกรรม	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ส่วนในล้านส่วน)
แยกส่วน	บริหารงานทั่วไป (n=21)	0.3±0.2
	ผู้ป่วยนอก (n=25)	0.5±0.4
	ผู้ป่วยใน (n=13)	0.2±0.3
	บริการทางการแพทย์ (n=18)	0.9±0.9
	ห้องพักแพทย์ (n=4)	0.1±0.0
	สาธารณูปโภค (n=3)	0.3±0.3
แบบรวม	ผู้ป่วยใน (n=4)	0.4±0.5
	ห้องพักแพทย์ (n=4)	0.2±0.1
ระบายอากาศแบบธรรมชาติ	ผู้ป่วยใน (n=10)	0.1±0.1
	ห้องพักพยาบาล (n=16)	ND
	สาธารณูปโภค (n=2)	ND
	อาคารจอดรถ (n=4)	0.2±0.1
ภายในอาคาร (n=124)		0.4±0.5
ภายนอกอาคาร (n=10)		0.1±0.0

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

4.6 ความเข้มข้นฝุ่นละออง

4.6.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามระบบปรับอากาศ

การศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละออง ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องที่มีลักษณะกิจกรรมแตกต่างกัน โดยแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละอองภายในโรงพยาบาลคือ ลักษณะของกิจกรรมภายในโรงพยาบาล ซึ่งก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นภายในห้อง เช่น การตกแต่งภายในห้อง การเดินเข้าและออกของเจ้าหน้าที่ทางการแพทย์ ผู้ป่วยและญาติผู้ป่วย เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีฝุ่นจากภายนอกอาคาร เช่น การก่อสร้าง การจราจร และฝุ่นดินที่มาจากการพัดพาของลมเข้ามาภายในห้องที่ผ่านเข้าทางช่องเปิดของห้อง เช่น ประตู หน้าต่างและช่องเปิดระบายอากาศ เป็นต้น โดยผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน มีค่าเท่ากับ 25.3±18.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม มีค่าเท่ากับ 22.7±7.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 32.9±17.9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังตารางที่ 4.10 ส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน มีค่าเท่ากับ 12.9±10.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม มีค่าเท่ากับ 14.3±7.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 17.6±11.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศ	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
	ฝุ่นละอองขนาด ไม่เกิน 10 ไมครอน	ฝุ่นละอองขนาด ไม่เกิน 2.5 ไมครอน
1. แบบแยกส่วน (n=168)	25.3±18.3	12.9±10.2
2. แบบรวม (n=16)	22.7±7.2	14.3±7.0
3. ระบายอากาศแบบธรรมชาติ (n=64)	32.9±17.9	17.6±11.0

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องจำแนกตามระบบปรับอากาศ (ตารางที่ 4.10) พบว่า ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนสูงกว่าห้องที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ (p=0.003 และ p=0.002) เนื่องจากเป็นห้องเปิด ทำให้เกิดการพัดฝุ่นละอองจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้อง ประกอบกับภายในห้องมีการเปิดประตู-หน้าต่างและเปิดพัดลม ก่อให้เกิดการปั่นป่วนของอากาศภายในห้องส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง ซึ่งต่างจากห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศที่ฝุ่นละอองส่วนใหญ่มาจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองภายในห้อง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ศรัญญู คำภาบุตร (2552) พบว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 และ p=0.000) เมื่อพิจารณาเฉพาะห้องที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ พบว่า ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบปรับอากาศแบบรวม มีค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.270) เนื่องจากภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนส่วนใหญ่มาจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองภายในห้อง เช่น การเดินเข้า-ออกของเจ้าหน้าที่และญาติผู้ป่วย เป็นต้น ทำให้ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน10 ไมครอนภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบปรับอากาศแบบรวมมีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบปรับอากาศแบบรวมมีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.605) เนื่องจากแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เกิดจากกลไกทางเคมีดังนั้นแหล่งกำเนิดภายในโรงพยาบาลจึงมาจากภายนอก เช่น ไอเสียจากการจราจร ส่งผลให้ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มีค่าไม่แตกต่างกัน

4.6.2 ความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามลักษณะกิจกรรม (ตารางที่ 4.11) ภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน พบว่าลักษณะกิจกรรมที่แตกต่างกันในแต่ละแผนกส่งผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 และ p=0.001) โดยพบว่า แผนกผู้ป่วยนอกมีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนสูงกว่าแผนกบริหารงานทั่วไป แผนกบริการทางการแพทย์ และห้องพักแพทย์ (p=0.045 p=0.000 และ p=0.001) เนื่องจากลักษณะกิจกรรมมีความหนาแน่นของคนสูง (ตารางที่ 4.1) ส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองภายในห้อง สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน พบว่าแผนก

ผู้ป่วยนอกมีค่าสูงกว่าแผนกบริการทางการแพทย์อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) ส่วนแผนกอื่นไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม พบว่าแผนกผู้ป่วยในมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนสูงกว่าห้องพักแพทย์อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.023) เนื่องจากลักษณะกิจกรรมส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่น เช่น บริเวณรับถ่ายคนไข้ เป็นต้น ส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมันร้อยละ 95 (p=0.188)

ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในแต่ละแผนกมีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.492 และ p=0.419) เนื่องจากเป็นห้องเปิด ทำให้ฝุ่นจากภายนอกพัดเข้ามาภายในห้อง ประกอบกับภายในห้องมีการเปิดพัดลม ส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง ทำให้ค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองมีค่าไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

ระบบปรับอากาศ	กิจกรรม		ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
			ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน
แยกส่วน	บริหารงานทั่วไป	(n=42)	21.5±17.8	11.5±8.0
	ผู้ป่วยนอก	(n=50)	32.3±15.7	15.2±8.2
	ผู้ป่วยใน	(n=26)	24.6±15.0	15.5±12.4
	บริการทางการแพทย์	(n=36)	18.0±12.7	8.1±5.2
	ห้องพักแพทย์	(n=8)	15.8±6.7	9.1±5.4
	สาธารณูปโภค	(n=6)	52.7±43.2	26.9±27.6
แบบรวม	ผู้ป่วยใน	(n=8)	26.7±7.3	16.6±8.1
	ห้องพักแพทย์	(n=8)	18.8±4.7	11.9±5.2
ระบายอากาศแบบธรรมชาติ	ผู้ป่วยใน	(n=20)	33.6±12.2	17.2±6.5
	ห้องพักพยาบาล	(n=32)	29.6±17.4	15.4±8.3
	สาธารณูปโภค	(n=4)	29.6±12.4	15.7±9.6
	อาคารจอดรถ	(n=8)	45.7±29.1	29.1±21.4
ภายในอาคาร		(n=248)	27.1±18.0	14.2±10.4
ภายนอกอาคาร		(n=11)	33.9±10.7	19.3±7.7

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (ตารางที่ 4.11) พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.218 และ p=0.116) เนื่องจากฝุ่นละอองจากภายนอกพัดเข้าสู่ภายในอาคารหรือติดตัวคนเข้าไปในอาคาร ประกอบกับกิจกรรมภายในอาคารทำให้ฝุ่นละอองฟุ้งกระจาย ส่งผลให้ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคารมีค่าไม่แตกต่างกัน

การพิจารณาสัดส่วนของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจำแนกตามลักษณะกิจกรรม (ตารางที่ 4.12) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.48±0.11 ถึง 0.63±0.24 ซึ่งจากการศึกษาของ รพีพัฒน์ เกริกไกวัล (2543) พบว่าสัดส่วนของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในเขตกรุงเทพมหานครมีค่าสูงกว่า 0.60 และการศึกษาของสมานชัย เลิศกมล (2543) พบว่าสัดส่วนของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศทั่วไปของกรุงเทพมหานคร มีค่าเท่ากับ 0.60-0.74 ซึ่งมีค่าสัดส่วนสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดได้ภายในอาคาร เนื่องจากการปิดกั้นของอาคารทำให้ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนซึ่งส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคารสามารถแพร่กระจายเข้ามาภายในอาคารได้น้อย

ตารางที่ 4.12 สัดส่วนของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

ระบบปรับอากาศ	กิจกรรม		ค่าเฉลี่ยสัดส่วน±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
แยกส่วน	บริหารงานทั่วไป	(n=42)	0.55±0.12
	ผู้ป่วยนอก	(n=50)	0.48±0.11
	ผู้ป่วยใน	(n=26)	0.58±0.14
	บริการทางการแพทย์	(n=36)	0.51±0.16
	ห้องพักแพทย์	(n=8)	0.55±0.11
	สาธารณูปโภค	(n=6)	0.52±0.17
แบบรวม	ผู้ป่วยใน	(n=8)	0.61±0.24
	ห้องพักแพทย์	(n=8)	0.63±0.24
ระบายอากาศแบธรรมชาติ	ผู้ป่วยใน	(n=20)	0.52±0.11
	ห้องพักพยาบาล	(n=32)	0.53±0.08
	สาธารณูปโภค	(n=4)	0.50±0.12
	อาคารจอดรถ	(n=8)	0.57±0.12

4.6.3 ความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามฤดูกาล

การศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามฤดูกาล พบว่า ในช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเท่ากับ 20.2±16.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนเท่ากับ 8.9±6.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับช่วงฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเท่ากับ 34.0±16.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนเท่ากับ 19.5±11.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามฤดูกาล

ช่วงเวลาตรวจวัด	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน
ฤดูฝน (กันยายน 2552) (n=20)	20.2±16.8	8.9±6.3
ฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ 2553) (n=20)	34.0±16.6	19.5±11.0

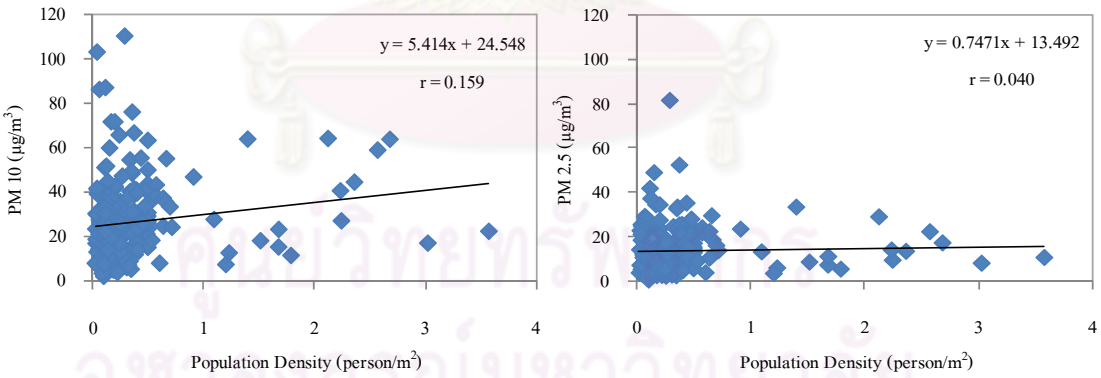
การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนจำแนกตามฤดูกาล พบว่า ในช่วงฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนสูงกว่าช่วงฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 และ p=0.000) ซึ่งการศึกษาของ รพีพัฒน์ เกริกไกวัล (2543) พบว่า ในช่วงฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในบรรยากาศเขตกรุงเทพมหานครมีค่าสูงกว่าช่วงฤดูฝน และการศึกษาของ กัลยกร ตั้งอุไรวรรณ (2549) พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน เนื่องจากฝนตกในช่วงฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง ส่งผลต่อการกระบวนการชะล้างของฝนทำให้ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีค่าลดลง นอกจากนี้การตกของฝนทำให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น การฟุ้งกระจายของฝุ่นดิน เป็นต้น อาจเป็นสาเหตุทำให้ฝุ่นละอองภายในอาคารในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าช่วงฤดูฝน

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพอากาศกับปัจจัยทางกายภาพ

4.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองกับปัจจัยทางกายภาพ

1) ความเข้มข้นฝุ่นละอองและความหนาแน่นของคน

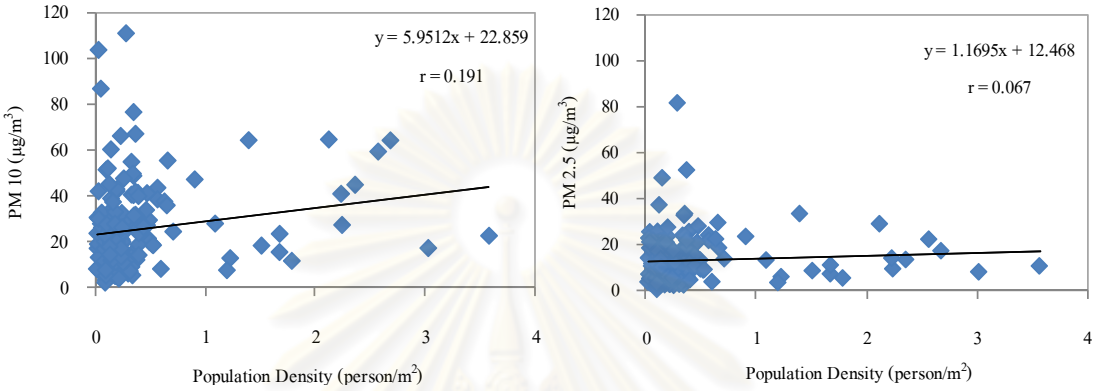
ความหนาแน่นของคนเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้อง ซึ่งคนสามารถนำฝุ่นละอองจากภายนอกห้องเข้ามาภายในห้อง เช่น ติดตามเสื้อผ้าและรองเท้า เป็นต้น ประกอบกับกิจกรรมต่างๆ ของคนภายในห้องทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง เช่น การเดินเข้า-ออกภายในห้อง การเปิดพัดลม เป็นต้น โดยผลการศึกษาพบว่า ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับความหนาแน่นของคนภายในห้อง (n=240) มีความสัมพันธ์กันแบบผันตรง อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.014) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ (r=0.159) ทั้งนี้อาจมีหลายปัจจัยที่ส่งต่อการเพิ่มขึ้นของฝุ่นละอองภายในห้อง เช่น ฝุ่นจากภายนอกอาคาร การระบายอากาศรวมไปถึงระบบปรับอากาศภายในห้อง เป็นต้น ส่วนฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนไม่พบความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคนภายในห้อง (n=240) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.542) เนื่องจากแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มาจากกลไกทางเคมีเป็นหลัก เช่น การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ไอเสียจากการจราจร เป็นต้น



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองกับความหนาแน่นของคนภายในห้อง

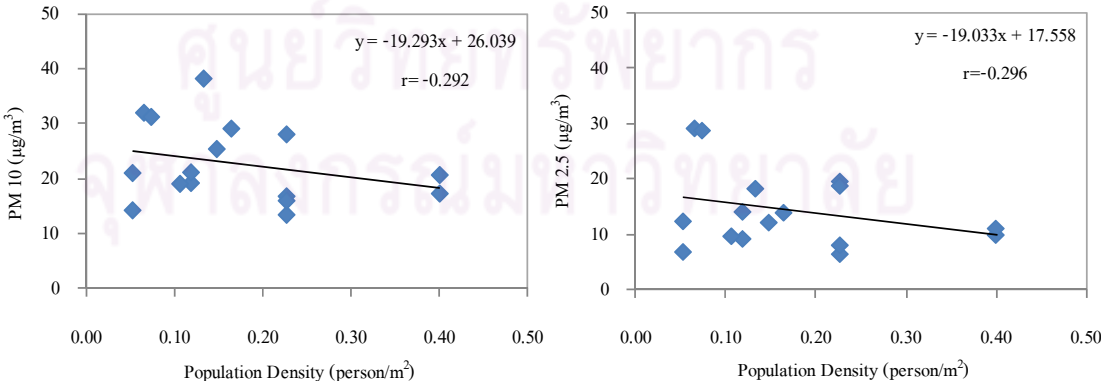
เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนกับความหนาแน่นของคนโดยแยกตามระบบปรับอากาศ พบว่า

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับความหนาแน่นของคนภายในห้อง (n=168) มีความสัมพันธ์กันแบบผันตรงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.013) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ (r=0.191) ส่วนความเข้มข้นฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนกับความหนาแน่นของคนภายในห้อง (n=168) ไม่พบความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.386)



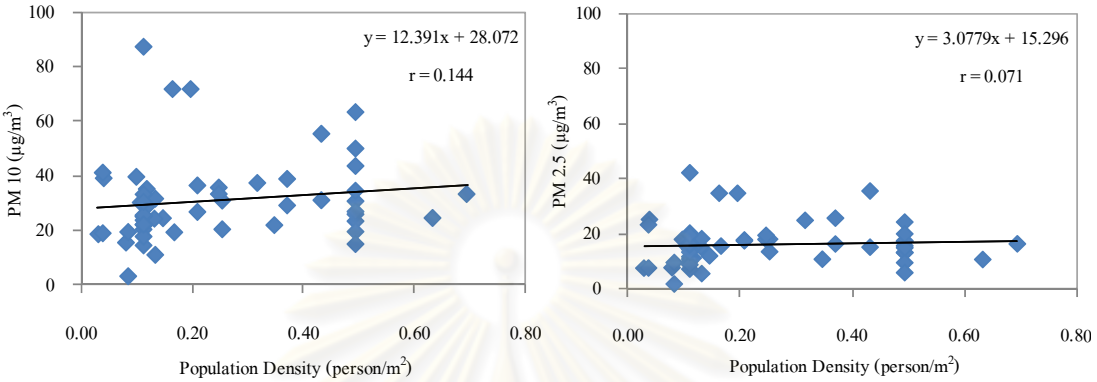
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองกับความหนาแน่นของคนภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่า ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=16) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=16) ไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคนภายในห้องอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.273 และ p=0.265)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองกับความหนาแน่นของคนภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม

ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติพบว่า ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=56) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=56) ไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคนภายในห้องอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.289 และ p=0.604)



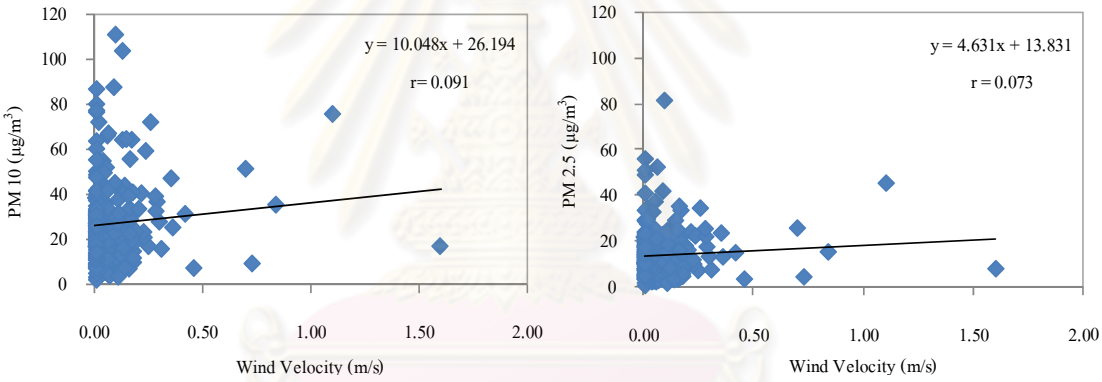
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองกับความหนาแน่นของคนภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ

การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและความหนาแน่นของคนภายในห้องพบว่า เมื่อความหนาแน่นของคนเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจะเพิ่มขึ้นด้วย (p=0.014) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของศรัญญู คำภาบุตร (2552) พบว่าเมื่อความหนาแน่นของคนภายในห้องเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเพิ่มขึ้น และการศึกษาของ ณัติฐพงศ์ เด่นจักรวาฬ (2548) พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของคนภายในห้อง เช่น ช่วงที่มีการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่จะมีฝุ่นละอองสูงกว่าช่วงที่ไม่มีการปฏิบัติงาน เป็นต้น เมื่อพิจารณาตามระบบปรับอากาศ พบว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเมื่อความหนาแน่นของคนเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเพิ่มขึ้นไปด้วย (p=0.013) เนื่องจากเป็นห้องปิด เมื่อเกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองภายในห้องจะสามารถถ่ายเทหรือถูกพัดพาออกไปสู่ภายนอกได้น้อย ต่างจากห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมซึ่งมีการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกซึ่งผ่านการทำความสะอาดเข้ามาแทนที่อากาศภายในห้องประกอบกับฝุ่นละอองภายในห้องถูกระบายออกไปพร้อมกับอากาศที่ถูกระบายออกและห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติซึ่งเป็นห้องเปิดส่งผลให้ฝุ่นละอองจากภายนอกพัดเข้ามาภายในห้องได้และฝุ่นละอองภายในห้องถ่ายเทออกไปพร้อมอากาศที่ระบายออก ทำให้เห็นความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน ส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคน

ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ศรัญญู คำภาบุตร (2552) พบว่า ความหนาแน่นของคนภายในห้องไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เนื่องจากแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มาจากภายนอกอาคารเป็นส่วนใหญ่ เช่น การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ไอเสียจากการจราจร เป็นต้น

2) ความเข้มข้นฝุ่นละอองและความเร็วลม

ความเร็วลมภายในห้องเป็นปัจจัยส่งผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้อง เช่น การพัดพาฝุ่นละอองจากภายนอกเข้ามาภายในอาคาร การฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองภายในห้อง เป็นต้น โดยผลการศึกษาพบว่า ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=248) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=248) ไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมภายในห้องอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.151 และ p=0.249) ทั้งนี้อาจมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่นภายในห้อง เช่น ความหนาแน่นของคน การระบายอากาศรวมถึงระบบปรับอากาศ เป็นต้น



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองกับความเร็วลมภายในห้อง

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนกับความเร็วลมภายในห้อง โดยแยกตามระบบปรับอากาศ พบว่า

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=168) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=168) ไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.191 และ p=0.302)

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่า ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=16) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=16) ไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.103 และ p=0.197)

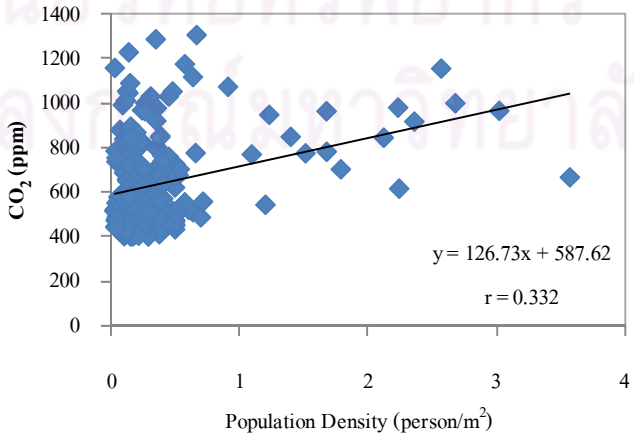
ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=64) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=64) ไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.840 และ p=0.921)

การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนกับความเร็วลมภายในห้องพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.151 และ p=0.249) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ศรัญญู คำภาบุตร (2552) พบว่า ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนกับความเร็วลมไม่มีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้อง เช่น ฝุ่นละอองจากภายนอกห้อง ความหนาแน่นของคนภายในห้อง การระบายอากาศรวมถึงระบบปรับอากาศ ประกอบกับความเร็วลมภายในห้องมีค่าต่ำ ทำให้ไม่เห็นความสัมพันธ์ที่ชัดเจน

4.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับปัจจัยทางกายภาพ

1) ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความหนาแน่นของคน

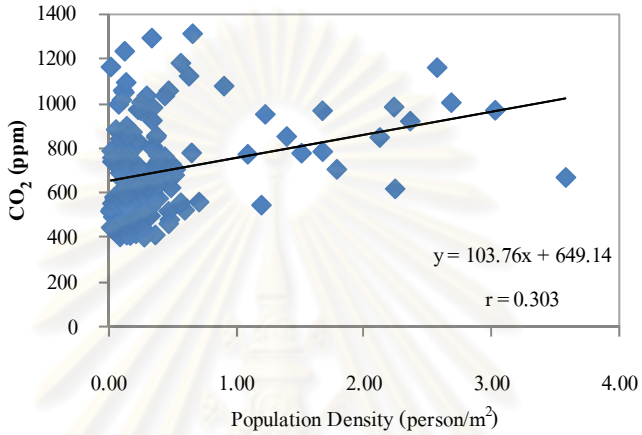
ความหนาแน่นของคนเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้อง เนื่องจากกระบวนการสันดาปในร่างกายเพื่อสร้างพลังงานทั้งในมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ภายในอาคารจะขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา โดยผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นของคนกับความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (n=240) มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (r = 0.332)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความหนาแน่นของคนภายในห้อง

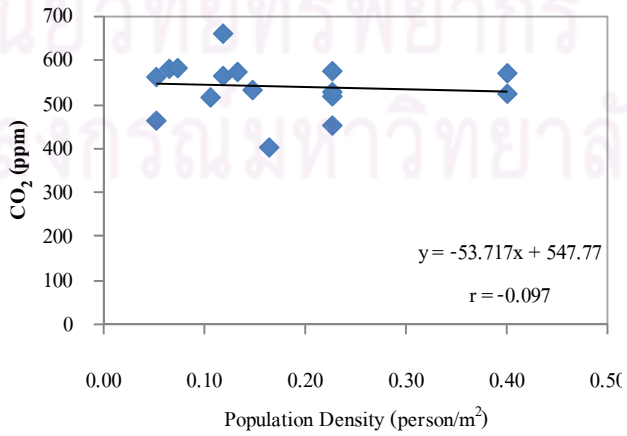
เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความหนาแน่นของคน โดยแยกตามระบบปรับอากาศพบว่า

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน พบว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความหนาแน่นของคนภายในห้อง (n=168) มีความสัมพันธ์กันแบบผันตรงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (r = 0.303)



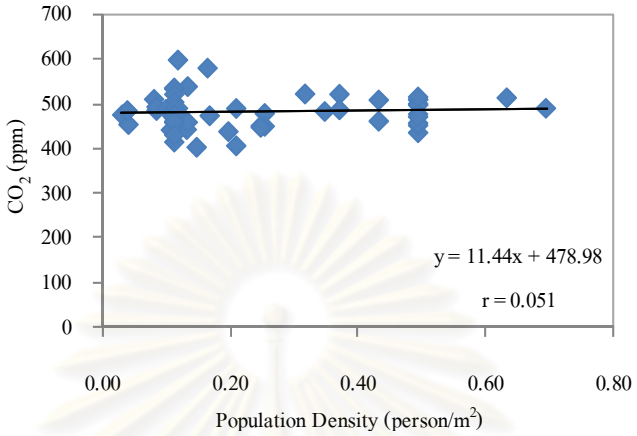
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความหนาแน่นของคนภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม พบว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคนภายในห้อง (n=16) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.722)



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความหนาแน่นของคนภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม

ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ พบว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคนภายในห้อง (n=56) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.706)

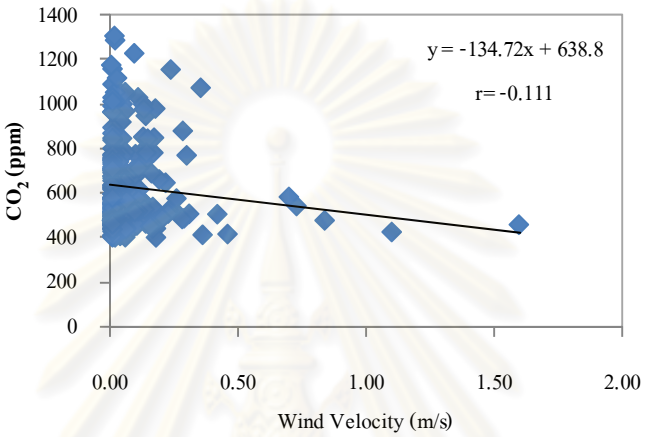


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความหนาแน่นของคนภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ

การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความหนาแน่นของคนภายในห้องพบว่า เมื่อความหนาแน่นของคนเพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นด้วย (p=0.000) เนื่องจากกระบวนการสันดาปในร่างกายเพื่อสร้างพลังงานทั้งในมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆจะขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (สร้อยสุดา เกสรทอง, 2549) เมื่อพิจารณาเฉพาะห้องปรับอากาศพบว่า ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเมื่อความหนาแน่นของคนเพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นด้วย (p=0.000) เนื่องจากมีอัตราการระบายอากาศต่ำ (ตารางที่ 4.2) เมื่อความหนาแน่นของคนเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้อง ต่างจากห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมซึ่งมีการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกซึ่งผ่านการทำความสะอาดเข้ามาแทนที่อากาศภายในห้องและห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ ซึ่งเป็นห้องเปิดมีการถ่ายเทอากาศภายในห้องกับภายนอกสูง ทำให้เห็นความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน

2) ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความเร็วลม

ความเร็วลมภายในห้องเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้อง เช่น การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้อง รวมถึงช่วยในแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้อง เป็นต้น โดยการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมภายในห้อง (n=248) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.081)



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเร็วลมภายในห้อง

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเร็วลมภายในห้อง โดยแยกตามระบบปรับอากาศพบว่า

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมภายในห้อง (n=168) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.646)

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมภายในห้อง (n=16) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.931)

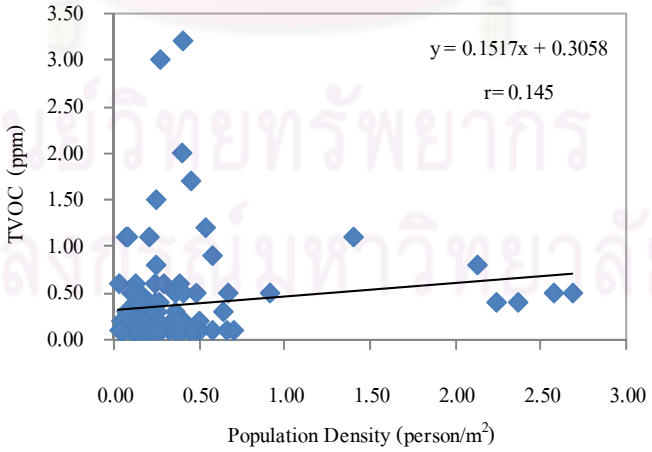
ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติพบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมภายในห้อง (n=64) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.681)

การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความเร็วลมภายในห้องพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.081) ทั้งนี้อาจมีหลายปัจจัยที่ส่งต่อความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้อง เช่น ความหนาแน่นของคน การระบายอากาศรวมถึงระบบปรับอากาศ ประกอบกับภายในห้องมีความเร็วลมต่ำ ทำให้ไม่เห็นความสัมพันธ์ที่ชัดเจน สำหรับความเร็วลมภายในห้องนอกจากจะส่งผลต่อความรู้สึกสบายกายของผู้อยู่อาศัยภายในห้อง แล้วยังช่วยในการกระจายตัวของอากาศภายในห้องและโดยเฉพาะห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติความเร็วลมจะช่วยในการถ่ายเทอากาศภายในห้องกับภายนอกห้อง (สุบิน วงศ์ฝั้น, 2547) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติซึ่งมีความเร็วลมสูงจะพบการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศ

4.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดกับปัจจัยทางกายภาพ

1) ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดและความหนาแน่นของคน

ความหนาแน่นของคนเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้อง เช่น สารประกอบอินทรีย์ระเหยจากน้ำยาดับกลิ่นตัว น้ำยาปรับผ้านุ่ม บุหรี่ เป็นต้น โดยผลการศึกษาพบว่า สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคน (n=120) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.114)



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดกับความหนาแน่นของคนภายในห้อง

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดกับความหนาแน่นของคน โดยแยกตามระบบปรับอากาศพบว่า

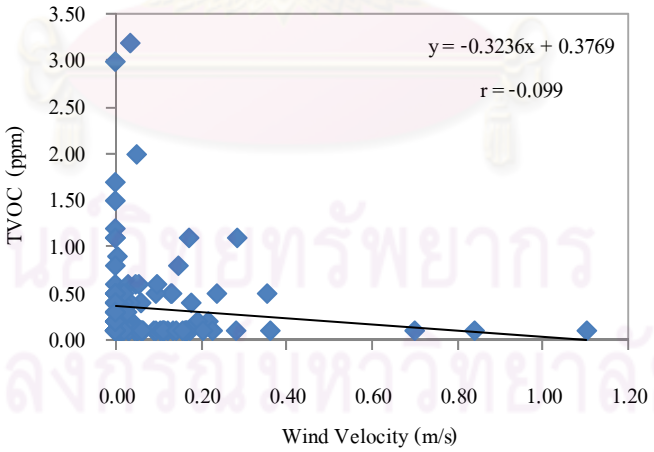
ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคนภายในห้อง(n=84) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.313)

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่า ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคนภายในห้อง(n=8) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.387)

ส่วนห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติพบว่าการสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยภายในห้องมีค่าต่ำใกล้เคียงกับศูนย์ จึงไม่ได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์

2) ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดและความเร็วลม

ความเร็วลมภายในห้องเป็นปัจจัยส่งผลต่อความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด เช่น การกระจายตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้องรวมถึงช่วยในถ่ายเทอากาศภายในห้อง เป็นต้น โดยผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมภายในห้อง (n=124) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.274)



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดกับความเร็วลมภายในห้อง

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดกับความเร็วลมภายในห้อง โดยแยกตามระบบปรับอากาศพบว่า

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมภายในห้อง (n=84) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.439)

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่า สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมภายในห้อง (n=8) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.523)

ส่วนห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติพบว่าการสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้องมีค่าต่ำใกล้เคียงกับศูนย์ จึงไม่ได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์

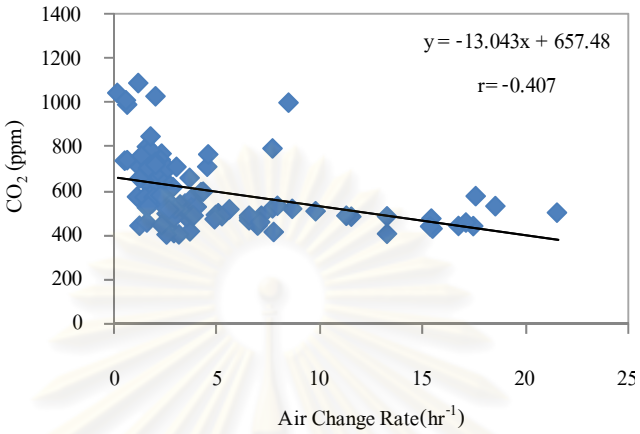
การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคน ความเร็วลมภายในห้องและสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้อาจมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด เช่น กิจกรรมภายในโรงพยาบาลได้แก่ การทำแผล การฉีดยา การเจาะเลือด วัสดุเละอุปกรณ์สำนักงาน ได้แก่ สีทาห้อง น้ำยาทำความสะอาด เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น (สร้อยสุดา เกสรทอง, 2549) ส่งผลทำให้มีความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน รวมถึงการระบายอากาศและระบบปรับอากาศ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติจะมีความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดมีค่าต่ำใกล้เคียงกับศูนย์ เนื่องจากเป็นห้องเปิด มีการถ่ายเทอากาศกับภายนอกสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Helmis และคณะ (2007) พบว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติซึ่งทำการเปิดประตู-หน้าต่างให้กระจายทั่วห้องจะพบการสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดมีค่าต่ำ

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศ

4.8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

อัตราการระบายอากาศหรืออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ขึ้นอยู่กับชนิดของระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศเป็นหลัก ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องส่วนใหญ่มาจากการหายใจของคน ซึ่งการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องเป็นตัวชี้บ่งว่ามีการระบายอากาศเพียงพอหรือไม่ โดยผลการศึกษาพบว่าอัตราการระบายอากาศมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (n=100) แบบผกผันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง r=-0.407 กล่าวคือ

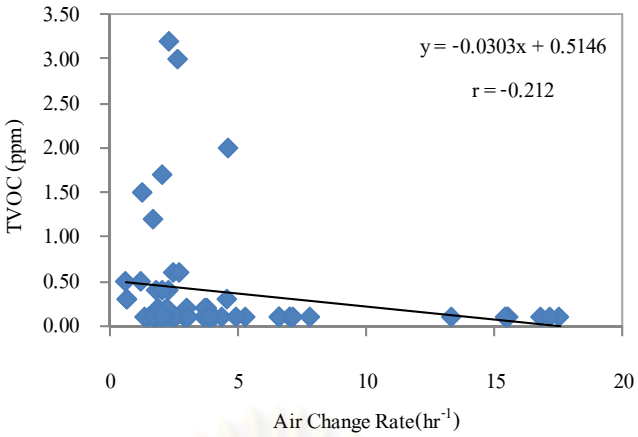
ห้องที่มีอัตราการระบายอากาศสูงจะพบการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Turiel และคณะ (1893) และ Ruotsalainen และคณะ (1993) พบว่าเมื่ออัตราการระบายอากาศลดลงจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้อง



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้อง

4.8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด

อัตราการระบายอากาศหรืออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ขึ้นอยู่กับชนิดของระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศเป็นหลัก ส่วนสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดเกิดจากลักษณะกิจกรรมภายในอาคาร เช่น การปรุงยา การทำแผล น้ำยาทำความสะอาด งานด้านเอกสาร ได้แก่ การปั๊มตราประทับ น้ำยาลบคำผิด เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าอัตราการระบายอากาศไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด (n=58) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.111)



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้อง

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด โดยแยกตามระบบปรับอากาศพบว่า

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน พบว่าอัตราการระบายอากาศไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด (n=38) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.675)

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม พบว่าอัตราการระบายอากาศไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด (n=4) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.965)

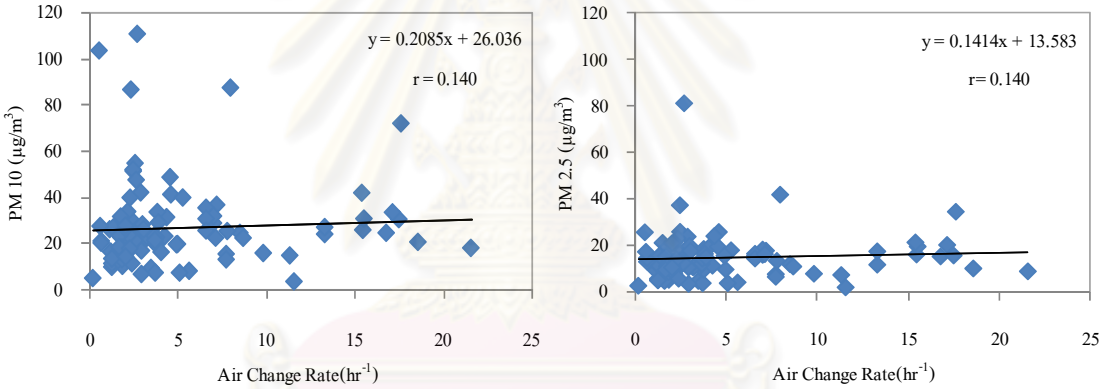
ส่วนห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ ตรวจพบความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดมีค่าต่ำใกล้เคียงกับศูนย์ จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้อาจมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด เช่น กิจกรรมภายในโรงพยาบาล ได้แก่ การทำแผล การฉีดยา การเจาะเลือด การปรุงยาใช้ในโรงพยาบาล วัสดุและอุปกรณ์สำนักงาน ได้แก่ สีทาห้อง น้ำยาทำความสะอาด เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น (สร้อยสุดา เกสรทอง, 2549) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Zuraimi และคณะ (2003) พบว่า ลักษณะกิจกรรมภายในห้องเป็นแหล่งกำเนิดหลักที่ส่งผลต่อความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในอาคารส่วนอัตราการระบายอากาศส่งผลต่อการสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้อง ซึ่งจะเห็นได้ว่าในบางห้องที่มีอัตราการระบายอากาศสูงแต่พบการสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดมีค่าสูงด้วย

เนื่องจากการระบายอากาศไม่เพียงพอ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ รัฐเขต มูลรินต๊ะ (2552) พบว่าอาคารที่มีอัตราการระบายอากาศสูงแต่ตรวจพบความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยสูง เนื่องจากลักษณะกิจกรรมภายในอาคารเป็นแหล่งกำเนิดของสารประกอบอินทรีย์ระเหย

4.8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นฝุ่นละออง

อัตราการระบายอากาศหรืออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ขึ้นอยู่กับชนิดของระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศเป็นหลัก ส่วนฝุ่นละอองภายในอาคารมีแหล่งกำเนิดทั้งภายในและภายนอก โดยแหล่งกำเนิดภายในอาคาร เช่น การตกแต่งภายในอาคาร ฝุ่นฟุ้งกระจายจากพื้นห้อง พรมปูพื้น เป็นต้น แหล่งกำเนิดภายนอก เช่น การจราจร การก่อสร้าง เป็นต้น โดยผลการศึกษาพบว่าอัตราการระบายอากาศไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=100) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=100) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.164 และ p=0.165)



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นฝุ่นละออง

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน แยกตามระบบปรับอากาศพบว่า

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน พบว่าอัตราการระบายอากาศไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=63) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=63) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.873 และ p=0.749)

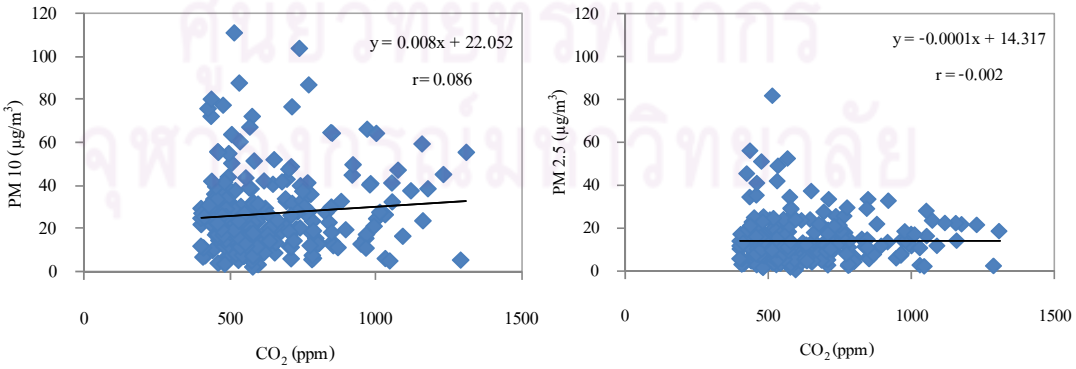
ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม พบว่าอัตราการระบายอากาศไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=5) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=5) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.262 และ p=0.961)

ห้องที่การระบายอากาศแบบธรรมชาติ พบว่าอัตราการระบายอากาศไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=32) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=32) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.160 และ p=0.112)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้อาจมีปัจจัยอื่นซึ่งส่งผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร เช่น กิจกรรมภายในห้อง ความหนาแน่นของคน รวมถึงฝุ่นจากภายนอกพัดเข้ามาสู่ภายในอาคาร ทำให้ความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของปุญญานิช บริเวธานันท์ (2549) และ ศรัญญู คำภาบุตร (2552) พบว่าอัตราการระบายอากาศไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละออง เนื่องจากการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นอาจพาฝุ่นละอองจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคารและทำให้เกิดการปั่นป่วนของอากาศภายในห้อง ส่งผลให้ฝุ่นละอองที่ตกอยู่บนพื้นห้องเกิดการฟุ้งกระจายกลับขึ้นมาในอากาศ

4.8.4 ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นฝุ่นละออง

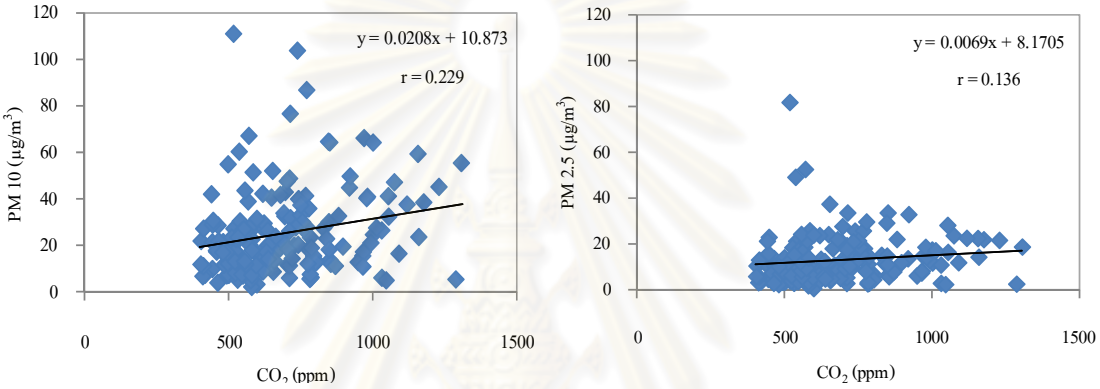
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องเป็นตัวชี้บ่งว่ามีการระบายอากาศเพียงพอหรือไม่ หากการระบายไม่เพียงพอก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีการสะสมตัวภายในห้อง ซึ่งอาจส่งผลต่อการสะสมตัวสารมลพิษตัวอื่นภายในห้อง (Helmis และคณะ, 2007) โดยผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=248) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=248) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.179 และ p=0.973) ทั้งนี้อาจมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น การระบายอากาศและระบบปรับอากาศ ความหนาแน่นของคน เป็นต้น ทำให้ความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้อง

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน แยกตามระบบปรับอากาศ พบว่า

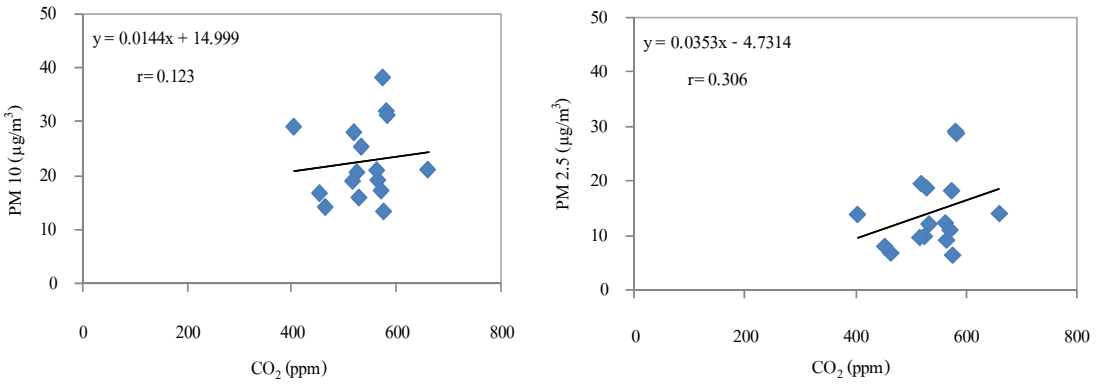
ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน พบว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=168) พบว่า มีความสัมพันธ์กัน แบบผันตรง อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.003) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ r=0.229 ส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=168) พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.078)



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

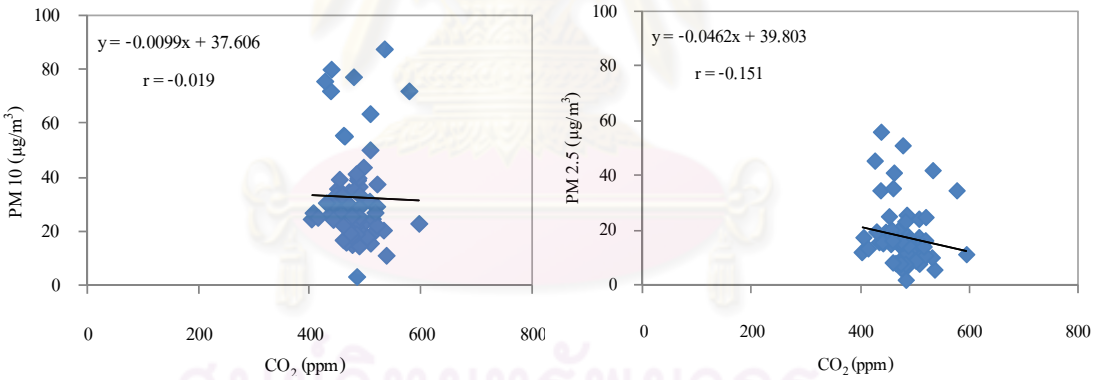
ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม พบว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=16) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=16) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.651 และ p=0.249)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม

ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ พบว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=64) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (n=64) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.881 และ p=0.234)



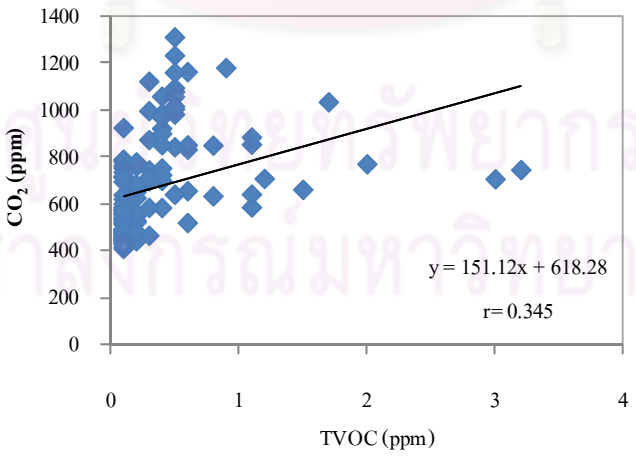
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ

การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนพบว่า ภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีความสัมพันธ์กัน (p=0.003) ซึ่งห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีอัตราการระบายอากาศต่ำ (ตารางที่ 4.2) เมื่อเกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองภายในห้องจะสามารถถ่ายเทหรือถูกพัดพาออกไปสู่ภายนอกได้น้อยและห้องมีการระบายอากาศไม่เพียงพอทำให้เกิดการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้อง

ต่างจากห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมซึ่งมีการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกซึ่งผ่านการทำความสะอาดเข้ามาแทนที่อากาศภายในห้องประกอบกับฝุ่นละอองภายในห้องถูกระบายออกไปพร้อมกับอากาศที่ถูกระบายออกและห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ ซึ่งเป็นห้องเปิดส่งผลให้ฝุ่นละอองจากภายนอกพัดเข้ามาภายในห้องได้และฝุ่นละอองภายในห้องถ่ายเทออกไปพร้อมอากาศที่ระบายออกทำให้เห็นความสัมพันธ์ที่ไม่มีชัดเจน และความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ไม่พบความสัมพันธ์กับความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มาจากภายนอกอาคารเป็นส่วนใหญ่ เช่น การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ไอเสียจากการจราจร เป็นต้น

4.8.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องเป็นตัวชี้บ่งว่ามีการระบายอากาศเพียงพอหรือไม่ หากเกิดการสะสมตัวก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องอาจส่งผลต่อการสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้อง โดยผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์กับสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด (n=124) แบบผันตรง อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง r=0.345 กล่าวคือ ห้องที่มีการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะพบการสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดสูงไปด้วย เนื่องจากการระบายอากาศไม่เพียงพอ



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดภายในห้อง

สรุป ผลการศึกษาคุณภาพอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศ (ตารางที่ 4.14) พบว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีอัตราการระบายอากาศสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) และมีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.003 และ p=0.002) แต่ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศมีความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดสูงกว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 และ p=0.000)

ตารางที่ 4.14 สรุปพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศ

ระบบ ปรับอากาศ	ACH ต่อชั่วโมง	CO_2 ส่วนในล้านส่วน	CO ส่วนในล้านส่วน	TVOC ส่วนในล้านส่วน	PM 10 มคก./ลบ.ม.	PM 2.5 มคก./ลบ.ม.
แบบแยกส่วน	2.91±2.00 (n=22)	700±219 (n=42)	0.1±0.1 (n=42)	0.5±0.6 (n=21)	21.5±17.8 (n=42)	11.5±8.0 (n=42)
แบบรวม	3.82±2.53 (n=10)	779±231 (n=50)	ND (n=50)	0.3±0.3 (n=25)	32.3±15.7 (n=50)	15.2±8.2 (n=50)
ระบายอากาศแบบธรรมชาติ	2.26±1.08 (n=32)	592±119 (n=26)	0.3±0.5 (n=26)	0.1±0.0 (n=13)	24.6±15.0 (n=26)	15.5±12.4 (n=26)

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ผลการศึกษาคุณภาพอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม (ตารางที่ 4.15) ภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า ลักษณะกิจกรรมที่แตกต่างกันในแต่ละแผนกส่งผลต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 p=0.000 p=0.000 และ p=0.001) และกิจกรรมภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม พบว่าแผนกผู้ป่วยในมีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนสูงกว่าห้องพักแพทย์ อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.023) สำหรับห้องภายในอาคารโดยทั่วไปตรวจพบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีความเข้มข้นต่ำมากใกล้เคียงกับศูนย์

ตารางที่ 4.15 สรุปพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศจำแนกตามระบบปรับอากาศและลักษณะกิจกรรม

ระบบปรับอากาศ	กิจกรรม	ACH ต่อชั่วโมง	CO_2 ส่วนในล้านส่วน	CO ส่วนในล้านส่วน	TVOC ส่วนในล้านส่วน	PM 10 มคก./ลบ.ม.	PM 2.5 มคก./ลบ.ม.
แยกส่วน	บริหารงานทั่วไป	2.91±2.00 (n=22)	700±219 (n=42)	0.1±0.1 (n=42)	0.3±0.2 (n=21)	21.5±17.8 (n=42)	11.5±8.0 (n=42)
	ผู้ป่วยนอก	3.82±2.53 (n=10)	779±231 (n=50)	ND (n=50)	0.5±0.4 (n=25)	32.3±15.7 (n=50)	15.2±8.2 (n=50)
	ผู้ป่วยใน	2.26±1.08 (n=6)	592±119 (n=26)	0.1±0.0 (n=26)	0.2±0.3 (n=13)	24.6±15.0 (n=26)	15.5±12.4 (n=26)
	บริการทางการแพทย์	1.74±0.61 (n=12)	686±148 (n=36)	ND (n=36)	0.9±0.9 (n=18)	18.0±12.7 (n=36)	8.1±5.2 (n=36)
	ห้องพักแพทย์	2.61±0.86 (n=8)	547±69 (n=8)	ND (n=8)	0.1±0.0 (n=4)	15.8±6.7 (n=8)	9.1±5.4 (n=8)
	สาธารณูปโภค	4.61±5.99 (n=5)	558±139 (n=6)	0.5±0.6 (n=6)	0.3±0.3 (n=3)	52.7±43.2 (n=6)	26.9±27.6 (n=6)
แบบรวม	ผู้ป่วยใน	NA	536±60 (n=8)	ND (n=8)	0.4±0.5 (n=4)	26.7±7.3 (n=8)	16.6±8.1 (n=8)
	ห้องพักแพทย์	3.42±0.61 (n=5)	541±66 (n=8)	ND (n=8)	0.2±0.1 (n=4)	18.8±4.7 (n=8)	11.9±5.2 (n=8)
ระบายอากาศแบบธรรมชาติ	ผู้ป่วยใน	NA	482±28 (n=20)	ND (n=20)	0.1±0.1 (n=10)	33.6±12.2 (n=20)	17.2±6.5 (n=20)
	ห้องพักพยาบาล	10.19±6.07 (n=32)	482±44 (n=32)	ND (n=32)	ND (n=16)	29.6±17.4 (n=32)	15.4±8.3 (n=32)
	สาธารณูปโภค	NA	474±14 (n=4)	0.2±0.3 (n=4)	ND (n=2)	29.6±12.4 (n=4)	15.7±9.6 (n=4)
	อาคารจอดรถ	NA	466±27 (n=8)	1.3±0.9 (n=8)	0.2±0.1 (n=4)	45.7±29.1 (n=8)	29.1±21.4 (n=8)

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศและปัจจัยทางกายภาพ พบว่า ความหนาแน่นของคนเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (n=240) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (n=240) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 และ p=0.014) ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศและปัจจัยทางกายภาพ

ปัจจัยทางกายภาพ	พารามิเตอร์		ความสัมพันธ์	p-value	r
ความหนาแน่นของคน	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	(n=240)	สัมพันธ์แบบผันตรง	0.000	0.332
	- ปรับอากาศแบบแยกส่วน	(n=168)	สัมพันธ์แบบผันตรง	0.000	0.303
	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	(n=240)	สัมพันธ์แบบผันตรง	0.014	0.159
	- ปรับอากาศแบบแยกส่วน	(n=168)	สัมพันธ์แบบผันตรง	0.013	0.191

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราระบายอากาศและพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศ พบว่า ห้องอัตราการระบายอากาศสูงจะพบการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) ดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราระบายอากาศและพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศ

พารามิเตอร์	พารามิเตอร์		ความสัมพันธ์	p-value	r
อัตราการระบายอากาศ	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	(n=100)	สัมพันธ์แบบผกผัน	0.000	-0.407
	สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด	(n=58)	ไม่สัมพันธ์	0.111	-0.212
	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	(n=100)	ไม่สัมพันธ์	0.164	0.140
	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	(n=100)	ไม่สัมพันธ์	0.165	0.140

ผลการศึกษาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศ พบว่า ห้องที่มีการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะพบการสะสมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดสูงด้วย โดยเฉพาะห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจะพบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเพิ่มขึ้นด้วย อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 และ p=0.003) ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศ

พารามิเตอร์	พารามิเตอร์	ความสัมพันธ์	p-value	r
ก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน - ปรับอากาศแบบแยกส่วน (n=168)	สัมพันธ์ผันตรง	0.003	0.229
	สารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด (n=124)	สัมพันธ์ผันตรง	0.000	0.345

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณภาพอากาศภายโรงพยาบาลกลาง สังกัดสำนักการแพทย์ กรุงเทพมหานคร โดยพิจารณาห้องเก็บตัวอย่างตามระบบปรับอากาศ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 ระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ระบบปรับอากาศแบบรวมและระบายอากาศแบบธรรมชาติ และพิจารณาตามลักษณะกิจกรรมภายในโรงพยาบาล ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คือ แผนกบริหารงานทั่วไป กลุ่มที่ 2 คือ แผนกผู้ป่วยใน กลุ่มที่ 3 คือ แผนกผู้ป่วยนอก กลุ่มที่ 4 คือ แผนกบริการทางการแพทย์ กลุ่มที่ 5 คือ ห้องพยาบาล กลุ่มที่ 6 คือ ห้องพักแพทย์ กลุ่มที่ 7 คือ แผนกสาธารณูปโภค กลุ่มที่ 8 คือ อาคารจอดรถและตรวจวัดภายนอกอาคาร โดยการเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดและปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อัตราการระบายอากาศ ความหนาแน่นของคน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ซึ่งผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการศึกษาอัตราแลกเปลี่ยนอากาศพบว่า ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.584)

ผลการศึกษาความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบว่า ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) นอกจากนี้พบว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำแนกตามลักษณะกิจกรรมภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่าลักษณะกิจกรรมที่แตกต่างกันในแต่ละแผนกส่งผลต่อความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) โดยแผนกผู้ป่วยนอก แผนกบริการทางการแพทย์และแผนกบริหารงานทั่วไปมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่าห้องพักแพทย์ อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 p=0.007 และ p=0.011) และแผนกผู้ป่วยนอกมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงกว่าแผนกผู้ป่วยใน อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(p=0.000) กิจกรรมภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละแผนกมีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.870) และกิจกรรมภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติพบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่ละแผนกมีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.674)

ผลการศึกษาความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมด พบว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดต่ำกว่าห้องที่มีการใช้ระบบปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) ส่วนห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.385) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดจำแนกตามลักษณะกิจกรรมภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า ลักษณะกิจกรรมที่แตกต่างกันในแต่ละแผนกส่งผลต่อความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) โดยแผนกผู้ป่วยนอก แผนกบริการทางการแพทย์และแผนกบริหารงานทั่วไปมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่าห้องพักแพทย์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.001 p=0.021 และ p=0.014) กิจกรรมภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่า ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดในแต่ละแผนกมีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.337) และกิจกรรมภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติพบว่า กิจกรรมส่วนใหญ่มีความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดมีค่าต่ำมากใกล้เคียงกับศูนย์

ผลการศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละออง พบว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนสูงกว่าห้องที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ (p=0.003 และ p=0.002) เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ระหว่างห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบปรับอากาศแบบรวมพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Sig.=0.270 และ Sig.=0.605) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองจำแนกตามลักษณะกิจกรรมในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า ลักษณะกิจกรรมที่แตกต่างกันในแต่ละแผนกส่งผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 และ p=0.001) โดยพบว่า แผนกผู้ป่วยนอกมีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนสูงกว่าแผนกบริหารงานทั่วไป แผนกบริการทางการแพทย์ และห้องพักแพทย์ (p=0.045 p=0.000 และ p=0.001) สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน พบว่าแผนกผู้ป่วยนอกมีค่าสูงกว่าแผนกบริการทางการแพทย์อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) ส่วนแผนกอื่นไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กิจกรรมภายในห้องที่ใช้ระบบ

ปรับอากาศแบบรวมพบว่า แผนกผู้ป่วยในมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนสูงกว่าห้องพักแพทย์อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.023) ส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.188) และกิจกรรมภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติพบว่า ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในแต่ละแผนกมีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.492 และ p=0.419)

ผลการศึกษาความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์พบว่า ในแต่ละแผนกมีความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำมากใกล้เคียงกับศูนย์ เนื่องจากแหล่งกำเนิดหลักมาจากภายนอกอาคาร เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงรถยนต์ การจราจร เป็นต้น

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละตัวแปร พบว่าความหนาแน่นของคนภายในห้องเพิ่มขึ้นส่งผลให้ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องเพิ่มขึ้นไปด้วยอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.014 และ p=0.000) และห้องที่มีอัตราการระบายอากาศสูงจะพบการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000) นอกจากนี้ยังพบว่าห้องที่มีการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะพบความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดสูงไปด้วย โดยเฉพาะห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจะพบฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอนเพิ่มขึ้นด้วย อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p=0.000 และ p=0.003)

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1) ควรศึกษาประสิทธิภาพหรือความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพอากาศและเครื่องมือที่ใช้เจือจางมลพิษอากาศภายในห้อง เช่น เครื่องฟอกอากาศแบบต่างๆ ระบบปรับอากาศที่มีแผงกรองอากาศประสิทธิภาพสูง รวมทั้งพัดลมระบายอากาศ เป็นต้น

2) ควรศึกษาคุณภาพอากาศภายนอกอาคารควบคู่ไปกับการศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคาร

3) ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้น โดยพิจารณาจำนวนห้องให้เท่ากันในแต่ละระบบปรับอากาศและลักษณะห้องที่เหมาะสม เช่น ขนาดห้อง ปัจจัยที่ต้องการศึกษาในแต่ละห้อง เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลทางสถิติที่ชัดเจนมากขึ้น

4) การศึกษานี้เป็นการศึกษาในสภาพจริงและมีกิจกรรมที่แตกต่างกันในแต่ละแผนก ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการศึกษามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง และพบความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน เนื่องจากไม่สามารถควบคุมปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อตัวแปรที่ต้องการศึกษาได้ ดังนั้นควรทำการศึกษาในสถานที่จำลองเพื่อให้ได้แนวโน้มและลดผลกระทบจากปัจจัยอื่นที่ไม่ต้องการศึกษา

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับโรงพยาบาล

1) กรณีอัตราการระบายอากาศไม่เพียงพอ

ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศ เช่น แผนกบริการทางการแพทย์ ควรติดตั้งพัดลมระบายอากาศเพิ่ม ในตำแหน่งที่เหมาะสมและเพิ่มช่องนำอากาศบริสุทธิ์เข้าภายในห้อง

2) กรณีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินมาตรฐาน

ห้องที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง เช่น แผนกผู้ป่วยนอก แผนกบริหารงานทั่วไป ควรติดตั้งพัดลมระบายอากาศเพิ่มจากที่มีอยู่

3) กรณีสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดเกินมาตรฐาน

ห้องที่มีสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดสูง เช่น แผนกบริการทางการแพทย์ ซึ่งลักษณะกิจกรรมส่วนใหญ่เป็นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ ได้แก่ ห้องปรุงยา ห้องเคมีคลินิก ควรติดตั้งระบบดูดอากาศเฉพาะที่และติดตั้งระบบบำบัดอากาศประสิทธิภาพสูง เช่น เครื่องฟอกอากาศ เป็นต้น

4) กรณีฝุ่นละอองเกินมาตรฐาน

ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ มีการเปิดประตู หน้าต่าง อาจช่วยในการระบายอากาศแต่อาจเพิ่มฝุ่นละอองภายในห้อง วิธีควบคุมฝุ่นละอองควรติดตั้งระบบปรับอากาศเพื่อลดผลกระทบของฝุ่นละอองจากภายนอกอาคาร สำหรับฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมภายในห้องควบคุมโดยรักษาความสะอาดภายในห้อง ในห้องที่มีความเสี่ยงสูงควรติดตั้งระบบกรองประสิทธิภาพสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัลยกร ตั้งอุไรวรรณ. 2549. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในจังหวัดสมุทรปราการ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2546. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2550. มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html [19 มิถุนายน 2552]

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2550. มาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html [19 มิถุนายน 2552]

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2553. กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในบรรยากาศทั่วไป [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://infofile.pcd.go.th/law/2_99_air.pdf?CFID=2607822&CFTOKEN=53173003 [25 สิงหาคม 2553]

พรเพ็ญ เพชรสุขศิริ. 2540. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการบริหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์เสมาธรรม.

มหาดไทย, กระทรวง. 2520. ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.oshthai.org/cmslite/download/pdf/3environchem.pdf [25 กรกฎาคม 2552]

จิตรพรรณ ภูษาภักดีภพ และชมภูศักดิ์ พูลเกษ. 2544. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพอากาศภายในอาคารและกลุ่มอาการเจ็บป่วยของพนักงานที่ทำงานในสำนักงานของโรงพยาบาลในจังหวัดชลบุรี. ชลบุรี: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล. 2546. ความชุกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอาการป่วยเหตุอาคารของผู้ที่ทำงานในอาคารสำนักงานในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาเวชศาสตร์ป้องกันและสังคม คณะแพทย์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัติฐพงศ์ เด่นจักรวาฬ. 2548. การกระจายของฝุ่นและเชื้อราบริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัฐพงศ์ แหละหมัน. 2548. อัตราชุกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกลุ่มอาการป่วยเหตุอาคารของเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานภายในโรงพยาบาลที่มีการระบายอากาศไม่เพียงพอ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาเวชศาสตร์ป้องกันและสังคม คณะแพทย์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปุญญานิช บริเวธานันท์. 2549. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองและเชื้อราในอากาศของโรงพยาบาลในเขตปริมณฑล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ. 2551. เอกสารประกอบการสอนชุดวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรม: ประเมิน หน่วยที่ 11-15 .พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ไมตรี สุทธจิตต์. 2545. สารอินทรีย์ไอระเหยและสุขภาพ.พิษวิทยาสาร ปีที่ 12 .ฉบับที่ 1.

รพีพัฒน์ เกริกไกวัล. 2543. องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รัฐเขต มูลรินต๊ะ. 2552. แหล่งกำเนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต. 2538. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์. 2549. การระบายอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ธรรมสาร.

วิกรม เสงคิสิริ และ สสิธร เทพตระการพร. 2548. กลุ่มอาการที่เกิดจากการทำงานในอาคารปิด. วารสารวิชาการกรมอนามัย 28: 26-34.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. 2545. มาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้. พิมพ์ครั้งที่ 1.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. 2551. มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1.

ศรัญญู คำภาบุตร. 2552. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศภายในโรงพยาบาล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมานชัย เลิศกมลวิทย์. 2543.การหาปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก (PM2.5, PM10-2.5, PM10) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นในบรรยากาศ ภายในอาคารและฝุ่นที่บุคคลได้รับ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมชัย บวรกิตติ. 2542. อากาศพิษในอาคาร. เวชศาสตร์สิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์.

สมชัย บวรกิตติ และ รังสรรค์ ปุษปาคม. 2552. ฝุ่นกับผลกระทบต่อสุขภาพป่วย. เวชศาสตร์สิ่งแวดล้อม.กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์.

สมชัย บวรกิตติ, ไพรัช ศรีไสว และชัชวาล จันทร์วิจิตร. 2542. อาคารป่วย. เวชศาสตร์สิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์.

สร้อยสุดา เกสรทอง. 2549. SBS โรคจากการทำงานในตึก. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ใกล้หมอ

สุบิน วงศ์ฝั้น. 2547. แนวทางในการใช้รูปแบบในการไหลเวียนกระแสลมของเรือนไทยในบ้านพักอาศัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุธิกานต์ วงษ์เสถียร. 2548. เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศสำหรับที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน อาคารทั่วไป.พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี: พี เอ็น เค แอนด์ สกายพรินติ้ง.

สาวิตรี พูลมา. 2548. การรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากสิ่งแวดล้อมของผู้พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

American Standard and Test Material Committee (ASTM). 2006. Standard test method for determining air change in single zone by means of a tracer gas dilution. In Annual Book of ASTM Standard, pp. 209-225. Washington DC: ASTM.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1981. ASHRAE Standard 55-1981: Thermal Environmental Condition for Human Occupancy. Atlanta, GA.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1989. ASHRAE Standard 62-1989: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta ,GA

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1981. ASHRAE Standard 55-1992: Thermal Environmental Condition for Human Occupancy. Atlanta, GA.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2003. ASHRAE Standard 62-2001: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta ,GA

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2007. ASHRAE Standard 62.1-2007: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, GA.

Botkin, D. B. and Keller, E. A. 2003. Environmental Science: Earth as a living planet. USA: John Wiley and Sons.

Dascalaki, E.G., Lagoudi A., Balaras C.A. and Gaglia A.G. 2008. Air quality in hospital operating rooms. Building and Environment 43: 1945–1952.

Helmis, C.G., Tzoutzas, J., Flocas, H.A., Halios, C.H., Stathopoulou, O.I., Assimakopoulos, V.D., Panis, V., Apostolatou, M., Sgouros, G. and Adam, E. 2007. Indoor air quality in a dentistry clinic. Science of the Total Environment 377: 349–365.

Institute of Environmental Epidemiology, Ministry of the Environment, Singapore. 1996. Guidelines for good indoor air quality in office premise.

Jaakkola, J.J.K. and Miettinen, P. 1995. Ventilation rate in office buildings and sick building syndrome. Occupational and Environmental Medicine 52:709-714.

Ruotsalainen, R., Jaakkola, N. and Jaakkola, J.J.K. 1993. Ventilation and indoor air quality in Finnish Daycare Centers. Environment International 19: 109-119.

Turiel, I., Hollowell, C.D., Miksch, R.R., Rudy, J.V. and Young, R.A. 1983. The effects of reduced ventilation on indoor air quality in an office building. Atmospheric Environment 17: 51-64.

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2009. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.epa.gov/air/criteria.html [24 สิงหาคม 2552]

Wang, X., Bi, X., Chen, D., Sheng, G. and Fu, J. 2006. Hospital indoor respirable particles and carbonaceous composition. Building and Environment 41: 992–1000.

World Health Organization (WHO). 1988. Indoor air quality: biological contaminants. WHO Regional Office for Europe Publications.

World Health Organization (WHO). 2005. WHO air quality guidelines global update 2005. WHO Regional Office for Europe Publications.

Wyon, D. 1974. The effects of moderate heat stress on typewriting performance. Ergonomics 17: 309-318.

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลปัจจัยทางกายภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 1

แผนก	บริเวณจุดตรวจ	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
ห้องผู้อำนวยการ	โถงรับแขก	0.13	24±0	59±2	0.06±0.04
	ห้องธุรการ	0.17	24±0	52±1	0.08±0.04
	ห้องผู้อำนวยการ รพ.	0.16	25±1	56±1	0.73±0.67
	ห้องรองผู้อำนวยการ	0.20	24±0	53±1	0.18±20
ฝ่ายการเงิน ชั้น 19	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงิน1	0.14	23±1	53±3	0.06±0.04
	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงิน2	0.14	25±0	50±2	0.04±0.03
	ห้องถ่ายเอกสาร	0.21	25±0	50±0	0.05±0.06
	ห้องหัวหน้าฝ่ายการเงิน	0.17	26±0	54±1	0.05±0.03
ฝ่ายบริหารงานทั่วไป ชั้น 19	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหาร1	0.30	23±0	52±1	0.11±0.18
	ห้องหัวหน้าฝ่ายบริหารงาน	0.13	22±0	52±1	0.06±0.08
	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหาร2	0.34	24±0	51±2	0.02±0.02
การพยาบาล ชั้น 19	ห้องทำงานฝ่ายพยาบาล	0.04	24±0	60±0	0.16±0.13
	ห้องหัวหน้าฝ่ายพยาบาล	0.22	23±1	68±0	0.46±0.03
	ห้องประชุมฝ่ายพยาบาล	0.02	30±0	59±0	0.01±0.00
	ห้องรับประทานอาหาร	0.22	28±0	53±0	0.01±0.01
ห้องประชุม	ห้องประชุมผู้บริหาร 1	0.06	29±1	46±1	ND
	ห้องประชุมไนติงเกล	0.03	24±0	56±1	0.25±0.38
ฝ่ายพัสดุ ชั้น 2	ทางเดินหน้าห้องฝ่ายพัสดุ	0.11	31±0	66±1	0.14±0.08
	ห้องสอบราคา	0.28	31±0	66±1	0.04±0.03
	ห้องคลังพัสดุ	0.09	27±0	65±2	0.03±0.03
	ห้องสำนักงานฝ่ายพัสดุ	0.15	25±0	69±2	0.10±0.08

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ตารางที่ ก.1 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 1 (ต่อ)

แผนก	บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
ห้องเอกซเรย์ชั้นใต้ดิน	ห้องที่ 7 ตรวจอัลตราซาวด์	0.15	21±0	63±1	ND
	ห้องที่ 9 เอกซเรย์	0.10	23±0	78±3	0.01±0.01
	ห้องล้างฟิล์ม	0.19	25±0	66±2	ND
	ห้องเอกซเรย์	0.19	23±1	64±6	0.05±0.09
	บริเวณจุดรอตรวจ	0.04	27±0	65±1	ND
MRI	บริเวณจุดรอตรวจ	0.11	24±0	54±3	ND
	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่	0.20	22±0	60±3	0.10±0.19
	ห้องอิเล็กทรอนิกส์	0.10	21±0	60±5	0.12±0.05
	บริเวณโถงทางเดิน	0.22	22±1	67±1	0.07±0.04
ห้องปรุงยาชั้นใต้ดิน	ห้องปรุงยา บริเวณทางเดิน	0.40	25±1	58±2	0.07±0.13
	ห้องผลิตยา	0.40	25±0	54±1	ND
	ห้องธุรการ	0.33	23±0	61±0	0.04±0.08
	ห้องคลังเวชภัณฑ์	0.21	24±0	65±1	ND
ห้องชันสูตรโรคกลางชั้น 4	ห้องภูมิคุ้มกันวิทยาคลินิก	0.12	25±0	57±1	ND
	ห้องงานเคมีคลินิก 1	0.60	24±0	57±1	ND
	ห้องงานเคมีคลินิก 2	1.20	24±0	54±0	ND
	ห้องงานเคมีคลินิก 3	0.32	24±0	53±0	ND
พยาธิวิทยา	ห้องพยาธิวิทยา	0.10	25±1	49±1	0.03±0.05

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 1 (ต่อ)

แผนก	บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
ฉุกเฉินชั้น 1	รอตรวจแผนกฉุกเฉิน	0.48	29±0	71±1	0.10±0.06
	ห้องตรวจแผนกฉุกเฉิน	0.10	26±1	60±1	0.06±0.01
	ห้องสังเกตอาการ	0.05	26±1	70±2	0.14±0.17
อายุรกรรม ชั้น 2	รอตรวจแผนกอายุรกรรม 1	0.24	27±0	76±3	ND
	ห้องตรวจอายุรกรรม 7	0.25	26±1	66±1	ND
	ห้องตรวจอายุรกรรม 6	0.25	26±0	63±1	0.03±0.06
	รอตรวจแผนกอายุรกรรม 2	2.24	27±0	76±1	0.10±0.06
สปสช ชั้น 2	รอตรวจแผนกสปสช. 1	3.57	28±0	64±0	ND
	รอตรวจแผนกสปสช. 2	1.79	27±0	65±2	0.03±0.01
	ห้องตรวจ	0.35	26±1	58±1	0.14±0.01
	ห้องทำแผล	0.35	25±0	61±1	0.02±0.01
ห้องจ่ายยา ชั้น 2	บริเวณรอจ่ายยา 1	1.67	26±0	65±2	0.01±0.01
	บริเวณรอจ่ายยา 2	1.23	24±1	63±3	0.14±0.15
	ห้องเจาะเลือดหมายเลข 22	0.26	25±0	54±1	0.05±0.01
	ห้องจ่ายยา	0.38	24±1	57±2	0.13±0.21
หู ตา คอ จมูก ชั้น 3	บริเวณรอตรวจ 1	3.02	27±0	60±2	0.01±0.01
	บริเวณรอตรวจ 2	1.51	27±0	61±2	0.10±0.13
	ห้องตรวจหมายเลข 7	0.52	26±1	56±1	0.10±0
	ห้องตรวจหมายเลข 5	0.50	25±1	59±1	0.02±0.01
สูตินารี ชั้น 3	บริเวณรอตรวจ 1	1.09	24±0	69±2	0.30±0.26
	บริเวณรอตรวจ 2	1.68	25±0	69±3	0.17±0.28
	ห้องตรวจหมายเลข 5	0.47	25±0	75±1	ND
	ห้องตรวจหมายเลข 6	0.47	24±0	71±0	ND
ทันตกรรม	แผนกทันตกรรม	0.25	23±1	67±9	0.04±0.09
ห้องนวด	ห้องนวด	0.09	26±0	55±1	0.07±0.06

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ตารางที่ ก.1 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 1 (ต่อ)

แผนก	บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ชั้น 15	ห้อง 1501	0.15	28±0	85±2	0.01±0.01
	ห้อง 1503	0.15	29±0	77±2	0.02±0.02
	ห้อง 1506	0.15	24±0	59±2	0.01±0
	เคาน์เตอร์พยาบาล	0.71	28±1	86±1	0.02±0.01
ห้องปลอดเชื้อ ชั้น 17	ห้อง negative pressure	0.10	28±0	56±1	ND
	ห้องทำงานพยาบาล	0.25	25±0	72±5	ND
	ห้อง 1707	0.15	28±0	75±0	ND
	ห้อง 1710	0.15	29±0	74±2	ND
ห้องคลอด ชั้น 7	ห้องพักฟื้นหลังคลอด	0.15	29±0	70±1	0.02±0.03
	ห้องคลอดพิเศษ	0.37	26±0	57±1	ND
ห้องผ่าตัด	ห้องรับประทานอาหาร	0.16	28±0	84±3	ND
ศัลยกรรมกระดูกชาย	ห้องทำงานพยาบาล	0.33	27±1	57±1	0.13±0.17
อายุรกรรมชายสามัญ	ห้องทำงานพยาบาล	0.33	27±1	60±4	0.08±0.16
ห้องพักแพทย์ ชั้น 18	ห้องพักแพทย์ 18/1	0.18	27±0	72±2	0.04±0.01
	ห้องพักแพทย์ 18/8 (VIP)	0.10	25±1	64±3	0.05±0.12
	ห้องพักนักศึกษาแพทย์ 4	0.14	24±0	73±2	0.10±0.13
	ห้องพักแพทย์ใช้ทุน 2	0.14	26±1	64±0	0.09±0.05
ควบคุมสาธารณูปโภค	ห้องฝ่ายโภชนาการ	0.28	26±0	72±1	0.18±0.19
	แผนกซักฟอง(ห้องพับผ้า)	0.04	32±0	52±1	0.13±0.16
	บำบัดน้ำเสีย	0.25	29±0	48±2	ND

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ตารางที่ ก.2 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมตรวจวัดรอบที่ 1

ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
ห้องผ่าตัด	จุดรับถ่ายคนไข้	0.16	25±0	87±1	ND
	ห้องพักฟื้น	0.15	25±1	73±1	0.08±0.16
ห้องคลอด ชั้น 7	ห้องคลอด 1	0.13	29±0	72±2	ND
	ห้องรอคลอด	0.40	26±0	70±2	0.23±0.28
ห้องพักแพทย์ ชั้น 12	ห้อง common room	0.05	26±1	55±2	0.02±0.02
	ห้องพักแพทย์ 1	0.11	28±0	70±1	0.10±0.07
	ห้องพักแพทย์ 2	0.23	27±0	62±0	0.12±0.02
	ห้องพักแพทย์ 3	0.23	27±0	69±1	0.08±0.04

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ตารางที่ ก.3 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติตรวจวัดรอบที่ 1

ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
อายุรกรรมหญิงสามัญ ชั้น9	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	0.49	31±0	66±0	ND
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	0.49	31±0	66±0	ND
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 3	0.49	31±0	62±0	ND
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 4	0.25	31±0	62±0	0.09±0.13
ศัลยกรรมกระดูกชายสามัญชั้น 10	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	0.49	31±0	71±0	0.14±0.13
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	0.49	31±0	72±2	0.16±0.13
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 3	0.49	31±0	71±0	0.06±0.07
อายุรกรรมชายสามัญ ชั้น 14	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	0.43	30±0	70±1	0.42±0.19
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	0.37	31±0	71±0	0.10±0.19
	ห้องผู้ป่วยวัณโรค	0.63	32±0	72±1	ND

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ตารางที่ ก.3 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติตรวจวัดรอบที่ 1 (ต่อ)

ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
ห้องพักพยาบาล ชั้น 7	ห้อง common room	0.16	30±0	74±1	0.26±0.17
	ห้อง rest room	0.20	30±0	74±0	0.02±0.01
	ห้อง 0719	0.21	28±0	83±1	0.29±0.25
	ห้อง 0704	0.15	30±0	79±1	0.02±0.01
ห้องพักพยาบาล ชั้น 8	ห้อง common room	0.08	30±0	71±1	0.31±0.35
	ห้อง rest room	0.08	30±0	67±1	0.11±0.06
	ห้อง 0802	0.08	30±0	66±0	0.04±0.01
	ห้อง 0817	0.35	30±0	66±1	0.13±0.19
ห้องพักพยาบาล ชั้น 9	ห้อง 0904	0.12	30±0	45±3	0.05±0.02
	ห้อง common room	0.13	30±0	70±0	0.06±0.01
	ห้อง 0903	0.11	30±0	70±2	0.09±0.08
	ห้อง 0905	0.11	30±0	69±1	0.18±0.24
ห้องพักพยาบาล ชั้น 10	ห้อง 1001	0.11	29±0	72±0	0.18±0.18
	ห้อง 1002	0.11	30±0	69±1	0.17±0.23
	ห้อง 1004	0.11	30±0	69±0	0.14±0.02
	ห้อง common room	0.11	32±2	65±0	0.18±0.05
สาธารณูปโภค	โรงครัว	0.03	30±1	77±3	0.05±0.04
	หม้อไอน้ำ	0.04	34±0	54±0	0.13±0.17
อาคารจอดรถ	อาคารจอดรถชั้น 2A ตึกเก่า	NA	31±0	64±1	0.14±0.10
	อาคารจอดรถชั้น 2B ตึกเก่า	NA	31±0	64±1	0.07±0.04
	อาคารจอดรถใต้ดิน ชั้น B1A	NA	32±0	62±1	0.03±0.04
	อาคารจอดรถใต้ดิน ชั้น B1B	NA	33±0	58±1	1.60±1.80

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ตารางที่ ก.4 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 2

แผนก	บริเวณจุดตรวจ	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
ห้องผู้อำนวยการ	โถงรับแขก	0.35	29±0	76±1	ND
	ห้องธุรการ	0.33	24±0	63±1	0.22±0.42
	ห้องผู้อำนวยการ รพ.	0.11	27±0	61±1	0.70±0.77
	ห้องรองผู้อำนวยการ	0.20	23±0	61±1	0.12±0.13
ฝ่ายการเงิน ชั้น 19	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงิน1	0.12	25±0	44±1	0.06±0.07
	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงิน2	0.02	26±0	42±1	ND
	ห้องถ่ายเอกสาร	0.14	26±0	53±1	ND
	ห้องหัวหน้าฝ่ายการเงิน	0.09	22±0	57±1	ND
ฝ่ายบริหารงานทั่วไป ชั้น 19	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหาร1	0.23	24±0	58±2	0.03±0.02
	ห้องหัวหน้าฝ่ายบริหารงาน	0.17	23±0	52±1	0.01±0.01
	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหาร2	0.38	25±0	51±2	0.05±0.02
การพยาบาล ชั้น 19	ห้องทำงานฝ่ายพยาบาล	0.11	26±0	52±0	0.17±0.13
	ห้องหัวหน้าฝ่ายพยาบาล	0.22	26±1	56±0	0.04±0.03
	ห้องประชุมฝ่ายพยาบาล	0.03	24±1	48±0	0.06±0.11
	ห้องรับประทานอาหาร	0.27	31±1	64±5	0.17±0.03
ห้องประชุม	ห้องประชุมผู้บริหาร 1	0.06	25±1	57±1	0.23±0.17
	ห้องประชุมไนติงเกล	0.03	24±0	63±1	0.09±0.38
ฝ่ายพัสดุ ชั้น 2	ทางเดินหน้าห้องฝ่ายพัสดุ	0.17	28±0	52±2	ND
	ห้องสอบราคา	0.19	24±0	49±1	ND
	ห้องคลังพัสดุ	0.13	27±1	58±1	ND
	ห้องสำนักงานฝ่ายพัสดุ	0.14	25±0	53±0	ND

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ตารางที่ ก.4 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 2 (ต่อ)

แผนก	บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
ห้องเอกซเรย์ชั้นใต้ดิน	ห้องที่ 7 ตรวจอัลตราซาวด์	0.15	25±0	56±2	ND
	ห้องที่ 9 เอกซเรย์	0.10	24±0	51±2	ND
	ห้องล้างฟิล์ม	0.19	24±0	67±2	ND
	ห้องเอกซเรย์	0.37	24±0	65±1	ND
	บริเวณจุดรอตรวจ	0.04	26±0	61±1	ND
MRI	บริเวณจุดรอตรวจ	0.19	22±0	64±1	ND
	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่	0.15	19±0	61±1	ND
	ห้องอิเล็กทรอนิกส์	0.26	24±0	55±1	ND
	บริเวณโถงทางเดิน	0.16	23±0	55±5	ND
ห้องปรุงยาชั้นใต้ดิน	ห้องปรุงยา บริเวณทางเดิน	0.40	25±0	58±0	0.04±0.07
	ห้องผลิตยา	0.26	25±0	55±1	ND
	ห้องธุรการ	0.44	23±0	59±1	ND
	ห้องคลังเวชภัณฑ์	0.53	24±0	63±1	ND
ห้องชันสูตรโรคกลางชั้น 4	ห้องภูมิคุ้มกันวิทยาคลินิก	0.24	27±0	49±1	ND
	ห้องงานเคมีคลินิก 1	0.20	26±0	57±0	ND
	ห้องงานเคมีคลินิก 2	0.24	25±0	56±0	ND
	ห้องงานเคมีคลินิก 3	0.40	25±0	56±0	ND
พยาธิวิทยา	ห้องพยาธิวิทยา	0.11	24±0	53±1	ND

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.4 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 2 (ต่อ)

แผนก	บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
ฉุกเฉินชั้น 1	รอตรวจแผนกฉุกเฉิน	0.57	27±0	64±0	0.05±0.03
	ห้องตรวจแผนกฉุกเฉิน	0.12	24±0	59±2	0.06±0.07
	ห้องสังเกตอาการ	0.06	24±0	62±0	0.02±0.02
อายุรกรรม ชั้น 2	รอตรวจแผนกอายุรกรรม 1	0.24	27±0	65±2	0.06±0.03
	ห้องตรวจอายุรกรรม 7	0.25	26±0	62±1	ND
	ห้องตรวจอายุรกรรม 6	0.49	25±0	66±1	ND
	รอตรวจแผนกอายุรกรรม 2	2.36	26±0	63±1	0.04±0.03
สปสช ชั้น 2	รอตรวจแผนกสปสช. 1	2.23	28±0	58±0	0.18±0.01
	รอตรวจแผนกสปสช. 2	2.68	28±0	61±1	0.13±0.03
	ห้องตรวจ	0.35	26±0	59±1	0.13±0.05
	ห้องทำแผล	0.35	26±0	66±0	ND
ห้องจ่ายยา ชั้น 2	บริเวณรอจ่ายยา 1	1.40	25±0	66±2	0.17±0.10
	บริเวณรอจ่ายยา 2	2.12	25±0	67±1	0.15±0.12
	ห้องเจาะเลือดหมายเลข 22	0.39	24±0	66±1	0.05±0.06
	ห้องจ่ายยา	0.57	23±0	59±1	0.01±0.01
หู ตา คอ จมูก ชั้น 3	บริเวณรอตรวจ 1	2.57	27±0	70±0	0.24±0.24
	บริเวณรอตรวจ 2	0.91	26±0	70±1	0.36±0.30
	ห้องตรวจหมายเลข 7	0.35	27±0	69±1	0.05±0.01
	ห้องตรวจหมายเลข 5	0.20	25±0	70±1	0.02±0.01
สูตินารี ชั้น 3	บริเวณรอตรวจ 1	0.66	25±0	61±2	0.02±0.02
	บริเวณรอตรวจ 2	0.13	25±0	66±2	0.10±0.05
	ห้องตรวจหมายเลข 5	0.47	24±0	66±1	0.02±0.02
	ห้องตรวจหมายเลข 6	0.63	24±1	65±1	0.03±0.02
ทันตกรรม	แผนกทันตกรรม	0.25	25±0	75±2	ND
ห้องนวด	ห้องนวด	0.09	26±0	67±6	0.01±0.03

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ตารางที่ ก.4 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 2 (ต่อ)

แผนก	บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ชั้น 15	ห้อง 1501	0.37	28±1	59±2	0.11±0.13
	ห้อง 1503	0.44	26±0	51±1	ND
	ห้อง 1506	0.15	26±0	66±1	ND
	เคาน์เตอร์พยาบาล	0.36	26±0	78±3	ND
ห้องปลอดเชื้อ ชั้น 17	ห้อง negative pressure	0.10	28±0	57±1	0.14±0.19
	ห้องทำงานพยาบาล	0.65	27±1	64±1	0.02±0.04
	ห้อง 1707	0.15	29±0	77±0	ND
	ห้อง 1710	0.37	29±0	75±1	0.07±0.08
ห้องคลอด ชั้น 7	ห้องพักฟื้นหลังคลอด	0.15	24±0	55±1	0.03±0.06
	ห้องคลอดพิเศษ	0.19	25±0	58±1	ND
ห้องผ่าตัด	ห้องรับประทานอาหาร	0.06	26±1	73±5	0.29±0.57
ศัลยกรรมกระดูกชาย	ห้องทำงานพยาบาล	0.40	25±0	70±1	0.19±0.11
อายุรกรรมชายสามัญ	ห้องทำงานพยาบาล	0.47	26±1	70±5	0.16±0.25
ห้องพักแพทย์ ชั้น 18	ห้องพักแพทย์ 18/1	0.09	25±0	64±1	0.01±0.01
	ห้องพักแพทย์ 18/8 (VIP)	0.05	25±0	46±1	0.10±0.07
	ห้องพักนักศึกษาแพทย์ 4	0.17	25±1	67±2	0.12±0.09
	ห้องพักแพทย์ใช้ทุน 2	0.06	24±1	59±1	0.11±0.19
ควบคุมสาธารณูปโภค	ห้องฝ่ายโภชนาการ	0.28	31±0	38±1	0.10±0.20
	แผนกซักฟอง(ห้องพับผ้า)	0.04	33±0	64±1	0.06±0.11
	บำบัดน้ำเสีย	0.25	29±1	51±3	ND

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ตารางที่ ก.5 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมตรวจวัดรอบที่ 2

ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
ห้องผ่าตัด	จุดรับถ่ายคนไข้	0.07	26±0	69±0	ND
	ห้องพักฟื้น	0.07	25±0	74±1	ND
ห้องคลอด ชั้น 7	ห้องคลอด 1	0.11	26±0	59±0	ND
	ห้องรอคลอด	0.40	26±0	69±0	ND
ห้องพักแพทย์ ชั้น 12	ห้อง common room	0.05	26±0	53±2	0.02±0.01
	ห้องพักแพทย์ 1	0.11	23±0	68±1	0.04±0.02
	ห้องพักแพทย์ 2	0.23	28±0	75±0	0.03±0.02
	ห้องพักแพทย์ 3	0.23	24±0	60±0	0.14±0.08

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ตารางที่ ก.6 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติตรวจวัดรอบที่ 2

ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
อายุรกรรมหญิงสามัญ ชั้น9	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	0.49	30±0	59±1	0.03±0.01
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	0.49	31±0	58±0	0.02±0.01
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 3	0.49	31±0	57±0	0.11±0.05
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 4	0.25	30±0	60±0	0.01±0.01
ศัลยกรรมกระดูกชายสามัญชั้น 10	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	0.25	30±1	68±1	0.05±0.01
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	0.49	30±0	66±1	ND
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 3	0.25	29±0	74±1	0.06±0.06
อายุรกรรมชายสามัญ ชั้น 14	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	0.43	31±0	63±0	0.17±0.16
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	0.37	31±0	63±0	0.28±0.20
	ห้องผู้ป่วยวัณโรค	0.32	32±0	63±0	0.11±0.09

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ตารางที่ ก.6 ปัจจัยทางกายภาพภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติตรวจวัดรอบที่ 2 (ต่อ)

ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
ห้องพักพยาบาล ชั้น 7	ห้อง common room	0.13	30±0	73±0	ND
	ห้อง rest room	0.10	31±0	64±0	ND
	ห้อง 0719	0.21	30±0	71±0	ND
	ห้อง 0704	0.12	31±0	66±1	0.84± 0.39
ห้องพักพยาบาล ชั้น 8	ห้อง common room	0.13	31±0	71±0	ND
	ห้อง rest room	0.11	31±0	67±0	ND
	ห้อง 0802	0.17	32±0	67±1	0.18±0.03
	ห้อง 0817	0.69	31±0	68±1	0.21±0.08
ห้องพักพยาบาล ชั้น 9	ห้อง 0904	0.12	31±0	70±0	ND
	ห้อง common room	0.11	31±0	54±0	ND
	ห้อง 0903	0.11	31±0	67±0	ND
	ห้อง 0905	0.11	32±0	62±0	0.36±0.08
ห้องพักพยาบาล ชั้น 10	ห้อง 1001	0.11	31±0	74±0	ND
	ห้อง 1002	0.11	32±0	67±0	ND
	ห้อง 1004	0.11	31±0	69±0	0.17
	ห้อง common room	0.11	31±0	73±0	ND
สาธารณูปโภค	โรงครัว	0.04	32±0	63±1	0.16±0.07
	หม้อไอน้ำ	0.04	36±0	51±1	ND
อาคารจอดรถ	อาคารจอดรถชั้น 2A ตึกเก่า	NA	34±1	21±5	1.10±0.32
	อาคารจอดรถชั้น 2B ตึกเก่า	NA	32±0	27±1	ND
	อาคารจอดรถใต้ดิน ชั้น B1A	NA	36±0	19±0	ND
	อาคารจอดรถใต้ดิน ชั้น B1B	NA	36±0	15±0	ND

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.01)

ตารางที่ ก.7 ปัจจัยทางกายภาพบริเวณภายนอกอาคาร

บริเวณจุดตรวจวัด	Density (คนต่อตารางเมตร)	Temp. (องศาเซลเซียส)	Relative Humidity (%)	Velocity (เมตรต่อวินาที)
หน้าอาคารอนุสรณ์ 100ปี	NA	33	54	0.37
ลานออกกำลังกาย	NA	31	69	0.43
ระเบียงแผนกศัลยกรรมกระดูกชาย ชั้น 10	NA	31	65	0.11
ระเบียงแผนกอายุรกรรมสามัญหญิง ชั้น 9	NA	32	54	0.17
ระเบียงห้อง common room ชั้น 7	NA	33	65	0.10
ระเบียงห้อง common room ชั้น 8	NA	32	65	0.20
ระเบียงห้อง common room ชั้น 10	NA	32	69	0.10
ระเบียงห้อง common room ชั้น 9	NA	32	70	0.10
ข้างตึกเอื้อประชา	NA	32	60	0.37
ดาดฟ้า รอบที่ 1	NA	33	54	1.1
ดาดฟ้า รอบที่ 2	NA	35	47	0.85

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลคุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 1

แผนก	บริเวณจุดตรวจ	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)
ห้องผู้อำนวยการ	โถงรับแขก	15.4	7.4	ND	517±10	NA
	ห้องธุรการ	8.5	4.1	ND	655±55	NA
	ห้องผู้อำนวยการ รพ.	9.2	4.4	ND	545±26	3.48
	ห้องรองผู้อำนวยการ	9.6	4.6	ND	443±16	1.26
ฝ่ายการเงิน ชั้น 19	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงิน1	6.0	2.9	ND	787±99	NA
	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงิน2	13.5	6.5	ND	852±95	NA
	ห้องถ่ายเอกสาร	5.8	2.8	ND	711±101	NA
	ห้องหัวหน้าฝ่ายการเงิน	5.4	2.6	ND	782±82	NA
ฝ่ายบริหารงานทั่วไป ชั้น 19	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหาร1	5.9	2.8	ND	1033±11	NA
	ห้องหัวหน้าฝ่ายบริหารงาน	4.8	2.3	ND	1048±44	0.18
	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหาร2	5.2	2.5	ND	1290±13	NA
การพยาบาล ชั้น 19	ห้องทำงานฝ่ายพยาบาล	6.9	3.3	ND	493±8	NA
	ห้องหัวหน้าฝ่ายพยาบาล	7.2	3.4	ND	418±7	3.72
	ห้องประชุมฝ่ายพยาบาล	7.9	3.8	ND	518±98	5.64
	ห้องรับประทานอาหาร	7.1	3.4	ND	500±35	5.10
ห้องประชุม	ห้องประชุมผู้บริหาร 1	86.5	17.9	0.7±0.5	771±35	2.34
	ห้องประชุมไนติงเกล	16.9	7.2	ND	526±13	1.62
ฝ่ายพัสดุ ชั้น 2	ทางเดินหน้าห้องฝ่ายพัสดุ	16.9	8.1	ND	494±7	NA
	ห้องสอบราคา	12.9	6.2	ND	522±20	7.74
	ห้องคลังพัสดุ	11.3	5.4	ND	595±36	NA
	ห้องสำนักงานฝ่ายพัสดุ	11.6	5.6	ND	559±38	NA

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.1 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 1 (ต่อ)

แผนก	บริเวณจุดตรวจวัด	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)
ห้องเอกซเรย์ชั้นใต้ดิน	ห้องที่ 7 ตรวจอัลตราซาวด์	9.1	5.4	ND	562±14	NA
	ห้องที่ 9 เอกซเรย์	2.0	1.8	ND	580±16	NA
	ห้องล้างฟิล์ม	4.8	3.4	ND	576±16	NA
	ห้องเอกซเรย์	6.8	4.9	ND	550±14	NA
	บริเวณจุดรอตรวจ	13.0	5.3	ND	553±50	NA
MRI	บริเวณจุดรอตรวจ	9.4	4.8	ND	530±18	NA
	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่	11.1	5.3	ND	711±107	1.26
	ห้องอิเล็กทรอนิกส์	5.0	2.9	ND	531±86	NA
	บริเวณโถงทางเดิน	3.7	2.8	ND	462±11	NA
ห้องปรุงยาชั้นใต้ดิน	ห้องปรุงยา บริเวณทางเดิน	25.9	9.0	ND	575±75	1.14
	ห้องผลิตยา	18.5	7.9	ND	677±113	1.98
	ห้องธุรการ	54.6	13.9	ND	498±16	2.58
	ห้องคลังเวชภัณฑ์	12.6	4.4	ND	803±37	1.62
ห้องชันสูตรโรคกลางชั้น 4	ห้องภูมิคุ้มกันวิทยาคลินิก	8.6	4.1	ND	619±64	NA
	ห้องงานเคมีคลินิก 1	7.9	3.9	ND	523±61	NA
	ห้องงานเคมีคลินิก 2	7.4	3.5	ND	546±22	NA
	ห้องงานเคมีคลินิก 3	7.0	3.3	ND	581±36	NA
พยาธิวิทยา	ห้องพยาธิวิทยา	21.0	5.0	ND	689±13	NA

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.1 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 1 (ต่อ)

แผนก	บริเวณจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)
ฉุกเฉินชั้น 1	รอตรวจแผนกฉุกเฉิน	21.2	10.2	ND	481±15	NA
	ห้องตรวจแผนกฉุกเฉิน	21.7	10.4	ND	404±25	3.18
	ห้องสังเกตอาการ	24.5	11.8	ND	552±31	1.68
อายุรกรรม ชั้น 2	รอตรวจแผนกอายุรกรรม 1	21.1	10.1	ND	443±61	NA
	ห้องตรวจอายุรกรรม 7	18.9	9.0	ND	628±69	NA
	ห้องตรวจอายุรกรรม 6	20.6	9.8	ND	479±13	NA
	รอตรวจแผนกอายุรกรรม 2	27.1	9.5	ND	618±22	NA
สปสช ชั้น 2	รอตรวจแผนกสปสช. 1	22.4	10.7	ND	669±27	NA
	รอตรวจแผนกสปสช. 2	11.4	5.5	ND	705±10	NA
	ห้องตรวจ	12.8	6.1	ND	806±39	NA
	ห้องทำแผล	15.2	7.3	ND	795±19	7.74
ห้องจ่ายยา ชั้น 2	บริเวณรอจ่ายยา 1	15.3	7.3	ND	966±28	NA
	บริเวณรอจ่ายยา 2	12.6	6.0	ND	950±23	NA
	ห้องเจาะเลือดหมายเลข 22	24.4	11.7	ND	1003±19	8.52
	ห้องจ่ายยา	11.9	5.7	ND	855±92	NA
หู ตา คอ จมูก ชั้น 3	บริเวณรอตรวจ 1	17.0	8.2	ND	968±66	NA
	บริเวณรอตรวจ 2	18.1	8.7	ND	777±127	NA
	ห้องตรวจหมายเลข 7	18.7	8.9	ND	679±101	NA
	ห้องตรวจหมายเลข 5	19.7	9.4	ND	728±95	NA
สูตินารี ชั้น 3	บริเวณรอตรวจ 1	27.7	13.3	ND	772±101	NA
	บริเวณรอตรวจ 2	23.2	11.1	ND	784±86	NA
	ห้องตรวจหมายเลข 5	27.0	12.9	ND	518±19	NA
	ห้องตรวจหมายเลข 6	28.4	13.6	ND	463±36	NA
ทันตกรรม	แผนกทันตกรรม	19.7	2.3	ND	479±55	NA
ห้องนวด	ห้องนวด	17.1	7.3	ND	458±22	1.62

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.1 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 1 (ต่อ)

แผนก	บริเวณจุดตรวจวัด	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)
ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ชั้น 15	ห้อง 1501	10.9	5.7	ND	412±23	NA
	ห้อง 1503	17.3	8.4	ND	522±9	NA
	ห้อง 1506	17.5	7.3	ND	457±43	NA
	เคาน์เตอร์พยาบาล	24.2	13.8	ND	559±23	NA
ห้องปลอดเชื้อ ชั้น 17	ห้อง negative pressure	3.0	0.6	ND	598±49	NA
	ห้องทำงานพยาบาล	8.8	5.2	ND	556±19	NA
	ห้อง 1707	11.5	6.8	ND	484±7	NA
	ห้อง 1710	12.0	7.3	ND	498±14	NA
ห้องคลอด ชั้น 7	ห้องพักฟื้นหลังคลอด	38.6	18.5	ND	568±15	NA
	ห้องคลอดพิเศษ	27.0	12.9	ND	413±61	NA
ห้องผ่าตัด	ห้องรับประทานอาหาร	21.6	10.3	ND	465±34	NA
ศัลยกรรมกระดูกชาย	ห้องทำงานพยาบาล	13.0	8.7	ND	534±97	NA
อายุรกรรมชายสามัญ	ห้องทำงานพยาบาล	8.8	6.5	0.3±0.3	615±66	NA
ห้องพักแพทย์ ชั้น 18	ห้องพักแพทย์ 18/1	6.5	3.1	ND	410±17	2.94
	ห้องพักแพทย์ 18/8 (VIP)	16.0	7.7	ND	599±39	2.16
	ห้องพักนักศึกษาแพทย์ 4	14.2	6.8	ND	620±33	1.80
	ห้องพักแพทย์ใช้ทุน 2	10.1	4.8	ND	554±12	1.86
ควบคุมสาธารณูปโภค	ห้องฝ่ายโภชนาการ	11.6	5.8	ND	403±125	NA
	แผนกซักฟอง(ห้องพับผ้า)	103.4	25.5	1.5±0.3	739±10	0.54
	ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย	23.1	10.4	0.9±0.6	540±45	3.24

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.2 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมตรวจวัดรอบที่ 1

ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)
ห้องผ่าตัด	จุดรับถ่ายคนไข้	29.1	14.0	ND	404±20	NA
	ห้องพักฟื้น	25.4	12.2	ND	533±16	NA
ห้องคลอด ชั้น 7	ห้องคลอด 1	38.2	18.3	ND	574±17	NA
	ห้องรอคลอด	20.7	9.9	ND	525±7	NA
ห้องพักแพทย์ ชั้น 12	ห้อง common room	14.3	6.9	ND	464±52	NA
	ห้องพักแพทย์ 1	19.3	9.2	ND	565±17	3.78
	ห้องพักแพทย์ 2	13.5	6.5	ND	576	NA
	ห้องพักแพทย์ 3	16.9	8.1	ND	453	NA

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.3 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติตรวจวัดรอบที่ 1

ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)
อายุรกรรมหญิงสามัญ ชั้น9	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	50.1	24.0	ND	508±2	NA
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	63.4	17.2	ND	508±2	NA
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 3	23.5	13.0	ND	499±18	NA
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 4	20.5	13.3	ND	478±1	NA
ศัลยกรรมกระดูกชายสามัญชั้น 10	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	43.7	12.9	ND	496±3	NA
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	19.7	9.3	ND	514±15	NA
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 3	15.1	5.7	ND	476±11	NA
อายุรกรรมชายสามัญ ชั้น 14	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	31.2	14.9	ND	507±11	NA
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	29.2	16.1	ND	520±17	NA
	ห้องผู้ป่วยวัณโรค	24.7	10.4	ND	512±10	NA

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.3 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติตรวจวัดรอบที่ 1 (ต่อ)

ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)
ห้องพักพยาบาลชั้น 7	ห้อง common room	71.8	34.4	ND	578±20	17.64
	ห้อง rest room	71.8	34.4	ND	438±45	25.14
	ห้อง 0719	36.6	17.5	ND	489±8	7.20
	ห้อง 0704	24.6	11.8	ND	403±42	2.58
ห้องพักพยาบาลชั้น 8	ห้อง common room	15.6	7.5	ND	509±12	9.84
	ห้อง rest room	3.3	1.6	ND	484±7	11.58
	ห้อง 0802	19.5	9.4	ND	492±5	4.98
	ห้อง 0817	22.0	10.6	ND	482±7	3.54
ห้องพักพยาบาลชั้น 9	ห้อง 0904	22.9	11.0	ND	596±27	4.26
	ห้อง common room	11.1	5.3	ND	537±18	2.40
	ห้อง 0903	87.3	41.8	ND	534±60	7.98
	ห้อง 0905	14.6	7.0	ND	489±13	11.34
ห้องพักพยาบาลชั้น 10	ห้อง 1001	23.8	11.4	ND	486±6	13.32
	ห้อง 1002	20.5	9.8	ND	532±55	18.60
	ห้อง 1004	22.2	10.6	ND	520±8	8.70
	ห้อง common room	17.9	8.6	ND	503±34	21.60
สาธารณูปโภค	โรงครัว	18.7	7.3	ND	475±16	NA
	หม้อไอน้ำ	19.1	7.4	0.6±0.0	484±16	NA
อาคารจอดรถ	อาคารจอดรถชั้น2Aตึกเก่า	16.0	7.7	0.4±0.2	465±4	NA
	อาคารจอดรถชั้น2Bตึกเก่า	27.0	13.8	1.6±1.3	517±48	NA
	อาคารจอดรถใต้ดิน B1A	18.4	7.6	1.4±0.3	475±34	NA
	อาคารจอดรถใต้ดิน B1B	16.9	7.9	2.3±1.1	460±13	NA

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.4 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 2

แผนก	บริเวณจุดตรวจ	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)	TVOC (ส่วนในล้านส่วน)
ห้องผู้อำนวยการ	โถงรับแขก	76.3	33.4	ND	714±16	NA	0.1±0.0
	ห้องธุรการ	40.3	24.0	ND	649±12	NA	0.2±0.1
	ห้องผู้อำนวยการ รพ.	51.2	25.7	ND	585±11	2.48	0.1±0.1
	ห้องรองผู้อำนวยการ	41.9	23.6	ND	619±6	2.89	0.1±0.0
ฝ่ายการเงิน ชั้น 19	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงิน1	32.2	16.3	ND	1056±38	NA	0.4±0.0
	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงิน2	23.4	14.2	ND	1161±46	NA	0.6±0.0
	ห้องถ่ายเอกสาร	16.2	11.8	ND	1092±5	1.20	0.5±0.1
	ห้องหัวหน้าฝ่ายการเงิน	20.9	12.7	ND	994±7	0.66	0.3±0.0
ฝ่ายบริหารงานทั่วไป ชั้น 19	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหาร1	27.1	15.0	ND	830±29	NA	0.6±0.1
	ห้องหัวหน้าฝ่ายบริหารงาน	20.1	14.3	ND	741±12	0.66	0.3±0.0
	ห้องเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหาร2	29.8	14.7	ND	848±4	NA	0.6±0.0
การพยาบาล ชั้น 19	ห้องทำงานฝ่ายพยาบาล	30.1	21.1	ND	539±8	NA	0.1±0.1
	ห้องหัวหน้าฝ่ายพยาบาล	22.5	18.3	ND	526±7	3.78	0.2±0.0
	ห้องประชุมฝ่ายพยาบาล	18.7	14.4	ND	787±7	1.80	0.1±0.0
	ห้องรับประทานอาหาร	28.7	15.7	ND	444±38	7.02	0.1±0.0
ห้องประชุม	ห้องประชุมผู้บริหาร 1	23.1	11.8	ND	510±9	3.66	0.1±0.0
	ห้องประชุมไนติงเกล	30.3	22.8	ND	446±13	2.34	ND
ฝ่ายพัสดุ ชั้น 2	ทางเดินหน้าห้องฝ่ายพัสดุ	37.1	21.3	ND	751±19	NA	ND
	ห้องสอบราคา	27.5	20.8	ND	733±15	2.04	0.1±0.0
	ห้องคลังพัสดุ	17.6	13.8	ND	581±5	2.28	0.4±0.1
	ห้องสำนักงานฝ่ายพัสดุ	14.1	10.2	ND	721±7	2.04	0.4±0.0

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.4 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 2 (ต่อ)

แผนก	บริเวณจุดตรวจวัด	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)	TVOC (ส่วนในล้านส่วน)
ห้องเอกซเรย์ชั้นใต้ดิน	ห้องที่ 7 ตรวจอัลตราซาวด์	19.3	11.8	ND	897±26	NA	0.4±0.0
	ห้องที่ 9 เอกซเรย์	22.6	11.4	ND	840±16	NA	0.5±0.1
	ห้องล้างฟิล์ม	32.8	20.9	ND	750±16	NA	0.4±0.1
	ห้องเอกซเรย์	41.5	21.8	ND	680±18	NA	0.2±0.1
	บริเวณจุดรอตรวจ	29.8	18.5	ND	757±50	NA	0.2±0.1
MRI	บริเวณจุดรอตรวจ	11.0	7.8	ND	871±10	NA	0.3±0.0
	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่	18.0	10.9	ND	849±7	1.80	0.4±0.1
	ห้องอิเล็กทรอนิกส์	10.7	8.0	ND	967±46	NA	0.4±0.1
	บริเวณโถงทางเดิน	11.9	8.0	ND	776±20	NA	0.2±0.1
ห้องปรุงยาชั้นใต้ดิน	ห้องปรุงยา บริเวณทางเดิน	39.7	12.1	ND	743±41	2.30	3.2±0.2
	ห้องผลิตยา	47.3	12.2	ND	703±28	2.64	3.0±0.1
	ห้องธุรการ	26.2	10.8	ND	1032±25	2.04	1.7±0.0
	ห้องคลังเวชภัณฑ์	18.2	9.2	ND	705±17	1.68	1.2±0.0
ห้องชันสูตรโรคกลางชั้น 4	ห้องภูมิคุ้มกันวิทยาคลินิก	13.2	4.7	ND	658±39	1.26	1.5±0.1
	ห้องงานเคมีคลินิก 1	19.8	6.2	ND	638±13	NA	1.1±0.1
	ห้องงานเคมีคลินิก 2	16.9	5.6	ND	631±17	NA	0.8±0.0
	ห้องงานเคมีคลินิก 3	13.9	4.7	ND	638±18	NA	0.5±0.0
พยาธิวิทยา	ห้องพยาธิวิทยา	27.3	17.0	ND	1014±33	0.60	0.5±0.0

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.4 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 2 (ต่อ)

แผนก	บริเวณจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)	TVOC (ส่วนในล้านส่วน)
ฉุกเฉินชั้น 1	รอตรวจแผนกฉุกเฉิน	43.3	24.1	ND	556±7	NA	0.1±0.0
	ห้องตรวจแผนกฉุกเฉิน	51.8	37.2	ND	653±7	2.47	0.6±0.1
	ห้องสังเกตอาการ	25.9	17.1	ND	546±15	1.88	0.2±0.0
อายุรกรรม ชั้น 2	รอตรวจแผนกอายุรกรรม 1	65.9	14.7	ND	971±17	NA	0.4±0.1
	ห้องตรวจอายุรกรรม 7	32.3	12.9	ND	695±8	NA	0.3±0.1
	ห้องตรวจอายุรกรรม 6	29.2	13.3	ND	623±3	NA	0.2±0.0
	รอตรวจแผนกอายุรกรรม 2	44.6	13.5	ND	920±34	NA	0.4±0.0
สปสช ชั้น 2	รอตรวจแผนกสปสช. 1	40.7	14.1	ND	983±36	NA	0.4±0.0
	รอตรวจแผนกสปสช. 2	64.0	17.3	ND	1002±44	NA	0.5±0.1
	ห้องตรวจ	40.1	18.5	ND	980±10	NA	0.5±0.1
	ห้องทำแผล	48.5	19.2	ND	712±14	4.56	0.3±0.1
ห้องจ่ายยา ชั้น 2	บริเวณรอจ่ายยา 1	64.0	33.4	ND	851±20	NA	1.1±0.1
	บริเวณรอจ่ายยา 2	64.4	29.0	ND	847±15	NA	0.8±0.1
	ห้องเจาะเลือดหมายเลข 22	41.1	25.6	ND	768±36	4.61	2.0±0.1
	ห้องจ่ายยา	38.3	21.8	ND	1178±69	NA	0.9±0.0
หู ตา คอ จมูก ชั้น 3	บริเวณรอตรวจ 1	59.1	22.3	ND	1158±23	NA	0.5±0.0
	บริเวณรอตรวจ 2	46.9	23.5	ND	1076±46	NA	0.5±0.1
	ห้องตรวจหมายเลข 7	49.4	32.7	ND	922±49	NA	0.1±0.1
	ห้องตรวจหมายเลข 5	42.7	27.5	ND	697±28	NA	0.4±0.1
สูตินารี ชั้น 3	บริเวณรอตรวจ 1	55.2	18.6	ND	1309±39	NA	0.5±0.0
	บริเวณรอตรวจ 2	44.9	21.5	ND	1231±62	NA	0.5±0.1
	ห้องตรวจหมายเลข 5	40.9	28.0	ND	1055±90	NA	0.5±0.0
	ห้องตรวจหมายเลข 6	37.3	22.4	ND	1120±56	NA	0.3±0.0
ทันตกรรม	แผนกทันตกรรม	26.0	16.4	ND	560±37	NA	0.2±0.0
ห้องนวด	ห้องนวด	19.9	9.4	ND	574±14	1.96	ND

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.4 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรวจวัดรอบที่ 2 (ต่อ)

แผนก	บริเวณจุดตรวจวัด	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)	TVOC (ส่วนในล้านส่วน)
ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ชั้น 15	ห้อง 1501	31.5	18.7	ND	715±49	1.76	0.1±0.1
	ห้อง 1503	26.7	15.4	ND	761±18	1.35	0.1±0.1
	ห้อง 1506	23.2	15.1	ND	532±25	1.70	0.1±0.1
	เคาน์เตอร์พยาบาล	31.2	23.8	ND	598±65	4.36	ND
ห้องปลอดเชื้อ ชั้น 17	ห้อง negative pressure	7.3	3.2	ND	783±6	NA	0.1±0.1
	ห้องทำงานพยาบาล	35.7	29.5	ND	778±100	NA	0.1±0.0
	ห้อง 1707	60.0	48.9	ND	537±6	NA	ND
	ห้อง 1710	66.9	52.3	ND	570±21	NA	0.1±0.1
ห้องคลอด ชั้น 7	ห้องพักฟื้นหลังคลอด	26.2	12.3	ND	636±14	NA	0.1±0.0
	ห้องคลอดพิเศษ	26.7	12.0	ND	552±12	NA	ND
ห้องผ่าตัด	ห้องรับประทานอาหาร	32.4	21.9	ND	882±17	NA	1.1±0.3
ศัลยกรรมกระดูกชาย	ห้องทำงานพยาบาล	23.5	17.9	ND	664±11	2.22	0.2±0.3
อายุรกรรมชายสามัญ	ห้องทำงานพยาบาล	33.6	21.0	ND	692±115	2.16	ND
ห้องพักแพทย์ ชั้น 18	ห้องพักแพทย์ 18/1	16.7	10.2	ND	479±19	2.94	ND
	ห้องพักแพทย์ 18/8 (VIP)	22.5	10.7	ND	581±14	1.78	ND
	ห้องพักนักศึกษาแพทย์ 4	13.0	8.2	ND	555±19	1.84	0.1±0.0
	ห้องพักแพทย์ใช้ทุน 2	27.6	20.9	ND	573±14	1.52	0.1±0.0
ควบคุมสาธารณูปโภค	ห้องฝ่ายโภชนาการ	110.6	81.4	ND	517±30	2.70	0.6±1
	แผนกซักฟอง(ห้องพับผ้า)	41.8	21.1	ND	440±13	15.42	ND
	บำบัดน้ำเสีย	25.9	17.4	ND	711±17	3.06	0.1±0.0

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.5 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมตรวจวัดรอบที่ 2

ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)	TVOC (ส่วนในล้านส่วน)
ห้องผ่าตัด	จุดรับถ่ายคนไข้	32.0	29.2	ND	581±6	NA	0.3±0.0
	ห้องพักฟื้น	31.3	28.8	ND	583±5	NA	1.1±0.2
ห้องคลอด ชั้น 7	ห้องคลอด 1	19.1	9.7	ND	517±38	NA	ND
	ห้องรอคลอด	17.4	11.1	ND	571±14	NA	ND
ห้องพักแพทย์ ชั้น 12	ห้อง common room	21.1	12.4	ND	563±16	2.57	0.1±0.0
	ห้องพักแพทย์ 1	21.2	14.1	ND	661±8	3.70	0.2±0.1
	ห้องพักแพทย์ 2	28.1	19.6	ND	519±8	3.00	0.2±0.0
	ห้องพักแพทย์ 3	16.1	18.8	ND	529±8	4.05	0.1±0.0

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.6 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติตรวจวัดรอบที่ 2

ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)	TVOC (ส่วนในล้านส่วน)
อายุรกรรมหญิงสามัญ ชั้น9	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	26.0	15.4	ND	435±12	NA	ND
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	30.8	17.0	ND	452±5	NA	0.1±0.1
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 3	27.0	14.7	ND	457±13	NA	0.1±0.0
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 4	31.0	17.8	ND	450±28	NA	ND
ศัลยกรรมกระดูกชายสามัญ	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	35.8	17.7	ND	450±7	NA	0.1±0.1
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	34.6	19.7	ND	470±19	NA	0.1±0.0
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 3	33.4	19.2	ND	447±4	NA	0.1±0.0
อายุรกรรมชายสามัญ ชั้น 14	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 1	55.5	35.2	ND	461±12	NA	ND
	บริเวณเตียงคนไข้ จุดที่ 2	38.9	25.4	ND	486±29	NA	ND
	ห้องผู้ป่วยวัณโรค	37.5	24.6	ND	521±10	NA	ND

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.6 คุณภาพอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติตรวจวัดรอบที่ 2 (ต่อ)

ตึก/ชั้น	บริเวณจุดตรวจวัด	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	ACH (ต่อชั่วโมง)	TVOC (ส่วนในล้านส่วน)
ห้องพักพยาบาล ชั้น 7	ห้อง common room	24.4	15.0	ND	442±3	16.80	ND
	ห้อง rest room	39.7	17.7	ND	487±4	5.28	ND
	ห้อง 0719	26.9	17.2	ND	407±4	13.32	ND
	ห้อง 0704	35.3	15.3	ND	480±9	6.60	ND
ห้องพักพยาบาล ชั้น 8	ห้อง common room	31.7	18.0	ND	458±8	7.02	ND
	ห้อง rest room	30.5	16.2	ND	468±19	6.60	ND
	ห้อง 0802	19.4	15.3	ND	473±11	4.92	ND
	ห้อง 0817	33.4	16.1	ND	489±19	3.84	ND
ห้องพักพยาบาล ชั้น 9	ห้อง 0904	28.9	14.7	ND	489±11	3.90	ND
	ห้อง common room	30.3	15.4	ND	442±3	17.52	ND
	ห้อง 0903	25.4	14.1	ND	489±17	6.60	ND
	ห้อง 0905	25.2	13.1	ND	415±2	7.80	ND
ห้องพักพยาบาล ชั้น 10	ห้อง 1001	33.3	20.0	ND	458±9	17.16	ND
	ห้อง 1002	25.7	15.8	ND	476±17	15.48	ND
	ห้อง 1004	22.3	16.0	ND	460±12	7.14	ND
	ห้อง common room	30.6	19.3	ND	430±13	15.54	ND
สาธารณูปโภค	โรงครัว	39.2	24.9	ND	454±12	NA	ND
	หม้อไอน้ำ	41.2	23.0	ND	484±4	NA	ND
อาคารจอดรถ	อาคารจอดรถชั้น2Aตึกเก่า	75.5	45.3	0.1±0.1	427±9	NA	0.1±0.0
	อาคารจอดรถชั้น2Bตึกเก่า	79.8	55.9	0.3±0.1	439±20	NA	0.2±0.1
	อาคารจอดรถใต้ดิน B1A	77.0	50.9	2±0.7	479±9	NA	0.2±0.1
	อาคารจอดรถใต้ดิน B1B	55.1	40.9	2.5±1.2	463±30	NA	0.3±0.1

หมายเหตุ NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ตารางที่ ข.7 คุณภาพอากาศบริเวณภายนอกอาคาร

บริเวณจุดตรวจวัด	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	CO (ส่วนในล้านส่วน)	CO_2 (ส่วนในล้านส่วน)	TVOC (ส่วนในล้านส่วน)
หน้าอาคารอนุสรณ์ 100ปี	25.8	15.4	0.20	434	0.2
ลานออกกำลังกาย	57.0	28.4	0.10	406	0.1
ระเบียงแผนกศัลยกรรมกระดูกชาย ชั้น 10	37.3	23.5	ND	420	0.1
ระเบียงแผนกอายุรกรรมสามัญหญิง ชั้น 9	24.1	13.3	ND	431	0.1
ระเบียงห้อง common room ชั้น 7	33.5	17.2	ND	422	ND
ระเบียงห้อง common room ชั้น 8	37.1	17.9	ND	441	ND
ระเบียงห้อง common room ชั้น 10	31.6	19.7	ND	436	ND
ระเบียงห้อง common room ชั้น 9	32.6	15.1	ND	428	ND
ข้างตึกเอื้อประชา	47.3	36.9	0.21	421	0.2
ดาดฟ้า รอบที่ 1	20.5	11.9	ND	418	ND
ดาดฟ้า รอบที่ 2	25.6	12.5	0.1	435	ND

หมายเหตุ ND = ตรวจวัดไม่พบ (ND < 0.1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกฤษฎากร ศิริ เกิดเมื่อวันที่ 6 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2550 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551

การเผยแพร่วิทยานิพนธ์

กฤษฎากร ศิริ และ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์. 2553. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาลกลาง. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมและการจัดการสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 2. 18-19 มีนาคม 2553 ณ อาคารสถาบัน 2 ชั้น 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย