

องค์ประกอบธาตุโลหะและปริมาณความเข้มข้นในฝุ่นละอองขนาดเล็ก ภายในห้องพักผู้ป่วยวิกฤตของ
โรงพยาบาล



นางสาวแสงสุรีย์ ศรีสะอาด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPOSITION AND MASS CONCENTRATION OF METAL ELEMENTS IN FINE
PARTICULATE MATTERS IN INTENSIVE CARE UNIT OF THE HOSPITAL

Miss Sangsuree Srisa-ard



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

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

องค์ประกอบธาตุโลหะและปริมาณความเข้มข้นในฝุ่น
ละอองขนาดเล็ก ภายในห้องพักผู้ป่วยวิกฤตของ
โรงพยาบาล

โดย

นางสาวแสงสุรีย์ ศรีสะอาด

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรรศนีย์ พุกษาสีทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร ชูตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรรศนีย์ พุกษาสีทธิ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.ธัญภัสสร ทองเย็น)

แสงสุรีย์ ศรีสะอาด : องค์ประกอบธาตุโลหะและปริมาณความเข้มข้นในฝุ่นละอองขนาดเล็ก ภายในห้องพักผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาล (COMPOSITION AND MASS CONCENTRATION OF METAL ELEMENTS IN FINE PARTICULATE MATTERS IN INTENSIVE CARE UNIT OF THE HOSPITAL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วรรณีย์ พุกษาสีทธิ์, 142 หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ $PM_{2.5-10}$ และ PM_{10} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบและห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวกของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพในฝุ่นละอองด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอน และวิเคราะห์เชิงปริมาณของธาตุ 13 ชนิด ได้แก่ Al V Cr Mn Fe Co Ni Cu Zn As Cd Sb Pb ด้วยเทคนิค ICP-MS พร้อมทั้งจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุในฝุ่นละอองด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA) และ Enrichment Factor (EF) ผลการศึกษาพบว่า ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษมีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ $PM_{2.5-10}$ และ PM_{10} ในช่วง 1.24-10.80, 2.74-11.37 และ 5.13-14.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ $PM_{2.5-10}$ และ PM_{10} ในช่วง 2.03-3.05, 5.32-5.44 และ 7.37-8.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ $PM_{2.5-10}$ และ PM_{10} ในช่วง 1.64-2.70, 4.37-4.58 และ 6.01-9.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ จากทั้ง 3 ห้อง มีธาตุที่พบเฉพาะภายในอาคารคือ Al ธาตุที่พบเฉพาะภายนอกอาคารคือ Cu และ Ni ธาตุที่พบทั้งภายในและภายนอกอาคารคือ Si Cl K Ti Fe Mn Zn และ Cr ชนิดของธาตุจากฝุ่นละอองภายในอาคารที่คล้ายคลึงกับ *Curvularia lunata* (ราดำ) ได้แก่ Cl K Ti Fe Zn Cr และ Mn และ *Fusarium* spp. (ราขาว) ได้แก่ Cl K Ti Fe Zn และ Cr ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองภายในอาคารทั้ง 3 ห้อง และภายนอกอาคาร มีธาตุปริมาณหลัก ($>10 \text{ ng}/\text{m}^3$) ที่พบคือ Al Fe และ Zn ธาตุที่มีปริมาณรอง ($1-10 \text{ ng}/\text{m}^3$) คือ Cr Mn Ni และ Cu สำหรับธาตุ V Co As Cd Sb และ Pb ช่วงความเข้มข้นที่พบค่อนข้างกว้างตั้งแต่ 0.02-73.95 ng/m^3 เมื่อวิเคราะห์จำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุในฝุ่นละอองด้วยเทคนิค PCA และ EF สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ได้ 2 กลุ่มหลัก คือ 1) จากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติที่มีอยู่โดยทั่วไปในดินและหินจากเปลือกโลกและฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศคือ As V Al และ Fe และ 2) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ปลอดภัยจากการจราจร การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและจากอุตสาหกรรม คือ Cu Pb Ni Cr Co Cd Zn Sb และ Mn

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5787264820 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: PARTICULATE MATTER / HOSPITAL / TRACE ELEMENT

SANGSUREE SRISA-ARD: COMPOSITION AND MASS CONCENTRATION OF METAL ELEMENTS IN FINE PARTICULATE MATTERS IN INTENSIVE CARE UNIT OF THE HOSPITAL. ADVISOR: ASST. PROF. TASSANEE PRUEKSASIT, Ph.D., 142 pp.

The objective of this study was to investigate the concentrations of $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$ and PM_{10} in the pediatric special care room, the negative and positive isolation room of the hospital locating in the inner city of Bangkok. Qualitative analysis of element in the particulate matters was done by synchrotron radiation (μ -SXRF) technique. Quantitative analysis using ICP-MS was chosen for measuring 13 elements including Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sb and Pb. Principal Component Analysis (PCA) and Enrichment Factor (EF) calculation was used for identifying the possible source of trace elements. The result showed that the 24-hr average concentrations of $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$ and PM_{10} in the pediatric special care room were in the range of 1.24-10.80, 2.74-11.37 and 5.13-14.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. For the negative isolation room those ranges of 2.03-3.05, 5.32-5.44 and 7.37-8.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, were found. Whilst in the positive isolation room, the concentration ranges of 1.64-2.70, 4.37-4.58 and 6.01-9.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, were obtained. The result of qualitative analysis in $PM_{2.5}$ and $PM_{2.5-10}$ from all three rooms revealed that only Al could be determined in indoor area, while Cu and Ni could be found at outdoor, and Si, Cl, K, Ti, Fe, Mn, Zn and Cr were found either indoor or outdoor. When comparing the elements identifiable in indoor particulate matter with the elements found in *Curvularia lunata* (black mold) and *Fusarium* spp. (white mould), Cl, K, Ti, Fe, Zn, Cr, and Mn, were found the same as in black mold, while Cl, K, Ti, Fe, Zn and Cr were presented the same as in white mold. The dominant species of the elements found in this study were Al, Fe and Zn which gave the concentration higher than 10 ng/m^3 . The elements with the concentration range of 1-10 ng/m^3 were Cr, Mn, Ni and Cu, whereas V, Co, As, Cd, Sb and Pb were able to determine with the wide range from 0.02 to 73.95 ng/m^3 . The analysis results of PCA and EF illustrated that the sources of measurable trace elements in $PM_{2.5}$ and $PM_{2.5-10}$ in all pediatric care rooms could be from 1) natural sources, existing generally in the soil and rock from the earth's crust and diffused in the air such as As, V, Al and Fe, 2) anthropogenic sources which contaminated from automobiles, fuel combustion and industrial emission including Cu, Pb, Ni, Cr, Co, Cd, Zn, Sb and Mn.

Field of Study: Environmental Science

Student's Signature

Academic Year: 2016

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและแนะนำอย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พฤษาสีสิทธิ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาแนวทางในการทำวิจัย ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ อิ่มยิ้ม รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล และกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก อาจารย์ ดร. ธัญภัสสร ทองเย็น ที่ให้คำแนะนำงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อริยา จินตามพร และเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ที่อำนวยความสะดวกและประสานงานในการเก็บตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณ ดร. จิตริน ชัยประภา และเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน ที่ให้คำปรึกษาแนะนำอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ คุณศิริพร สิงห์ทอง ผู้อำนวยการศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา และเจ้าหน้าที่สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ เพื่อนๆ พี่ๆ ในหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตเพื่อสนับสนุนงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนทุนการศึกษาจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	5
2.1 คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality).....	5
2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศภายในอาคาร.....	8
2.3 มลพิษทางอากาศจากภายนอกอาคาร.....	11
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร	12
2.5 ผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดขึ้นจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก.....	25
2.6 ประเภทห้องพักผู้ป่วยในโรงพยาบาล	27
2.7 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็ก.....	31
2.8 ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor: EF)	34
2.9 เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์หรือ X-ray fluorescence (XRF)	35

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	42
3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย.....	42
3.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง	46
3.3 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย	46
3.3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	46
3.3.2 การเตรียมกระดาษกรอง.....	47
3.3.3 การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก	47
3.3.4 การเตรียมเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคล	48
3.3.6 การหาความเข้มข้นฝุ่นละออง.....	48
3.3.7 การหาค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณโลหะในฝุ่นละอองภายในอาคารต่อภายนอก อาคาร (I/O ratio)	49
3.3.8 การวิเคราะห์ชนิดองค์ประกอบธาตุด้วยด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอน.....	49
3.3.9 การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง.....	53
3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) ของธาตุในฝุ่น ละออง.....	55
3.5 ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor: EF)	55
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	56
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	44
4.1 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง	44
4.2 ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วย	46
4.2.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ.....	46
4.2.2 ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบ ความดันเป็นลบ	48

4.2.3 ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบ ความดันเป็นบวก	51
4.3 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่นละอองในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง	54
4.4 ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio)	57
4.4.1 ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	57
4.4.2 ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ	58
4.4.3 ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก	59
4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุโดยเทคนิคแสงซินโครตรอน (synchrotron).....	60
4.5.1 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	62
4.5.2 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยก ที่มีระบบความดันเป็นลบ	64
4.5.3 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยก ที่มีระบบความดันเป็นบวก	67
4.5.4 องค์ประกอบธาตุในเชื้อรารายในห้องพักผู้ป่วย	69
4.6 ชนิดและปริมาณโลหะในฝุ่นละออง.....	71
4.6.1 ปริมาณโลหะภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	71
4.6.2 ปริมาณโลหะภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความ ดันเป็นลบ	77
4.6.3 ปริมาณโลหะภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความ ดันเป็นบวก	82
4.7 การจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุในฝุ่นละอองด้วยเทคนิค Principle component analysis.....	87
4.7.1 การวิเคราะห์ Principle component analysis ของธาตุในฝุ่นละอองบริเวณด้าน นอกอาคาร.....	88

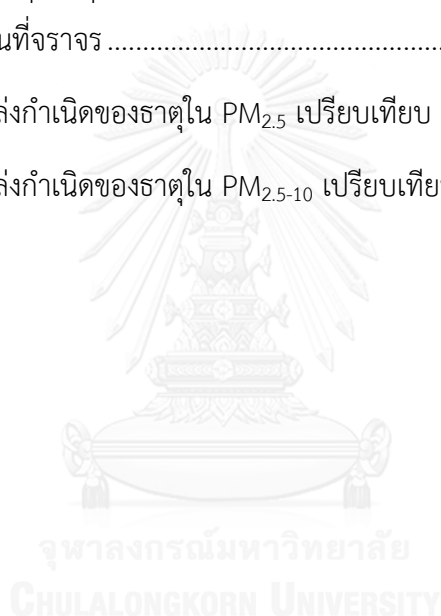
4.7.2 การวิเคราะห์ Principle component analysis ของธาตุในฝุ่นละอองภายใน ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	91
4.7.3 การวิเคราะห์ Principle component analysis ของธาตุในฝุ่นละอองภายใน ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นลบ	94
4.7.4 การวิเคราะห์ Principle component analysis ของธาตุในฝุ่นละอองภายใน ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นบวก	95
4.8 ค่าการสะสมตัวของโลหะในฝุ่นละออง (Enrichment Factor: EF).....	99
4.8.1 การสะสมตัวของโลหะใน PM _{2.5} ของห้องพักผู้ป่วย	100
4.8.2 การสะสมตัวของโลหะใน PM _{2.5-10} ของห้องพักผู้ป่วย	102
4.8.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า Enrichment Factor ฝุ่นละอองภายในอาคารกับฝุ่น ในพื้นที่จรัลจร	104
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	108
5.1 สรุปผลการศึกษา	108
5.2 ข้อเสนอแนะ	110
รายการอ้างอิง	112
ภาคผนวก.....	117
ภาคผนวก ก	118
ภาคผนวก ข	122
ภาคผนวก ค	128
ภาคผนวก ง.....	135
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	142

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สารมลพิษภายในอาคารที่ปล่อยออกมาจากแหล่งต่างๆ	9
ตารางที่ 2.2 ชนิดมลพิษ แหล่งกำเนิด และผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษในอาคาร	10
ตารางที่ 2.3 อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายใน และความดัน สัมพันธ์	22
ตารางที่ 2.4 ประสิทธิภาพแผงกรองอากาศสำหรับสถานที่ต่างๆ	23
ตารางที่ 2.5 ประเภทแผงกรองอากาศและประสิทธิภาพ	24
ตารางที่ 2.6 มาตรฐานฝุ่นละอองภายในอาคาร	27
ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ	31
ตารางที่ 2.8 เปรียบเทียบองค์ประกอบธาตุโลหะในฝุ่น PM _{2.5} (หน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	32
ตารางที่ 2.9 ปัจจัยที่เป็นแหล่งที่มาของโลหะหนักจากงานวิจัยที่ผ่านมา	33
ตารางที่ 2.10 ข้อมูลทางเทคนิคของระบบลำเลียงแสงและสถานีทดลอง micro-XRF	36
ตารางที่ 3.1 ช่วงเวลาที่ทำการศึกษาตัวอย่าง	46
ตารางที่ 3.2 จำนวนตัวอย่างที่ทำการศึกษาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอน	51
ตารางที่ 3.3 พลังงานของรังสีเอกซ์จำเพาะ (eV) ของธาตุที่วิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคแสงซินโคร ตรอน	52
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นละอองกับงานวิจัยที่ผ่านมา	53
ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละจุดเก็บ ตัวอย่างที่มีความสัมพันธ์กัน	54
ตารางที่ 4.3 I/O ratio ของ PM _{2.5} PM _{2.5-10} และ PM ₁₀ ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและภายนอก อาคาร	58
ตารางที่ 4.4 I/O ratio ของ PM _{2.5} PM _{2.5-10} และ PM ₁₀ ภายในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ และภายนอกอาคาร	59

ตารางที่ 4.5 I/O ratio ของ PM _{2.5} PM _{2.5-10} และ PM ₁₀ ภายในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ และภายนอกอาคาร	59
ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบธาตุที่พบใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} จากห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	62
ตารางที่ 4.7 ชนิดธาตุที่พบใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ	64
ตารางที่ 4.8 ชนิดธาตุที่พบใน PM _{2.5} และ PM _{2.5-10} ในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก	67
ตารางที่ 4.9 องค์ประกอบธาตุที่พบในเชื้อราภายในห้องพักผู้ป่วย	70
ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นโลหะของ PM _{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและระเบียงด้านนอก อาคาร (ng/m ³)	73
ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นโลหะของ PM _{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและระเบียงด้านนอก อาคาร (ng/m ³)	75
ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นโลหะของ PM _{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบและ ระเบียงด้านนอกอาคาร (ng/m ³)	78
ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นโลหะของ PM _{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ และระเบียงด้านนอกอาคาร (ng/m ³)	80
ตารางที่ 4.14 ความเข้มข้นโลหะของ PM _{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวกและ ระเบียงด้านนอกอาคาร (ng/m ³)	83
ตารางที่ 4.15 ความเข้มข้นโลหะของ PM _{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก และระเบียงด้านนอกอาคาร (ng/m ³)	85
ตารางที่ 4.16 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุใน PM _{2.5} จำแนกตามจุดเก็บตัวอย่างระเบียงด้าน นอกอาคาร	88
ตารางที่ 4.17 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุใน PM _{2.5-10} จำแนกตามจุดเก็บตัวอย่างระเบียงด้าน นอกอาคาร	90
ตารางที่ 4.18 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุใน PM _{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	91
ตารางที่ 4.19 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุใน PM _{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	93
ตารางที่ 4.20 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุใน PM _{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดัน เป็นลบ	94

ตารางที่ 4.21 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุใน PM _{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก	96
ตารางที่ 4.22 การจัดจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุใน PM _{2.5} โดยอ้างอิงข้อมูลกรณีศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา.....	97
ตารางที่ 4.23 การจัดจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุใน PM _{2.5-10} โดยอ้างอิงข้อมูลกรณีศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา.....	98
ตารางที่ 4.24 ความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุจากแหล่งอ้างอิง (ng/m ³)	100
ตารางที่ 4.25 การจำแนกกลุ่มธาตุด้วยค่า Enrichment Factor ของฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยกับฝุ่นในพื้นที่จราจร	106
ตารางที่ 4.26 จำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุใน PM _{2.5} เปรียบเทียบ PCA และ EF	107
ตารางที่ 4.27 จำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุใน PM _{2.5-10} เปรียบเทียบ PCA และ EF.....	107



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ขนาดของสารปนเปื้อนในอากาศ	15
ภาพที่ 2.2 การเปรียบเทียบขนาดของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ กับอนุภาค ทรายและเส้นผม.....	15
ภาพที่ 2.3 การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural Ventilation).....	20
ภาพที่ 2.4 การระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation).....	21
ภาพที่ 2.5 ห้องพักผู้ป่วยระบบความดัน Positive.....	30
ภาพที่ 2.6 แผนผังของระบบลำเลียงแสงสำหรับเทคนิค micro-XRF และ DXL.....	35
ภาพที่ 2.7 ขนาดของลำรังสีเอกซ์ที่ตำแหน่งตัวอย่างและตำแหน่งต่างๆ ตามแนวแสงซินโครตรอน .	36
ภาพที่ 3.1 แผนผังห้องพักผู้ป่วยพิเศษ.....	42
ภาพที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	43
ภาพที่ 3.3 จุดเก็บตัวอย่างห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	43
ภาพที่ 3.4 แผนผังหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤต.....	44
ภาพที่ 3.5 จุดเก็บตัวอย่างหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกระบบความดันเป็นลบ	44
ภาพที่ 3.6 จุดเก็บตัวอย่างหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก	45
ภาพที่ 3.7 จุดเก็บตัวอย่างห้องระบบความดันลบและบวก	45
ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอน	50
ภาพที่ 3.9 ภายในระบบลำเลียงแสง BL6b micro-X-ray fluorescence spectroscopy.....	51
ภาพที่ 3.10 สเปกตรัมของ NIST standard (SRM610) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแสงซินโคร- ตรอนระบบลำเลียงแสงที่ 6 micro-XRF	52
ภาพที่ 3.11 แผนผังสรุปการวิเคราะห์ผลการศึกษา.....	43
ภาพที่ 4.1 น้ำหนักที่ได้จากการชั่งลูกตุ้มมาตรฐาน 100 มิลลิกรัม	44
ภาพที่ 4.2 น้ำหนักที่ได้จากการชั่งลูกตุ้มมาตรฐาน 200 มิลลิกรัม	45

ภาพที่ 4.3 (ก) ความเข้มข้น PM _{2.5} (ข) ความเข้มข้น PM _{2.5-10} (ค) ความเข้มข้น PM ₁₀ ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	48
ภาพที่ 4.4 (ก) ความเข้มข้น PM _{2.5} (ข) ความเข้มข้น PM _{2.5-10} (ค) ความเข้มข้น PM ₁₀ ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ	50
ภาพที่ 4.5 (ก) ความเข้มข้น PM _{2.5} (ข) ความเข้มข้น PM _{2.5-10} (ค) ความเข้มข้น PM ₁₀ ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก	52
ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยภายในห้องพักผู้ป่วย	53
ภาพที่ 4.7 ทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องผู้ป่วยพิเศษ	55
ภาพที่ 4.8 ทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ	56
ภาพที่ 4.9 ทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก	57
ภาพที่ 4.10 ฝุ่นละอองบนกระดาษกรอง PTFE (ก) PM _{2.5} (ข) PM _{2.5-10}	60
ภาพที่ 4.11 ค่าพลังงานของชนิดธาตุที่พบบน blank filter	61
ภาพที่ 4.12 ค่าพลังงานของชนิดธาตุในตัวอย่าง PM _{2.5-10}	61
ภาพที่ 4.13 องค์ประกอบธาตุที่พบคล้ายกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ PM _{2.5} ภายในห้องพัก ผู้ป่วยพิเศษ	63
ภาพที่ 4.14 องค์ประกอบธาตุของ PM _{2.5} ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและภายนอกอาคาร	63
ภาพที่ 4.15 องค์ประกอบธาตุที่พบคล้ายกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ PM _{2.5-10} ภายในห้องพัก ผู้ป่วยพิเศษ	64
ภาพที่ 4.16 องค์ประกอบธาตุของ PM _{2.5-10} ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและภายนอกอาคาร ...	64
ภาพที่ 4.17 องค์ประกอบธาตุที่พบคล้ายกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ PM _{2.5} ภายในห้องพัก ผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ	65
ภาพที่ 4.18 องค์ประกอบธาตุของ PM _{2.5} ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบและ ภายนอกอาคาร	65
ภาพที่ 4.19 องค์ประกอบธาตุที่พบคล้ายกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ PM _{2.5-10} ภายในห้องพัก ผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ	66

ภาพที่ 4.20 องค์ประกอบธาตุของ $PM_{2.5-10}$ ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ และภายนอกอาคาร.....	66
ภาพที่ 4.21 องค์ประกอบธาตุที่พบคล้ายกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก	68
ภาพที่ 4.22 องค์ประกอบธาตุของ $PM_{2.5}$ ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก และภายนอกอาคาร.....	68
ภาพที่ 4.23 องค์ประกอบธาตุที่พบคล้ายกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก	69
ภาพที่ 4.24 องค์ประกอบธาตุของ $PM_{2.5-10}$ ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก และภายนอกอาคาร.....	69
ภาพที่ 4.25 เปรอร์เซ็นต์ธาตุที่พบของ $PM_{2.5}$ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ.....	74
ภาพที่ 4.26 เปรอร์เซ็นต์ธาตุที่พบของ $PM_{2.5-10}$ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ....	76
ภาพที่ 4.27 เปรอร์เซ็นต์ธาตุที่พบของ $PM_{2.5}$ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ	79
ภาพที่ 4.28 เปรอร์เซ็นต์ธาตุที่พบของ $PM_{2.5-10}$ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ.....	81
ภาพที่ 4.29 เปรอร์เซ็นต์ธาตุที่พบของ $PM_{2.5}$ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก.....	84
ภาพที่ 4.30 เปรอร์เซ็นต์ธาตุที่พบของ $PM_{2.5-10}$ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก.....	86
ภาพที่ 4.31 การจัดกลุ่มธาตุใน $PM_{2.5}$ จากระเบียงด้านนอกอาคาร	89
ภาพที่ 4.32 การจัดกลุ่มธาตุใน $PM_{2.5-10}$ จากระเบียงด้านนอกอาคาร	90
ภาพที่ 4.33 การจัดกลุ่มธาตุของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ.....	92
ภาพที่ 4.34 การจัดกลุ่มธาตุของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ.....	93
ภาพที่ 4.35 การจัดกลุ่มธาตุของ $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ	95
ภาพที่ 4.36 การจัดกลุ่มธาตุของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก.....	96

ภาพที่ 4.37 Enrichment factor ของธาตุจาก $PM_{2.5}$ ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	100
ภาพที่ 4.38 Enrichment factor ของธาตุจาก $PM_{2.5}$ ห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ	101
ภาพที่ 4.39 Enrichment factor ของธาตุจาก $PM_{2.5}$ ห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ...	101
ภาพที่ 4.40 Enrichment factor ของธาตุจาก $PM_{2.5-10}$ ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ.....	102
ภาพที่ 4.41 Enrichment factor ของธาตุจาก $PM_{2.5-10}$ ห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ .	102
ภาพที่ 4.42 Enrichment factor ของธาตุจาก $PM_{2.5-10}$ ห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ	103
ภาพที่ 4.43 Enrichment factor ของธาตุจาก $PM_{2.5}$ ในฝุ่นจราจร	104
ภาพที่ 4.44 Enrichment factor ของธาตุจาก $PM_{2.5-10}$ ในฝุ่นจราจร	105



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

คุณภาพอากาศในอาคาร (indoor air quality) มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตและผู้อยู่อาศัยในอาคาร เพราะมนุษย์ส่วนใหญ่ใช้เวลาร้อยละ 80-90 อยู่ในอาคาร ซึ่งอาจเป็นที่อยู่อาศัย สำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงเรียน และโรงพยาบาล โดยส่วนใหญ่จะใช้เวลาอยู่ในอาคารวันละไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง (จิตรพรรณ ภูษากฎทิภาพ และ ชมพูศักดิ์ พูลเกษม, 2544) มีทั้งเด็ก ผู้ใหญ่ ผู้สูงอายุ ผู้ที่มีโรคเรื้อรัง และยิ่งไปกว่านั้นคือผู้ป่วยที่ต้องนอนพักรักษาตัวอยู่ในห้องตลอด 24 ชั่วโมง องค์การอนามัยโลก (WHO) คาดว่า ร้อยละ 30 ของอาคารทั่วโลกอาจมีปัญหาด้านคุณภาพอากาศภายในอาคารที่อาจนำไปสู่ปัญหากลุ่มอาการที่เกิดจากการทำงานในอาคารปิดได้ (Sick Building Syndrome, SBS) โดย United State Environmental Protection Agency (U.S. EPA) ได้ให้ความหมายว่า เป็นอาการหรือความเจ็บป่วยที่มีสาเหตุเนื่องจากสถานที่ที่ไม่ถูกสุขลักษณะ ไม่สามารถระบุต้นเหตุที่ชัดเจนของความเจ็บป่วยได้ อาการแสดงออกแต่ละรายจะไม่จำเพาะ เช่น คันตามผิวหนัง การระคายตามเยื่อในลำคอ ชóngจมูก ตา และไวต่อสิ่งแปลกปลอม โดยเฉพาะกลิ่นต่างๆ ความผิดปกติดังกล่าวอาจแสดงอาการเกิดขึ้นเมื่ออยู่ในที่หนึ่งของอาคาร หรืออาจมีอาการไม่ว่าจะอยู่ที่ใดของอาคาร แต่เมื่อออกจากอาคารแล้วอาการที่เกิดขึ้นจะค่อยๆ เลือนหายหรือในลักษณะที่กลับกันแล้วจะเกิดอาการเช่นนั้น อีกทั้งพบว่าอาจมีบุคคลอื่นที่เกิดความผิดปกติขึ้นเช่นกัน สิ่งเหล่านี้เป็นอาการที่บ่งถึงอาการ SBS แม้นสำรวจ วุฒิชูดมเลิศ (2555b)

สำหรับคุณภาพอากาศในโรงพยาบาลที่เป็นอาคารสาธารณะ ในปัจจุบันมีระดับของการปนเปื้อนการติดเชื้อในอากาศเพิ่มขึ้นอย่างมาก และส่งผลให้มีการติดเชื้อของผู้ป่วยและผู้ที่ทำงานในโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย เนื่องจากภายในอาคารจะมีภาวะมลพิษทางอากาศในอาคาร คือ สภาวะที่อากาศในอาคารมีสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณและระยะเวลาพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ หรือต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นๆ สาเหตุสำคัญของมลพิษอากาศในอาคารส่วนใหญ่เกิดการปนเปื้อนสารเคมี ฝุ่นละออง อนุภาคต่างๆ รวมถึงอนุภาคแขวนลอยทางชีวภาพ (bioaerosols) ได้แก่ (1) จุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย รา ไวรัส (2) ปรสิตร เช่น ไร หมัด (3) สารทางชีวภาพที่มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น รังแค สะเก็ดจากคนและสัตว์เลี้ยงที่จัดเป็นสารก่อภูมิแพ้ (allergens) ซึ่งสารพิษที่สร้างจากสิ่งชีวภาพเหล่านี้มีปริมาณและจำนวนของการปนเปื้อนขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม อาทิ ลักษณะอากาศ

ตามฤดูกาล ความชื้นที่มาจากธรรมชาติ ระบบน้ำในอาคาร การถ่ายเทอากาศ ความสะอาดของ เครื่องมือ อุปกรณ์ เฟอร์นิเจอร์และของตกแต่ง เป็นต้น (แมนัสรวง วุฒิอุดมเลิศ, 2555) นอกจากนี้ การไหลเวียนของอากาศจากภายนอกเข้ามาสู่ภายในอาคารที่เกิดจากระบบการระบายอากาศ โดยการดึงอากาศสะอาดจากภายนอกผ่านช่องทางนำอากาศเข้าสู่ในอาคาร (Fresh Air intake) ที่อาจนำ อากาศภายนอกที่มีสารปนเปื้อนปะปนอยู่เข้าสู่อาคาร สารปนเปื้อนที่มาจากแหล่งกำเนิดภายนอก ได้แก่ ไอเสียจากรถยนต์ ละอองเกสรดอกไม้ ฝุ่น สปอร์เชื้อรา ดังนั้น อาคารแต่ละอาคารที่มีสถานที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบแตกต่างกัน จะได้รับความเสี่ยงจากมลพิษอากาศเข้าสู่ภายในอาคาร ต่างกัน โดยอาคารที่อยู่ใกล้ยานการจราจรหนาแน่น หรืออยู่ใกล้โรงงานอุตสาหกรรม มีโอกาสเสี่ยงต่อการรับสารปนเปื้อนหรือมลพิษจากภายนอกเข้าสู่อาคารได้มากกว่า

สิ่งเจือปนหรือสิ่งปนเปื้อนในอาคารที่เป็นอนุภาคขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable particle) คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง $PM_{2.5}$ สามารถเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง เข้าไปในเนื้อเยื่อของปอดและนำสารอันตรายเข้าสู่ร่างกาย ทำให้เกิดโรคมะเร็งปอดได้ จากงานวิจัยของ Lomboy et al. (2015) ศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในแผนกเด็กและแผนกเภสัชกรรมของโรงพยาบาลในประเทศฟิลิปปินส์ พบว่า ปริมาณ $PM_{2.5}$ ในแผนกเด็ก ช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม มีค่า 32.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เดือนมีนาคม-เมษายน มีค่า 28.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และแผนกเภสัชกรรม ช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม มีค่า 30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าปริมาณฝุ่นในอาคารที่องค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ในฝุ่นละอองยังมีองค์ประกอบธาตุที่สามารถใช้ปองชี้ถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองได้และในอากาศในอาคารจะมีสปอร์ของราอยู่มากน้อยต่างกันตามวัสดุที่ใช้ และตามสภาวะแวดล้อม ณ จุดนั้นๆ เมื่อภายในอาคารมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา จะทำให้เกิดเชื้อราในบริเวณต่างๆ ภายในอาคารได้และเป็นการเพิ่มระดับการปนเปื้อนของอากาศภายในอาคารอีกด้วย

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ภายในห้องพักผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาล พร้อมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองและจำแนกแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดเล็ก

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ หอผู้ป่วยกุมารเวชกรรม วิกฤตของโรงพยาบาล และในบรรยากาศภายนอกอาคารที่บริเวณใกล้เคียง
- 2) เพื่อหาองค์ประกอบธาตุโลหะในฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

1.3 สมมติฐานการวิจัย

- 1) ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในอาคารบริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) มีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศภายนอกอาคารที่บริเวณใกล้เคียงมากที่สุด
- 2) องค์ประกอบธาตุที่พบในฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในอาคารมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศภายนอกอาคาร

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 พื้นที่ศึกษา

ดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในพื้นที่โรงพยาบาลแห่งหนึ่งในเขตกรุงเทพมหานครบริเวณห้องพักผู้ป่วยพิเศษ หอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกระบบความดันเป็นบวก และห้องแยกระบบความดันเป็นลบ

1.4.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร ฝุ่นละอองขนาด 2.5- 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร 2 ช่วงเวลา คือ เดือนมิถุนายน-กรกฎาคม 2558 และ เดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม 2558 โดยแต่ละช่วงเวลาศึกษาเก็บตัวอย่างฝุ่นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อสัปดาห์ คือวันจันทร์ พุธและศุกร์

1.4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

วิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ และหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวกและระบบความดันเป็นลบ โดยวิธี gravimetric หรือการชั่งน้ำหนัก และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ด้วยเครื่องเทคนิคแสง Synchrotron และเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการวางแผนควบคุมและป้องกัน มลภาวะจากฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศบริเวณห้องผู้ป่วย
- 2) เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดการคุณภาพอากาศและปรับปรุงคุณภาพชีวิตของประชาชนและเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาล
- 3) ทราบถึงธาตุที่เป็นองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งสามารถบ่งชี้ไปยังแหล่งกำเนิดที่สำคัญ และนำไปใช้เป็นแนวทางกำหนดเกณฑ์การออกแบบห้องพักผู้ป่วยเพื่อสามารถป้องกันมลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิดนั้นๆ ได้

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality)

คุณภาพอากาศภายในอาคาร หมายถึง สภาวะการที่อากาศภายในอาคารที่อาจไม่มีสิ่งเจือปนหรือมีสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณที่อาจจะทำหรือไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ต่อทรัพย์สินของมนุษย์หรือต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบๆ อาคาร หากปริมาณสิ่งปนเปื้อนต่ำกว่าระดับที่จะก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าว ก็จะถือว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารอยู่ในระดับดีเหมาะสำหรับการอยู่อาศัย แต่ถ้าปริมาณสิ่งปนเปื้อนเท่ากับหรือสูงกว่าระดับที่จะก่อให้เกิดปัญหา ก็ถือว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารนั้นไม่ดี ไม่เหมาะสำหรับการอยู่อาศัย (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชา เทพ, 2555)

สิ่งเจือปนหรือสิ่งปนเปื้อนในอากาศโดยทั่วไปอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือมนุษย์เป็นผู้สร้างขึ้น ไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบของฝุ่นละออง คาร์บอน ก๊าซและไอของสารเคมี รวมทั้งการปนเปื้อนของเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์ทางอากาศ เช่น แบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อรา ซึ่งเป็นตัวการสำคัญต่อการแพร่กระจายของโรคติดต่อชนิดต่างๆ มลพิษทางอากาศภายในอาคารมีแหล่งกำเนิดมาจากภายนอกอาคารและภายในอาคารเอง ซึ่งมลพิษทางอากาศจากภายนอกอาคารและจากพื้นดิน ได้แก่ เรดอน สารกำจัดแมลงและวัชพืช ก๊าซและไอสารเคมีที่รั่วไหลจากภาชนะกักเก็บ มลพิษจากการจราจร เป็นต้น สิ่งปนเปื้อนจากภายในอาคารมีสาเหตุจากแหล่งกำเนิดหลายประเภทภายในอาคาร เช่น เฟอร์นิเจอร์ พรม ฝ้าผ้า ฉนวนกันความร้อน น้ำยาทำความสะอาดพื้น สีทาผนัง กาว น้ำหอมปรับอากาศ ยาฆ่าแมลง สารทำความสะอาด ฝุ่นละออง เชื้อจุลินทรีย์รวมทั้งลักษณะกิจกรรมหรือลักษณะส่วนบุคคลของผู้อาศัยหรือผู้ใช้อาคาร นอกจากนี้สิ่งแวดล้อมภายในอาคารยังมีปฏิสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ระบบการก่อสร้าง ได้แก่ การออกแบบแรกเริ่มและการปรับปรุงในภายหลังเกี่ยวกับโครงสร้างและระบบเครื่องจักร รวมทั้งเทคนิคในการก่อสร้างและวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลให้เกิดปัญหาคุณภาพอากาศทั้งสิ้น สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา นั้น สถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติ (National Institute of Occupational Safety and Health, NIOSH) ได้สามารถแยกสาเหตุของการเกิดปัญหาได้ดังนี้

- ร้อยละ 52 เกิดจากการระบายอากาศในอาคารที่ไม่เพียงพอ เช่น การออกแบบที่ไม่ถูกต้อง การกระจายอากาศในอาคารไม่ดีพอ อุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม มีแหล่งมลพิษภายในระบบระบายอากาศ

- ร้อยละ 16 เกิดจากการมีสารปนเปื้อนอยู่ในอาคาร เช่น ไรระเหยของน้ำยาทำความสะอาด จำพวกสารตัวทำละลาย หรือน้ำยาฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา
- ร้อยละ 10 เกิดจากมลพิษภายนอกอาคาร เช่น มลพิษการจราจร ควัน ฝุ่นละออง
- ร้อยละ 5 เกิดจากการปนเปื้อนด้านชีวภาพ
- ร้อยละ 4 เกิดจากการปนเปื้อนของวัสดุตกแต่งอาคาร
- ร้อยละ 13 ไม่ทราบสาเหตุ

นอกจากนี้ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาและหน่วยงานอื่นๆ ได้ดำเนินการสำรวจ และพบว่าสิ่งแวดล้อมภายในอาคารมีมลพิษมากกว่าภายนอกอาคารสูงเป็นอัตรา 2-10 เท่า และมีการจัดอันดับปัญหามลพิษในอาคารเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อาศัย

ในอดีต ช่วงก่อน ค.ศ.1973 เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันครั้งแรก การออกแบบอาคารตลอดจนระบบต่างๆ ภายในอาคารมักเน้นความสบายของผู้อาศัยและผู้ใช้อาคารเป็นหลัก โดยไม่คำนึงถึงเรื่องการประหยัดพลังงานมากนัก เนื่องจากราคาน้ำมันและพลังงานไฟฟ้ายังมีราคาถูก อาคารที่ก่อสร้างในยุคนั้นจึงมีลักษณะโครงสร้างอาคารไม่แน่นหนามากนัก มีช่องเปิดเพื่อระบายอากาศโดยรอบอาคารค่อนข้างมาก รวมทั้งมีช่องแสงเพื่อให้การส่องสว่างของแสงสว่างสม่ำเสมอและเพียงพอต่อความต้องการทั่วทุกส่วนของอาคาร ระบบปรับอากาศถูกควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในเกณฑ์ปานกลางเพื่อให้ผู้อาศัยรู้สึกสบาย และมีการนำอากาศบริสุทธิ์ภายนอกเข้าสู่ภายในค่อนข้างมาก

ต่อมาภายหลังวิกฤตการณ์ดังกล่าว ส่งผลให้การออกแบบตัวอาคารและระบบต่างๆ ภายในอาคารได้เปลี่ยนแปลงไป โดยเน้นความสำคัญด้านการประหยัดพลังงานเป็นหลัก ส่วนความสบายนั้นลดลงมาให้อยู่ในระดับที่ผู้อาศัยส่วนใหญ่ยอมรับได้เท่านั้น กล่าวคือมีการก่อสร้างตัวอาคารให้แน่นหนามากขึ้น เพื่อลดการรั่วของอากาศร้อนขึ้นภายนอกเข้าสู่อาคาร มีการใช้ฉนวนกันความร้อน เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคาร ซึ่งฉนวนเหล่านี้อาจก่อให้เกิดสารปนเปื้อนในอากาศภายในอาคารได้ เช่น สารก่อความระคายเคือง สารฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) และมีการลดความเข้มในการส่องสว่างในบริเวณทั่วไปของอาคารลงด้วย รวมทั้งมีการใช้ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) เพื่อควบคุมปริมาณการใช้พลังงานของอาคารโดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบปรับอากาศซึ่งใช้พลังงานมากที่สุดในตัวอาคาร เช่น การใช้โปรแกรมเปิดปิดที่เหมาะสม (Program Optimum Start/Stop) ทำให้มีการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้าสู่อาคารน้อยลง

มลพิษอากาศที่เกิดขึ้นภายในอาคารกำลังเป็นที่สนใจและมีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากมนุษย์ใช้เวลาร้อยละ 80-90 อยู่ในอาคาร ซึ่งอาจเป็นที่อยู่อาศัย สำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงเรียน และโรงพยาบาล อาจใช้เวลาอยู่ในอาคารวันละไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง โดยในแต่ละวันมนุษย์ต้องหายใจเอาอากาศเข้าสู่ปอดประมาณ 10,000-15,000 ลิตร และจะมีสารพิษต่างๆ ปะปนเข้าสู่ร่างกาย มากน้อยแตกต่างกัน (จิตรพรรณ ภูษากักตีภพ และ ชมพูศักดิ์ ฟูลเกษม, 2544)

องค์กร ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) ได้กำหนดอัตราการระบายอากาศต่ำสุดเพื่อการอนุรักษ์พลังงานไว้ที่ 5 ลูกบาศก์ฟุต/นาฬิกา/คน ซึ่งแต่เดิมเคยกำหนดไว้ที่ 15 ลูกบาศก์ฟุต/นาฬิกา/คน ด้วยวัตถุประสงค์ในเบื้องต้นเพื่อเจือจางและลดกลิ่นจากตัวคน ในกรณีของการนำอากาศจากภายนอกอาคารเข้ามาด้วยอัตรา 5 ลูกบาศก์ฟุต/นาฬิกา/คนนั้น ไม่เพียงพอต่อความสบายของผู้อยู่อาศัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากระบบปรับอากาศและระบายอากาศ (Heating, Ventilating, and Air Conditioning: HVAC) ไม่สามารถกระจายอากาศไปสู่ทุกคนได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยแล้ว สิ่งเหล่านี้จะเป็นปัจจัยสำคัญของปัญหากลุ่มอาการของโรคจากที่เกิดจากการทำงานในอาคารปิดได้ และ ASHRAE ได้ปรับค่ามาตรฐานใหม่ (ASHRAE Standard 62-1989) โดยคำนึงถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ควบคู่ไปกับการลดการใช้พลังงานด้วย กล่าวคือ ให้มีอากาศเข้าภายในอาคาร 15 ลูกบาศก์ฟุต/นาฬิกา/คน สำหรับพื้นที่ในสำนักงานให้เป็น 20 ลูกบาศก์ฟุต/นาฬิกา/คน โดยไม่คำนึงว่าจะมีการสูบบุหรี่ในบริเวณนั้นๆ หรือไม่ และได้กำหนดให้สูงถึง 60 ลูกบาศก์ฟุต/นาฬิกา/คน ในบางพื้นที่โดยพิจารณาถึงกิจกรรมตามปกติในพื้นที่นั้นๆ เช่น ห้องสูบบุหรี่ เป็นต้น

นอกจาก ASHRAE แล้ว ในปัจจุบันหน่วยงานต่างๆ ในต่างประเทศหลายหน่วยงาน เช่น องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) รวมทั้งหน่วยงานระหว่างประเทศ เช่น องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดค่ามาตรฐานด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality) เพื่อใช้เป็นค่าแนะนำใช้ในการควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคาร

พ.ศ. 2542 กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร ได้ดำเนินการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในบริเวณศูนย์อาหาร อาคารจอดรถของอาคารสาธารณะ และห้างสรรพสินค้า จำนวนทั้งสิ้น 11 แห่ง พบว่า บริเวณศูนย์อาหารของห้างสรรพสินค้า 3 ใน 9 แห่ง มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1,170-1,302 ppm (ASHRAE กำหนดให้มีได้ไม่เกิน 1,000 ppm) สำหรับบริเวณอาคารจอดรถ 6 ใน 11 แห่ง พบปริมาณก๊าซ

คาร์บอนมอนอกไซด์ มีค่าอยู่ระหว่าง 12-46 ppm ซึ่งเกินค่ามาตรฐานกำหนด (ASHRAE กำหนดให้มีได้ไม่เกิน 9 ppm) และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้ (PM₁₀) ในอาคารจอดรถ 3 แห่ง มีค่าอยู่ระหว่าง 154-210 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่ U.S. EPA กำหนดให้ตลอด 24 ชั่วโมง มีค่าได้ไม่เกิน 150 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศภายในอาคาร

ภายในอาคารมีแหล่งกำเนิดมลพิษหลายชนิดที่แตกต่างกัน มลพิษภายในอาคารอาจเกิดจากกิจกรรมการเผาไหม้จากการประกอบอาหาร เครื่องทำความร้อน และควันจากการสูบบุหรี่ มลพิษบางชนิดเกิดจากวัสดุและอุปกรณ์ตกแต่งอาคาร เช่น ฉนวนกันความร้อน พรม เฟอร์นิเจอร์ มลพิษจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในอาคาร เช่น ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและสเปรย์ปรับอากาศ มลพิษจากเครื่องปรับอากาศ และมลพิษจากภายนอกอาคาร

ลักษณะการปลดปล่อยมลพิษของแหล่งกำเนิดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แหล่งกำเนิดที่ปลดปล่อยมลพิษอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เช่น วัสดุก่อสร้าง และอุปกรณ์ตกแต่งอาคาร และแหล่งกำเนิดที่ปลดปล่อยมลพิษเป็นครั้งคราว โดยขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เช่น การสูบบุหรี่ การประกอบอาหาร การปรับปรุงและตกแต่งอาคารใหม่ การใช้สเปรย์ปรับอากาศ และการใช้ยาฆ่าแมลง (United States Environmental Protection Agency, 1995)

มลพิษที่พบในอาคารหรือสิ่งแวดล้อมขนาดเล็กที่พบได้ทั่วไป สามารถแบ่งได้ดังนี้

1) มลพิษอากาศอนินทรีย์ (Inorganic air pollutants) เช่น แร่ใยหิน (Asbestos) อนุภาคขนาดเล็ก (Particulate matter) ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือควันบุหรี่ ก๊าซไอโซน ก๊าซเรดอน (Radon)

2) มลพิษอากาศอินทรีย์ (Organic air pollutants) เช่น สารอินทรีย์ระเหย (Volatile organic compounds, VOCs) สารอินทรีย์กึ่งระเหย (Semi volatile organic compounds, SVOCs) ยาฆ่าแมลง (Pesticide)

3) อนุภาคทางชีวภาพ (Biogenic particles) เช่น ไรฝุ่น รา เชื้ออริเจียนแนร์ (Legionnaires) เกสรดอกไม้

ชนิดและแหล่งกำเนิดมลพิษภายในอาคารมลพิษที่เกิด รวมถึงผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการรับมลพิษชนิดนั้นๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 สารมลพิษภายในอาคารที่ปล่อยออกมาจากแหล่งต่างๆ

แหล่งกำเนิด	สารพิษ
ก๊าซพิษจากตัวมนุษย์	ไซลีน โทลูอิน แอมโมเนีย แอลกอฮอล์ อาซีโตน
ฝ้าเพดานสำเร็จรูป	ฟอร์มัลดีไฮด์ ไซลีน โทลูอิน เบนซีน
ท่อประปา	คลอโรฟอร์ม
จอคอมพิวเตอร์	ไซลีน โทลูอิน
เครื่องพิมพ์ Printer	ไซลีน โทลูอิน เบนซีน ไตรคลอโรเอทีลีน แอลกอฮอล์
ผ้า	ไซลีน โทลูอิน ไตรคลอโรเอทีลีน
ใยสังเคราะห์	ไซลีน โทลูอิน
พรมปูพื้น	ไซลีน โทลูอิน เบนซีน
เตาแก๊สหุงต้ม	ไซลีน โทลูอิน เบนซีน ไตรคลอโรเอทีลีน
น้ำยาล้างเล็บ	อะซีโตน
น้ำยาลบคำผิด	ไซลีน โทลูอิน แอลกอฮอล์ อาซีโตน
สีทาบ้าน	ไซลีน โทลูอิน เบนซีน แอลกอฮอล์
ปาร์ติเคิลบอร์ด ชิปบอร์ดต่างๆ	ไซลีน โทลูอิน เบนซีน ไตรคลอโรเอทีลีน
เครื่องถ่ายเอกสาร	เบนซีน คลอโรฟอร์ม แอมโมเนีย
น้ำยาเคลือบเงาไม้	ไซลีน โทลูอิน เบนซีน
ควันทูหรี	นิโคติน แอมโมเนีย ฟอร์มัลดีไฮด์
กระดาษปิดผนัง	ไตรคลอโรเอทีลีน
กาว (วิทยาศาสตร์)	เบนซีน แอลกอฮอล์ ไตรคลอโรเอทีลีน ฟอร์มัลดีไฮด์ ไซรีน โทลูอิน เบนซีน แอลกอฮอล์

ที่มา: จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ (2558)

ตารางที่ 2.2 ชนิดมลพิษ แหล่งกำเนิด และผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษในอาคาร

ชนิดมลพิษ	แหล่งกำเนิด	ผลกระทบต่อสุขภาพ
แอสเบสตอส	ฉนวนกันความร้อน แผ่นไวนิล ผลิตภัณฑ์ซีเมนต์	ระคายเคืองผิวหนัง มะเร็งปอด
ละอองชีวภาพ (bioaerosol)	ผู้ป่วยติดเชื้อ จุลชีพในระบบปรับอากาศ บริเวณที่เปียกชื้น	โรคติดเชื้อ โรคภูมิแพ้ และโรคหอบหืด
คาร์บอนไดออกไซด์	ยานพาหนะ เตาประกอบอาหาร เตาผิง ควันบุหรี่ และมนุษย์	วิงเวียน ปวดศีรษะ คลื่นไส้
คาร์บอนมอนอกไซด์	ยานพาหนะ เตาประกอบอาหาร เตาผิง ควันบุหรี่ และเครื่องทำความร้อน	วิงเวียน ปวดศีรษะ คลื่นไส้ เสียชีวิต
ฟอร์มัลดีไฮด์	โฟมกันไฟ ไม้อัด ฝ้าเพดาน วงกบประตู และโครงสร้างอื่นๆ	ระคายเคืองผิวหนัง และสารก่อมะเร็ง
ฝุ่นละอองขนาดเล็ก	เตาผิง ควันบุหรี่ ฝุ่นละอองจากภายนอก การเผาไหม้อื่นๆ เช่นการเผาขยะ	ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ สารก่อมะเร็ง
ก๊าซเรดอน (Rn)	ระเหยจากดินและซึมเข้าอาคาร	มะเร็งปอด
ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂)	เครื่องทำความร้อน เตาประกอบอาหาร ยานพาหนะ	ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ
ยาฆ่าแมลง	การใช้ทั้งภายนอก-ภายในอาคาร	สารก่อมะเร็ง
โอโซน (O ₃)	เครื่องถ่ายเอกสาร อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ อากาศภายนอก	ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)	การเผาไหม้ถ่านหินและน้ำมันในเครื่องทำความร้อน และจากภายนอก	ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ
ฝุ่นโลหะ - สารหนู (As) - แคดเมียม (Cd) - ปรอท (Hg)	ควันบุหรี่ ยาฆ่าแมลง ยาเบื่อหนู ควันบุหรี่ ยาฆ่าเชื้อรา การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล	เป็นพิษ สารก่อมะเร็ง
สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)	ควันบุหรี่ การประกอบอาหาร สีทาผนัง น้ำยาทำความสะอาด พรม เพอร์นิเจอร์	สารก่อมะเร็ง

ที่มา: Botkin and Keller (2003)

2.3 มลพิษทางอากาศจากภายนอกอาคาร

สารมลพิษจากแหล่งกำเนิดภายนอกอาคารเป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนต่ออากาศภายในอาคาร เมื่อสารมลพิษจากภายนอกอาคารเข้าสู่อาคารจะทำให้เกิดปัญหาคคุณภาพอากาศภายในอาคารเช่นกัน สารมลพิษจากภายนอกอาคารที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารมีดังนี้

1) สารมลพิษจากแหล่งใกล้เคียงอาคาร เช่น ควันไอเสียของยานพาหนะบริเวณถนน ใกล้เคียงหรือในลานจอดรถหรืออุโมงค์จราจร ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์

2) ก๊าซจากดินหรือก๊าซเรดอน (Radon) เป็นก๊าซที่เกิดจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในดิน เช่น ยูเรเนียม (Uranium) และทอเรียม (Thorium) หรืออาจเกิดจากสิ่งปนเปื้อนในดินจากการใช้ที่ดินในบริเวณนั้นมาก่อน เช่น ใช้ในการฝังกลบขยะมูลฝอย หรือใช้สารกำจัดแมลงและศัตรูพืช ในการเพาะปลูก เป็นต้น ก๊าซเหล่านี้สามารถเข้าสู่อาคารผ่านทางพื้นชั้นล่างหรือฐานรากของอาคาร เรดอนมีลักษณะเป็นก๊าซเฉื่อย ไม่ทำปฏิกิริยากับวัตถุอื่นแต่จะลอยหรือปนกับน้ำที่ซึมเข้าสู่ตัวอาคารแล้วฟุ้งกระจายไปในอาคารภายในอาคารในระดับต่ำไม่เกิน 2 ชั้น นับจากฐานของตัวอาคาร การสลายตัวของเรดอนจะทำให้เกิดสารตัวใหม่ ซึ่งสามารถรวมตัวกับฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศได้เมื่อหายใจเอาอนุภาคเหล่านี้เข้าไปจะตกค้างอยู่ที่ปอดทำให้เกิดมะเร็งปอดได้ สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเรดอนขึ้น ซึ่งระดับที่เหมาะสมกับประเทศไทย อาจจะสูงกว่าหรือต่ำกว่ามาตรฐานของที่อื่นๆ ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นเรดอนเฉลี่ยที่เป็นภูมิหลัง (Background) ของทั่วประเทศ

3) สิ่งปนเปื้อนในอากาศภายนอกอาคาร ในบรรยากาศภายนอกโดยทั่วไปมักมีสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ ละอองเกสรดอกไม้ สปอร์ของเห็ดรา มลพิษจากอุตสาหกรรม เขม่าควันไอเสียของยานพาหนะ เป็นต้น เมื่อนำอากาศจากภายนอกซึ่งมีสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้เข้ามาในอาคาร จะทำให้อากาศภายในอาคารปนเปื้อนไปด้วย

4) ความชื้นหรือน้ำ ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี จุลชีพสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ผิวด้านนอกของหลังคาจากฝนตกหรืออาคารบ้านเรือนในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งที่มีลม ซึ่งมีความชื้นสูงพัดเข้ามาจากทะเล จุลชีพบางชนิดทำให้เกิดโรคต่อผู้ใช้หรืออาศัยในอาคารได้

5) มลพิษจากแหล่งกำเนิดภายนอกอาคารอื่นๆ การเกิดไฟไหม้ป่าทำให้เกิดสารมลพิษหลายชนิด ได้แก่ ควัน เถ้า หรือก๊าซต่างๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอน และออกไซด์ของซัลเฟอร์ เป็นต้น การเผาเปื้อยและการหมักสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ อาจทำให้เกิดสารมลพิษออกสู่บรรยากาศ ได้แก่ ออกไซด์ของคาร์บอน แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร

2.4.1 สารปนเปื้อนหรือมลพิษอากาศที่พบในอาคาร

สารปนเปื้อนหรือมลพิษที่มักพบและเป็นต้นเหตุของปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.4.1.1 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ (Combustion product)

เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในอาคาร เช่น เครื่องทำความร้อน การหุงต้มอาหาร เตามัง การจุดธูปเทียน ควันจากท่อไอเสีย และการรั่วไหลของท่อระบายควันในอาคาร ทำให้สารมลพิษตกค้างอยู่ภายในอาคาร และแหล่งต่างๆ เหล่านี้มีการปล่อยมลพิษ เช่น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สารฟอร์มัลดีไฮด์ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย และอนุภาคต่างๆ ได้แก่ เเขม่า ไขมัน น้ำมัน ฝุ่นสารละลายอินทรีย์ และผงถ่าน นอกจากนี้เตาที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง เช่น โพรเพน จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และอนุภาคแขวนลอยในอากาศ (สมชัย บวรกิตติ, 2542)

2.4.1.2 สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs)

กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ (Organic Compounds) ที่มีความดันไอมากกว่า 1 มิลลิเมตรปรอท สามารถระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ ในชีวิตประจำวันเราได้รับ VOCs จากผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น สีทาบ้าน ควันบุหรี่ น้ำยาฟอกสี สารตัวทำละลายในพิมพ์ จากตู้ฟรียิ่งยวด โรงงานอุตสาหกรรม น้ำยาซักแห้ง น้ำยาสำหรับย้อมผมและน้ำยาดัดผม สารฆ่าแมลง สารที่เกิดจากการเผาไหม้ และปะปนในอากาศ น้ำดื่ม เครื่องดื่ม อาหาร เป็นต้น แหล่งกำเนิดแต่ละชนิดจะทำให้เกิดสารอินทรีย์ระเหยได้หลายตัว เช่น ควันบุหรี่มีไอระเหยของแอลกอฮอล์ อะซิโตน เบนซีน ฟอร์มัลดีไฮด์ ฟีนอล แอมโมเนีย และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ทำให้ความเข้มข้นและชนิดของสารที่พบในอาคารหรือห้องต่างๆ มีความแตกต่างและหลากหลาย ผลกระทบต่อสุขภาพของสารอินทรีย์ระเหยโดยรวมคือ ทำให้เกิดการระคายเคืองทางเดินหายใจ ปวดศีรษะ คอแห้ง คลื่นไส้ อาเจียน มึนงง เมื่อยล้า (ณัฐพงษ์ แหะละหมั่น, 2548) สารอินทรีย์ระเหยที่สะสมไว้นานๆ จะมีผลกระทบทางชีวภาพและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

2.4.1.3 พอร์มลดีไฮด์

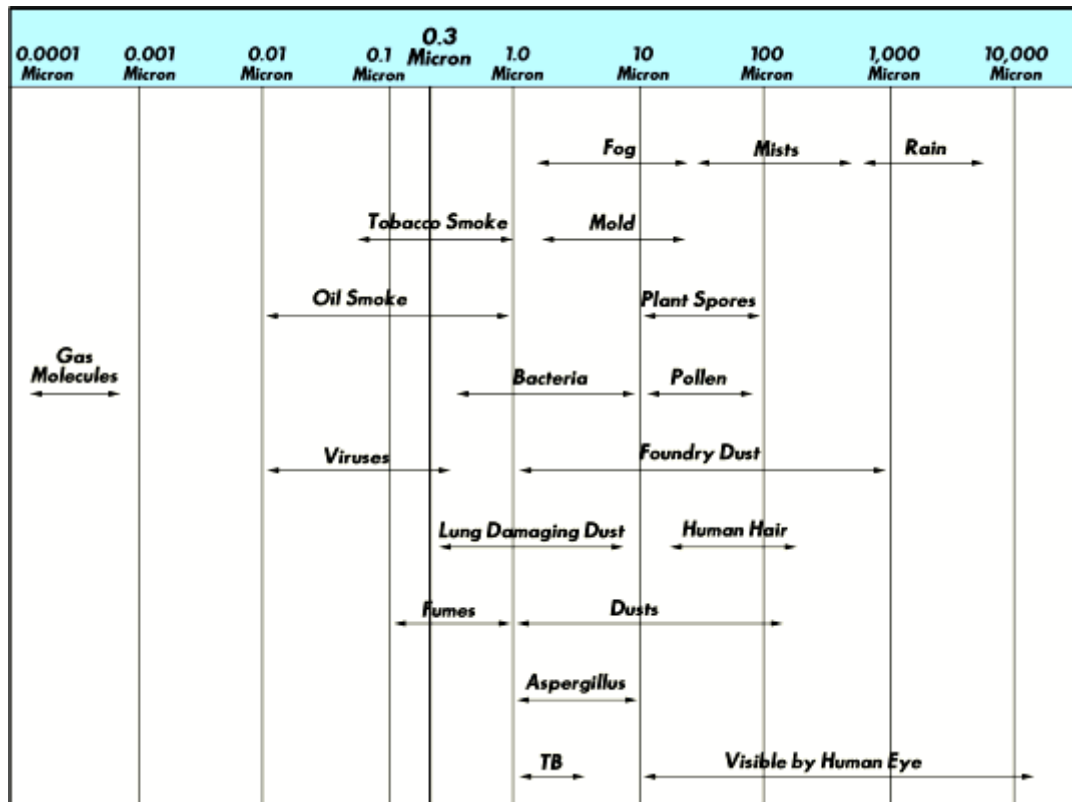
เป็นสารมลพิษสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพอากาศในอาคาร ใช้กับวัสดุก่อสร้าง และสิ่งตกแต่งภายในอาคาร วัสดุที่เป็นแหล่งที่มาสำคัญของพอร์มลดีไฮด์ ได้แก่ ไม้อัด และผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้อัด โฟมที่ใช้เป็นฉนวนกันความร้อน แผ่นฉนวนกันความร้อน ฝ้าเพดาน แผ่นยิปซัม ผลิตภัณฑ์กระดาษ ไฟเบอร์กลาส ผ้าผ่าน พรหมปูพื้น เสื่อน้ำมัน พอร์มลดีไฮด์ยังถูกใช้เป็นส่วนผสมของ สารเคลือบผิว เฟอร์นิเจอร์ โต๊ะ ตู้ต่างๆ ใช้ในอุตสาหกรรมการแพทย์ ฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา ทำความสะอาดห้องคนป่วย และนำไปเป็นส่วนผสมในการดองศพแช่ศพ นอกจากนี้แหล่งอื่นของพอร์มลดีไฮด์ ยังเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ควันบุหรี่ น้ำมันเชื้อเพลิง เตาก๊าซ เตาน้ำมันก๊าด เป็นสาร ก่อให้เกิดอาการระคายเคืองเยื่อต่างๆ ภายในร่างกาย ถ้าความเข้มข้นของสารพอร์มลดีไฮด์ที่ร่างกาย ได้รับสูงเกิน 0.1 ppm ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อตา จมูกและทางเดินหายใจ แต่ถ้าได้รับปริมาณ เข้มข้นสูงเกิน 100 ppm อาจทำให้หมดสติ และอาจถึงแก่ชีวิตในที่สุดเนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงๆ สารพอร์มลดีไฮด์จะเปลี่ยนรูปเป็นกรดฟอร์มิก (Formic acid) ซึ่งมีฤทธิ์ทำลายระบบการทำงานของ เซลล์ต่างๆ ในร่างกาย อาการเรื้อรังหากได้รับปริมาณน้อยแต่ระยะยาวจะทำให้เกิดผลเสียกับระบบ ร่างกายต่างๆ หรือก่อให้เกิดมะเร็งได้ อาคารที่ปลอดภัยควรมีสารพอร์มลดีไฮด์อยู่ในช่วง 0.04-0.1 ส่วนในล้านส่วน (สมชัย บวรกิตติ, 2542)

2.4.1.4 เรดอน (Rn)

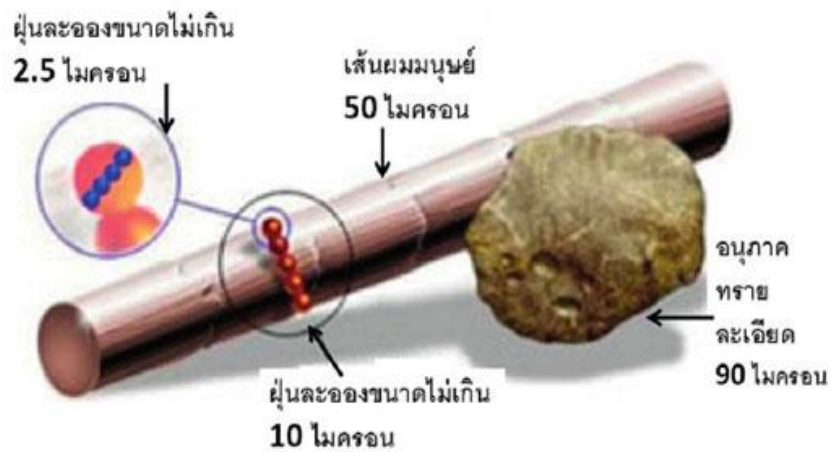
เป็นก๊าซกัมมันตรังสี เกิดจากการเสื่อมสลายของแร่เรเดียม (Radium) และ ยูเรเนียม (Uranium) อยู่ในดิน หินตามธรรมชาติ เมื่อเรดอนสลายตัวจะให้ไอโซโทปของแข็งเรียกว่า ผลผลิตเรดอน เมื่อจับอยู่กับอนุภาคเล็กๆ ที่แขวนลอยในอากาศและถูกหายใจเข้าไปในปอด จะเป็น สาเหตุให้เกิดโรคมะเร็งปอดได้ แหล่งกำเนิดของเรดอนมักจะมีอยู่ตามเหมือง ในอุโมงค์ ในดิน และวัสดุ อาคารที่มีเรเดียมปะปน ระดับเรดอนและผลผลิตจากการสลายตัวของเรดอนที่ขึ้นมาจากใต้ดินและ เข้าสู่ภายในอาคารนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเรดอนที่มีในดินบริเวณนั้นๆ ก๊าซเรดอนที่เกิดขึ้นจาก ดินจะเข้าสู่ภายในอาคารทางฐานรากของอาคาร โดยการซึมผ่านและอาศัยแรงดันบรรยากาศที่ แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ทำให้เรดอนสามารถผ่านรอยต่อ รอยแยกของพื้นและ ผนัง ดังนั้นถ้ามีการระบายอากาศที่ดี ปริมาณก๊าซเรดอนที่มีอยู่ในอากาศภายในห้องก็จะน้อยลง เพราะถูกถ่ายเทออกไปสู่อากาศภายนอกห้องได้หมดทุกๆ ชั่วโมง แต่ถ้าไม่มีการระบายอากาศเลยก๊าซ เรดอนก็จะสะสมอยู่ภายในห้อง และทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่อยู่อาศัยภายในตัวอาคารนั้น นอกจากนั้นก๊าซเรดอนยังละลายน้ำได้ดี จึงเข้าสู่ภายในอาคารได้ทางน้ำใต้ดินที่นำไปใช้ในครัวเรือน (สมชัย บวรกิตติ, 2542)

2.4.1.5 อนุภาคที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างได้ (Respirable Particulates)

อนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ (Particulate Matter) อาจอยู่ในสภาพของเหลวหรือของแข็งขนาดเล็กที่กระจายอยู่ในอากาศ เช่น อนุภาคต่างๆ เชื้อโรค ฝุ่นละออง ทำให้มองเห็นในภาพกว้างเป็นลักษณะหมอก หรือควัน สารปนเปื้อนในอากาศจากแต่ละแหล่งกำเนิด จะมีขนาดที่แตกต่างกันดังภาพที่ 2.1 อันตรรกะจากการสูดดมอนุภาคเหล่านี้ขึ้นอยู่กับขนาด ปริมาณ คุณสมบัติทางเคมี และความเป็นพิษของอนุภาคนั้นๆ ฝุ่นละอองในอากาศมีขนาดตั้งแต่ 500 ไมครอน จนถึง 0.2 ไมครอน ซึ่งฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้ โดยที่ฝุ่นละอองขนาด 100 ไมครอนอาจแขวนลอยในอากาศได้เพียง 2-3 นาที ในขณะที่ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี อนุภาคขนาดเล็กแขวนลอยในอากาศมีลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ภาพเปรียบเทียบขนาดฝุ่นละอองกับอนุภาคทรายและเส้นผมแสดงดังภาพที่ 2.2 อนุภาคขนาดเล็กที่สามารถผ่านเข้าไปในทางเดินหายใจได้โดยทั่วไปกำหนดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแอโรไดนามิก (Aerodynamic diameter) เล็กกว่า 10 ไมครอน อันตรรกะของอนุภาคเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ อนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 4 ไมครอน เมื่อหายใจเข้าไปจะผ่านทางเดินหายใจ ผ่านเนื้อเยื่อในปอดไปฝังตัวอยู่ในถุงลมปอด การฝังตัวของอนุภาคฝุ่นละอองขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นละออง รูปร่าง ความหนาแน่น ความเป็นกรด-ด่าง และความสามารถในการละลายน้ำ ประสิทธิภาพในการฝังตัวของฝุ่นละอองยังแตกต่างกันในคนที่สูบบุหรี่ ไม่สูบบุหรี่ คนที่เป็นโรคปอด หลังจากฝุ่นละอองได้เข้าสู่ทางเดินหายใจแล้วกลไกของร่างกายในการกำจัดฝุ่นละอองเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามตำแหน่งของทางเดินหายใจ บริเวณจมูก ลำคอและหลอดลมส่วนต้น จะมีขนาดเล็กๆ คอยโบกพัด และกำจัดฝุ่นละอองภายในระยะเวลา 1 วัน บริเวณถุงลมปอดใช้เวลาในการกำจัดฝุ่นละอองเป็นอาทิตย์หรือเป็นเดือน ขนาดของฝุ่นละอองที่มีความสามารถในการฝังตัวบริเวณถุงลมปอดมากที่สุดคือ 0.1-2.5 ไมครอน ซึ่งจะมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์มาก เพราะฝุ่นละอองพวกนี้สามารถทำให้เกิดอาการ ไอ จาม หลอดลมอักเสบเรื้อรัง หอบหืดได้ (จิตรพรรณ ภูษากักดีภาพ และ ชมพูศักดิ์ ภูสเกษม, 2544)



ภาพที่ 2.1 ขนาดของสารปนเปื้อนในอากาศ
ที่มา: จิรวัดน์ จิงศิริกุลวิทย์ (2558)



ภาพที่ 2.2 การเปรียบเทียบขนาดของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ กับอนุภาคทรายละเอียดและเส้นผม

ที่มา: จิรวัดน์ จิงศิริกุลวิทย์ (2558)

ในสหรัฐอเมริกา พบว่า ผู้ที่ได้รับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน จะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและโรคปอด และการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะผู้ป่วยสูงอายุ ผู้ป่วยโรคหัวใจ โรคหอบหืด และเด็กจะมีอัตราเสี่ยงสูงกว่าคนปกติ ซึ่งจากการศึกษาฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานคร พบว่า เมื่อระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเพิ่มขึ้นถึง 30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะพบการตายด้วยโรกระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้นร้อยละ 7-20 และการตายด้วยโรกระบบหลอดเลือดหัวใจเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-5 ส่วนกลุ่มผู้ใหญ่ที่อาศัยและทำงานภายในร้านค้าที่ไม่ได้ใช้เครื่องปรับอากาศ อาจมีอาการระบบทางเดินเฉียบพลัน ได้แก่ อาการป่วยที่ระบบหายใจส่วนบนและส่วนล่างเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 26 และ 20 ตามลำดับ ขณะที่กลุ่มที่ทำงานในห้องปรับอากาศจะมีการเพิ่มขึ้นของอาการป่วยที่ระบบหายใจส่วนบนและส่วนล่างร้อยละ 9 และ 5 ตามลำดับ ส่วนในเด็กเพิ่มขึ้นร้อยละ 9 และ 7 ตามลำดับ (อุษณีย์ วิจิเขตคานวน, 2543)

ระดับของอนุภาคฝุ่นละอองในอาคารจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกิจกรรมในอาคาร เช่น การสูบบุหรี่ การประกอบอาหาร การใช้เตาหุงต้มอาหาร เครื่องทำความร้อน เครื่องกรองอากาศ เครื่องระบายอากาศ แต่สิ่งที่ทำให้เกิด respirable dust มากที่สุดคือ ควันบุหรี่

2.4.1.6 ควันบุหรี่ (Tobacco smoke)

ควันบุหรี่ในอากาศภายในอาคารเป็นละอองลอย ประกอบด้วยสารที่เกิดจากการเผาไหม้สารเคมี ที่มีอยู่ในใบยาสูบตามธรรมชาติ สารเคมีที่ใช้ผสม เพื่อปรุงแต่งกลิ่นและรสในกระบวนการผลิตบุหรี่ และกระดาษที่ใช้นวนบุหรี่ อาจอยู่ในรูปของก๊าซ ไอ และอนุภาคแขวนลอยในอากาศ ซึ่งเกิดจากควันบุหรี่ที่ผู้สูบนั่นพ่นกลับออกมาและจากการเผาไหม้ของมวนบุหรี่ที่ควันบุหรี่แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ควันที่สูดเข้าร่างกาย กับควันที่ลอยอยู่ในอากาศ ในช่วงเวลาที่ไม่มีการสูดควัน ควันที่สูดเข้าสู่ร่างกาย มีความเข้มข้นมาก ประกอบด้วยส่วนที่เป็นละอองสารเคมี ขนาดของละอองจะแตกต่างกันระหว่าง 0.1 และ 1.0 ไมโครเมตร และส่วนที่เป็นก๊าซ คือ ไนโตรเจน (ร้อยละ 50-70) ออกซิเจน (ร้อยละ 10-15) คาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ 10-15) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (ร้อยละ 3-6) (ประภิต วาทีสารทกิจ และกรองจิต วาทีสารทกิจ, 2547) เนื่องจากควันที่ลอยอยู่ในอากาศจะเจือจางในอากาศ และจากความร้อนรอบนอกที่ต่ำกว่า ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว ละอองสารของควันจึงมีขนาดเล็กกว่า และระหว่างที่ควันลอยอยู่ในอากาศ จะมีออกซิเจนมากกว่า จึงทำให้สารบางชนิด เกิดปฏิกิริยา กลายเป็นสารชนิดที่มีพิษมากขึ้นได้ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ และเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนมากขึ้น ก็จะจับตัวกับออกซิเจน กลายเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นพิษต่อร่างกายมากขึ้นผู้ที่ไม่สูบบุหรี่แต่หายใจนำอากาศที่ปนเปื้อนควันบุหรี่เข้าไป นอกจากจะได้รับผลร้ายเช่นเดียวกับผู้สูบบุหรี่แล้วยังได้รับความรำคาญต่อกลิ่น เกิดความเครียดต่อจิตใจ ระคายเคืองตา จมูก และคอ ทำให้ไอ เด็กเป็น

โรคหุ้่น้ำหนักบ่่อยขึ้น มีอาการโรคหอบจากพยาธิสภาพทางเดินอากาศหายใจขนาดเล็กในผู้ที่ไม่สูบบุหรี (สมชัย บวรกิตติ, 2542)

2.4.1.7 กลิ่น (Odor)

สารเคมีบางอย่างมีกลิ่นเหม็นฉุน ทำให้เกิดความไม่สะดวกสบายและระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ กลิ่นเป็นมลพิษอากาศที่กำจัดยากที่สุด เป็นส่วนผสมของสารเคมีหลายชนิด แม้ว่าจะมีอยู่ในระดับต่ำแต่ระบบระบายอากาศก็ยากที่จะกำจัดกลิ่นให้หมดไป สังเกตได้จากห้องที่มีคนอยู่หนาแน่น มีการสูบบุหรีเป็นประจำและมีการระบายอากาศน้อย กลิ่นเหล่านั้นจะติดอยู่ตามเสื้อผ้า ผ้าม่าน พรมเป็นเวลานาน การกำจัดกลิ่นภายในอาคารมักใช้การระบายอากาศ เครื่องฟอกอากาศและตัวดูดซับกลิ่น (วนิดา จินศาสตร์, 2551)

2.4.1.8 ละอองลอยชีวภาพ (Bioaerosol)

ละอองลอยชีวภาพจัดเป็นมลพิษในอาคารที่เป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถดำรงชีวิตอยู่กับเราได้ยาวนานมาก เช่น เชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบปรับอากาศ ไรฝุ่น เชื้อรา และไวรัส เป็นต้น ซึ่งมักก่อให้เกิดอาการโรคภูมิแพ้ของระบบทางเดินหายใจ เรียกว่า สารก่อภูมิแพ้ในอากาศ (aeroallergen) ชีวสารภายในอาคารทำให้เกิดโรคภูมิแพ้ระบบการหายใจ เช่น โรคโพรงจมูกอักเสบภูมิแพ้ โรคปอดอักเสบภูมิไวเกิน จุลชีพจะก่อให้เกิดกลุ่มอาการต่างๆ ตั้งแต่ไม่สบายเล็กน้อย ครั่นเนื้อครั่นตัว จนถึงโรคติดเชื้อในทางเดินหายใจในระดับต่างๆ เช่น หวัด ไข้หวัดใหญ่ วัณโรค เป็นต้น (วนิดา จินศาสตร์, 2551) สิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะเป็นปัญหาของคุณภาพอากาศภายในอาคารได้นั้นจะต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น มีแหล่งน้ำขังในระบบระบายอากาศ มีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพ เป็นต้น การมีสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้จุลชีพแบ่งตัวเพิ่มจำนวนลอยปะปนอยู่ในอากาศ และเคลื่อนที่ไปสู่ห้องต่างๆ ภายในอาคารโดยผ่านระบบปรับอากาศ เมื่อคนหายใจเอาจุลชีพที่แขวนลอยในอากาศเหล่านี้เข้าไปในร่างกาย ก็จะทำให้เกิดโรคและอาการเจ็บป่วยตามมา (ณัฐพงษ์ แผละหมัน, 2548) จากการศึกษาทางระบาดวิทยาเกี่ยวกับเชื้อจุลินทรีย์ที่แพร่กระจายในบรรยากาศภายในสำนักงานซึ่งมีระบบระบายอากาศ การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศไม่ดี ทำให้เป็นแหล่งกำเนิดของเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา ทำให้พนักงานเกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ เช่น ไข้หวัด ไข้หวัดใหญ่ ปอดบวม ดังนั้นในสำนักงานซึ่งห้องทำงานแต่ละห้องเป็นระบบปิด ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ทำให้เป็นแหล่งกำเนิดของจุลินทรีย์ (จิตรพรรณ ภูษาภักดีภพ และ ชมพูศักดิ์ พูลเกษม, 2544)

2.4.2 ปัจจัยทางกายภาพ

ปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ

2.4.2.1 ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่าร้อยละ 70 พบว่ามีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ในสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงที่ต่ำกว่าร้อยละ 20 จะทำให้เกิดอาการทางผิวหนังและเยื่อหูแห้ง และระคายเคืองได้ นอกจากนี้ยังพบว่าอาการอักเสบนั้นมีความสัมพันธ์กับความร้อน ความแห้งของอากาศ และอัตราการเคลื่อนไหวของอากาศในบริเวณนั้นด้วย Environmental Protection Agency (EPA) ของสหรัฐอเมริกาได้แนะนำค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 45-50% และ The American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) ได้เสนอแนะว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศควรต่ำกว่าร้อยละ 60

ความชื้นสัมพัทธ์จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความชื้นในอากาศและความชื้นในวัสดุก่อสร้างอาคาร ความชื้นภายในอาคารมีแหล่งกำเนิดหลัก 4 ประการ คือ

- 1) ความชื้นจากภายนอก เช่น ฝนซึ่งจะเข้ามาตามรอยแยกของโครงสร้างอาคารหรือความชื้นจากพื้นดิน
- 2) แหล่งกำเนิดภายในอาคาร ได้แก่ ความชื้นที่มาจากผู้ใช้อาคารและกิจกรรมภายในอาคาร เช่น การประกอบอาหาร การอาบน้ำ จากลมหายใจมนุษย์ และเครื่องทำความชื้น เป็นต้น
- 3) ความชื้นจากวัสดุก่อสร้าง เช่น ความชื้นในพื้นที่คอนกรีต และระยะเวลาในการก่อสร้าง เนื่องจากวัสดุก่อสร้างไม่สามารถป้องกันความชื้นได้
- 4) อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เช่น ท่อน้ำรั่ว

2.4.2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ทำให้คนรู้สึกสะดวกสบายนั้น พบว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการรับรู้ถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร ช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้คนรู้สึกสะดวกสบายที่กำหนดโดย American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1981) คือ อุณหภูมิ 20-26 องศาเซลเซียส ซึ่งจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมของผู้ใช้อาคาร เสื้อผ้าที่สวมใส่ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิที่สูงกว่าในช่วงที่แนะนำ พบว่ามีผลต่อการคายหรือปล่อยออกของสารอินทรีย์ระเหยจากวัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในปริมาณที่มากขึ้น

นอกจากการปนเปื้อนที่พบในอาคารและปัจจัยทางกายภาพแล้วนั้น การระบายอากาศ การพอกอากาศ และระบบปรับอากาศก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารเช่นกัน

2.4.3 การระบายอากาศ

การระบายอากาศ หมายถึง การจัดการเคลื่อนย้ายอากาศด้วยปริมาณที่กำหนดให้ไหลไปในทิศทางและความเร็วที่ต้องการ ดังนั้นการระบายอากาศจึงสามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศอันไม่พึงประสงค์ เช่น มลพิษ ความร้อน ความชื้น กลิ่นรบกวน คิวน์ และสิ่งอื่นๆ ที่ปะปนอยู่ในอากาศให้ออกไปจากที่ปฏิบัติงาน ในขณะที่เดียวกันก็สามารถดำเนินการให้อากาศบริสุทธิ์หรืออากาศที่มีคุณสมบัติที่ต้องการไหลเข้ามาในสถานที่ทำงานได้ ดังนั้นการระบายอากาศจึงเป็นวิธีการที่ใช้ได้ผลดีวิธีหนึ่งในการป้องกันอันตรายต่อสุขภาพ และ/หรือลดปัญหาความเดือดร้อนรำคาญซึ่งอาจเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานในอาคาร (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ et al., 2553)

การระบายอากาศเป็นการนำอากาศภายนอกเข้ามาภายในอาคาร และกระจายไปสู่ส่วนต่างๆ ของอาคาร โดยทั่วไปวัตถุประสงค์ของการระบายอากาศ คือ การทำให้อากาศดีเหมาะสมต่อการหายใจโดยการเจือจางมลภาวะในอากาศในอาคาร และขจัดมลภาวะในอากาศออกจากอาคาร

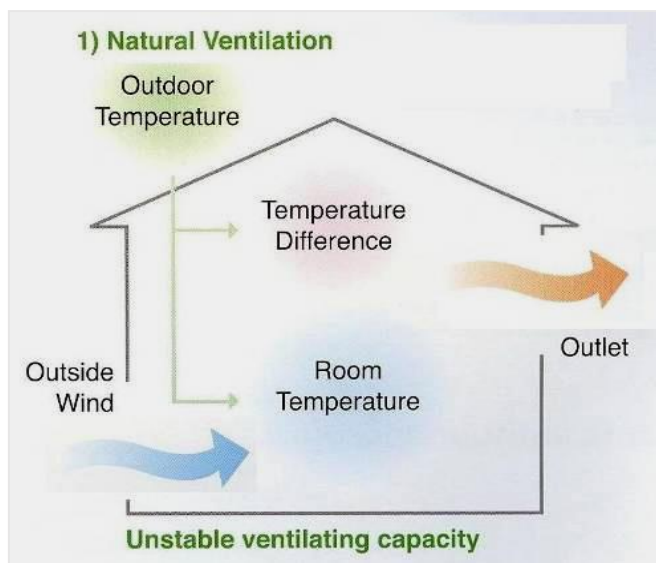
กระบวนการระบายอากาศแบ่งได้ดังนี้

2.4.3.1 การแทรกผ่านทางรอยแยกของอาคาร (infiltration and exfiltration)

โครงสร้างของอาคารทุกแห่งมีหลายช่องทางที่ยอมให้อากาศแทรกซึมเข้าและออก ไม่ว่าจะเป็นรอยแตกของอาคาร ช่องว่างระหว่างวงกบประตู หน้าต่าง และฐานของอาคาร ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแทรกผ่านของอากาศตามรอยแยกคือ ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันมาก มีลมแรง และอากาศจะถ่ายเทได้น้อยในวันที่ลมสงบ และอุณหภูมิภายในและภายนอกมีความแตกต่างกันน้อย เนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันส่งผลให้มีความดันอากาศภายในและภายนอกอาคารไม่เท่ากัน การระบายอากาศแบบนี้เกิดกับอาคารทุกแห่ง แต่จะมีบทบาทมากในอาคารปิด โดยเฉพาะอาคารที่ไม่มีการระบายอากาศชนิดอื่น เช่น การใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยไม่มีพัดลมดูดอากาศ

2.4.3.2 การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (natural ventilation)

การระบายอากาศแบบธรรมชาติ คือ การไหลของอากาศผ่านทางช่องเปิด หน้าต่าง ประตู และช่องเปิดของเปลือกอาคาร เกิดขึ้นจากแรงดันอากาศที่แตกต่างตามธรรมชาติ หรือที่มนุษย์สร้างขึ้น อากาศจากภายนอกเข้าไปหมุนเวียนในอาคารและเจือจางมลพิษ อัตราการระบายอากาศแบบธรรมชาติขึ้นอยู่กับปริมาณและตำแหน่งของประตู หน้าต่าง และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม คือ อุณหภูมิ และความเร็วลม โดยส่วนมากการระบายอากาศแบบธรรมชาตินี้จะควบคู่ไปกับการใช้พัดลมชนิดต่างๆ ดังภาพที่ 2.3

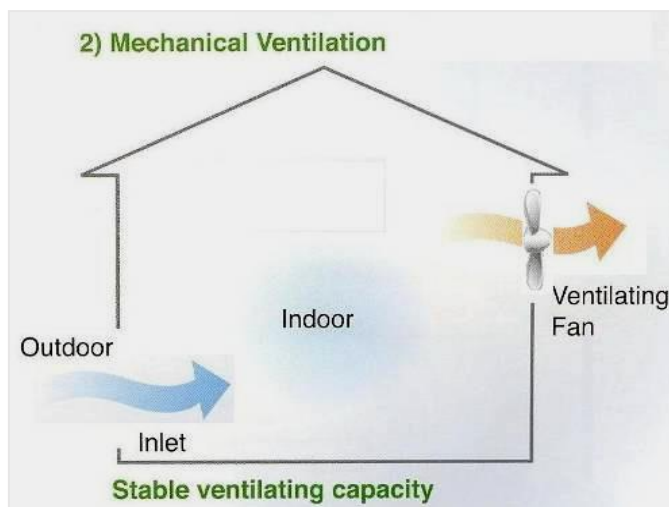


ภาพที่ 2.3 การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural Ventilation)

ที่มา: บริษัทอาร์พีซี อินโนเวชั่นจำกัด (2556)

2.4.3.3 การระบายอากาศเชิงกล (mechanical ventilation)

การระบายอากาศเชิงกลนิยมใช้กันแพร่หลาย เพื่อควบคุมปริมาณสารปนเปื้อนทั้งในอาคารสำนักงานใหญ่ อาคารพาณิชย์ โรงพยาบาล และสถานศึกษา โดยอาจแบ่งเป็นการระบายอากาศของทั้งอาคาร หรือเฉพาะพื้นที่บางส่วน การระบายอากาศเชิงกลมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อเจือจางและกำจัดของเสียจากมนุษย์ซึ่งเป็นต้นเหตุของกลิ่นไม่พึงประสงค์ และยังสามารถเจือจางระดับมลพิษในอาคาร โดยเมื่อปริมาตรอากาศหมุนเวียนเป็น 2 เท่าของปริมาตรอากาศภายในอาคาร ระดับมลพิษจะลดลงร้อยละ 50 ประสิทธิภาพการเจือจางสิ่งปนเปื้อนในอาคารจะดีที่สุดกับมลพิษที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว เช่น การสูบบุหรี่ แต่ประสิทธิภาพจะลดลงกับมลพิษที่ถูกปลดปล่อยอย่างต่อเนื่องจากการแพร่ ส่วนการระบายอากาศเฉพาะพื้นที่บางส่วนนั้นใช้กับแหล่งกำเนิดที่ระบุได้แน่นอน ปลดปล่อยมลพิษปริมาณมาก และปลดปล่อยเฉพาะพื้นที่ นิยมใช้ควบคุมกลิ่นจากห้องน้ำ ควบคุมมลพิษจากการเผาไหม้ และกลิ่นจากห้องครัว หรือลดกลิ่นและก๊าซจากห้องปฏิบัติการของสถานศึกษา ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation)

ที่มา: บริษัทอาร์พีซี อินโนเวชั่นจำกัด (2556)

ในปัจจุบันข้อกำหนดพื้นฐานสำหรับระบบปรับอากาศและระบายอากาศในสถานพยาบาลในประเทศไทยคือ มาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ร่วมกับสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย ได้มีข้อเสนอแนะเฉพาะกาล (Interim Guideline) สำหรับอัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องต่างๆ ในโรงพยาบาล ฉบับพิมพ์ปรับปรุงครั้งที่ 3 ปี 2556 (สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2556) โดยมีสาระสำคัญดังนี้

1) การเติมอากาศ ต้องมีการเติมอากาศเข้ามาในห้อง หรือพื้นที่เพื่อเจือจางสิ่งปนเปื้อนในอากาศ โดยอัตราการเติมอากาศของแต่ละพื้นที่มีรายละเอียดตามตารางที่ 2.3 และอากาศที่จะเติมเข้ามาควรมีสิ่งปนเปื้อนน้อยที่สุด ดังนั้นจุดที่นำอากาศเข้าจะต้องห่างจากบริเวณเหล่านี้อย่างน้อย 10 เมตร ได้แก่ ท่อไอเสียของอุปกรณ์ที่มีการเผาไหม้ จุดปล่อยอากาศเสียของโรงพยาบาลและอาคารข้างเคียง ระบบดูดของเสียทางการแพทย์ จุดที่มีควันไอเสียรถยนต์ หอระบายความร้อน และควรอยู่เหนือพื้นดินอย่างน้อย 3 ฟุต อากาศที่จะเติมเข้ามาในห้องจะต้องผ่านการกรอง การปรับอุณหภูมิและความชื้นตามมาตรฐานที่กำหนด

ตารางที่ 2.3 อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายใน และความดันสัมพันธ์

ลำดับ	สถานที่	อัตราการนำเข้า อากาศภายนอกไม่ น้อยกว่าจำนวนเท่า ของปริมาตรห้องต่อ ชั่วโมง	อัตราการหมุนเวียน อากาศภายในห้องไม่ น้อยกว่าจำนวนเท่าของ ปริมาตรห้องต่อชั่วโมง	ความดัน สัมพันธ์กับ พื้นที่ ข้างเคียง
1	ห้องผ่าตัด	5	25	สูงกว่า
2	ห้องคลอด	5	25	สูงกว่า
3	ห้อง Nursery	5	12	สูงกว่า
4	หออภิบาลผู้ป่วยหนัก (ICU)	2	6	สูงกว่า
5	ห้องตรวจรักษาผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
6	ห้องฉุกเฉิน (Trauma Room)	5	12	สูงกว่า
7	บริเวณพักคอย สำหรับแผนกผู้ป่วย นอกและห้องฉุกเฉิน	2	12	ต่ำกว่า
8	ห้องพักผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
9	ห้องแยกผู้ป่วยแพร่ เชื้อทางอากาศ	2	12	ต่ำกว่า
10	ห้องแยกผู้ป่วยปลอด เชื้อ	2	12	สูงกว่า
11	ห้องปฏิบัติการ (Laboratory)	2	6	ต่ำกว่า
12	ห้องชันสูตรศพ	2	12	ต่ำกว่า

ที่มา: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2556)

2) การกรองอากาศ เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในสถานพยาบาลจะต้องมีความสามารถในการกรองอากาศที่เดิมและหมุนเวียนภายในห้องด้วยแผงกรองอากาศเพื่อลดสิ่งปนเปื้อนและเชื้อโรคที่มีอยู่ในอากาศ ซึ่งอาจมาจากผู้ป่วย ศพ บุคลากร Laboratory specimens หรือพื้นผิวและสิ่งแวดล้อมภายในห้อง ประสิทธิภาพแผงกรองอากาศสำหรับสถานที่ต่างๆ ภายในโรงพยาบาล และประสิทธิภาพแผงกรองอากาศแต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ประสิทธิภาพแผงกรองอากาศสำหรับสถานที่ต่างๆ

ลำดับ	สถานที่	จำนวนชั้น ขั้นต่ำ	ประเภทแผงกรอง อากาศชั้นที่ 1	ประเภทแผงกรอง อากาศชั้นที่ 2
1	ห้องผ่าตัดออร์โทพีดิกส์ ห้องผ่าตัดปลูกถ่ายไขกระดูก ห้องผ่าตัดปลูกถ่ายอวัยวะ	2	4	1 ติดตั้งที่ช่อง จ่ายลม
2	ห้องผ่าตัดทั่วไป (General Procedure Operating Rooms) ห้องคลอด (Delivery Rooms) ห้องเด็กแรกคลอด (Nurseries) หอผู้ป่วยหนัก (ICU) ห้องรักษาผู้ป่วย ห้องตรวจวินิจฉัย บริเวณพักคอยสำหรับแผนก ผู้ป่วยนอกและห้องฉุกเฉิน	2	4	2
3	ห้องปฏิบัติการ ห้องเก็บอุปกรณ์ปลอดเชื้อ	1	3	-
4	พื้นที่เตรียมอาหาร ห้องซักกรีด ห้องพักผู้ป่วย ทางเดินหน้าห้องพักผู้ป่วย	1	4	-

ที่มา: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2556)

ตารางที่ 2.5 ประเภทแผงกรองอากาศและประสิทธิภาพ

ประเภท	ประสิทธิภาพขั้นต่ำ	มาตรฐานการทดสอบ
1	99.97% MERV 17	HEPA 99.97% efficiency on 0.3 μ Particles, IEST Type A ASHRAE Standard 52.
2	90-95% MERV 14	ASHRAE Standard 52.1 (Dust Spot)
3	80 - 90% MERV 13	ASHRAE Standard 52.1 (Dust Spot) ASHRAE Standard
4	25 - 30% MERV 7	ASHRAE Standard 52.1 (Dust Spot) ASHRAE Standard
MERV = Minimum Efficiency Reporting Value ตามมาตรฐาน ASHRAE 52.2		

ที่มา: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2556)

3) ทิศทางการไหลของอากาศ มีการกำหนดทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องแต่ละประเภท เช่น ห้องแยกโรคสำหรับผู้ป่วยที่แพร่เชื้อโรคทางอากาศ ลมที่จ่ายเข้ามาจะต้องผ่านบุคลากรก่อน แล้วจึงผ่านผู้ป่วย ส่วนห้องประเภท protective environment เช่น ห้องผ่าตัดและห้องแยกสำหรับผู้ป่วยภูมิคุ้มกันต่ำ จะต้องออกแบบให้ลมสะอาดผ่านผู้ป่วยเป็นลำดับแรก ทั้งนี้ตำแหน่งของหัวจ่ายลมหน้ากากลมกลับ ความเร็วลมที่จ่ายและความสามารถของพัดลมดูดลมกลับจะเป็นตัวกำหนดให้ทิศทางการไหลของอากาศเป็นไปตามมาตรฐาน

4) ความดันอากาศภายในห้อง มีการกำหนดความดันของอากาศภายในห้องเมื่อเทียบกับบริเวณภายนอกโดยรอบ ทั้งนี้เพื่อควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโรคไม่ให้เข้ามาหรือออกจากห้องตามประเภทของห้องนั้น เช่น ห้องแยกโรคสำหรับผู้ป่วยที่แพร่เชื้อทางอากาศจะต้องมีความดันเป็นลบเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณโดยรอบไม่น้อยกว่า -2.5 ปาสคาล เพื่อมิให้เชื้อโรคแพร่กระจายออกมาสู่บริเวณอื่น ส่วนห้องแยกสำหรับผู้ป่วยภูมิคุ้มกันต่ำ และห้องผ่าตัด ต้องมีความดันอากาศเป็นบวกเมื่อเทียบกับบริเวณโดยรอบ เพื่อมิให้เชื้อโรคที่แพร่กระจายทางอากาศเข้าไปในห้อง

5) การหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศทั่วไป อากาศที่จ่ายออกไปจากเครื่องปรับอากาศจะถูกหมุนเวียนกลับเข้ามาในเครื่องและจ่ายออกไปอีก แต่สำหรับระบบปรับอากาศที่เหมาะสมสำหรับสถานพยาบาล จะมีข้อกำหนดของการหมุนเวียนอากาศกลับมา

ใช้ใหม่ หรือมีข้อแม้อย่างไร เช่น ในห้องแยกโรคสำหรับผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ จะสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ต่อเมื่ออากาศที่หมุนเวียนนั้นผ่านการกรองด้วย HEPA filter

6) อากาศที่ระบายทิ้ง มีการกำหนดว่าการระบายทิ้งอากาศที่ปนเปื้อนเชื้อโรคหรือสารกัมมันตรังสี ที่แพร่กระจายทางอากาศได้ จะต้องระบายออกในตำแหน่งที่ไม่เสี่ยงต่อการไปสัมผัสผู้คน เข้าไปยังอาคารอื่น หรือย้อนกลับเข้าสู่อาคาร หากมีความเสี่ยงดังกล่าว อากาศที่จะระบายทิ้งจะต้องผ่านแผงกรองอากาศระดับ HEPA filter ก่อนปล่อยทิ้ง และจุดระบายอากาศต้องอยู่ห่างจุดนำอากาศเข้ามากกว่า 25 ฟุต

7) อุณหภูมิและความชื้น มีข้อกำหนดช่วงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมกับบุคคลและกิจกรรมในแต่ละบริเวณ เช่น ห้องผ่าตัด ควรมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 17-27 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ระหว่าง 45-55% ขณะที่ห้องผู้ป่วยวิกฤต (ICU) ควรมีอุณหภูมิในช่วง 21-27 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 60%

2.5 ผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดขึ้นจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ในรายงานทางการแพทย์พบว่าผู้ที่อยู่ในอากาศที่มีฝุ่นละอองขนาดเล็กในความเข้มข้นต่ออากาศที่สูงเกินระดับมาตรฐาน (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ) จะเกิดอาการโดยเฉียบพลันในระดับต่างๆ ตั้งแต่ระดับน้อยๆ ไปจนถึงอันตรายต่อชีวิต ได้แก่ การไอจาม มีน้ำมูก หายใจขัด เกิดการแพ้ หายใจลำบาก มีอาการหอบหืด หัวใจเต้นแรง หน้ามืด เป็นลม หมดสติ ชัก หัวใจวายเฉียบพลัน สำหรับผู้ที่ได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีความเข้มข้นมากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ เป็นเวลานานๆ อาจไม่มีอาการที่รุนแรงมากนักในระยะต้น แต่ในระยะยาวอาจก่อให้เกิดโรคที่รุนแรงหรือมีอาการเรื้อรัง ได้แก่ ภูมิแพ้ การอุดตันของท่อลมฝอย หอบหืดเรื้อรัง ปอดอักเสบเรื้อรัง ไอบีเป็นเลือด โรคหลอดเลือดและหัวใจ และยังพบรายงานทางระบาดวิทยาว่าประชาชนที่อยู่ในเขตที่มีมลพิษทางอากาศสูงนานๆ มีแนวโน้มที่จะเป็นมะเร็งปอดมากกว่าประชาชนในเขตที่มีอากาศสะอาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งพอจะสรุปอาการเจ็บป่วยที่เกิดจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก ได้ดังนี้

1) อาการของระบบทางเดินหายใจ ตั้งแต่อาการน้อย เช่น ไอ จาม มีน้ำมูก จนไปถึงการอักเสบของไซนัส เจ็บคอ ไอมีเสมหะ หรือมีไข้ หรืออาจจะมีอาการของระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ได้แก่ หายใจลำบาก เจ็บหน้าอก หรือหายใจมีเสียงดังวีซ (wheez) เนื่องจากการหดตัวของหลอดลม

2) หลอดลมอักเสบ (Bronchitis) ในกลุ่มประชากรที่สัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กในปริมาณที่มาก จะมีอุบัติการณ์ของการเกิดโรคหลอดลมอักเสบสูงกว่า และในรายที่มีโรคหัวใจเป็นโรค

ประจำตัวอยู่แล้ว เมื่อเกิดโรคหลอดลมอักเสบ (Bronchitis) หรือปอดบวม (Pneumonia) จะซ้ำเติมให้การทำงานของหัวใจแย่งลง จนเกิดหัวใจวายได้ (Heart Failure)

3) ปอดเป็นพังผืดจากการระคายเคืองเรื้อรัง (Pneumoconiosis) การที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าไปในปอดไประคายเคืองระบบทางเดินหายใจเรื้อรังจนเกิดพังผืดขึ้นในเนื้อปอด

4) มะเร็งของระบบทางเดินหายใจ ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีส่วนผสมของสารบางอย่าง เช่น สารหนู โครเมต Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) นิเกิล สารกัมมันตรังสี ซึ่งเมื่อสัมผัสกับเนื้อปอด จะทำให้เป็นมะเร็งปอดได้ และถ้าสารดังกล่าวที่กล่าวมาข้างต้นสามารถละลายน้ำได้ เมื่อไปสู่อวัยวะต่างๆ นอกปอดก็สามารถทำให้อวัยวะเหล่านั้นเกิดมะเร็งได้เช่นกัน

5) เพิ่มอัตราการตาย และอัตราการนอนพักรักษาตัวในโรงพยาบาล โดยมีการศึกษาสนับสนุนดังนี้ (ยูดี คาดการณ์ไกล และ ชูชัย ศุภวงศ์, 2542)

- การศึกษาในสหรัฐอเมริกา ในปี 1944 ถ้าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากระดับปกติ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะทำให้อัตราการตายสูงขึ้นร้อยละ 1.0-3.2 และเพิ่มการนอนรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจขึ้นร้อยละ 1-2

- การศึกษาในสหราชอาณาจักร พบว่า PM₁₀ เพิ่มอัตราการตายร้อยละ 1.9 และเพิ่มการนอนพักรักษาตัวในโรงพยาบาล โดยในเขตเมืองของประเทศกำลังพัฒนา สัดส่วนของ PM_{2.5}/PM₁₀ มีค่าประมาณ 0.5 แต่ในเขตเมืองของประเทศพัฒนาแล้วประมาณ 0.5- 0.8 แม้ว่า PM₁₀ จะได้รับการใช้ในวงกว้าง แต่การศึกษาของ WHO ใช้ค่า PM_{2.5} และคำนวณกลับมาเป็น PM₁₀ ได้จากการประมาณการว่า ค่าสัดส่วนระหว่าง PM_{2.5}/PM₁₀ มีค่าประมาณ 0.5

- การตายตามธรรมชาติในกรุงเทพมหานคร พบว่า ปริมาณของ PM₁₀ เพิ่มขึ้น 30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของการตายรายวัน ร้อยละ 3-5 นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่าง PM₁₀ กับการตายเนื่องจากโรกระบบทางเดินหายใจ และระบบหลอดเลือดหัวใจอีกด้วย

จากผลกระทบทางสุขภาพที่ได้ทำการศึกษามาก่อนหน้านี้ จำเป็นต้องมีค่ามาตรฐานทั้งระยะสั้น 24 ชั่วโมง และระยะยาวคือ 1 ปี (ตารางที่ 2.6) โดยค่าเฉลี่ยระยะยาว 1 ปีของ PM_{2.5} นั้นกำหนดระดับต่ำสุดที่ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าที่เริ่มมีผลทำให้อัตราการตายสูงขึ้น โดยอ้างอิงข้อมูลจาก American Cancer Society's (ACS) (Pope et al., 2002) จากการศึกษาพบว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัส PM_{2.5} ในระยะยาวกับอัตราการตาย โดยปริมาณค่าเฉลี่ยของ PM_{2.5} ที่ผ่านมาเท่ากับ 18 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (11.0 – 29.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ใน 6 เมือง

ที่ทำการศึกษา และจากการศึกษาของ ACS ค่าเฉลี่ยของ $PM_{2.5}$ ที่สัมพันธ์กับอัตราการตายที่เพิ่มขึ้นคือ 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (9.0 – 33.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) แต่ทั้งการศึกษายังไม่สามารถกำหนดค่า Threshold ได้ว่าค่าที่ปลอดภัยสำหรับประชากรทุกคนควรเป็นเท่าไร แต่จากการศึกษา ของ Dockery and Pope (1994) พบว่าความเสี่ยงต่ออัตราการตายที่เพิ่มขึ้นยังเหมือนเดิมในเมืองที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นระยะยาวของ $PM_{2.5}$ ต่ำสุด คือ 11-12.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงสรุปได้ว่า ปริมาณของ $PM_{2.5}$ ที่มีผลต่อสุขภาพที่ต่ำสุดคือ 11-15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้น WHO Air quality guideline จึงกำหนดค่ามาตรฐานที่ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดังกล่าวได้ทำการศึกษาทั้งการสัมผัสในระยะสั้นและระยะยาว ซึ่งพบว่ามีความปลอดภัยในระดับหนึ่ง และสามารถลดความเสี่ยงลงไปได้อย่างมีนัยสำคัญ แม้จะไม่สามารถที่จะรับรองความปลอดภัยของทุกคน

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานฝุ่นละอองภายในอาคาร

ฝุ่นละออง	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	24 ชม	ไม่เกิน 25 มคก./ลบ.ม.
	1 ปี	ไม่เกิน 10 มคก./ลบ.ม.
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	24 ชม.	ไม่เกิน 50 มคก./ลบ.ม.
	1 ปี	ไม่เกิน 20 มคก./ลบ.ม.

ที่มา: WHO (2005)

2.6 ประเภทห้องพักผู้ป่วยในโรงพยาบาล

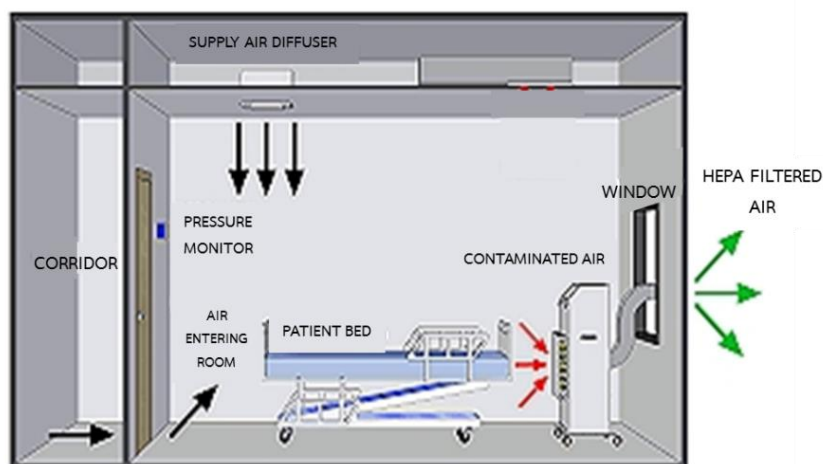
ประเภทของผู้ป่วยที่มีผลต่อการออกแบบห้องพักนั้นแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ ผู้ป่วยแพร่เชื้อ คือ ผู้ป่วยที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อสู่อีกคนหนึ่งและมีโอกาสทำให้คนนั้นเกิดติดเชื้อต่อได้ และผู้ป่วยที่มีปัญหาเรื่องภูมิคุ้มกันอาจเนื่องมาจากร่างกายที่เป็นโรคอันตรายแต่ไม่แพร่เชื้อ แต่สามารถติดเชื้อได้ง่าย ซึ่งลักษณะของป่วยมีผลต่อการออกแบบห้องพักผู้ป่วยแพร่เชื้อโดยเฉพาะเชื้อที่รุนแรงและติดต่อยุติเร็ว จำเป็นต้องออกแบบห้องให้มีแรงดันอากาศในห้องต่ำกว่ารอบข้าง (Negative Pressure) ในขณะที่ผู้ป่วยที่มีปัญหาเรื่องภูมิแพ้หรือรับเชื้อได้ง่ายแต่ไม่ใช่โรคติดต่อจำเป็นต้องอยู่ในห้องที่มีแรงดันอากาศภายในห้องสูงกว่าภายนอก (Positive Pressure) และผู้ป่วยทั่วไปที่ไม่มีปัญหาเรื่องการแพร่เชื้อหรือติดเชื้อง่าย จะอยู่ในห้องแรงดันอากาศปกติ

2.6.1 ห้องพักผู้ป่วยระบบความดันเป็นลบ (Negative Pressure Room)

ห้องแยกเดี่ยวผู้ป่วยสำหรับผู้ป่วยแพร่เชื้อ หรือ ห้องแรงดันอากาศต่ำกว่ารอบข้าง หรือแรงดันเป็นลบ (Negative Pressure) ลักษณะของห้องแยกเดี่ยวผู้ป่วยแพร่เชื้อที่ดีนั้น จะสามารถป้องกันการระบาดของโรคไปสู่บุคลากรทางการแพทย์ที่เข้าไปทำการรักษาตลอดจนถึงญาติมิตรของผู้ป่วยที่เข้าไปเยี่ยม และยังป้องกันเชื้อไม่ให้ลุกลามไปสู่สภาพแวดล้อม ทั้งภายในโรงพยาบาลเองโดยระบาดไปสู่พื้นที่อื่นของโรงพยาบาล หรือ ภายนอก การสร้างระบบความดันเป็นลบนั้นเกิดจากการทำระบบหมุนเวียนอากาศให้เกิดความสมดุล แต่เมื่ออากาศที่ถูกดูดออกมีปริมาณมากกว่าอากาศที่จ่ายเข้ามาภายในห้อง อากาศจากห้องข้างๆ หรือทางเดินจะถูกดูดเข้ามาแทนเพื่อชดเชยอากาศที่จ่ายเข้ามาน้อย ทิศทางการไหลของอากาศแสดงดังภาพที่ 2.5 การออกแบบที่ดีนั้นจะต้องยอมให้อากาศถูกดูดผ่านเข้ามาทางพื้นที่ได้ประตูเท่านั้น (ซึ่งมีความสูงจากพื้นประมาณครึ่งนิ้ว) ส่วนอื่นๆของห้องจะต้องไม่มีรู หรือช่องอื่นๆ เช่น รอยแตก ร้าว บริเวณรอบๆ หน้าต่าง ช่องว่างระหว่างโคมไฟส่องสว่างกับฝ้าเป็นต้น รอยร้าวหรือช่องว่างต่างๆ จะทำให้ห้องนั้นไม่เป็นความดันลบโดยสมบูรณ์

ความแตกต่างกันของความดันเพื่อที่จะรักษาสภาพห้องให้คงความดันเป็นลบได้นั้น จะเป็นผลมาจากอากาศที่ไหลเข้ามาภายในห้องซึ่งน้อยมากๆ การบรรลุระดับความดันเป็นลบที่แท้จริงขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างระบบระบายอากาศ ระบบจ่ายอากาศ และโครงสร้างของตัวห้อง รวมไปถึงเส้นทางการไหลของอากาศ ช่องเปิดต่างๆ ถ้าห้องนั้นถูกผนึกไว้สนิทแน่นดี ความดันเป็นลบที่ 0.001 นิ้วน้ำก็สามารถให้ห้องนั้นเป็นห้องความดันที่มีความดันเป็นลบได้โดยสมบูรณ์ แต่ถ้าห้องไม่ได้ถูกผนึกไว้เป็นอย่างดี หรือมีอุปกรณ์ต่างๆ มากมายภายในห้อง โดยเฉพาะเครื่องมือเก่าๆ การสร้างความดันลบที่มากกว่า 0.001 นิ้วน้ำนั้นจะเป็นเรื่องจำเป็น และการที่จะทำได้ความดันลบมากกว่า 0.001 นิ้วน้ำขึ้นอยู่กับความสามารถของระบบหมุนเวียนอากาศ (บริษัทแคมฟิล, 2556)

NEGATIVE PRESSURE ISOLATION WITH DIRECT OUTDOOR EXHAUST

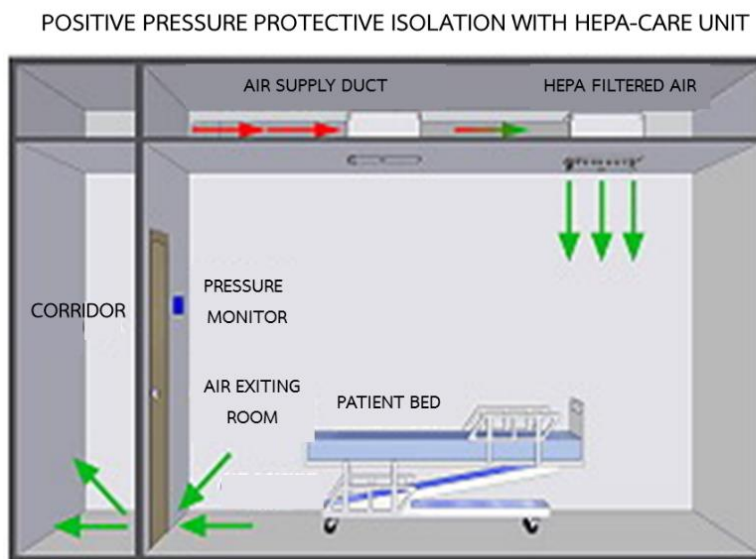


ภาพที่ 2.5 ห้องพักผู้ป่วยระบบความดัน Negative
ที่มา: Francis J. Curry National Tuberculosis Center (1999)

2.6.2 ห้องพักผู้ป่วยระบบความดันเป็นบวก (Positive Pressure Room)

ผู้ป่วยที่มีปัญหาเรื่องภูมิแพ้หรือรับเชื้อได้ง่ายแต่ไม่ใช่โรคติดต่อจำเป็นต้องอยู่ในห้องที่มีแรงดันอากาศภายในห้องสูงกว่าภายนอกห้อง หรือสูงกว่าความดันบรรยากาศ (Positive Pressure) หรือที่เรียกว่า ห้องสะอาด (clean room) เพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่น เชื้อโรค หรือมลพิษอากาศจากภายนอกแพร่เข้าสู่ภายในห้องได้ ทั้งนี้จะเน้นเรื่องฝุ่นและเชื้อแบคทีเรียที่อาจปนไปกับฝุ่น ซึ่งในระบบนี้เราจะต้องมีการกรองฝุ่นก่อนนำอากาศที่ตีไปใช้งาน โดยใช้ HEPA filter กรองอากาศก่อนปล่อยเข้าสู่ภายในห้อง ขั้นตอนของ Filter ที่ใช้กรองฝุ่นจะขึ้นอยู่กับความต้องการและความเหมาะสมของห้องนั้น อากาศที่ระบายออกจะออกตามช่องที่กำหนดให้หรือมีพัดลมช่วยระบายออก หรือ มี Auto Damper เป็นตัวควบคุมแรงดัน ความดันต่างของอากาศด้านในกับด้านนอก ควรมีค่าประมาณ 0.03 ถึง 0.05 นิ้วน้ำ ในกรณีที่ต้องการรักษาความดันภายในห้องให้คงที่เมื่อมีการเปิดประตู หรือช่องเปิดต่างๆ จะต้องติดตั้งระบบควบคุมอากาศเพิ่มเติม เพื่อให้มีการเพิ่มอากาศมาทดแทนอากาศที่ไหลออกไปจากการเปิดประตูดังกล่าว ทิศทางการไหลของอากาศแสดงดังภาพที่ 2.6

ในกรณีที่มีการควบคุมความดันบวกหลายพื้นที่ ห้องที่สะอาดที่สุดต้องมีความดันสูงสุดและเรียงลำดับกันไปและต้องมีระบบควบคุมความดันในแต่ละบริเวณ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์, 2556)



ภาพที่ 2.5 ห้องพักผู้ป่วยระบบความดัน Positive
ที่มา: Francis J. Curry National Tuberculosis Center (1999)

2.6.3 ห้องพักผู้ป่วยทั่วไป

ผู้ป่วยทั่วไปที่ไม่มีปัญหาเรื่องการแพร่เชื้อหรือติดเชื้อง่าย จะอยู่ในห้องแรงดันอากาศปกติ คือความดันภายในห้องและความดันบรรยากาศมีค่าเท่ากัน การออกแบบให้มีอากาศอยู่ในลักษณะที่สบายเพียงพอ หากอยู่ในอากาศที่สามารถถ่ายเทได้ตามธรรมชาติอาจใช้การเปิดหน้าต่างตามธรรมชาติเพื่อให้ลมหมุนเวียน หรือติดตั้งพัดลมถ่ายเทอากาศก็อาจเพียงพอเพื่อการประหยัดพลังงานหรือตามความคิดเห็นของเจ้าของโครงการหรือผู้ออกแบบ

การออกแบบระบบปรับอากาศและระบายอากาศ สำหรับโรงพยาบาลนั้น ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยสำหรับบุคคลต่างๆ ที่อยู่ภายในโรงพยาบาลเอง หรือมาใช้บริการจากโรงพยาบาล พร้อมทั้งสามารถควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อไม่ให้แพร่กระจายจากแหล่งแพร่เชื้อไปสู่รอบข้าง ปัจจุบันมีการเปิดประเทศเป็นแบบเสรีง่ายต่อการเข้าออกประเทศ ย่อมทำให้เกิดความเสี่ยงสูงต่อการแพร่ระบาดของโรคภัยไข้เจ็บใหม่ๆ ที่ยากแก่การรักษาและป้องกัน เพราะหากเกิดการระบาดของโรคแต่ละครั้งสามารถก่อผลเสียหายร้ายแรงต่อปัจเจกชนตลอดจนถึงความเชื่อมั่น จากต่างชาติในการติดต่อธุรกิจหรือท่องเที่ยว อีกทั้งเทคโนโลยีใหม่เกี่ยวกับการป้องกันการระบาดของโรคก็เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้จำเป็นต้องปรับปรุงอย่างสม่ำเสมอเพื่ออนามัยโดยรวมของประชากร (สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์, 2549)

2.7 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ฝุ่นละอองแต่ละชนิดประกอบด้วยธาตุชนิดต่างๆ ขึ้นกับแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองชนิดนั้นๆ เช่น ฝุ่นดินประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ ซิลิกา (Si) อะลูมิเนียม (Al) และแคลเซียม (Ca) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของดิน ฝุ่นที่มาจากการก่อสร้างจะมีธาตุแคลเซียม (Ca) เป็นส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ ฝุ่นที่มาจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเฉพาะจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลจะมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ ธาตุคาร์บอน (C) เป็นต้น การที่ฝุ่นละอองมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน จะทำให้อนุภาคฝุ่นชนิดนั้นๆ มีองค์ประกอบธาตุที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้ฝุ่นละอองมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันออกไป ได้แก่ สี รูปทรง และขนาด ที่แตกต่างกันด้วย ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

Emission Sources	Makers Element
Soil	Al, Si, Sc, Ti, Fe, Sm, Ca
Road dust	Ca, Al, Sc, Si, Ti, Fe, Sm
Sea salt	Na, Cl, Na ⁺ , Cl ⁻ , Br, I, Mg, Mg ²⁺
Oil Burning	V, Ni, Mn, Fe, Cr, As, S, SO ₄ ²⁺
Coal Burning	Al, Sc, Se, Co, As, Ti, Th, S
Iron and Steel Industries	Mn, Cr, Fe, Zn, W
Non-Ferrous metal industries	Zn, Cu, As, Sb, Pb, Al
Glass industry	Sb, As, Pb
Refuse Incineration	K, Zn, Pb, Sb
Straw burning	K, C _{ele} , C _{org} , Br
Automobile gasoline	C _{ele} , Br, Ce, La, Pt, SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻
Automobile diesel	C _{ele} , C _{org} , S, SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻
Secondary	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺

C_{ele}: Elemental Carbon

C_{org}: Organic Carbon

ที่มา: Hathairatana Garivait (1999)

ในฝุ่นละอองประกอบด้วยธาตุในรูปแบบของโลหะหนักมีทั้งแบบที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งไม่มีชีวิตที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น โลหะหนักที่อยู่ในรูปแบบของไอออน หรือในรูป สารประกอบออกไซด์ เป็นต้น แต่หากได้รับโลหะหนักในปริมาณที่มากเกินไปก็ก่อให้เกิดโทษต่อ สิ่งมีชีวิตได้เช่นกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับรูปแบบของโลหะหนัก ดังนั้นการพิจารณารูปแบบของโลหะหนัก จึงมีความสำคัญต่อการพิจารณาความเป็นพิษของโลหะหนัก ทำให้การศึกษาเพื่อแยกรูปแบบต่างๆ ของโลหะหนักออกจากกันมีความจำเป็นเพื่อใช้เป็นข้อมูลที่จะนำไปประเมินรูปแบบของโลหะหนักที่ สิ่งมีชีวิตจะนำไปใช้ประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตนั่นเอง จากงานวิจัยที่ผ่านมาการศึกษาปริมาณธาตุในฝุ่น ละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ของประเทศต่างๆ ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.8 เปรียบเทียบองค์ประกอบธาตุโลหะในฝุ่น $PM_{2.5}$ (หน่วย $\mu g/m^3$)

species	Chaina			Japan Tokyo	Portugal Lisbon	UK Birmingham	USA California	Thailand	
	Taiwan	Shanghai	Hong Kong					Bangkhen	Klong ha
Ca	1.500	9.634	0.1723	0.650	0.263	0.0400	0.0972	0.199	0.439
Cd	0.010	0.0109	-	0.0018	-	-	-	-	-
Cr	0.020	0.0323	-	0.0059	-	-	-	-	-
Cu	0.250	0.171	0.013	0.0274	-	-	-	-	-
Fe	1.200	2.690	0.2116	0.763	0.128	0.114	0.194	0.107	0.279
K	0.800	3.331	1.2588	0.327	0.146	0.127	0.136	0.120	0.520
Mg	0.600	1.984	0.0397	0.193	-	-	-	-	-
Mn	0.070	0.186	0.0167	0.0303	0.0035	0.0099	0.0277	0.0039	0.0081
Ni	0.050	0.0139	0.0021	0.0048	-	-	-	-	-
Pb	0.090	0.515	0.1036	0.0644	-	-	-	-	-
Zn	0.380	1.409	0.1449	0.233	0.0528	0.297	0.112	0.0265	0.0702

ที่มา: อนุวัฒน์ แสงอ่อน (2547)

แหล่งที่มาของโลหะที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่น เมื่อจำแนกตามแหล่งกำเนิดจากการศึกษาที่ ผ่านมาพบว่า มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการจราจร ธรรมชาติ และอุตสาหกรรม แสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.9 ปัจจัยที่เป็นแหล่งที่มาของโลหะหนักจากงานวิจัยที่ผ่านมา

งานวิจัย	ผลการจัดกลุ่ม			
	การจราจร	ธรรมชาติ	อุตสาหกรรม	อื่นๆ
Li et al. (2004)	Cu Ni Pb และ Zn	Cd Co Cr Al Fe และ Mn	-	Ca และ Mg เกิดจากเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ
Yongming et al. (2006)	Pb และ Zn	Mn และ As	Cu Pb Zn Cr และ Sb	แหล่งชุมชนและการค้าขาย อาจพบ Hg และ Ag
Shah and Shaheen (2007)	Pb Cd Ni	Na	Fe และ Mn	Zn K Cr และ Co จากการเผาขยะ
Meza-Figueroa et al. (2007)	Pb	V Ni Cu Fe Co และ Ba	Cd Pb Cr และ Zn	-
Dragović et al. (2008)	-	Cr Cu Mn Ni Pb และ Zn	-	-
Saçmacı and Kartal (2013)	Pb	Mn	Cu Ni Cd Co Cr และ Zn	-
Huang et al. (2009)	As Hg Cu Cd Mo S และ Zn	Fe และ Mn	Cr และ Mn	Pb และ Se จากการเผาไหม้ถ่านหิน
Lu et al. (2012)	As V Pb และ Co	Cr และ Ni	Cu Mn Hg และ Zn	-
Xinghui Xia et al. (2011)	Cd	Cr และ Ni	Cu Pb และ Zn	-
Xiaoping Li and Linna Feng (2012)	Pb และ Cr	Mn V Co As และ Ni	Ba Cu และ Zn	-

ที่มา: (จิตติพัฒน์ หิรัญคำ, 2556)

2.8 ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor: EF)

Enrichment Factor เป็นค่าที่สามารถใช้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของธาตุชนิดต่างๆ ในรูปแบบต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของธาตุต่างๆ ที่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเป็นการบอกถึงระดับการปนเปื้อนของธาตุชนิดนั้นในธรรมชาติ (Lawson and Winchester, 1979) ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็น การดูการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบของฝุ่นละออง โดยมีสมการคำนวณดังนี้

$$EF(x) = \frac{\left(\frac{x}{Ref}\right)_{dust}}{\left(\frac{x}{Ref}\right)_{nature}} \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

โดยที่ $EF(x)$ = ค่า Enrichment Factor ของธาตุโลหะหนักใดๆ

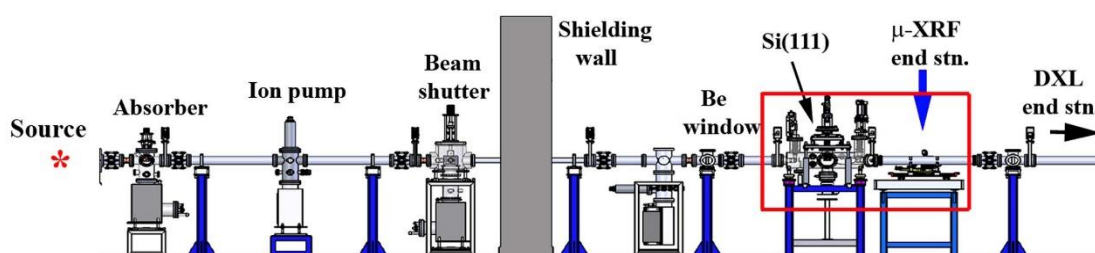
$\left(\frac{x}{Ref}\right)_{dust}$ = อัตราส่วนน้ำหนักของธาตุโลหะหนักใดๆ กับธาตุอ้างอิงที่พบได้จากฝุ่น

$\left(\frac{x}{Ref}\right)_{nature}$ = อัตราส่วนน้ำหนักของธาตุโลหะหนักใดๆ กับธาตุอ้างอิงที่พบได้จากธรรมชาติ

สำหรับการศึกษาเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงหรือการปนเปื้อนของโลหะหนักหลักๆ แล้วจะมาจากธรรมชาติหรือมาจากกิจกรรมของมนุษย์ สำหรับธาตุที่ใช้ในการอ้างอิงจะใช้ธาตุโลหะที่พบในปริมาณมากจากธรรมชาติ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า โดยส่วนใหญ่จะใช้ Fe และ Al เป็นธาตุอ้างอิง ซึ่งตรงกับการศึกษาของ Lawson and Winchester (1979) ที่ระบุว่าธาตุที่มีความเหมาะสมจะใช้เป็นธาตุอ้างอิงในการคำนวณค่า Enrichment Factor คือ Al Si Ti และ Fe ซึ่งเป็นธาตุหลักๆ ที่พบได้ในดิน การแปลผลการคำนวณค่า EF เมื่อ EF ของธาตุมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า องค์ประกอบธาตุที่มีอยู่ในฝุ่นละอองนั้นมีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติหรือเปลือกโลก เมื่อ EF มีค่าสูงกว่า 1 มากๆ แสดงว่าองค์ประกอบธาตุนั้นมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้ การจราจร และจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่การคำนวณค่า EF ไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เฉพาะเจาะจงได้ (Lombay et al., 2015)

2.9 เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์หรือ X-ray fluorescence (XRF)

แสงซินโครตรอน (synchrotron) คือแสงที่ถูกลดปล่อยออกมาจากอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วใกล้ความเร็วแสง (ความเร็วสามร้อยล้านเมตรต่อวินาทีหรือประมาณหนึ่งพันล้านกิโลเมตรต่อชั่วโมง) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับการศึกษาร่องรอยของธาตุที่อยู่ในตัวอย่างโดยอาศัยความต่างของชั้นพลังงานของแต่ละธาตุ (ชั้น K, L, M,...) เมื่อกระตุ้นอะตอมด้วยการให้พลังงานที่มากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนชั้นในจะทำให้เกิดที่ว่าง และเมื่ออิเล็กตรอนในชั้นนอกลงมาแทนที่ อะตอมจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ เรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า การเรืองรังสีเอกซ์ ซึ่งสามารถนำปรากฏการณ์นี้ไปใช้ในการหาชนิดของธาตุที่อยู่ในตัวอย่างที่สนใจศึกษาได้เรียกเทคนิคนี้ว่า เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ข้อมูลทางเทคนิคของระบบลำเลียงแสง micro-XRF ดังตารางที่ 2.10 ซึ่งข้อดีของเทคนิคนี้คือ การเตรียมตัวอย่างที่ไม่ยุ่งยากและเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายคุณสมบัติของตัวอย่าง (non-destructive method) โดยทั่วไปจะใช้รังสีเอกซ์เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการคายพลังงานของอะตอมในตัวอย่างในที่นี้คือ แสงซินโครตรอนในย่านรังสีเอกซ์ และเนื่องจากแสงซินโครตรอนมีความเข้มสูง ทำให้สามารถโฟกัสลำรังสีเอกซ์ให้มีขนาดเล็กในระดับไมโครเมตรได้ ซึ่งเหมาะสำหรับการหาองค์ประกอบของธาตุที่บริเวณเล็กๆ บนตัวอย่างที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้ยังสามารถศึกษาการกระจายตัวของธาตุต่างๆ ได้ เรียกเทคนิคนี้ว่า micro-X-ray fluorescence spectroscopy (micro-XRF) สถานีทดลอง micro-XRF เป็นสถานีที่ใช้แสงซินโครตรอนในย่านรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง (white X-ray beam) จากมาเหล็กสองขั้วร่วมกับสถานีทดลอง DXL ดังภาพที่ 2.7 (Tancharakorn et al., 2012)



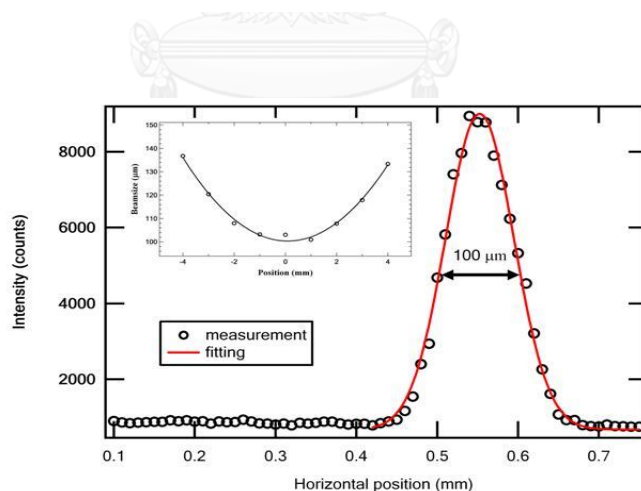
ภาพที่ 2.6 แผนผังของระบบลำเลียงแสงสำหรับเทคนิค micro-XRF และ DXL

ที่มา: Tancharakorn et al. (2012)

ตารางที่ 2.10 ข้อมูลทางเทคนิคของระบบลำเลียงแสงและสถานีทดลอง micro-XRF

เทคนิค	Micro-beam X-ray Fluorescence
พลังงานรังสีเอกซ์	2 –10 keV (white beam)
ตัวอย่าง	ของแข็ง, ผง, ตัวอย่างมีชีวิต เช่น ใบไม้
ขนาดของลำแสงซินโครตรอน	100x100 μm^2
detector	Si(PIN) detector with energy resolution of 160 eV
Sample environment	อากาศ

ขนาดของลำแสงซินโครตรอน ณ ตำแหน่งตัวอย่าง (22 mm จากทางออกของเลนส์รังสีเอกซ์) ถูกวัดด้วยวิธี wire-scan โดยใช้ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 μm วางตำแหน่งของตัวอย่าง และทำการเคลื่อนที่ตัดผ่านลำรังสีเอกซ์ เมื่อลวดทองแดงตัดผ่านลำรังสีเอกซ์อะตอมของทองแดงจะถูกกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ของแสงซินโครตรอนให้ขึ้นไปอยู่ในสภาวะกระตุ้นหลังจากนั้นก็ตกกลับมายังสถานะพื้นพร้อมกับคายรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยว ($\text{Cu-K}\alpha$, 8keV) ออกมา และถูกบันทึกด้วยหัววัดรังสี สุดท้ายจะได้ข้อมูลของสเปกตรัมของทองแดง ณ ตำแหน่งลวดต่างๆ เมื่อทำการเปรียบเทียบกราฟด้วยฟังก์ชันเกาส์จะได้ขนาดของ FWHM (Full Width at Half Maximum) เท่ากับ 100 μm



ภาพที่ 2.7 ขนาดของลำรังสีเอกซ์ที่ตำแหน่งตัวอย่างและตำแหน่งต่างๆ ตามแนวแสงซินโครตรอน

ที่มา: Tancharakorn et al. (2012)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพงษ์ เต่นจักรวาท (2548) ทำการศึกษาอัตราการระบายอากาศ ชนิดและปริมาณเชื้อรา และความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคารโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ โดยทำการเก็บตัวอย่างใน 5 แผนกของโรงพยาบาล ได้แก่ แผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยใน แผนกผู้ป่วยนอก แผนกห้องปฏิบัติการ และแผนกบริหารทั่วไป ผลการศึกษาพบว่า แผนกผู้ป่วยในมีอัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ 4.0 ต่อชั่วโมง รองลงมาคือแผนกฉุกเฉิน ที่ 2.14 ต่อชั่วโมง แผนกห้องปฏิบัติการที่ 1.82 ต่อชั่วโมง แผนกผู้ป่วยนอกที่ 1.66 ต่อชั่วโมง และแผนกบริหารทั่วไปที่ 0.87 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ย พบว่า ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 15 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มีค่าสูงสุดที่แผนกผู้ป่วยใน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.11 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 19.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 6.68 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แผนกที่มีความเข้มข้นฝุ่นละอองของฝุ่นขนาดไม่เกิน 15 ไมครอน มีค่าต่ำสุดคือแผนกห้องปฏิบัติการ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.60 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มีค่าต่ำสุดที่แผนกผู้ป่วยนอก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.16 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 3.03 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาชนิดของเชื้อรา พบว่า พบเชื้อรา *Aspergillus* sp. ร้อยละ 42.4 รองลงมาคือ *Penicillium* sp. ร้อยละ 41.2 ราดำ ร้อยละ 10 *A.fumigatus* ร้อยละ 5 และ *Fusarium* sp. ร้อยละ 2

กุลธิดา เลิศเชาวฤทธิ์ (2553) ทำการศึกษาค่าความแปรปรวนของจำนวนเชื้อราในอากาศกับการระบายอากาศและสภาวะภายในห้องของโรงพยาบาลกลาง ได้ทำการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ฝุ่นละอองและจำนวนเชื้อรารวมและ *Aspergillus* sp. ในห้องที่มีระบบระบายอากาศแตกต่างกัน ได้แก่ ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยก ห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม และห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่า ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศมากที่สุด และมีค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มากกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งมีจำนวนเชื้อรารวมและ *Aspergillus* sp. ในอากาศมากกว่าห้องที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกและแบบรวมอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มีมากที่สุดที่ห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ จากการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเชื้อรารวมและ *Aspergillus* sp. ในอากาศกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความหนาแน่นของคน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน

บุษบา จุงาม และ พลกฤต กฤษไมตรี (2555) ได้ศึกษาการปรับปรุงวิธีการควบคุมความชื้นเพื่อลดปัญหาการเกิดเชื้อราในหอพักผู้ป่วยทางด้านสูติศาสตร์-นรีเวชวิทยา ภายในห้องพักผู้ป่วยพบปัญหาการเจริญเติบโตของเชื้อราเป็นจำนวนมาก บริเวณผนังห้อง เพดาน และพบการเจริญเติบโตของเชื้อราบริเวณผนังทางเดินร่วมของหอผู้ป่วย จากผลการวิจัยพบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอพักผู้ป่วยอยู่ในช่วงที่เชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดี ที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแหล่งที่มาของความชื้นคือ ห้องอาบน้ำและห้องสุขา ความชื้นจากอ่างล้างมือและล้างจาน ความชื้นจากการถูพื้นทำความสะอาด ความชื้นจากร่างกายของผู้ป่วยและญาติ และความชื้นจากการรั่วไหลของอากาศจากภายนอก (Outdoor Air) จากการระบายอากาศร่วมกับการเปิดปิดห้องบ่อยครั้ง การเกิดเชื้อราบริเวณผนังทางเดินร่วมเกิดจากการดูดซับมวลไอน้ำในอากาศของวัสดุก่อสร้างผนัง วิธีการควบคุมความชื้นจากการทดลองนี้ไม่สามารถลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้ต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ได้ และพบว่าอัตราการระบายอากาศในห้องพักผู้ป่วยอยู่ที่ 26 ลูกบาศก์ฟุตต่อคน ซึ่งมากกว่าค่าอัตราการระบายอากาศที่แนะนำสำหรับการระบายอากาศต่อคนของหอพักผู้ป่วย (15-20 ลูกบาศก์ฟุตต่อคน) และจากการศึกษานี้ทำให้ทราบว่าขนาดของ เครื่องปรับอากาศปัจจุบันของหอพักผู้ป่วยมีขนาดเล็กกว่าภาระการทำความเย็นจริงของหอพักผู้ป่วย จึงทำให้ความสามารถในการลดความชื้นของเครื่องปรับอากาศปัจจุบันไม่สามารถลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้ต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ได้ จึงเป็นผลทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราเป็นจำนวนมากเนื่องจากผลการตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอพักผู้ป่วยพบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 87.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา

ฉัตรพัฒน์ หิรัญคำ (2556) การศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่นละอองจากชุมชนต่างๆ 10 ชุมชนในจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้การเก็บตัวอย่างของดินและตัวอย่างฝุ่น 2 รูปแบบ คือ ฝุ่นจากหลังคา และฝุ่น Dustfall ในเขตพื้นที่ศึกษา นำตัวอย่างฝุ่นมาวิเคราะห์หาโลหะหนัก 9 ชนิด ได้แก่ Cr Mn Fe Cu Zn As Cd Hg และ Pb โดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) และคำนวณค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor: EF) เพื่อระบุแหล่งที่มาของโลหะหนักที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์หรือเกิดจากธรรมชาติ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster Analysis: CA) เพื่อหาปัจจัยอันเป็นแหล่งที่มาและจัดกลุ่มของธาตุโลหะหนัก ผลการศึกษาพบว่า โลหะหนักในฝุ่น Dustfall ที่มีค่าค่อนข้างสูงคือ Cu Zn และ Pb แสดงถึงการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์สูงกว่าชุมชนอื่นๆ ฝุ่น

จากหลังคาในภาพรวมมีค่า EF ต่ำกว่าฝุ่น Dustfall ผลการวิเคราะห์ PCA และ CA ของตัวอย่างฝุ่น ทั้ง 2 รูปแบบ พบว่าโลหะหนักที่มีความสัมพันธ์กัน ได้แก่ Cd-Pb, Mn-Fe และ Zn-As และสันนิษฐานถึงแหล่งที่มาของโลหะหนักในจังหวัดนครราชสีมาได้ 3 กลุ่ม คือ 1) Cd Pb Cu และ Cr มาจากการจราจรหรืออุตสาหกรรม 2) Fe และ Mn มาจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ และ 3) Zn และ As จากการเกษตร

Wang et al. (2006) ทำการศึกษาปริมาณ $PM_{2.5}$ PM_{10} และองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากภายในอาคารโรงพยาบาล 4 แห่ง และภายนอกอาคารที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกัน ในเมืองกวางซู ประเทศจีน ในช่วงฤดูร้อน จากการศึกษาพบว่า ปริมาณ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารมีค่า 99 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงกว่าภายนอกอาคารที่มีปริมาณ $PM_{2.5}$ 65 ไมโครกรัมต่อตารางเมตร อย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ทั้งภายในและภายนอกอาคาร มีความสัมพันธ์กันและมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง (ภายในอาคาร $R^2=0.87$ นอกอาคาร $R^2=0.90$) เพราะมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน ปริมาณฝุ่นภายในอาคารและภายนอกอาคารมีความสัมพันธ์กัน ($PM_{2.5}$ มีค่า $R^2=0.78$ และ PM_{10} มีค่า 0.67) เนื่องจากฝุ่นจากภายนอกอาคารสามารถแทรกซึมผ่านช่องเปิดของอาคารเข้ามาภายในได้ และฝุ่นภายในอาคารยังมีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์และการจราจร การศึกษาองค์ประกอบธาตุใน PM_{10} ประกอบด้วย Na Al Ca Fe Mg Mn และ Ti ใน $PM_{2.5}$ ประกอบด้วย K V Cr Ni Cu Zn Cd Sn Pb As และ Se การคำนวณค่า Enrichment factor (EF) พบว่า Zn Pb As Se V Ni Cu และ Cd มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ส่วน Al Fe Ca Ti และ Mn มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ และยังสามารถจำแนกได้ว่าแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองมาจาก พื้นผิวถนน การจราจร และกระบวนการเผาไหม้

Huang et al. (2009) จากการศึกษาที่ลุ่มแม่น้ำแยงซีเกียงในประเทศจีนมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว จึงได้มีการตรวจสอบความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ที่มีการปล่อยปะปนสู่บรรยากาศ ได้แก่ As Cd Cr Cu Fe Hg Mn Mo Ni Pb Se S และ Zn เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศทั้งหมด 43 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างที่ทำการออกแบบเอง คัดอนุภาคของตัวอย่างที่มีขนาด 74 ไมครอน วิเคราะห์ความเข้มข้น Cr Cu Fe Mn Mo Ni Pb S และ Zn โดยเครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometry ในส่วนของ Cd วิเคราะห์ด้วย Graphite Furnace และ As Hg Se วิเคราะห์ด้วย Cold Vapor Atomic Spectrometry ผลที่ได้เปรียบเทียบกับดินของประเทศจีน ระบุว่า ธาตุแต่ละชนิดที่ทำการศึกษามีความเข้มข้นในระดับสูง ยกเว้น Fe และ Mn โดยพบว่าการปล่อยปะปนสู่บรรยากาศของ Cd Cr Cu Pb และ Zn สูงกว่าการศึกษาที่ผ่านมาจากแหล่งอื่นๆ ทั่วโลกอย่างมีนัยสำคัญ จากการใช้ PCA และ

CA วิเคราะห์เพื่อหาแหล่งที่มา โดยสามารถแยกแหล่งที่มาหลักๆ ออกได้ 4 กลุ่ม ดังนี้ 1) การปล่อยมลพิษของการจราจรบนท้องถนน ได้แก่ As Hg Cu Cd Mo S และ Zn 2) กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับโลหะ ได้แก่ Cr และ Ni 3) อนุภาคดิน Fe และ Mn 4) การเผาไหม้ถ่านหิน Pb และ Se และแหล่งที่มาทั้ง 4 ทำการตรวจสอบอีกครั้งด้วยการคำนวณค่า EF และการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ โดยพบว่า As Hg Cu Cd Mo S และ Zn มีค่า EF และความเข้มข้นที่สูงในที่มีมีการจราจรหนาแน่น ในส่วนของ Fe และ Mn พบในเขตที่ค่อนข้างเป็นชนบทซึ่งหลักๆ จะเกี่ยวข้องกับอนุภาคในดิน ขณะที่ Cr และ Ni พบในย่านที่มีการทำอุตสาหกรรมจักรกลโลหะผสม

Almeida et al. (2011) ทำการศึกษาคุณภาพอากาศในโรงเรียนประถม 3 แห่งของเมืองลิสบอน ประเทศโปรตุเกส คือ 1) โรงเรียนอยู่โซนที่พักอาศัยมีการจราจรน้อย 2) โรงเรียนอยู่กลางเมืองและตั้งอยู่บนถนนเส้นหลัก 3) โรงเรียนอยู่กลางเมืองแต่อยู่ห่างจากถนนเส้นหลัก ผลการศึกษาพบว่า $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10 และ 73 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ PM_{10} มีความเข้มข้นระหว่าง 30-146 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ภายนอกอาคารความเข้มข้น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีค่า 8-47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 3-10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และพบว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ภายในและภายนอกอาคารไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.60$) ความเข้มข้น $PM_{2.5-10}$ ภายในอาคารมีค่าสูงกว่านอกอาคารอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.00$) บ่งบอกว่าฝุ่นหยาบมีแหล่งกำเนิดภายในห้องเรียนมากกว่าจากภายนอกอาคาร การศึกษา Enrichment factor ของธาตุในฝุ่นละอองภายในห้องเรียนโดยใช้ Sc เป็นธาตุอ้างอิง พบว่า Co Fe La Sc Sm และ K มีความสัมพันธ์กับฝุ่นละอองที่มาจากดิน อาจจะถูกพัดเข้ามาในอาคารทางหน้าต่างหรือจากรองเท้านักเรียน As Ba Br Ca Cr Sb Se และ Zn มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่นจากการจราจรและอุตสาหกรรม

Lombay et al. (2015) ทำการศึกษาปริมาณ $PM_{2.5}$ องค์ประกอบธาตุ Indoor/Outdoor (I/O) ratio และ enrichment factors ในโรงพยาบาลประเทศฟิลิปปินส์ ในห้องที่มีระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติ คือ แผนกเด็กและแผนกเภสัชกรรม และห้องที่มีระบบปรับอากาศ คือห้อง ICU และห้อง CCU ผู้ป่วยกุมารเวชกรรม พบว่า ปริมาณ $PM_{2.5}$ ในแผนกเด็กช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม มีค่า 32.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เดือนมีนาคม-เมษายน มีค่า 28.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และแผนกเภสัชกรรม ช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม มีค่า 30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ WHO กำหนดไว้ที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การศึกษาค่า I/O ratio แสดงให้เห็นว่า $PM_{2.5}$ ส่วนใหญ่มาจากบรรยากาศภายนอกอาคาร และตรวจวัดองค์ประกอบธาตุ ด้วยวิธี X-ray

fluorescence analysis พบว่าในฝุ่นละอองมี Mn Fe V Pb และHg ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ การคำนวณค่า Enrichment factor แสดงให้เห็น ว่า Hg S และ Br เป็นตัวบ่งชี้ว่าฝุ่นละอองมีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์

Loupa et al. (2016) ได้ทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาลของเมืองควาลา ประเทศกรีซ 2 จุด คือแผนกคัดกรองผู้ป่วยฉุกเฉินและห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยา และตรวจวัดคุณภาพอากาศภายนอกอาคารคือ บริเวณสวนของโรงพยาบาล โดยทำการเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์และองค์ประกอบธาตุ จากการวิเคราะห์พบว่ามีสาร dehydrocholic acid, hydrocortisone acetate, gama-bufotalin, syrosingopine, dimethyl phthalate และ O,P-DDT ที่พบในแผนกคัดกรองผู้ป่วยฉุกเฉิน ส่วนในห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยาพบสาร triethoxyvinylsilane และ carbohydrazide และปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงในอาคารมีค่าเฉลี่ย 9.86-26.27 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การคำนวณค่า I/O ratio เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในแผนกคัดกรองผู้ป่วยฉุกเฉินมีค่าอยู่ในช่วง 0.74-1.11 และในห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยามีค่า 0.67-1.07 ในทางตรงกันข้าม อัตราส่วนความเข้มข้นของธาตุจากการคำนวณค่า I/O ratio จะสามารถระบุแหล่งกำเนิดขององค์ประกอบธาตุ (Al, Si, Br, P, S, Na, K, Mg, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti and Zn) โดยได้รับการยืนยันจากสัดส่วน I/O ratio ของซิลเฟออร์ และในแต่ละวันยังได้ตรวจสอบ Black Carbon ความเข้มข้น CO₂ และสภาพ microclimatic อีกด้วย

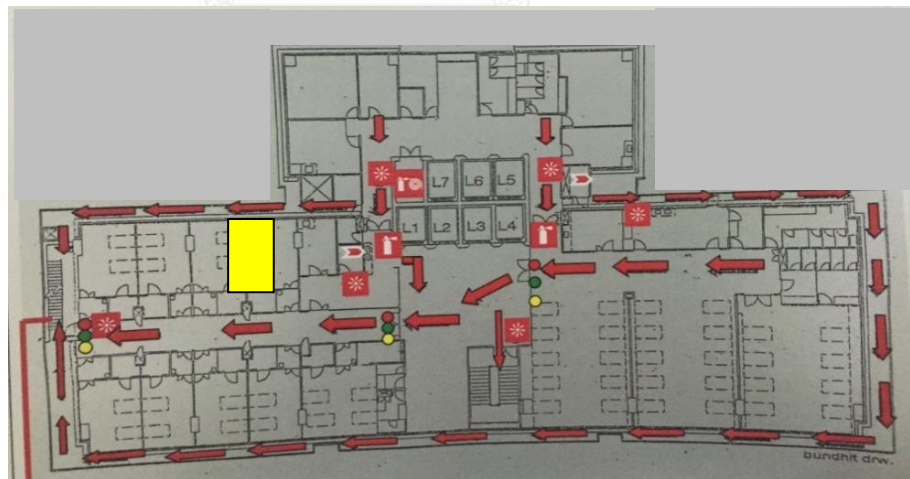
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

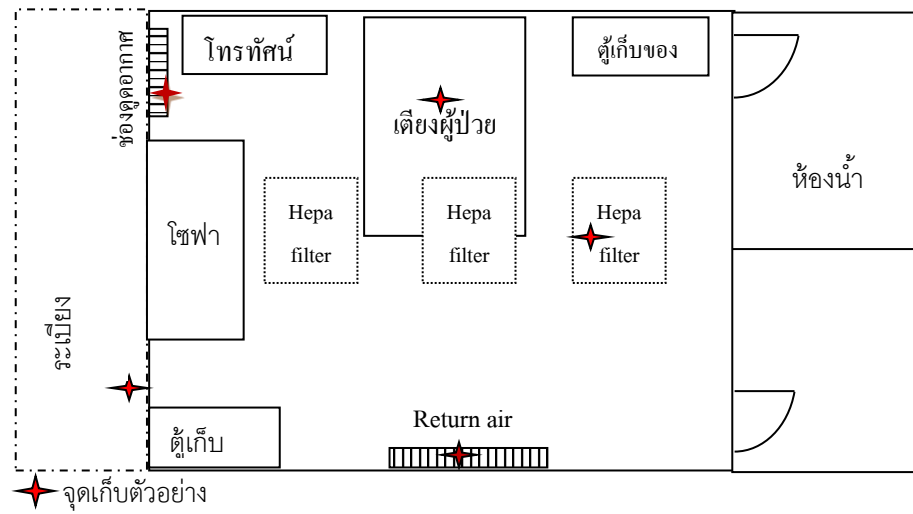
ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน ในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ และหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ และห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก ณ โรงพยาบาลแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร

โดยพิจารณาจุดเก็บตัวอย่างของแต่ละห้องดังนี้

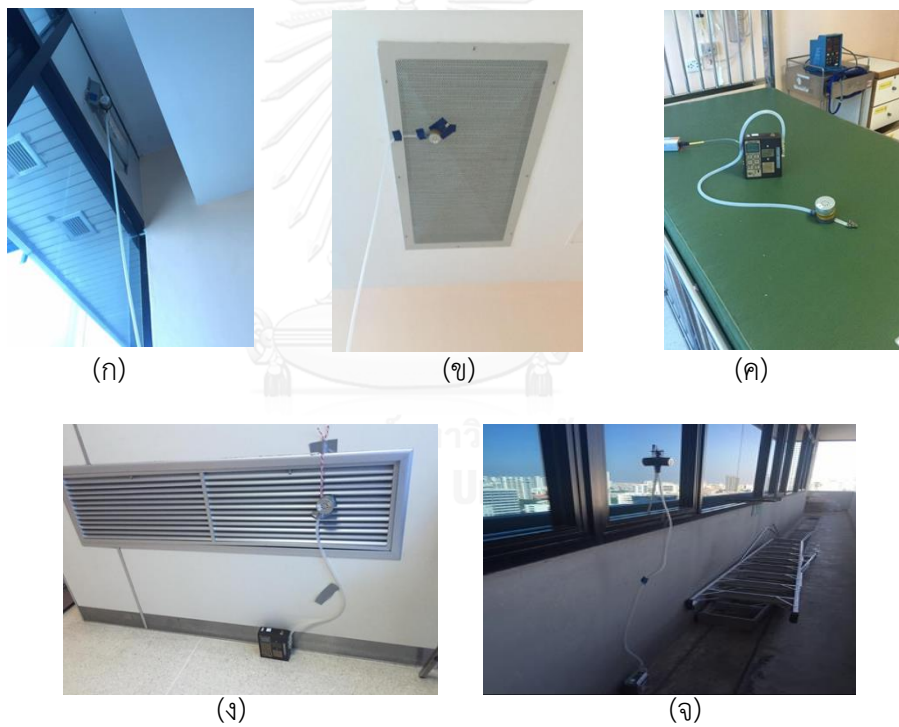
1) ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ แบ่งพื้นที่เก็บตัวอย่าง 5 จุด คือ บนเตียงผู้ป่วย ช่องดูดอากาศออกนอกห้อง return air ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และระเบียงด้านนอกอาคาร แผนผังห้องพักผู้ป่วยพิเศษและจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3.1-3.3



ภาพที่ 3.1 แผนผังห้องพักผู้ป่วยพิเศษ



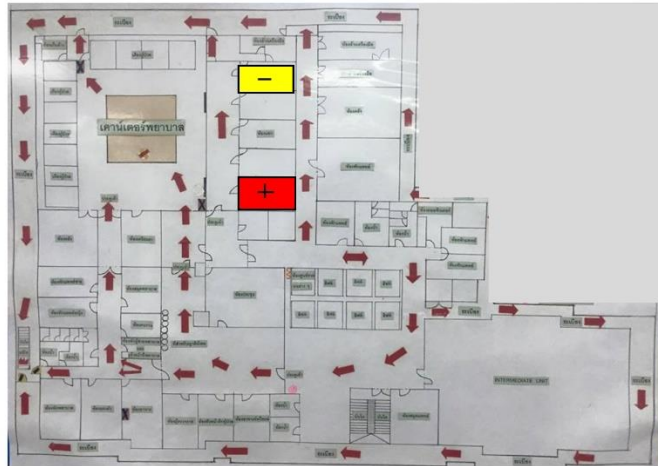
ภาพที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างห้องพักผู้ป่วยพิเศษ



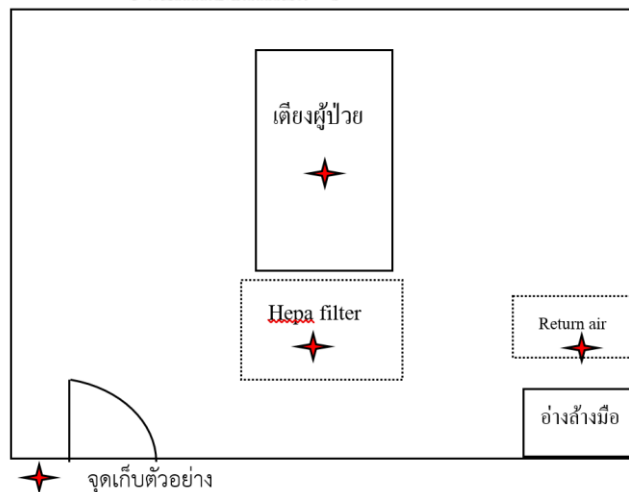
ภาพที่ 3.3 จุดเก็บตัวอย่างห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

- (ก) ช่องดูดอากาศ
- (ข) ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter)
- (ค) บนเตียงผู้ป่วย
- (ง) ช่อง return air
- (จ) ระเบียงด้านนอกอาคาร

2) ห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ ในหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตทำการเก็บตัวอย่าง แบ่งพื้นที่เก็บตัวอย่าง 5 จุด คือ บนเตียงผู้ป่วย return air ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) ทางเดินนอกห้อง และระเบียงด้านนอกอาคาร แผนผังหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตและจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3.4 และ 3.5

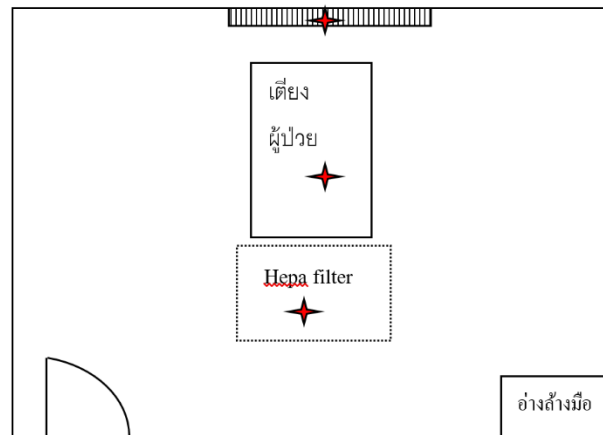


ภาพที่ 3.4 แผนผังหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤต



ภาพที่ 3.5 จุดเก็บตัวอย่างหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกระบบความดันเป็นลบ

3) ห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก ในหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตทำการเก็บตัวอย่าง เก็บตัวอย่าง 5 จุด คือ บนเตียงผู้ป่วย return air ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) ทางเดินนอกห้อง และระเบียงด้านนอกอาคาร แผนผังจุดเก็บตัวอย่างหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวกและจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3.6 และ 3.7



จุดเก็บตัวอย่าง

ภาพที่ 3.6 จุดเก็บตัวอย่างหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 3.7 จุดเก็บตัวอย่างห้องระบบความดันลบและบวก

(ก) ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter)

(ข) บนเตียงผู้ป่วย

(ค) ช่อง return air

(ง) ทางเดินภายในห้องพักผู้ป่วยรวม

(จ) ระเบียงด้านนอกอาคาร

3.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอนและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน 2 ช่วงเวลา ในเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม 2558 และ เดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม 2558 โดยแต่ละช่วงเวลาการศึกษาเก็บตัวอย่างฝุ่นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อสัปดาห์ คือวันจันทร์ พุธและศุกร์ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	29 มิถุนายน 1 3 กรกฎาคม 2558 (N=15)	23 25 27 พฤศจิกายน 2558 (N=15)
ห้องแยกที่มีระบบความดันแบบ positive	6 8 10 กรกฎาคม 2558 (N=15)	30 พฤศจิกายน 2 4 ธันวาคม 2558 (N=15)
ห้องแยกที่มีระบบความดันแบบ negative	13 15 17 กรกฎาคม 2558 (N=15)	7 9 11 ธันวาคม 2558 (N=15)

3.3 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3.3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

1. เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดบุคคล รุ่น PCXR8 ยี่ห้อ SKC
2. อุปกรณ์คัดขนาดฝุ่นชนิด personal modular impactor (PMI) รุ่น 225-351 ยี่ห้อ SKC
3. เครื่องปรับอัตราการไหลมาตรฐานของเครื่องดูดอากาศ
4. กระจาดกรองชนิด polytetrafluorethylene (PTFE) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ขนาดรูพรุน 2 ไมโครเมตร ยี่ห้อ Pall Corporation
5. กระจาดกรองชนิด polytetrafluorethylene (PTFE) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ขนาดรูพรุน 0.2 ไมโครเมตรยี่ห้อ Pall Corporation
6. สายซิลิโคน

7. ตลับพลาสติกใช้สำหรับใส่กระดาษกรอง
8. ตู้ดูดความชื้น
9. ที่คีบตัวอย่าง (forceps)
10. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 7 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น METLER UMX 2 Certificate No.63020
11. เครื่อง Microwave digester ยี่ห้อ CEM Corporation รุ่น MARS 5
12. เครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) รุ่น Agilent 7500ce ณ ศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข

- สารเคมี

1. อะซิโตน
2. กรดไนตริกเข้มข้น 65%

3.3.2 การเตรียมกระดาษกรอง

แช่กระดาษกรองชนิด PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร สำหรับเก็บฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และกระดาษกรองชนิด PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สำหรับเก็บฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ในอะซิโตน (C_3H_6O) เป็นเวลา 15 นาที เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อน และทิ้งไว้ให้แห้ง 5 นาที จากนั้นนำกระดาษกรองไปอบในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง (METER UMX 2) บันทึกน้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักเริ่มต้นก่อนการเก็บตัวอย่าง

3.3.3 การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก

การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ทำได้โดยวิธีการหาค่าความแตกต่างของน้ำหนักกระดาษกรอง ก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง โดยการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ ด้วยเครื่องชั่งที่มีความแม่นยำ 0.001 มิลลิกรัม (Mettler Toledo : METER UMX2) ควบคุมความแม่นยำในการชั่งโดยชั่งน้ำหนักลูกตุ้ม 200 และ 100 มิลลิกรัม ทั้งก่อนและหลังการชั่งกระดาษกรองแต่ละแผ่น ทำการควบคุมคุณภาพ (quality control) ของการชั่งน้ำหนักโดยสร้าง Shewhart control chart เพื่อใช้ในการตรวจสอบการชั่งน้ำหนักของกระดาษกรองแต่ละแผ่น

โดยสร้างกราฟแกน X เป็นตัวแทนของวันที่ทำการชั่งลูกตุ้มถ่วงน้ำหนัก และแกน Y คือน้ำหนักของลูกตุ้มในหน่วย มิลลิกรัม ลากเส้นค่าเฉลี่ยของตุ้มน้ำหนักที่กึ่งกลางของกราฟ ($y=\mu_k$) ลากเส้น warning limit ทั้งบนและล่างของเส้นค่าเฉลี่ย ($y=\mu_k \pm 2SD$) และลากเส้น action limit ทั้งบนและล่างของเส้นค่าเฉลี่ย ($y=\mu_k \pm 3SD$) เมื่อผลการชั่งน้ำหนักกระตาศกรองในแต่ละวันอยู่นอกช่วง warning limit แสดงว่าอาจมีบางอย่างผิดพลาดหรือมีแนวโน้มที่จะผิดพลาดแต่ยังยอมรับค่าที่ได้ ในขณะที่ผลการชั่งน้ำหนักอยู่นอกเส้น action limit แสดงว่าการชั่งน้ำหนักอยู่เหนือการควบคุมทางสถิติและไม่ยอมรับผลที่ได้ จะต้องทำการชั่งน้ำหนักกระตาศกรองชุดนั้นใหม่

3.3.4 การเตรียมเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคล

ใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคลที่ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 3 ลิตรต่อ นาที ด้วยเครื่องปรับอัตราการไหลมาตรฐานของเครื่องดูดอากาศ และวัดอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศอีกครั้งหลังจากการเก็บตัวอย่างเสร็จสิ้น เพื่อคำนวณปริมาตรอากาศ

3.3.5 วิธีการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดบุคคลต่อเข้ากับ personal modular impactor (PMI) ที่ใส่กระตาศกรองชนิด PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร และกระตาศกรองชนิด PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 3 ลิตรต่อ นาที

ตัวอย่างเชื้อราที่ได้จากภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษมาทำการเพาะเลี้ยงให้เจริญเติบโต ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2 ชนิดคือ *Curvularia lunata* (ราดำ) และ *Fusarium spp.* (ราขาว) จะทำการชุบเส้นใยของเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อลงบนกระตาศกรองชนิด PTFE และทำการวิเคราะห์ต่อไปเช่นเดียวกับฝุ่นละออง

3.3.6 การหาความเข้มข้นฝุ่นละออง

คำนวณหาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ดังสมการ 3.1-3.3

$$PM_{2.5} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = (W_{\text{post}} - W_{\text{pre}})/V \quad \text{สมการ 3.1}$$

โดย W_{pre} = น้ำหนักกระตาศกรอง 37 มม. ก่อนเก็บตัวอย่าง (μg)

$$W_{\text{post}} = \text{น้ำหนักกระตาศกรอง 37 มม. หลังเก็บตัวอย่าง (\mu\text{g})}$$

$$V = \text{ปริมาตรอากาศที่เก็บ (m}^3\text{)}$$

$$PM_{2.5-10} (\mu\text{g/m}^3) = (W_{\text{post}} - W_{\text{pre}})/V \quad \text{สมการ 3.2}$$

โดย

$$W_{\text{pre}} = \text{น้ำหนักกระตาศกรอง 25 มม. ก่อนเก็บตัวอย่าง (\mu\text{g})}$$

$$W_{\text{post}} = \text{น้ำหนักกระตาศกรอง 25 มม. หลังเก็บตัวอย่าง (\mu\text{g})}$$

$$V = \text{ปริมาตรอากาศที่เก็บ (m}^3\text{)}$$

$$PM_{10} (\mu\text{g/m}^3) = \text{ความเข้มข้นของ } PM_{2.5-10} + PM_{2.5} \quad \text{สมการ 3.3}$$

3.3.7 การหาค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณโลหะในฝุ่นละอองภายในอาคารต่อภายนอกอาคาร (I/O ratio)

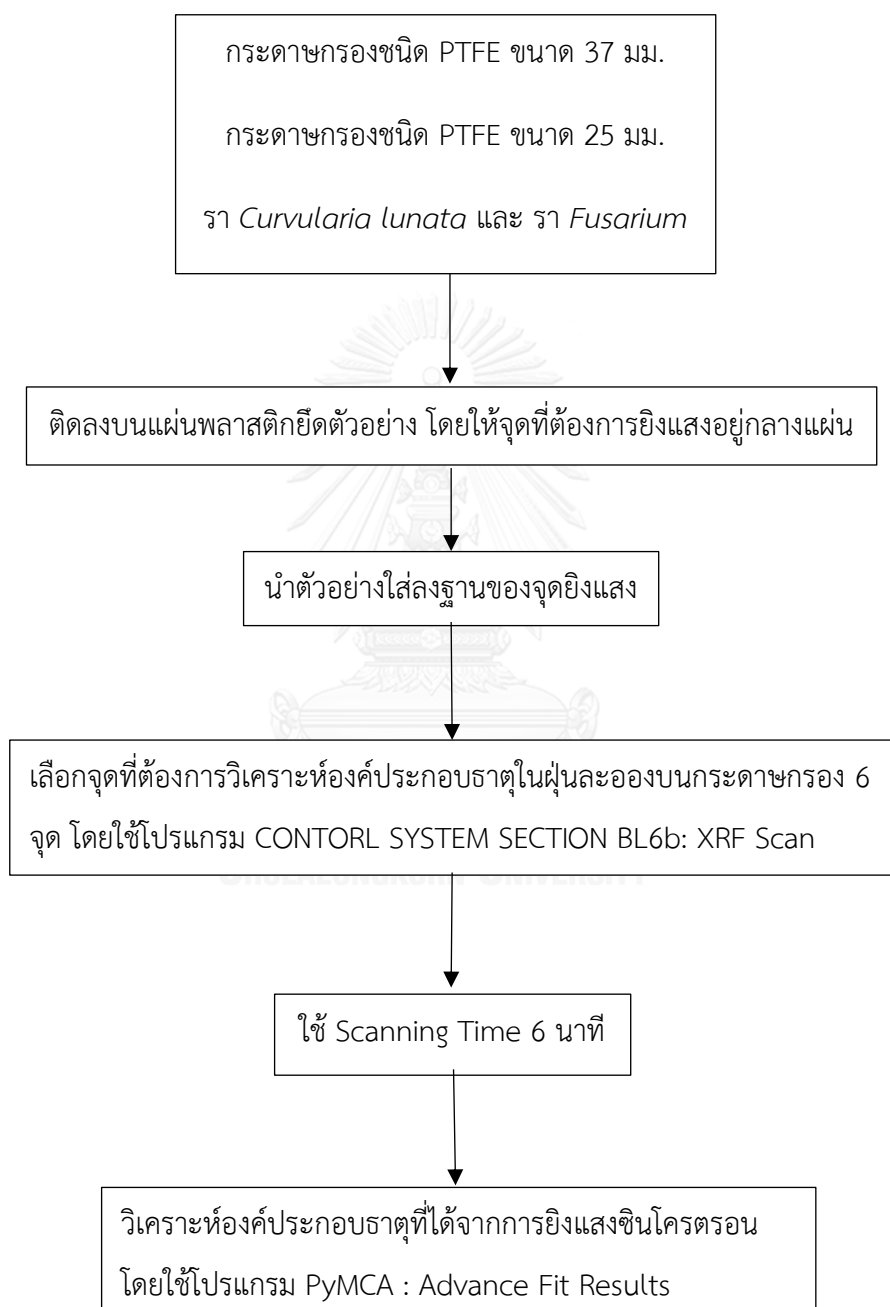
เมื่อคำนวณปริมาณโลหะในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ภายในและภายนอกอาคารนำผลที่ได้มาคำนวณค่า I/O ratio ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะในฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร หากค่าที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1 หมายถึง แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองภายนอกอาคารมีน้อยกว่าภายในอาคาร และอาจไม่มีผลกระทบต่อฝุ่นละอองภายในอาคาร (Chen and Zhao, 2011) อัตราส่วน I/O ratio คำนวณได้จากสมการ 3.6

$$I/O \text{ ratio} = \frac{\text{ปริมาณฝุ่นละอองภายในอาคาร } (\mu\text{g/m}^3)}{\text{ปริมาณฝุ่นละอองภายนอกอาคาร } (\mu\text{g/m}^3)} \quad \text{สมการ 3.4}$$

3.3.8 การวิเคราะห์ชนิดองค์ประกอบธาตุด้วยด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอน

ทำการวิเคราะห์ชนิดองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอนระบบลำเลียงแสงที่ 6 micro-X-ray fluorescence spectroscopy ณ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบและห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก รวมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเชื้อราที่ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2 ชนิดคือ *Curvularia lunata* (ราดำ) และ *Fusarium* spp. (ราขาว) จำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.2 วิธีการและขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองและเชื้อราแสดง ในภาพที่ 3.8 และองค์ประกอบภายในระบบลำเลียงแสง BL6b micro-X-ray fluorescence spectroscopy แสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอน

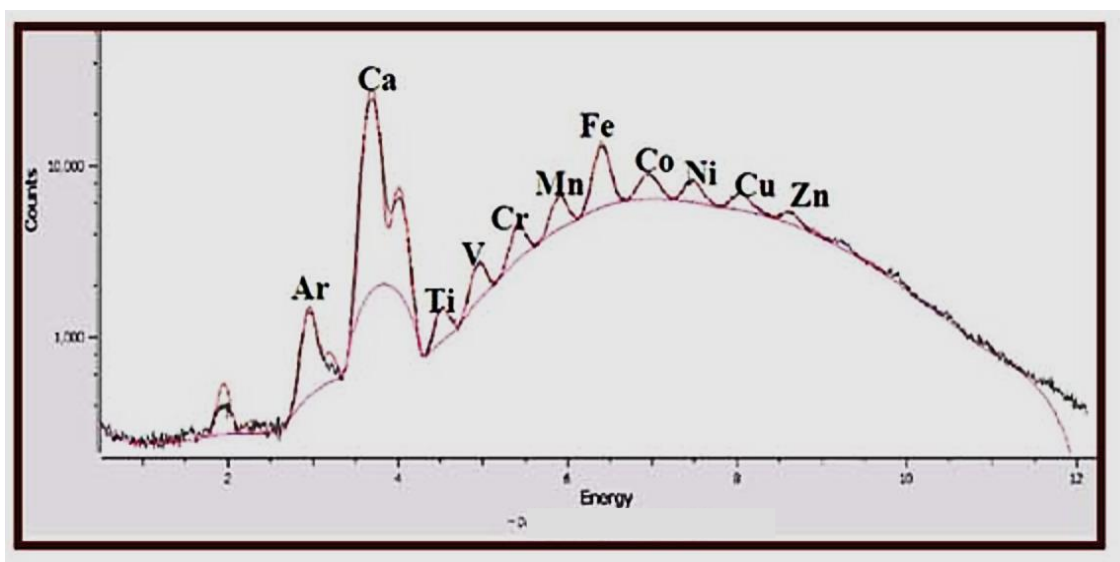


ภาพที่ 3.9 ภายในระบบลำแสง BL6b micro-X-ray fluorescence spectroscopy

ตารางที่ 3.2 จำนวนตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอน

จุดเก็บตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง (n)	
	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}
ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ		
-บนเตียง	1	1
-HEPA filter	2	1
-Return air	2	1
-ช่องดูดอากาศ	2	1
-ระเบียง	5	5
ห้องพักผู้ป่วยระบบความดันเป็นลบ		
-บนเตียง	2	1
-HEPA filter	2	1
-Return air	1	1
-ทางเดิน	2	1
-ระเบียง	6	4
ห้องพักผู้ป่วยระบบความดันเป็นบวก		
-บนเตียง	3	1
-HEPA filter	2	1
-Return air	4	1
-ทางเดิน	4	4
-ระเบียง	5	4

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอน โดยใช้โปรแกรม PyMCA : Advance Fit Results จะได้กราฟค่าพลังงานดังภาพที่ 3.10 หลักการจำแนกชนิดของธาตุจากสเปกตรัมดูได้จากค่าพลังงานที่ปลดปล่อยในชั้น K ดังแสดงดังตารางที่ 3.3



ภาพที่ 3.10 สเปกตรัมของ NIST standard (SRM610) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอนระบบลำเลียงแสงที่ 6 micro-XRF

ที่มา: Tancharakorn et al. (2012)

ตารางที่ 3.3 พลังงานของรังสีเอกซ์จำเพาะ (eV) ของธาตุที่วิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอน

No.	element	K α_1	K α_2	K β_1	L α_1	L α_2	L β_1
11	Na	1,040.98	1,040.98	1,071.1			
12	Mg	1,253.60	1,253.60	1,302.2			
13	Al	1,486.70	1,486.27	1,557.45			
14	Si	1,739.98	1,739.38	1,835.94			
15	P	2,013.7	2,012.7	2,139.1			
16	S	2,307.84	2,306.64	2,464.04			
17	Cl	2,622.39	2,620.78	2,815.6			
18	Ar	2,957.70	2,955.63	3,190.5			
19	K	3,313.8	3,311.1	3,589.6			
20	Ca	3,691.68	3,688.09	4,012.7	341.3	341.3	344.9

21	Sc	4,090.6	4,086.1	4,460.5	395.4	395.4	399.6
22	Ti	4,510.84	4,504.86	4,931.81	452.2	452.2	458.4
23	V	4,952.20	4,944.64	5,427.29	511.3	511.3	519.2
24	Cr	5,414.72	5,405.509	5,946.71	572.8	572.8	582.8
25	Mn	5,898.75	5,887.65	6,490.45	637.4	637.4	648.8
26	Fe	6,403.84	6,390.84	7,057.98	705.0	705.0	718.5
27	Co	6,930.32	6,915.30	7,649.43	776.2	776.2	791.4
28	Ni	7,478.15	7,460.89	8,264.66	851.5	851.5	868.8
29	Cu	8,047.78	8,027.83	8,905.29	929.7	929.7	949.8
30	Zn	8,638.86	8,615.78	9,572.0	1,011.7	1,011.7	1,034.7

3.3.9 การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง

ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน (PM_{2.5-10}) จากจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องผู้ป่วยและระเบียงด้านนอกอาคาร และฝุ่นละอองที่เก็บตัวอย่างจากโครงการพัฒนาพื้นที่จุฬาฯ สระบุรี อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี (พื้นที่ห่างไกลเขตเมือง ไม่มีกิจกรรมจากมนุษย์) และฝุ่นละอองที่เก็บในบริเวณใกล้เส้นทางจราจรภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งอยู่ในเขตเมืองเช่นเดียวกับโรงพยาบาลที่ทำการศึกษา ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) วิเคราะห์ปริมาณโลหะ 13 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม (Al) วาเนเดียม (V) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) อาเซนิก (As) แคดเมียม (Cd) พลวง (Sb) และตะกั่ว (Pb) ณ ศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข

3.3.9.1 การสกัดตัวอย่างและแบลงค์

การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย ICP-MS โดยทำการสกัดตัวอย่างและแบลงค์เพื่อให้อยู่ในรูปของสารละลาย โดยใช้เครื่อง Microwave digestion (ETHOS ONE SK-12)

- วิธีสกัดกระดาศกรองด้วยเครื่อง Microwave digester

1. นำกระดาศกรองแต่ละแผ่นใส่ลงใน vessel
2. เติมกรดไนตริกบริสุทธิ์ (HNO_3) ความเข้มข้น 40 % ปริมาณ 3 มิลลิลิตร ลงใน vessel
3. ครึ่งค่าโปรแกรมการย่อยตัวอย่างของเครื่องตามคู่มือการใช้เครื่อง ดังนี้
 - ขั้นที่ 1: อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส 600 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที
 - ขั้นที่ 2: อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส 1200 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที
4. รอให้เครื่อง Microwave digestion มีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จึงทำการนำตัวอย่างออกจากเครื่องได้
5. ระบายสารละลายตัวอย่างโดยใช้ปิ๊กเกอร์ PTFE ให้เหลือปริมาตรน้อยมาก
6. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร 5 มิลลิลิตร

เก็บตัวอย่างในขวดพลาสติกและแช่ตู้เย็น ก่อนส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โดยเครื่อง ICP-MS

3.3.9.2 การคำนวณองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง

นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS มาคำนวณปริมาณองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ดังสมการที่ 3.4

$$C_{in\ air} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = [(C_s - C_b) \times D] / V_{air} \quad \text{สมการ 3.5}$$

โดย	$C_{in\ air}$	= ความเข้มข้นของโลหะในอากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	C_s	= ความเข้มข้นของโลหะในตัวอย่าง ($\mu\text{g}/\text{L}$)
	C_b	= ความเข้มข้นของโลหะใน blank ($\mu\text{g}/\text{L}$)
	D	= dilution factor (5/1000)
	V_{air}	= ปริมาตรอากาศที่เก็บ (m^3)

3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) ของธาตุในฝุ่นละออง

Principle Component Analysis เป็นวิธีการวิเคราะห์เพื่อจับกลุ่มตัวแปรและระบุถึงแหล่งที่มาของธาตุในฝุ่นละออง โดยอาศัยหลักการของความสัมพันธ์เชิงเส้นของปริมาณธาตุ และทำการผสมเชิงเส้นตรง (Linear Combination) ของปริมาณธาตุ เพื่อหาว่าธาตุที่มีความสัมพันธ์กันนั้นเกี่ยวข้องกับปัจจัยใด เพื่อหาแหล่งที่มาของธาตุโดยอ้างอิงจากงานวิจัยอื่นหรือข้อเท็จจริงจากการศึกษา สำหรับธาตุแต่ละธาตุนั้นจะจัดอยู่ในองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งเท่านั้น โดยที่แต่ละปัจจัยจะไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

ขั้นตอนการแปลผลการวิเคราะห์ PCA โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics version 22 มีดังนี้

1. พิจารณาค่า Pearson Correlation Coefficient ระหว่างตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งถ้าตัวแปรใดมีความสัมพันธ์กันสูง แสดงว่าควรอยู่ในองค์ประกอบเดียวกัน
2. ทดสอบว่าตัวแปรแต่ละตัวมีความสัมพันธ์กันหรือไม่และเหมาะสมที่จะใช้ Factor Analysis ในการวิเคราะห์หรือไม่ โดยพิจารณาจากค่า Kaiser-Meyer-Olkin ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 ค่าที่ใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรแต่ละตัวที่นำมาวิเคราะห์นั้นมีความสัมพันธ์กัน แต่ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.5 แสดงว่าตัวแปรแต่ละตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งไม่ควรใช้ Factor Analysis
3. พิจารณาใน Rotation Sums of Squared Loading แปลผลค่า % of Variance ซึ่งเป็นค่าที่บอกว่า แต่ละ Factor อธิบายความแปรปรวนของตัวแปรได้ร้อยละเท่าไร
4. พิจารณาค่า factor Loading จากตาราง Rotated Component Martrix เมื่อธาตุนั้นมีค่ามากสุดในกลุ่มองค์ประกอบใดแสดงว่าธาตุนั้นควรจัดอยู่ในองค์ประกอบเดียวกัน
5. วิเคราะห์แหล่งที่มาของธาตุโดยอ้างอิงจากงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องหรือข้อเท็จจริงจากการศึกษา

3.5 ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor: EF)

Enrichment Factor เป็นค่าที่สามารถใช้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของธาตุชนิดต่างๆ ในรูปแบบที่เปลี่ยนแปลงไปจากที่มีอยู่ในธรรมชาติ โดยใช้จำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง 2 แหล่งกำเนิดคือ ฝุ่นละอองจากธรรมชาติและฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ค่า EF แสดงให้เห็นถึงความคล้ายคลึงกันของระดับองค์ประกอบธาตุโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอนุภาคฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดมาจากเปลือกโลกที่ใช้เป็นธาตุอ้างอิง การคำนวณค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น คำนวณได้จากสมการ 3.6

$$EF(x) = \frac{\left(\frac{x}{Ref}\right)_{dust}}{\left(\frac{x}{Ref}\right)_{nature}} \quad \text{สมการ 3.6}$$

โดย $EF(x)$ = ค่า Enrichment Factor ของธาตุโลหะหนักใดๆ

$\left(\frac{x}{Ref}\right)_{dust}$ = อัตราส่วนน้ำหนักของธาตุโลหะหนักใดๆ กับธาตุอ้างอิงที่พบได้จากฝุ่น

$\left(\frac{x}{Ref}\right)_{nature}$ = อัตราส่วนน้ำหนักของธาตุโลหะหนักใดๆ กับธาตุอ้างอิงที่พบได้จากธรรมชาติ

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของธาตุจากฝุ่นละอองภายในอาคารและฝุ่นละอองบริเวณระเบียงด้านนอกอาคาร เปรียบเทียบกับฝุ่นจากการจราจร โดยใช้ปริมาณ Fe เป็นธาตุอ้างอิงเนื่องจาก Fe เป็นหนึ่งในธาตุโลหะที่ทำการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ และสามารถตรวจพบในทุกตัวอย่าง ซึ่งถือเป็นธาตุที่มีความเหมาะสมในการใช้เป็นธาตุอ้างอิงได้ (Lawson and Winchester, 1979) และ Fe เป็นธาตุที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบในการศึกษาได้ใช้ปริมาณธาตุที่ได้จากฝุ่นละอองจากพื้นที่ธรรมชาติที่ไม่มีกิจกรรมของมนุษย์ คือ ฝุ่นละอองจากพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่จุฬาฯ สระบุรี อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี เป็นข้อมูลธาตุในแหล่งอ้างอิงของพื้นที่ที่ไม่มีกิจกรรมของมนุษย์ และจัดเป็นแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติเท่านั้น

การแปลผลการคำนวณค่า EF เมื่อค่า EF ของธาตุมากกว่า 10 หมายถึงธาตุนั้นๆ มีแนวโน้มที่จะมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ และค่า EF ของธาตุมีค่าระหว่าง 1-10 หมายถึงธาตุนั้นๆ มีแหล่งกำเนิดมาจากทั้งกิจกรรมของมนุษย์และมาจากธรรมชาติหรือเปลือกโลก (Almeida et al., 2011; Canha et al., 2014; Joshi et al., 2009)

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1) สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการกระจายของข้อมูลทั่วไป เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

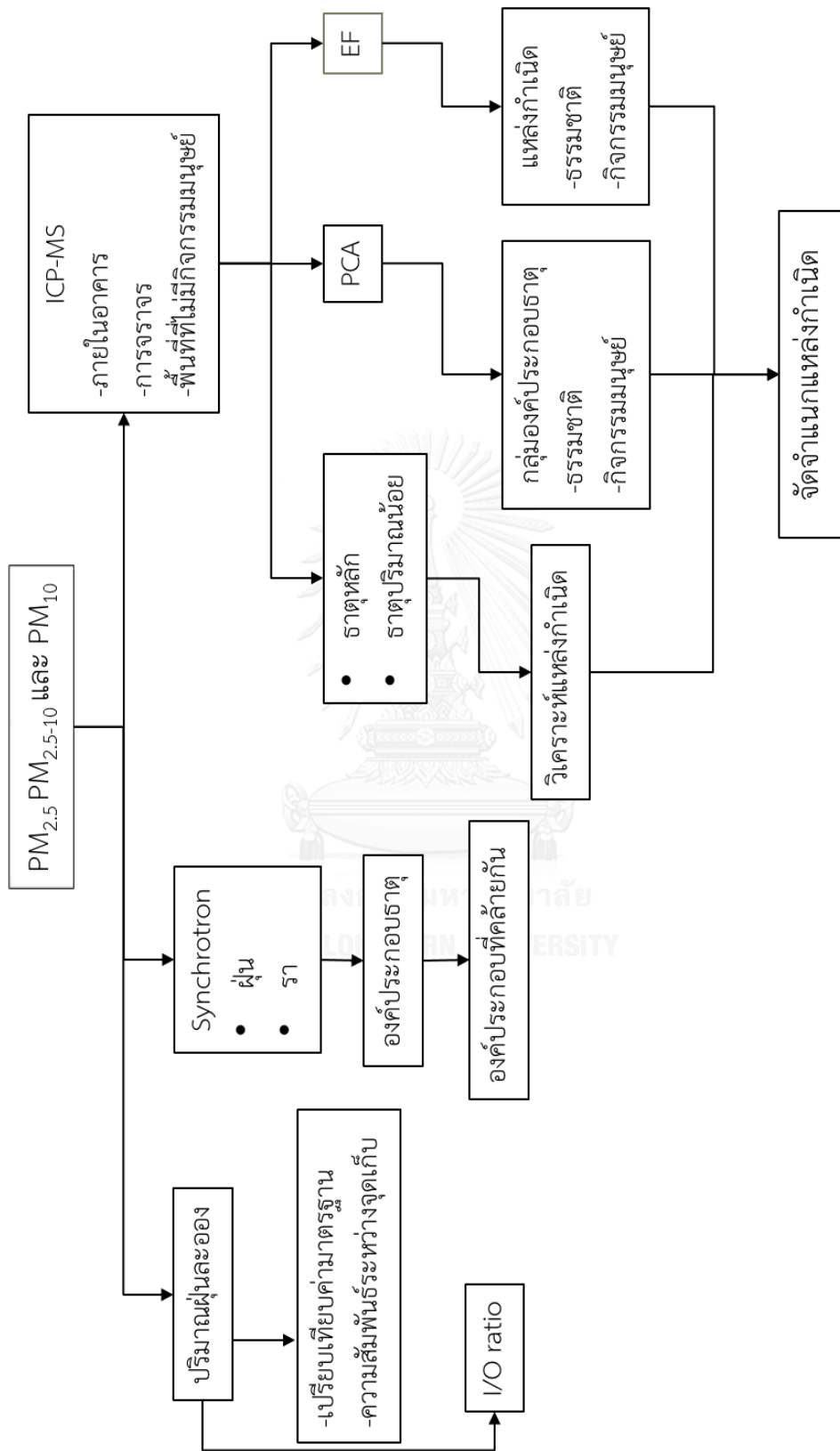
2) สถิติเชิงวิเคราะห์ (Analytical statistics)

- เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ระหว่างปริมาณฝุ่นในบรรยากาศภายนอกอาคารและปริมาณฝุ่นบนเตียงผู้ป่วย ช่องดูดอากาศออกนอกห้อง return air และช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) โดยใช้ Pearson's Correlation

- เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแต่ละจุดภายในห้องพักผู้ป่วย คือ บนเตียงผู้ป่วย ช่องดูดอากาศออกนอกห้อง return air และช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) โดยใช้ One Way ANOVA: Post Hoc Multiple Comparison – LSD กรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) และใช้ Kruskal-Wallis test ในกรณีที่ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สรุปขั้นตอนการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละส่วนแสดงดังภาพที่ 3.11





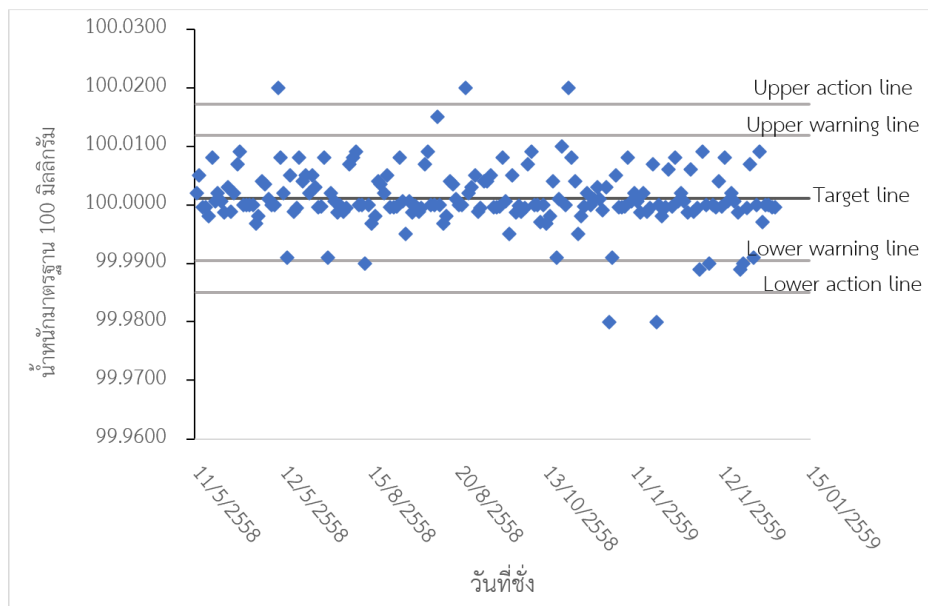
ภาพที่ 3.11 แผนผังสรุปการวิเคราะห์ผลการศึกษา

บทที่ 4

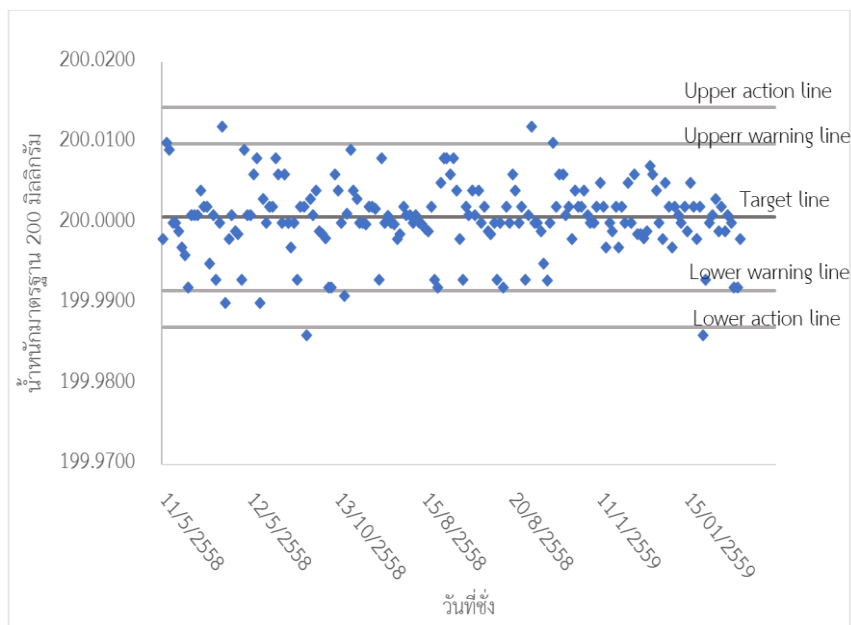
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง

การชั่งน้ำหนักกระตาชกรองด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 7 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น METLER UMX 2 Certificate No.63020 (Class: E2) โดยมีค่าการเบี่ยงเบนที่ $0.17 \mu\text{g}$ ได้มีการควบคุมคุณภาพด้วยการชั่งลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 100 (Certificate No. 158360) และ 200 (Certificate No. 158370) มิลลิกรัม โดยสอบเทียบน้ำหนักลูกตุ้มก่อนและหลังชั่งกระตาชกรองเพื่อนำข้อมูลมาทำ Quality Control ของเครื่องชั่งน้ำหนัก ซึ่งจะนำน้ำหนักในแต่ละครั้งมาพิจารณาค่าน้ำหนักให้อยู่ในช่วง warning line ($\mu \pm 2SD$) และ action line ($\mu \pm 3SD$) พบว่ามีจำนวนครั้งของลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าสูงหรือต่ำกว่า warning line และ action line ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 น้ำหนักที่ได้จากการชั่งลูกตุ้มมาตรฐาน 100 มิลลิกรัม



ภาพที่ 4.2 น้ำหนักที่ได้จากการซั่งลูกตุ้มมาตรฐาน 200 มิลลิกรัม

จากการซั่งลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 100 มิลลิกรัม จำนวนทั้งหมด 186 ครั้ง พบว่าน้ำหนักลูกตุ้มมีค่าอยู่ในช่วง warning line 183 ครั้ง คิดเป็น 94.08 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในช่วง action line 181 ครั้ง คิดเป็น 97.31 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการซั่งลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 200 มิลลิกรัม จำนวนทั้งหมด 186 ครั้ง พบว่าน้ำหนักลูกตุ้มมีค่าอยู่ในช่วง warning line 177 ครั้ง คิดเป็น 95.16 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในช่วง action line 184 ครั้ง คิดเป็น 98.92 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถยอมรับได้ทางสถิติ การที่ค่าของลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐานมีค่าเกินช่วง action line เกิดจากสภาวะภายในห้องเครื่องซั่งมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ อุณหภูมิและความชื้นในวันนั้น

ผลการควบคุมคุณภาพการซั่งน้ำหนักครั้งนี้ให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ นรุตตม์ สหนาวิน (2558) ที่วิเคราะห์ลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 100 และ 200 มิลลิกรัม มีจำนวนค่าน้ำหนักลูกตุ้มที่อยู่ในช่วงยอมรับได้อยู่ที่ 97.58 และ 95.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาครั้งนี้พบว่า มีจำนวนค่าลูกตุ้มที่ยอมรับได้อยู่ที่ 97.31 และ 98.92 เปอร์เซ็นต์

4.2 ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วย

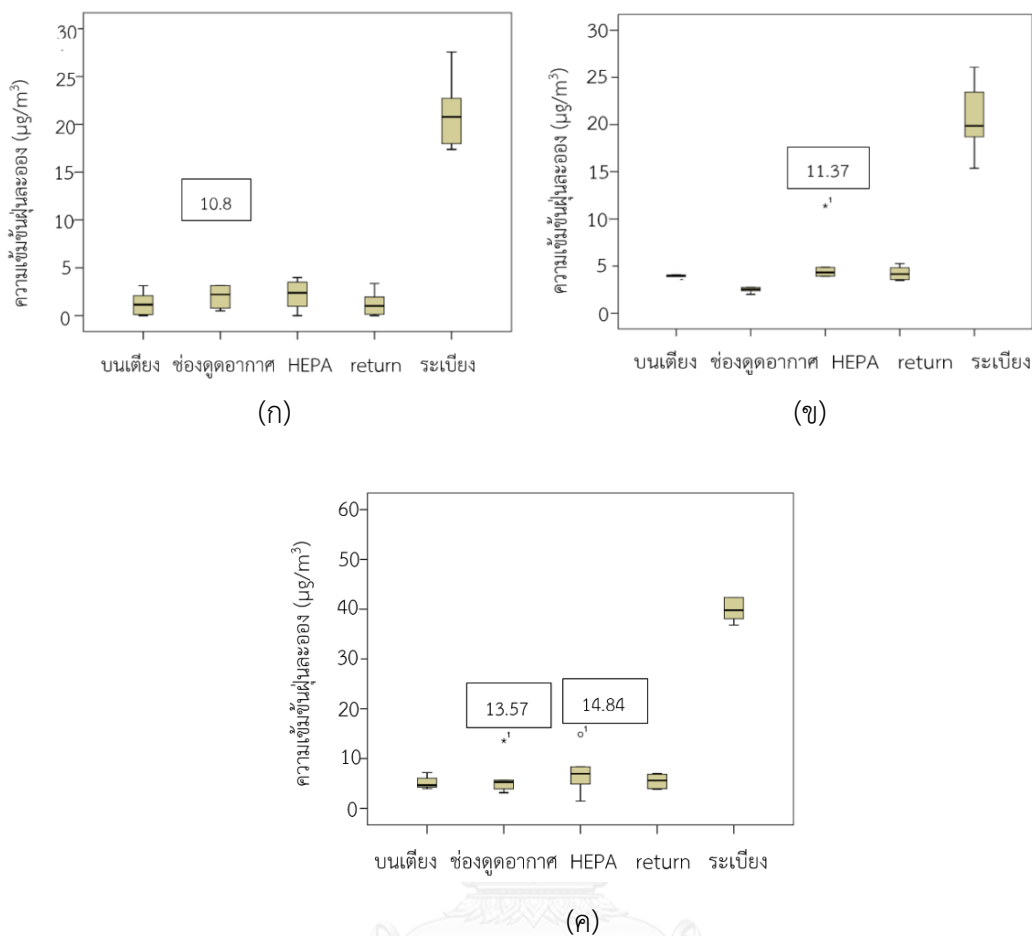
การศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบและห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวกในพื้นที่โรงพยาบาลแห่งหนึ่งในเขตกรุงเทพมหานคร ทำการศึกษา 6 ครั้ง ในช่วงเดือน มิถุนายน-กรกฎาคม และเดือนพฤศจิกายน- ธันวาคม 2558 และเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากบรรยากาศภายนอกอาคารบริเวณระเบียงด้านนอก ผลการศึกษาเป็นดังนี้

4.2.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

ศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองโดยทำการเก็บตัวอย่าง 4 จุด ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ คือ บนเตียงผู้ป่วย ช่องดูดอากาศ ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air (ความเข้มข้นของฝุ่นละอองในแต่ละวันแสดงในภาคผนวก ก) พบว่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ มีค่าสูงสุดบริเวณช่องดูดอากาศ เท่ากับ 3.27 ± 3.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) เท่ากับ 2.20 ± 1.65 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร บนเตียงผู้ป่วย เท่ากับ 1.27 ± 1.28 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และช่อง return air เท่ากับ 1.24 ± 1.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นบริเวณระเบียงนอกอาคาร เท่ากับ 21.21 ± 3.72 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากภาพที่ 4.3(ก) ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ บริเวณช่องดูดอากาศในการเก็บตัวอย่าง วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2558 มีค่าสูงกว่าวันอื่นๆ (10.80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) เนื่องจากห้องพักผู้ป่วยพิเศษไม่มีการใช้งานเป็นเวลานานทำให้ฝุ่นละอองเฝ้ายึดภายในห้องมีมาก เมื่อทำการเก็บตัวอย่างมีการเปิดระบบปรับอากาศ ฝุ่นละอองจึงถูกดูดออกจากภายในห้องสู่ด้านนอกผ่านทางช่องดูดอากาศ สำหรับความเข้มข้น $PM_{2.5-10}$ (จากภาพที่ 4.3(ข)) มีค่าสูงสุดบริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) เท่ากับ 5.04 ± 3.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ ช่อง return air เท่ากับ 4.23 ± 0.70 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร บนเตียงผู้ป่วย เท่ากับ 3.94 ± 0.64 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และช่องดูดอากาศ เท่ากับ 2.74 ± 0.78 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นบริเวณระเบียงนอกอาคารเท่ากับ 20.55 ± 3.80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้น $PM_{2.5-10}$ บริเวณ HEPA filter ในการเก็บตัวอย่าง วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2558 มีค่าสูงกว่าวันอื่นๆ (11.37 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) เนื่องจากห้องพักผู้ป่วยพิเศษไม่มีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศเป็นเวลานานทำให้ฝุ่นหยาบคั่งอยู่ภายในที่ระบบปรับอากาศ เมื่อทำการเก็บตัวอย่างมีการเปิดระบบปรับอากาศทำให้ฝุ่นละอองที่คั่งอยู่ภายในที่ถูกลูกเป่าออกมาความเข้มข้นฝุ่นหยาบจึงมีค่าสูง

ดังนั้น โรงพยาบาลควรทำความสะอาดภายในท่อส่งอากาศและตรวจเช็คระบบปรับอากาศของห้อง หรือทำการเปิดระบบปรับอากาศของห้องผู้ป่วยก่อนที่จะมีการเข้าพักของผู้ป่วยล่วงหน้าอย่างน้อย 1 วัน

และเมื่อทดสอบโดยใช้ One way ANOVA พบว่าความเข้มข้นบริเวณช่องดูดอากาศและ HEPA filter มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ความเข้มข้น PM_{10} ดังแสดงในภาพที่ 4.3(ค) มีค่าสูงสุดบริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) เท่ากับ 7.24 ± 4.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือช่องดูดอากาศ เท่ากับ 6.14 ± 3.77 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ช่อง return air เท่ากับ 5.47 ± 1.52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และบนเตียงผู้ป่วย เท่ากับ 5.13 ± 1.24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ความเข้มข้นบริเวณระเบียงนอกอาคาร เท่ากับ 41.75 ± 6.16 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้น PM_{10} บริเวณช่องดูดอากาศและช่อง HEPA filter ในการเก็บตัวอย่าง วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2558 ค่าสูงกว่าวันอื่นๆ ซึ่งความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีผลสอดคล้องกับความเข้มข้น $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

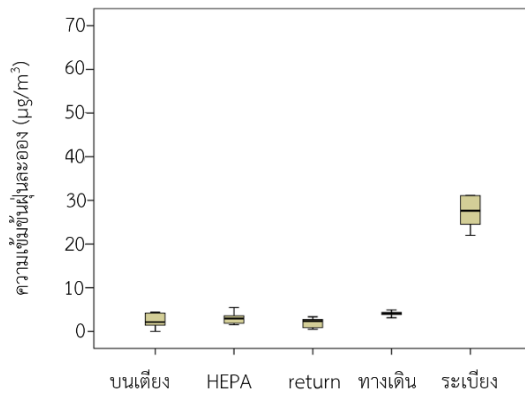


ภาพที่ 4.3 (ก) ความเข้มข้น PM_{2.5} (ข) ความเข้มข้น PM_{2.5-10} (ค) ความเข้มข้น PM₁₀ ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

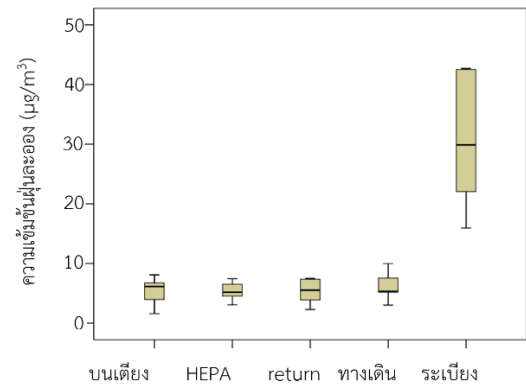
4.2.2 ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ

ศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองโดยทำการเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ 3 จุด คือ บนเตียง ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air และบริเวณทางเดินในห้องพักผู้ป่วยรวมก่อนเข้าสู่ห้องแยก รวมทั้งบริเวณระเบียงด้านนอกอาคาร air (ความเข้มข้นของฝุ่นละอองในแต่ละวันแสดงในภาคผนวก ก) ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้น PM_{2.5} มีค่าสูงสุดบริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) เท่ากับ 3.05 ± 1.43 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือบนเตียงผู้ป่วย เท่ากับ 2.37 ± 1.67 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และช่อง return air เท่ากับ 2.03 ± 1.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

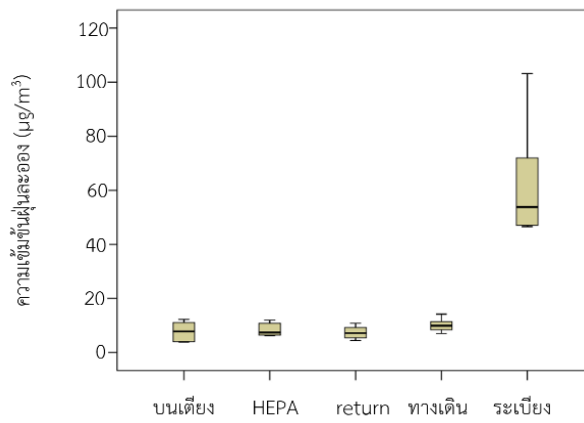
ตามลำดับ ความเข้มข้นบริเวณระเบียงนอกรอาคารเท่ากับ 32.23 ± 14.24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ ความเข้มข้น $PM_{2.5-10}$ มีค่าสูงสุดบริเวณบนเตียงผู้ป่วย เท่ากับ 5.44 ± 2.34 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร รองลงมาคือช่อง return air เท่ากับ 5.34 ± 2.10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และช่องอากาศ ผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) เท่ากับ 5.32 ± 1.56 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นบริเวณระเบียงนอกรอาคารเท่ากับ 30.50 ± 14.24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ ความเข้มข้น PM_{10} มีค่าสูงสุดบริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) เท่ากับ 8.37 ± 2.47 ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือบนเตียงผู้ป่วย เท่ากับ 7.81 ± 3.47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และช่อง return air เท่ากับ 7.37 ± 2.39 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นบริเวณระเบียง นอกรอาคารเท่ากับ 62.73 ± 22.14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากภาพที่ 4.4 ความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ $PM_{2.5-10}$ และ PM_{10} ในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งไม่มีความแตกต่างกันเนื่องจากห้องพักผู้ป่วย กุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องพักที่มีระบบความดันเป็นลบมีการเปิดใช้งานของห้องและทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยจึงมีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อทดสอบ โดย One way ANOVA



(ก)



(ข)

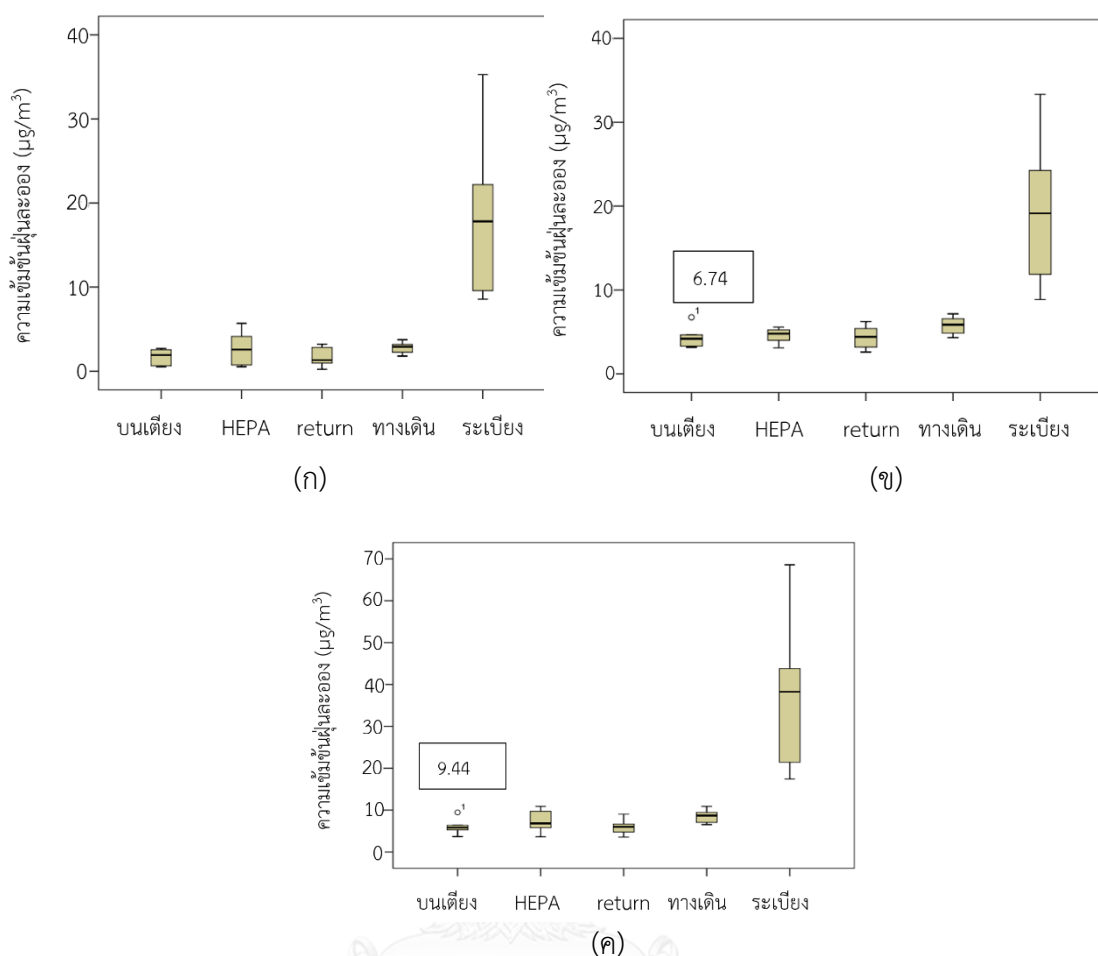


(ค)

ภาพที่ 4.4 (ก) ความเข้มข้น PM_{2.5} (ข) ความเข้มข้น PM_{2.5-10} (ค) ความเข้มข้น PM₁₀ ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ

4.2.3 ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก

ศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองโดยทำการเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก 3 จุด คือ บนเตียง ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air และบริเวณทางเดินในห้องพักผู้ป่วยรวมก่อนเข้าสู่ห้องแยก รวมทั้งบริเวณระเบียงด้านนอกอาคาร (ความเข้มข้นของฝุ่นละอองในแต่ละวันแสดงในภาคผนวก ก) ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ มีค่าสูงสุดบริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) เท่ากับ 2.70 ± 2.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือบนเตียงผู้ป่วย เท่ากับ 1.71 ± 0.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และช่อง return air เท่ากับ 1.64 ± 1.14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ความเข้มข้นบริเวณระเบียงนอกอาคารเท่ากับ 18.54 ± 9.80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้น $PM_{2.5-10}$ มีค่าสูงสุดบริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) เท่ากับ 4.58 ± 0.91 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือบนเตียงผู้ป่วย เท่ากับ 4.37 ± 1.30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และช่อง return air เท่ากับ 4.37 ± 1.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ความเข้มข้นบริเวณระเบียงนอกอาคารเท่ากับ 19.43 ± 8.78 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากภาพที่ 4.5(ข) ความเข้มข้น $PM_{2.5-10}$ บริเวณบนเตียงผู้ป่วยในการเก็บตัวอย่าง วันที่ 3 มีนาคม 2558 มีค่าสูงกว่าวันอื่น (6.74 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) เนื่องจากวันที่ทำการเก็บตัวอย่างบนเตียงผู้ป่วยมีการปูผ้าทำความสะอาดของฝุ่นหยาบที่ตรวจวัดได้มีค่าสูง ความเข้มข้น PM_{10} มีค่าสูงสุดบริเวณ ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) เท่ากับ 7.28 ± 2.68 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือบนเตียงผู้ป่วย เท่ากับ 6.07 ± 1.89 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และช่อง return air เท่ากับ 6.01 ± 1.87 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ความเข้มข้นบริเวณระเบียงนอกอาคารเท่ากับ 37.96 ± 18.40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากภาพที่ 4.5(ค) ความเข้มข้น PM_{10} บริเวณบนเตียงผู้ป่วยในการเก็บตัวอย่าง วันที่ 3 มีนาคม 2558 มีค่าสูงกว่าวันอื่นๆ (9.44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) เป็นผลมาจากการตรวจวัดปริมาณ $PM_{2.5-10}$ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

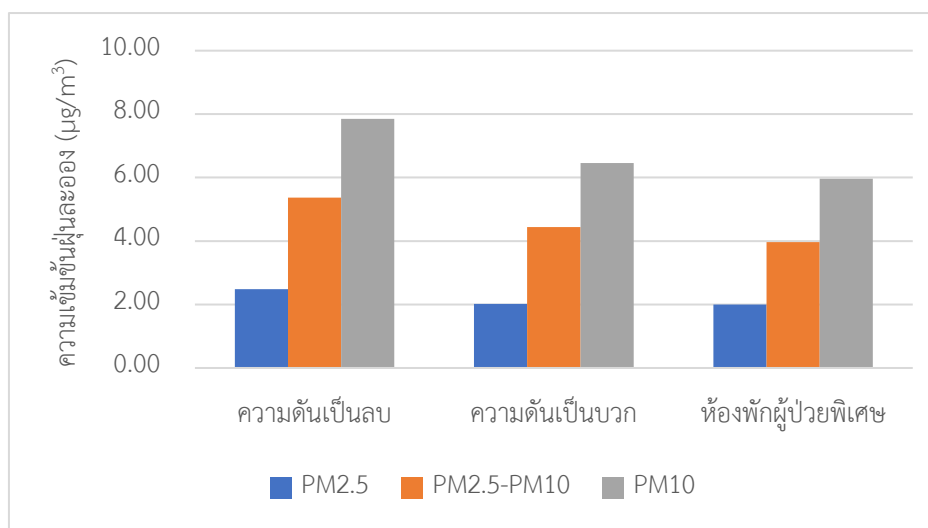


ภาพที่ 4.5 (ก) ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ (ข) ความเข้มข้น $PM_{2.5-10}$ (ค) ความเข้มข้น PM_{10} ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก

ความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยจากทุกจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วย พบว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีค่าต่ำสุดคือ ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 3.97 และ 5.96 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาด มีแนวโน้มเดียวกันคือ มีค่าสูงสุดภายในห้องพักผู้ป่วยระบบความดันเป็นลบ รองลงมาคือ ห้องพักผู้ป่วยระบบความดันเป็นบวกและห้องพักผู้ป่วยพิเศษตามลำดับ ดังภาพที่ 4.6

จากผลการศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยของ ณีตริฐพงศ์ เต็นจักรวาท (2548) ศึกษาความเข้มข้นเฉลี่ยทุกเดือนของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในแต่ละแผนกภายในโรงพยาบาล โดยใช้เครื่องวัดปริมาณฝุ่นแบบต่อเนื่อง (GRIMM) และงานวิจัยในต่างประเทศ พบว่า

ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองจากงานวิจัยที่ผ่านมา (ตารางที่ 4.1) และมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 24 ชั่วโมง ของ WHO ที่กำหนดไว้ที่ $PM_{2.5}$ ไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร PM_{10} ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยภายในห้องพักผู้ป่วย

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นละอองกับงานวิจัยที่ผ่านมา

พื้นที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้น (µg/m ³)			งานวิจัย
	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}	PM ₁₀	
ห้องพักผู้ป่วยระบบความตันเป็นลบ	2.48	5.37	7.85	งานวิจัยนี้
ห้องพักผู้ป่วยระบบความตันเป็นบวก	2.02	4.44	6.46	
ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	2.00	3.97	5.96	
ภายในโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์	4.89	-	15.71	ณัติรัฐพงศ์ เต็มจักรวาท (2548)
โรงพยาบาลในเขตเมืองประเทศฟิลิปปินส์	20.5	-	-	Lombay et al. (2015)
Nursery ในเมืองปอร์โต โปรตุเกส	19.70	50.94	-	Branco et al. (2014)
โรงเรียน 3 แห่งในเมืองลิสบอนโปรตุเกส	10	73	30-146	Almeida et al. (2011)

4.3 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่นละอองในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

ศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ 4 จุดเก็บตัวอย่าง คือ บนเตียงผู้ป่วย ช่องดูดอากาศ ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบและห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก 3 จุด คือ บนเตียงผู้ป่วย ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยและฝุ่นละอองจากบรรยากาศภายนอกอาคาร โดยใช้สถิติ Pearson's correlation ผลการศึกษาในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างที่มีความสัมพันธ์กันแสดงดังตารางที่ 4.2

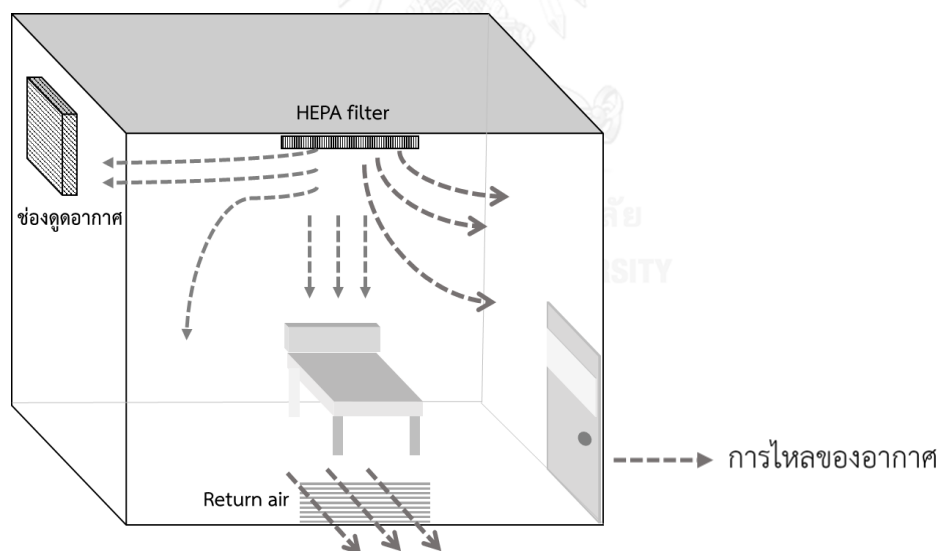
ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละจุดเก็บตัวอย่างที่มีความสัมพันธ์กัน

ห้องพักผู้ป่วย	ขนาดฝุ่น	จุดเก็บตัวอย่าง	Pearson's correlation	
			Pearson's coefficient	P value
ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ	$PM_{2.5}$	ช่องดูดอากาศ Return air	0.924**	0.008
	PM_{10}	HEPA filter ช่องดูดอากาศ	0.865**	0.026
ห้องระบบความดันเป็นลบ	$PM_{2.5-10}$	บนเตียง Return air	0.831*	0.040
		HEPA filter Return air	0.895*	0.016
	PM_{10}	บนเตียง	0.819*	0.046
		Return air		

หมายเหตุ: * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

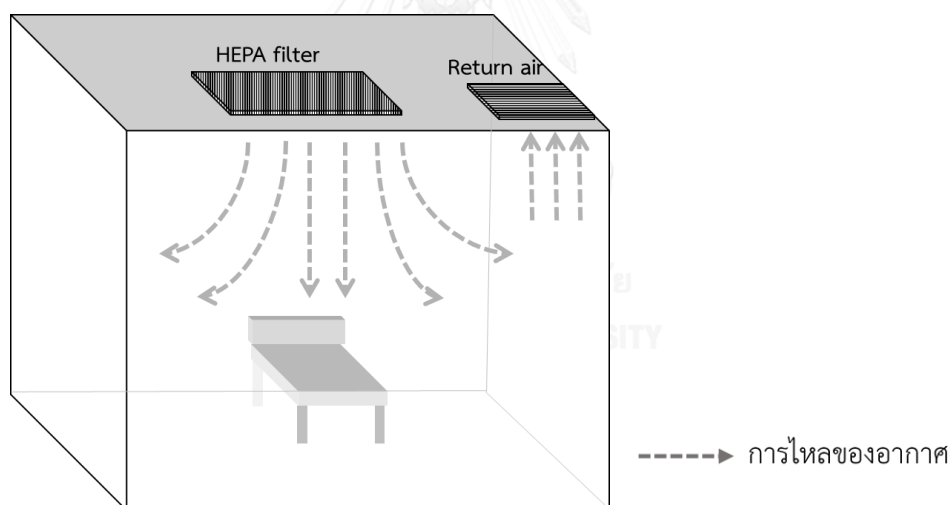
** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01

ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ พบว่า $PM_{2.5}$ บริเวณช่องดูดอากาศมีความเข้มข้นสูงสุด และมีความสัมพันธ์กับช่อง return air ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01 ($r=0.924$) เนื่องจาก $PM_{2.5}$ เป็นฝุ่นที่มีขนาดเล็กทำให้มีการฟุ้งกระจายและแขวนลอยอยู่ในอากาศเมื่อเปิดระบบปรับอากาศของห้องพักผู้ป่วย $PM_{2.5}$ จึงถูกดูดออกนอกห้องพร้อมกับอากาศที่บริเวณช่องดูดอากาศและช่อง return air สำหรับ PM_{10} บริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) มีความเข้มข้นสูงสุด และมีความสัมพันธ์กับบริเวณช่องดูดอากาศที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($r=0.865$) เนื่องจากอากาศที่มาจากช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น อาจจะมีฝุ่นละอองที่ผ่านแผ่นกรองอากาศและเกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองที่มีอยู่ภายในห้อง ทำให้ปริมาณฝุ่นละอองที่เข้าและออกจากห้องพักผู้ป่วยมีความสัมพันธ์กัน ส่วน $PM_{2.5-10}$ ไม่มีความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองในแต่ละจุดเก็บ ทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษแสดงดังภาพที่ 4.7 โดยอากาศจากระบบปรับอากาศเข้าสู่ภายในห้องผ่าน HEPA filter และดูดออกผ่านทางช่องดูดอากาศและช่อง return air เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศนอกรอาคารและภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่ามลพิษอากาศภายนอกอาคารไม่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพอากาศภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ



ภาพที่ 4.7 ทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องผู้ป่วยพิเศษ

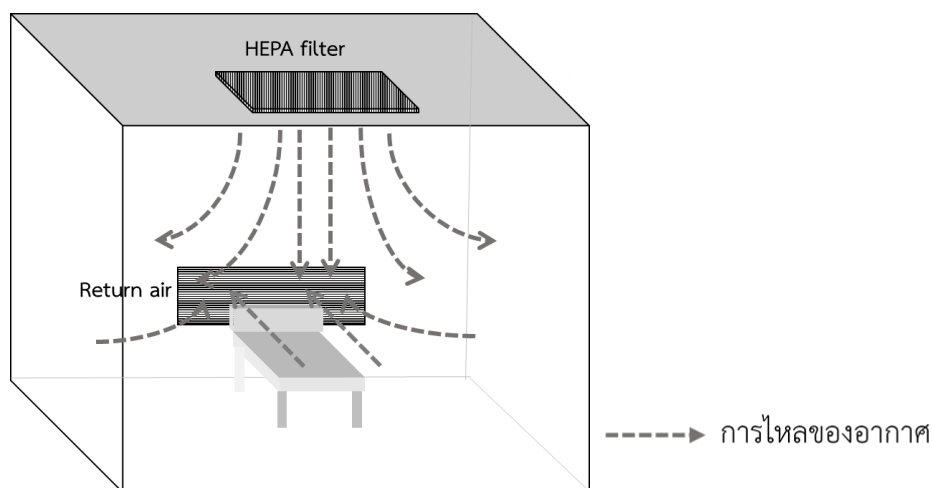
ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบพบว่า $PM_{2.5-10}$ มีความสัมพันธ์ระหว่างบนเตียงผู้ป่วยและช่อง return air ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($r=0.831$) และความสัมพันธ์ระหว่างช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($r=0.895$) สำหรับ PM_{10} มีความสัมพันธ์ระหว่างบนเตียงผู้ป่วยและช่อง return air ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($r=0.831$) คือ เมื่อบนเตียงผู้ป่วยที่เป็นจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ผู้ป่วยจะได้รับเข้าสู่ร่างกายมีปริมาณมาก อากาศที่ดูดออกจากห้องผ่านทาง return air จะมีปริมาณฝุ่นละอองมากตามไปด้วย และไม่มีความสัมพันธ์ของปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศนอกอาคารและภายในห้องพักผู้ป่วย รวมถึงบริเวณทางเดินภายในห้องพักผู้ป่วยรวม แสดงว่ามลพิษอากาศภายนอกอาคารไม่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพอากาศภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ ทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องแสดงดังภาพที่ 4.8 โดยอากาศเข้าสู่ภายในห้องผ่าน HEPA filter และถูกดูดออกทางช่อง return air เพียงทางเดียวเท่านั้น เนื่องจากห้องที่มีระบบความดันเป็นลบเป็นห้องสำหรับผู้ป่วยแพร่เชื้อ แร่ดันอากาศภายในห้องต่ำกว่ารอบข้าง ระบบควบคุมความดันจะป้องกันอากาศภายในห้องออกสู่นอกห้อง



ภาพที่ 4.8 ทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ

ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบพบว่าการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ $PM_{2.5}$ $PM_{2.5-10}$ และ PM_{10} ในจุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุดภายในห้องพักผู้ป่วย ไม่มีความสัมพันธ์กันและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศนอกอาคารและภายในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบไม่มีความสัมพันธ์กันเช่นกัน เนื่องจากระบบความดันของห้องจะป้องกันไม่ให้ฝุ่นละอองจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องปริมาณฝุ่นละอองที่เข้าและออกจากห้องในจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างจึงไม่มีความสัมพันธ์กัน และไม่มีความสัมพันธ์ของปริมาณฝุ่น

ละอองในบรรยากาศนอกรอาคารและภายในห้องพัก รวมถึงบริเวณทางเดินภายในห้องพักผู้ป่วยรวม แสดงว่ามลพิษอากาศภายนอกอาคารไม่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพอากาศภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก ทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องแสดงดังภาพที่ 4.9 โดยอากาศเข้าสู่ภายในห้องผ่าน HEPA filter และถูกดูดออกทางช่อง return air ที่อยู่ด้านหลังเตียงผู้ป่วยเพียงทางเดียวเท่านั้น ห้องระบบความดันบวกเป็นห้องสำหรับผู้ป่วยที่มีปัญหาเรื่องภูมิแพ้หรือรับเชื้อได้ง่าย จำเป็นต้องอยู่ในห้องที่มีแรงดันอากาศภายในห้องสูงกว่าภายนอกห้อง หรือสูงกว่าความดันบรรยากาศ (Positive Pressure) เพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่น เชื้อโรค หรือมลพิษอากาศจากภายนอกแพร่เข้าสู่ภายในห้องได้



ภาพที่ 4.9 ทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4 ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio)

ศึกษาความสัมพันธ์ของมลพิษอากาศภายในอาคาร คือ ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยและปริมาณฝุ่นละอองภายนอกอาคาร เพื่อวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของมลพิษอากาศมีแหล่งกำเนิดจากภายในอาคารหรือภายนอกอาคาร เมื่อ I/O ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ามลพิษมีแหล่งกำเนิดจากภายในอาคาร แต่ถ้า I/O ratio มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่ามลพิษมีแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคารและแพร่เข้าสู่ภายในอาคารได้

4.4.1 ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

อัตราส่วนของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) และฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน (PM_{10}) ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษต่อปริมาณ

ฝุ่นภายนอกอาคาร แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าทุกจุดเก็บตัวอย่างคือ บนเตียงผู้ป่วย ช่องดูดอากาศ ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air มีค่า I/O ratio น้อยกว่า 1 แสดงว่า PM_{2.5} PM_{2.5-10} และ PM₁₀ ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษมีแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคารแล้วแพร่เข้าสู่ภายในห้องพักผู้ป่วยผ่านทางรอยแยกแตกของผนังอาคารหรือจากช่องหน้าต่างที่ปิดไม่สนิท เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Lomboy et al. (2015) ศึกษาคุณภาพอากาศของห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบปรับอากาศ คือห้อง ICU เด็กแรกเกิดและห้อง ICU รวม พบว่าค่า I/O ratio น้อยกว่า 1 แสดงว่าห้องพักผู้ป่วยมีการป้องกันมลพิษอากาศจากภายนอกอาคารน้อย และพบว่าปริมาณฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษคิดเป็น 8-25% ของฝุ่นภายนอกอาคาร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chan (2002) รายงานว่าอัตราการแทรกซึมของมลพิษอากาศจากภายนอกจะมีค่าประมาณ 70% และจะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อใช้ระบบปรับอากาศแบบเต็มรูปแบบ

ตารางที่ 4.3 I/O ratio ของ PM_{2.5} PM_{2.5-10} และ PM₁₀ ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและภายนอกอาคาร

จุดเก็บตัวอย่าง	I/O ratio		
	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}	PM ₁₀
บนเตียง	0.08±0.07	0.19±0.04	0.13±0.04
ช่องดูดอากาศ	0.17±0.22	0.13±0.03	0.15±0.09
HEPA filter	0.13±0.07	0.25±0.14	0.18±0.11
Return air	0.08±0.07	0.21±0.05	0.13±0.04

4.4.2 ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ

อัตราส่วนของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน (PM_{2.5-10}) และฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน (PM₁₀) ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบต่อปริมาณฝุ่นละอองภายนอกอาคาร แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าทุกจุดเก็บตัวอย่างคือ บนเตียงผู้ป่วย ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air มีค่า I/O ratio น้อยกว่า 1 แสดงว่า PM_{2.5} PM_{2.5-10} และ PM₁₀ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบมีโอกาสได้รับฝุ่นจากแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคารแล้วแพร่เข้าสู่ภายในห้องพักผู้ป่วยผ่านระบบช่องการไหลเวียนอากาศภายในห้อง และจากการเปิดประตูออกไปนอกอาคารที่เป็นที่เก็บของและตากผ้าด้านหลังห้องพักผู้ป่วย และพบว่าปริมาณฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษคิดเป็น 7-19% ของฝุ่นภายนอกอาคาร

ตารางที่ 4.4 I/O ratio ของ PM_{2.5} PM_{2.5-10} และ PM₁₀ ภายในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบและภายนอกอาคาร

จุดเก็บตัวอย่าง	I/O ratio		
	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}	PM ₁₀
บนเตียง	0.11±0.05	0.19±0.09	0.14±0.07
HEPA filter	0.11±0.05	0.18±0.04	0.14±0.04
Return air	0.07±0.04	0.18±0.06	0.13±0.05

4.4.3 ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก

อัตราส่วนของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน (PM_{2.5-10}) และฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน (PM₁₀) ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวกต่อปริมาณฝุ่นภายนอกอาคาร แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าทุกจุดเก็บตัวอย่างคือ บนเตียงผู้ป่วย ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air มีค่า I/O ratio น้อยกว่า 1 แสดงว่า PM_{2.5} PM_{2.5-10} และ PM₁₀ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวกมีโอกาสได้รับฝุ่นจากแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคารแล้วแพร่เข้าสู่ภายในห้องพักผู้ป่วยผ่านระบบช่องการไหลเวียนอากาศภายในห้อง และจากการเปิดประตูออกไปนอกอาคารที่เป็นที่เก็บของและตากผ้าด้านหลังห้องพักผู้ป่วย เช่นเดียวกับห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบที่อยู่บนชั้นเดียวกัน และพบว่าประสิทธิผลฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษคิดเป็น 11-29% ของฝุ่นภายนอกอาคาร

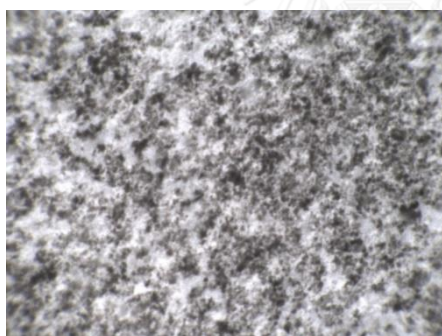
ตารางที่ 4.5 I/O ratio ของ PM_{2.5} PM_{2.5-10} และ PM₁₀ ภายในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบและภายนอกอาคาร

จุดเก็บตัวอย่าง	I/O ratio		
	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}	PM ₁₀
บนเตียง	0.12±0.08	0.27±0.14	0.20±0.11
HEPA filter	0.19±0.21	0.27±0.11	0.23±0.15
Return air	0.11±0.07	0.29±0.16	0.20±0.09

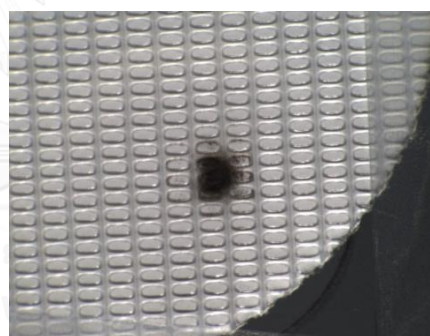
4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุโดยเทคนิคแสงซินโครตรอน (synchrotron)

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุที่มีอยู่ในฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) ภายในห้องพักผู้ป่วยและฝุ่นละอองจากบรรยากาศภายนอกอาคารด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอน โดยใช้การเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence, XRF) การใช้เทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์กระดาศกรงที่ปรากฏฝุ่นละอองอย่างชัดเจน และองค์ประกอบธาตุที่พบในฝุ่นละอองที่ได้จากการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฝุ่นละอองบนกระดาศกรงดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 4.10 คือฝุ่นละอองบนกระดาศกรงที่ตรวจสอบผ่านกล้องไมโครสโคป (CCD microscope)

จากการวิเคราะห์กระดาศกรงชนิด PTFE ที่ไม่ได้เก็บตัวอย่าง (blank) พบธาตุพื้นฐานในอากาศและกระดาศกรง ได้แก่ อาร์กอน (Ar) แคลเซียม (Ca) และซัลเฟอร์ (S) กราฟค่าพลังงานของธาตุที่พบบน blank แสดงดังภาพที่ 4.11 ดังนั้นจึงไม่นำธาตุเหล่านี้มาพิจารณาในการรายงานผลการวิเคราะห์ชนิดของธาตุในตัวอย่าง $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ สำหรับตัวอย่างกราฟค่าพลังงานของชนิดธาตุที่พบในตัวอย่างฝุ่นละอองแสดงดังภาพที่ 4.12 และภาคผนวก ข

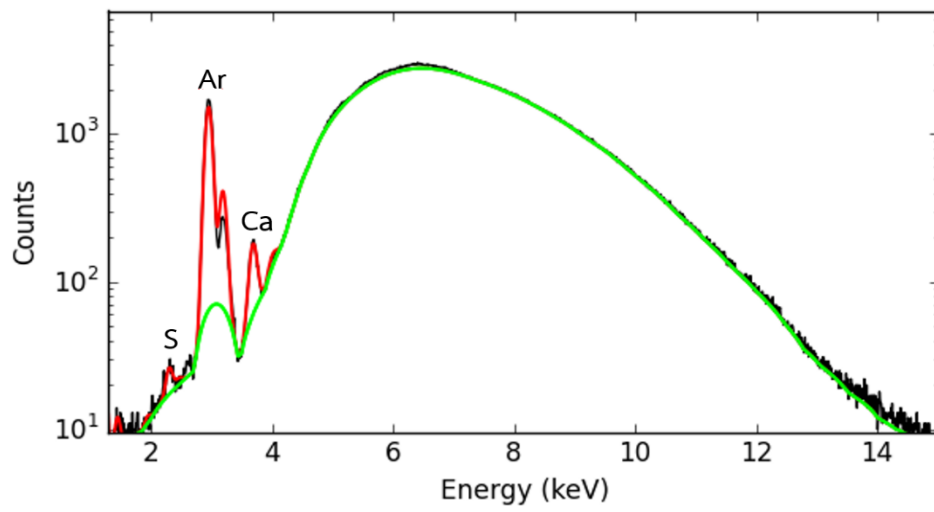


(ก)

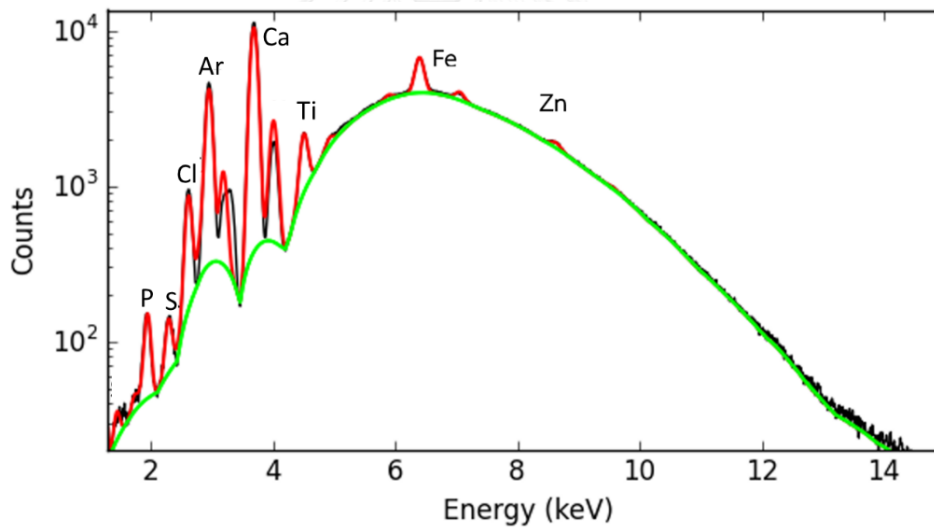


(ข)

ภาพที่ 4.10 ฝุ่นละอองบนกระดาศกรง PTFE (ก) $PM_{2.5}$ (ข) $PM_{2.5-10}$



ภาพที่ 4.11 ค่าพลังงานของชนิดธาตุที่พบบน blank filter



ภาพที่ 4.12 ค่าพลังงานของชนิดธาตุในตัวอย่าง $PM_{2.5-10}$

4.5.1 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและระเบียบด้านนอกอาคาร แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบธาตุที่พบใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ จากห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

จุดเก็บตัวอย่าง	องค์ประกอบธาตุ	
	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5-10}$
บนเตียงผู้ป่วย	Si Cl K	Si Al
ช่องดูดอากาศ	Si Al	Ti Fe
HEPA filter	Si Al	Si Cl
Return air	Si	Si Cl
ระเบียบ	Si Cl K Ti Fe Mn Ni Zn Cu	Si Cl Ti Fe K Mn Ni Zn Cu Cr

พบว่า $PM_{2.5}$ บริเวณระเบียบด้านนอกอาคาร ($n=5$) พบองค์ประกอบธาตุ ได้แก่ Cl K Ti Mn Fe Ni Zn Cu และ Si บนเตียงผู้ป่วย ($n=3$) พบองค์ประกอบธาตุ Cl K และ Si บริเวณช่องดูดอากาศ ($n=2$) พบองค์ประกอบธาตุ Si และ Al บริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) ($n=2$) พบธาตุ Si และ Al บริเวณช่อง return air ($n=2$) พบธาตุ Si

เมื่อนำองค์ประกอบธาตุมาวิเคราะห์ธาตุที่พบซ้ำกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 4.13 พบว่า Si พบในทุกจุดเก็บตัวอย่าง Cl และ K พบบนเตียงผู้ป่วย และ Al พบบริเวณช่องดูดอากาศและช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และองค์ประกอบธาตุภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษที่มีเหมือนกับองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากระเบียงด้านนอกอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 4.14 คือ Si Cl K ส่วน Al พบเฉพาะภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษเท่านั้น และ Ti Fe Mn Ni Zn Cu พบเฉพาะฝุ่นจากด้านนอกอาคารเท่านั้น

บนเตียง Cl K		ช่องดูดอากาศ
	Si	Al
Return air		HEPA filter

ภาพที่ 4.13 องค์ประกอบธาตุที่พบคล้ายกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

Indoor Al	I&O Si Cl K	Outdoor Ti Fe Mn Ni Zn Cu
--------------	----------------------	---------------------------------

ภาพที่ 4.14 องค์ประกอบธาตุของ PM_{2.5} ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและภายนอกอาคาร

สำหรับ PM_{2.5-10} บริเวณระเบียงด้านนอกอาคาร (n=5) พบองค์ประกอบธาตุ Cl K Ti Mn Fe Ni Zn Cu Si และ Cr บนเตียงผู้ป่วย (n=1) พบธาตุ Si และ Al บริเวณช่องดูดอากาศ (n=1) พบธาตุ Ti และ Fe บริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) (n=1) Cl และ Si บริเวณ return air (n=1) พบธาตุ Si และ Cl เมื่อนำองค์ประกอบธาตุมาวิเคราะห์ธาตุที่พบซ้ำกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 4.15 พบว่า Si พบทั้งบริเวณบนเตียงผู้ป่วย ช่อง return air และ HEPA filter Cl พบบริเวณช่อง return air และ HEPA filter และองค์ประกอบธาตุภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษที่มีเหมือนกับองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากระเบียงด้านนอกอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 4.16 คือ Si Fe Ti และ Cl ส่วน Al พบเฉพาะภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษเท่านั้น และ K Mn Ni Zn Cu และ Cr พบเฉพาะฝุ่นจากด้านนอกอาคารเท่านั้น

บนเตียง Al		ช่องดูดอากาศ Fe Ti
Si		
Return air	Si Cl	HEPA filter

ภาพที่ 4.15 องค์ประกอบธาตุที่พบคล้ายกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

Indoor Al	I&O Si Fe Ti Cl	Outdoor K Mn Ni Zn Cu Cr
--------------	-----------------------	--------------------------------

ภาพที่ 4.16 องค์ประกอบธาตุของ $PM_{2.5-10}$ ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและภายนอกอาคาร

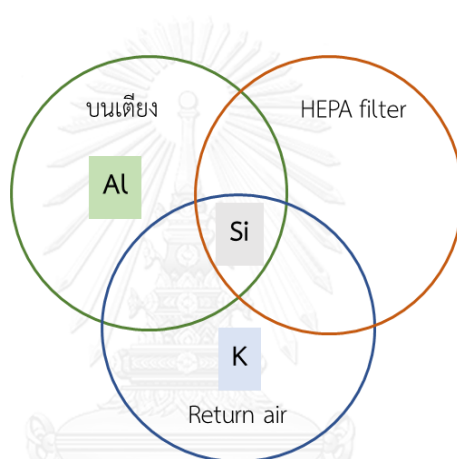
4.5.2 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ

องค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและระเบียงด้านนอกอาคาร แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ชนิดธาตุที่พบใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ

จุดเก็บตัวอย่าง	องค์ประกอบธาตุ	
	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5-10}$
บนเตียง	Si Al	Cl Fe
HEPA filter	Si	Si Ti
Return air	Si K	Si Cl K Ti Fe Zn
ทางเดิน	Si Al Cl Ti Fe	Si K
ระเบียง	Si Cl K Ti Fe Mn Ni Zn Cr	Si Cl K Ti Fe Zn Mn Ni Cu Cr

พบว่า $PM_{2.5}$ บริเวณระเบียงด้านนอกอาคาร (n=6) พบธาตุ ได้แก่ Cl K Ti Mn Fe Ni Zn Si และ Cr บนเตียงผู้ป่วย (n=2) และบริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) (n=2) พบธาตุชนิดเดียวกัน คือ Si และ Al บริเวณ return air (n=1) พบธาตุ Si ส่วนบริเวณทางเดินภายในห้องพัก รวมก่อนเข้าสู่ห้องแยก (n=2) พบธาตุ Cl Ti Fe Si และ Al เมื่อนำองค์ประกอบธาตุมาวิเคราะห์ธาตุที่พบซ้ำกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 4.17 พบว่า Si มีในทุกจุดเก็บตัวอย่าง Al พบเฉพาะบนเตียงผู้ป่วย K พบเฉพาะช่อง return air เท่านั้น และองค์ประกอบธาตุภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษที่มีเหมือนกับองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากระเบียงด้านนอกอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 4.18 คือ Si K Cl Ti และ Fe ส่วน Al พบเฉพาะภายในห้องพักผู้ป่วยเท่านั้น และ Zn Mn Ni และ Cr พบเฉพาะฝุ่นจากด้านนอกอาคารเท่านั้น

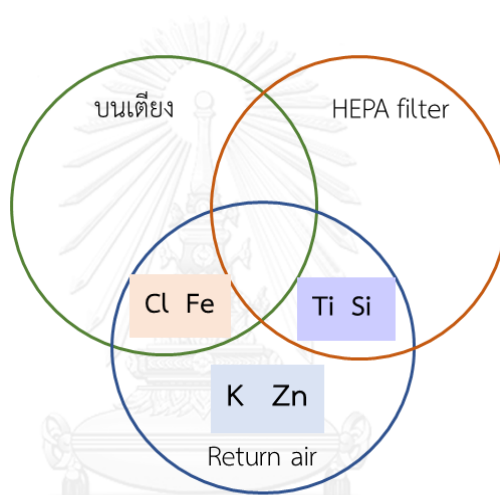


ภาพที่ 4.17 องค์ประกอบธาตุที่พบคล้ายกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ

Indoor	I&O	Outdoor
Al	Si K Cl Ti Fe	Zn Mn Ni Cr

ภาพที่ 4.18 องค์ประกอบธาตุของ $PM_{2.5}$ ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบและภายนอกอาคาร

สำหรับ $PM_{2.5-10}$ บริเวณระเบียงด้านนอกอาคาร (n=4) พบธาตุ ได้แก่ Si Cl K Ti Mn Fe Ni Zn Cu และ Cr บนเตียงผู้ป่วย (n=1) พบธาตุ Cl Fe บริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) (n=1) พบธาตุ Ti และ Si บริเวณช่อง return air (n=1) พบธาตุ Cl K Ti Fe Zn และ Si บริเวณทางเดินภายในห้องพักรวมก่อนเข้าสู่ห้องแยก (n=1) พบธาตุ K และ Si เมื่อนำองค์ประกอบธาตุมาวิเคราะห์ธาตุที่พบซ้ำกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 4.19 พบว่า Cl Fe พบบริเวณบนเตียงผู้ป่วยและช่อง return air Ti และ Si พบบริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air สำหรับองค์ประกอบธาตุภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษที่มีเหมือนกับองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากระเบียงด้านนอกอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 4.20 คือ Si Cl K Fe Ti และ Zn



ภาพที่ 4.19 องค์ประกอบธาตุที่พบคล้ายกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ

Indoor	I&O Si Cl K Fe Ti Zn	Outdoor Mn Ni Cu Cr
--------	-------------------------------	------------------------

ภาพที่ 4.20 องค์ประกอบธาตุของ $PM_{2.5-10}$ ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบและภายนอกอาคาร

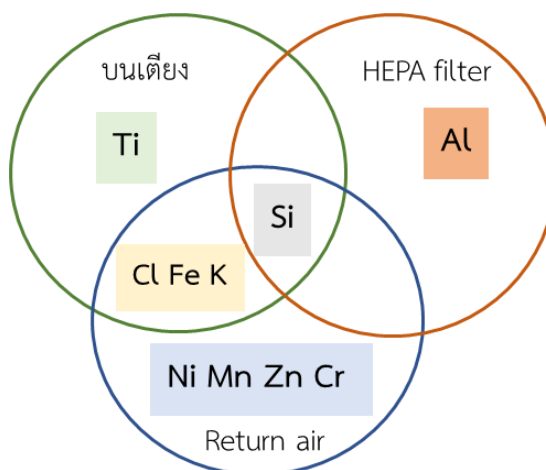
4.5.3 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก

องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและระเบียบด้านนอกอาคาร แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ชนิดธาตุที่พบใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก

จุดเก็บตัวอย่าง	องค์ประกอบธาตุ	
	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5-10}$
บนเตียง	Si Cl K Ti Fe	Si Cl
HEPA filter	Si Al	-
Return air	Si Cl K Mn Fe Zn Cr Ni	Si
ทางเดิน	Si Al K Mn	Si Cl K Ti Mn Fe Zn Cr Al
ระเบียง	Si Cl K Ti Mn Fe Zn Cr Ni	Si Cl K Ti Mn Fe Zn Cu Cr Ni

พบว่า $PM_{2.5}$ บริเวณระเบียงด้านนอกอาคาร (n=5) พบธาตุ ได้แก่ Cl K Ti Mn Fe Ni Zn Si และ Cr บนเตียงผู้ป่วย (n=3) พบธาตุ Cl K Ti Fe และ Si บริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) (n=2) พบธาตุ Si และ Al บริเวณ return air (n=4) พบธาตุ Cl K Mn Fe Ni Zn Si และ Cr ส่วนบริเวณทางเดินภายในห้องพักรวมก่อนเข้าสู่ห้องแยก (n=4) พบธาตุ K Mn Si และ Al เมื่อนำองค์ประกอบธาตุมาวิเคราะห์ธาตุที่พบซ้ำกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 4.21 พบว่า Si พบในทุกจุดเก็บตัวอย่าง Cl Fe K พบบริเวณบนเตียงผู้ป่วยและช่อง return air สำหรับองค์ประกอบธาตุภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษที่มีเหมือนกับองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากระเบียงด้านนอกอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 4.22 คือ Si Cl K Ti Mn Fe Zn Cr และ Ni ส่วน Al พบเฉพาะภายในอาคารเท่านั้น



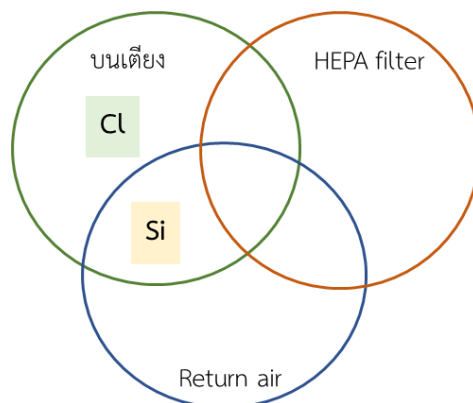
ภาพที่ 4.21 องค์ประกอบธาตุที่พบคล้ายกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก

Indoor	I&O	Outdoor
Al	Si Cl K Ti Mn Fe Zn Cr Ni	

ภาพที่ 4.22 องค์ประกอบธาตุของ $PM_{2.5}$ ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวกและภายนอกอาคาร

สำหรับ $PM_{2.5-10}$ บริเวณระเบียงด้านนอกอาคาร ($n=4$) พบธาตุ ได้แก่ Cl K Ti Mn Fe Ni Zn Cu และ Cr บนเตียงผู้ป่วย ($n=1$) พบธาตุ Cl และ Si ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) ($n=1$) ไม่พบธาตุใดๆ เลย เนื่องจากปริมาณฝุ่นมีน้อยมากและไม่พบจุดที่จะวัดตัวอย่างบริเวณช่อง return air ($n=1$) พบธาตุ Si บริเวณทางเดินภายในห้องพักรวมก่อนเข้าสู่ห้องแยก ($n=4$) พบธาตุ Cl K Ti Mn Fe Ni Zn Cu และ Cr

เมื่อนำองค์ประกอบธาตุมาวิเคราะห์ธาตุที่พบซ้ำกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 4.23 พบว่า Si พบคล้ายกันบริเวณบนเตียงผู้ป่วยและช่อง return air สำหรับองค์ประกอบธาตุภายในห้องพักผู้ป่วยระบบความดันเป็นบวกที่มีเหมือนกับองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากระเบียงด้านนอกอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 4.24 คือ Si Cl K Ti Mn Fe Zn และ Cr ส่วน Al พบเฉพาะภายในอาคารเท่านั้น



ภาพที่ 4.23 องค์ประกอบธาตุที่พบคล้ายกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก

Indoor	I&O	Outdoor
Al	Si Cl K	Ni
	Ti Mn Fe	
	Zn Cr	

ภาพที่ 4.24 องค์ประกอบธาตุของ $PM_{2.5-10}$ ที่พบภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวกและภายนอกอาคาร

4.5.4 องค์ประกอบธาตุในเชื้อราภายในห้องพักผู้ป่วย

การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเชื้อราโดยเทคนิคแสงซินโครตรอน เชื้อราที่นำมาศึกษามี 2 ชนิดคือ *Curvularia lunata* เป็นเชื้อราที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสีดำ และ *Fusarium spp.* เป็นเชื้อราเส้นใยสีขาว เชื้อราทั้ง 2 ชนิด ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากวิชาจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่า *Curvularia lunata* (ราดำ) มีองค์ประกอบธาตุ ได้แก่ Cl K Ti Fe Zn Cr และ Mn สำหรับ *Fusarium spp.* (ราขาว) พบองค์ประกอบธาตุ ได้แก่ Cl K Ti Fe Zn และ Cr ราทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นราที่อาศัยในดินพบได้ทั่วไปทุกแห่ง (อภิรัชต์ สมฤทธิ์ et al., 2553) สปอร์ของราสามารถปลิวได้ในอากาศเมื่อไปตกที่ใดมีความชื้นไม่มากนักก็สามารถเจริญเติบโตได้ ดังนั้นในอากาศในอาคารจึงมีสปอร์ของราอยู่แตกต่างกันตามวัสดุที่ใช้ และตามสภาวะแวดล้อม ณ จุดนั้นๆ

ตารางที่ 4.9 องค์ประกอบธาตุที่พบในเชื้อราภายในห้องพักผู้ป่วย

เชื้อรา	องค์ประกอบธาตุ
<i>Curvularia lunata</i>	Cl K Ti Fe Zn Cr Mn
<i>Fusarium spp.</i>	Cl K Ti Fe Zn Cr

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบธาตุที่พบในฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยทั้ง 3 ห้องที่ทำการศึกษา กับองค์ประกอบธาตุที่พบในเชื้อรา พบว่า ฝุ่นละอองจากภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ มีธาตุ Cl K Ti และ Fe ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ มีธาตุ Cl K Ti Fe และ Zn ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นบวก มีธาตุ Cl K Ti Fe Zn Cr และ Mn ที่พบองค์ประกอบธาตุที่คล้ายกัน ดังนั้นฝุ่นละอองที่ได้จากการเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยมีส่วนของอนุภาคจุลชีพต่างๆ ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ จากงานวิจัยของ ศรีบุญ คำภา บุตร (2552) ได้ศึกษาปริมาณของเชื้อราในอากาศและความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ พบว่า เมื่อฝุ่นละอองในอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณของเชื้อราในอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แสดงว่าเชื้อราและฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยมีความสัมพันธ์กัน

จากการวิเคราะห์ฝุ่นละอองภายในอาคารและฝุ่นละอองจากบรรยากาศภายนอกอาคาร พบว่า ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษจาก PM_{2.5} พบธาตุ Si Cl K Al ภายนอกอาคารพบธาตุ Si Cl K Ti Fe Mn Ni Zn Cu ส่วน PM_{2.5-10} ภายในห้องพบธาตุ Si Cl Fe Ti Al ภายนอกอาคารพบธาตุ Si Cl Ti Fe K Mn Ni Zn Cu Cr

ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบจาก PM_{2.5} พบธาตุ Si Cl K Ti Fe Al ภายนอกอาคารพบธาตุ Si Cl K Ti Fe Mn Ni Zn Cr ส่วน PM_{2.5-10} ภายในห้องที่มีระบบความดันเป็นลบพบธาตุ Si Cl K Ti Fe Zn ภายนอกอาคารพบธาตุ Si Cl K Ti Fe Zn Mn Ni Cu Cr และภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวกจาก PM_{2.5} พบธาตุ Si Cl K Mn Ti Fe Zn Cr Ni Al ภายนอกอาคารพบธาตุ Si Cl K Ti Mn Fe Zn Cr Ni สำหรับ PM_{2.5-10} ภายในห้องที่มีระบบความดันเป็นบวกพบธาตุ Si และ Cl ภายนอกอาคารพบธาตุ Si Cl K Ti Mn Fe Zn Cu Cr Ni

จะเห็นได้ว่า Al พบเฉพาะในฝุ่นละอองภายในอาคาร คือห้องพักผู้ป่วยพิเศษบริเวณช่องดูดอากาศ HEPA filter (PM_{2.5}) และบนเตียงผู้ป่วย (PM_{2.5-10}) ห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบบริเวณบนเตียงผู้ป่วย และบริเวณ HEPA filter ในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก เนื่องจากเทคนิคการยิงแสงซินโครตรอน ระบบลำเลียงแสง μ -XRF สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุได้ตั้งแต่ Mg ถึง Zn สำหรับ Al มีค่าพลังงานในชั้น K α_1 เท่ากับ 1,486.70 eV ซึ่งมีค่าต่ำ

กว่าธาตุอื่นๆ ที่ทำการวิเคราะห์พบในงานวิจัยนี้ โอกาสที่จะพบ Al จึงมีน้อย เมื่อวิเคราะห์แหล่งกำเนิดขององค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Lomboy et al. (2015) ทำการศึกษาองค์ประกอบธาตุจากฝุ่น $PM_{2.5}$ ในโรงพยาบาลประเทศฟิลิปปินส์ โดยใช้วิธี X-ray Fluorescence spectrometry พบว่าภายในแผนกต่างๆ ในโรงพยาบาลมีธาตุ V Ni Zn Br S และ Pb มีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจร Na และ Cl มาจากน้ำยาทำความสะอาด Hg มาจากอุปกรณ์ทางการแพทย์ Si Al และ Ti เป็นธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติมาจากฝุ่นดินหรือฝุ่นหิน งานวิจัยของ Almeida et al. (2011) ศึกษาองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากโรงเรียนประถมในเมืองลิสบอน โดยใช้วิธี k_0 NAA methodology พบว่า As Ba Br Ca Cr Sb Se และ Zn มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร และปลดปล่อยจากอุตสาหกรรม เนื่องจากโรงพยาบาลที่ได้ทำการศึกษานี้ตั้งอยู่ใจกลางเมือง ใกล้กับถนนเส้นหลักที่มีการจราจรหนาแน่น รวมทั้งภายในเขตโรงพยาบาลมีการก่อสร้างในช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่าง แหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละอองจึงอาจจะมาจากการจราจรและการก่อสร้าง

ในการศึกษาองค์ประกอบธาตุโดยใช้เทคนิคแสงซินโครตรอนนี้ให้ผลการศึกษาเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ และมีข้อจำกัดของผลการวิเคราะห์ที่ขึ้นอยู่กับปริมาณฝุ่นที่พบ การศึกษาข้อมูลความเข้มข้นขององค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจะทำการศึกษาโดยใช้เทคนิค ICP-MS จึงมีความสำคัญต่อการสนับสนุนการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของธาตุที่พบในฝุ่นละออง ซึ่งจะกล่าวในลำดับต่อไป

4.6 ชนิดและปริมาณโลหะในฝุ่นละออง

การศึกษาปริมาณโลหะ 13 ชนิด ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรม วิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบและห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก และฝุ่นละอองจากระเบียงด้านนอกอาคาร คือ อะลูมิเนียม (Al) วาเนเดียม (V) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) อาเซนิก (As) แคดเมียม (Cd) พลวง (Sb) ตะกั่ว (Pb) โดยใช้ Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) (ปริมาณธาตุในแต่ละตัวอย่างแสดงในภาคผนวก ค) ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

4.6.1 ปริมาณโลหะภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง คือ บนเตียงผู้ป่วย ช่องดูดอากาศ ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air ผลการศึกษาปริมาณโลหะในฝุ่นละอองในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยและระเบียงด้านนอกอาคาร

รายงานเป็นความเข้มข้นโลหะเฉลี่ยในหน่วยนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ng/m^3) ใน $\text{PM}_{2.5}$ แสดงดังตารางที่ 4.10 และใน $\text{PM}_{2.5-10}$ แสดงดังตารางที่ 4.11

การวิเคราะห์ตัวอย่าง $\text{PM}_{2.5}$ พบว่า As บริเวณช่องดูดอากาศและช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และ Pb ใน $\text{PM}_{2.5-10}$ บริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และ return air มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection Limit) กลุ่มธาตุที่พบในปริมาณสูง ($>10 \text{ ng}/\text{m}^3$) 3 ชนิด ในฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ คือ Fe Al และ Zn กลุ่มธาตุที่พบรองลงมา ($1-10 \text{ ng}/\text{m}^3$) ได้แก่ Cr Mn Ni และ Cu และกลุ่มธาตุที่พบปริมาณน้อย ($<1 \text{ ng}/\text{m}^3$) ได้แก่ V Co As Cd Sb และ Pb จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 4.25 ธาตุที่พบมากสุดในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีดังนี้ บนเตียงผู้ป่วยและช่อง return air พบ Fe 111.70 และ $93.72 \text{ ng}/\text{m}^3$ คิดเป็น 53.60% และ 51.56% ตามลำดับ บริเวณช่องดูดอากาศและ HEPA filter พบ Al 46.29 และ $75.02 \text{ ng}/\text{m}^3$ คิดเป็น 48.13% และ 36.81% ตามลำดับ สำหรับฝุ่นละอองบริเวณระเบียงด้านนอกอาคารธาตุที่พบปริมาณมากที่สุดคือ Fe ปริมาณ $81.09 \text{ ng}/\text{m}^3$ คิดเป็น 42.50%

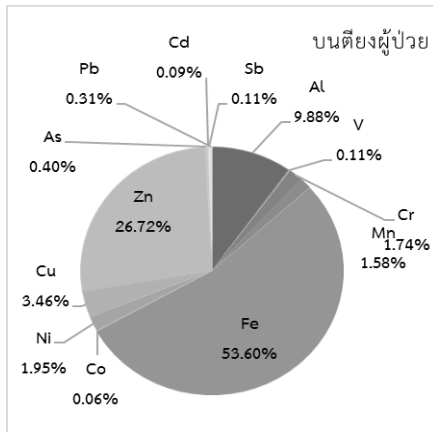
สำหรับ $\text{PM}_{2.5-10}$ พบว่า Pb บริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection Limit) กลุ่มธาตุที่พบในปริมาณสูง ($>10 \text{ ng}/\text{m}^3$) 4 ชนิด ในฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ คือ Fe Al Zn และ Cr กลุ่มธาตุที่พบรองลงมา ($1-10 \text{ ng}/\text{m}^3$) ได้แก่ Mn Ni และ Cu และกลุ่มธาตุที่พบปริมาณน้อย ($<1 \text{ ng}/\text{m}^3$) ได้แก่ V Co As Cd Sb และ Pb จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม แสดงเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 4.26 ธาตุที่พบมากสุดในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีดังนี้ บนเตียงผู้ป่วย HEPA filter และช่อง return air พบ Fe ปริมาณ 290.0 173.98 และ $55.60 \text{ ng}/\text{m}^3$ คิดเป็น 53.61% 46.87% และ 35.50% ตามลำดับ บริเวณช่องดูดอากาศพบ Zn $29.06 \text{ ng}/\text{m}^3$ คิดเป็น 29.06% สำหรับฝุ่นละอองบริเวณระเบียงด้านนอกอาคารธาตุที่พบปริมาณมากที่สุดคือ Fe ปริมาณ $260.54 \text{ ng}/\text{m}^3$ คิดเป็น 52.82% ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับ $\text{PM}_{2.5}$

เปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค ICP-MS และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุโดยเทคนิคแสงซินโครตรอนเพื่อจำแนกธาตุ พบว่าผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกันคือ $\text{PM}_{2.5}$ บริเวณช่องดูดอากาศและช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) พบธาตุ Al บริเวณระเบียงด้านนอกอาคารพบธาตุ Fe Mn Ni Zn และ Cu สำหรับ $\text{PM}_{2.5-10}$ บริเวณบนเตียงผู้ป่วยและช่องดูดอากาศ พบธาตุ Al และ Fe ตามลำดับ บริเวณระเบียงด้านนอกอาคารพบธาตุ Fe Mn Ni Zn Cu และ Cr

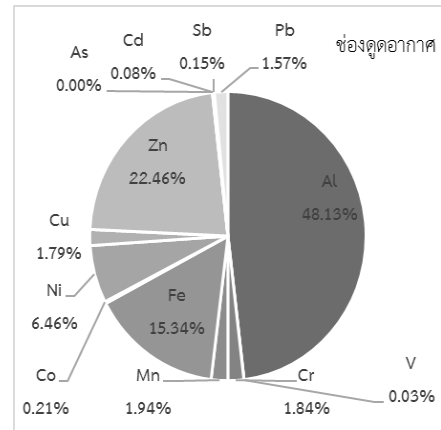
ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นโลหะของ PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและระเบียงด้านนอกอาคาร (ng/m³)

ชนิดธาตุ	บนเตียงผู้ป่วย	ช่องดูดอากาศ	HEPA filter	Return air	ระเบียง
Al	20.59±9.98	46.29±9.90	75.02±45.99	37.20±8.74	41.56±57.95
V	0.23±0.39	0.03±0.03	0.04±0.04	0.10±0.05	0.57±0.39
Cr	3.62±1.40	1.77±1.67	2.15±1.76	12.32±11.06	3.84±4.84
Mn	3.29±2.47	1.87±0.01	2.00±0.84	2.43±0.73	4.80±3.65
Fe	111.70±96.00	14.75±10.29	46.30±26.99	93.72±77.46	81.09±74.90
Co	0.13±0.06	0.20±0.08	0.17±0.06	0.29±0.08	0.27±74.90
Ni	4.06±5.01	6.21±5.33	1.81±1.20	5.28±6.35	3.58±3.63
Cu	7.20±6.34	1.72±2.09	1.35±0.87	1.21±0.68	2.34±2.03
Zn	55.67±36.36	21.60±26.42	74.21±51.54	28.54±18.80	48.22±63.28
As	0.84±0.20	N.D.	N.D.	0.21±0.03	0.43±0.40
Cd	0.18±0.17	0.08±0.03	0.15±0.06	0.03±0.01	0.22±0.18
Sb	0.22±0.21	0.14±0.06	0.21±0.11	0.22±0.01	0.28±0.28
Pb	0.65±0.20	1.51±0.2	0.37±0.05	0.22±3.47	3.61±3.47

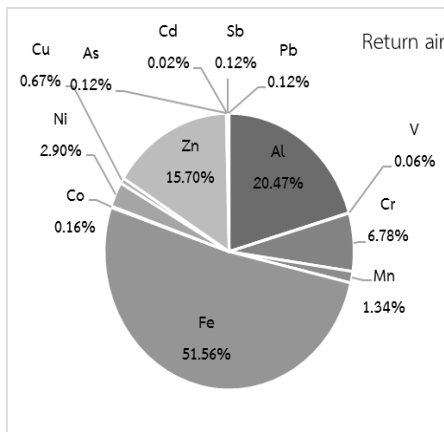
* N.D. คือ Not detected



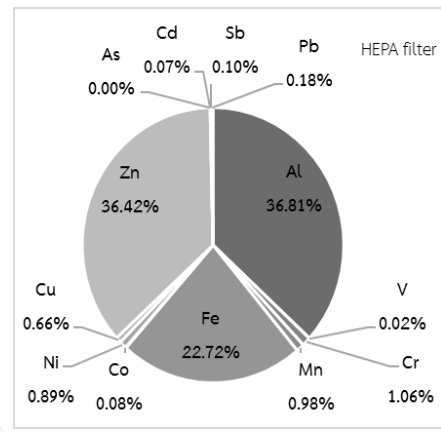
(ก)



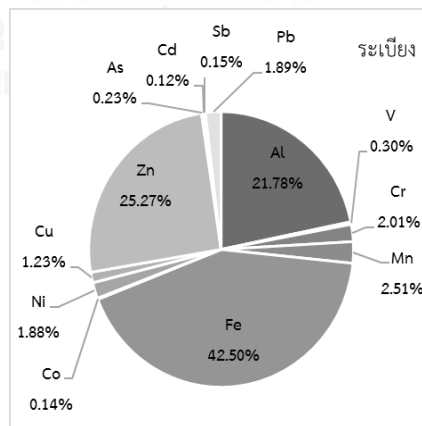
(ข)



(ค)



(ง)



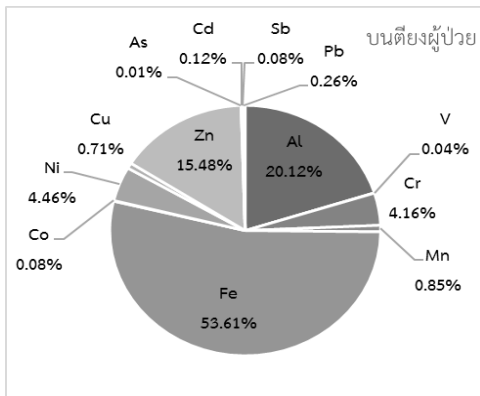
(จ)

ภาพที่ 4.25 เปรเซ็นต์ธาตุที่พบของ PM_{2.5} ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

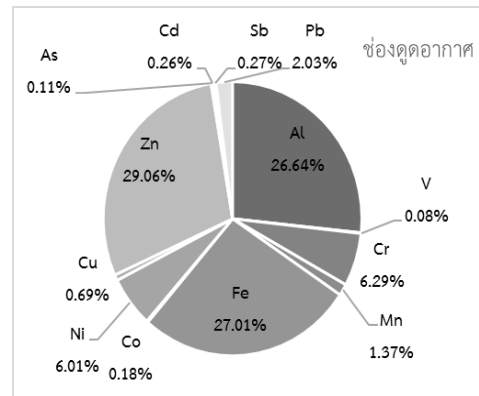
ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นโลหะของ PM_{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและระเบียงด้านนอกอาคาร (ng/m³)

ชนิดธาตุ	บนเตียงผู้ป่วย	ช่องคูดอากาศ	HEPA filter	Return air	ระเบียง
Al	109.10±65.01	69.77±19.56	71.91±15.28	31.29±21.51	172.98±88.68
V	0.20±0.23	0.22±0.30	0.41±0.30	0.02±0.08	0.52±0.18
Cr	22.57±28.59	16.48±8.77	35.83±54.83	14.97±0.86	5.69±4.01
Mn	4.59±4.53	3.58±2.25	3.01±3.07	1.57±0.27	3.76±2.72
Fe	290.64±150.26	70.76±67.73	173.98±90.32	55.60±48.85	260.54±92.48
Co	0.44±0.70	0.48±0.34	0.32±0.36	0.26±0.19	0.14±0.09
Ni	24.19±32.75	15.73±20.75	7.80±9.28	6.61±3.95	3.53±4.02
Cu	3.87±2.60	1.80±1.69	3.08±1.64	5.72±6.69	3.25±2.15
Zn	83.93±72.58	76.13±73.87	74.23±67.07	39.81±35.12	36.55±34.14
As	0.06±0.06	0.29±0.39	0.03±0.01	0.06±0.20	0.29±0.12
Cd	0.65±0.83	0.67±0.62	0.19±0.09	0.13±0.05	0.21±0.02
Sb	0.46±0.09	0.72±0.29	0.42±0.20	0.56±0.27	0.34±0.25
Pb	1.42±0.25	5.31±2.31	N.D.	N.D.	5.49±7.52

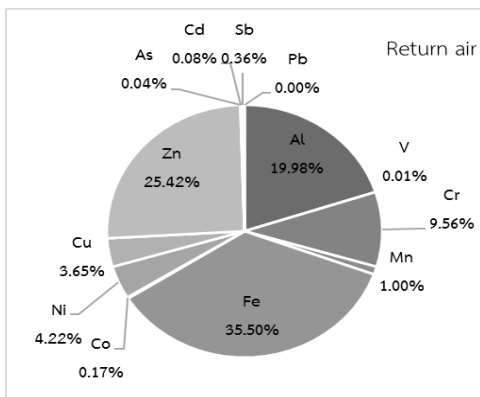
* N.D. คือ Not detected



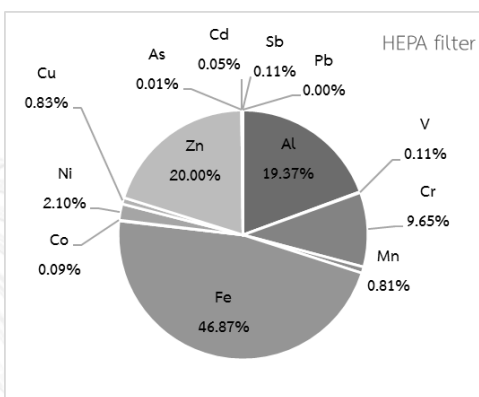
(ก)



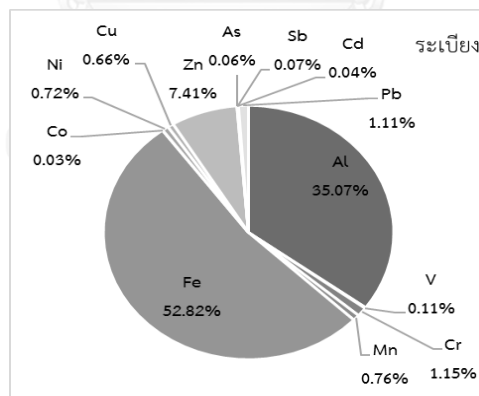
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 4.26 เปรอ์เซ็นต์ธาตุที่พบของ PM_{2.5-10} ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

4.6.2 ปริมาณโลหะภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ

ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง คือ บนเตียงผู้ป่วย ช่อง return air และช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และทางเดินภายในห้องพักผู้ป่วยรวมก่อนเข้าสู่ห้องแยก ผลการศึกษาปริมาณโลหะในฝุ่นละอองในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยและระเบียงด้านนอกอาคารรายงานเป็นความเข้มข้นโลหะเฉลี่ยในหน่วย นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ng/m^3) ใน $\text{PM}_{2.5}$ แสดงดังตารางที่ 4.12 และใน $\text{PM}_{2.5-10}$ แสดงดังตารางที่ 4.13

การวิเคราะห์ $\text{PM}_{2.5}$ พบว่า Co ในทุกจุดเก็บตัวอย่างมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection Limit) กลุ่มธาตุที่พบในปริมาณมากที่สุด 3 ธาตุ ภายในห้องพักผู้ป่วย คือ Fe Al และ Zn ($>10 \text{ ng}/\text{m}^3$) กลุ่มธาตุที่พบรองลงมา ได้แก่ Cr Mn Ni และ Cu ($1-10 \text{ ng}/\text{m}^3$) และกลุ่มธาตุที่พบปริมาณน้อย ได้แก่ V As Cd Sb และ Pb ($<1 \text{ ng}/\text{m}^3$) จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุที่พบภายในห้องผู้ป่วยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 4.27 ธาตุที่พบมากสุดในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีดังนี้ บนเตียงผู้ป่วยและช่อง return air พบ Zn ปริมาณ 32.12 และ 34.62 ng/m^3 คิดเป็น 32.62% และ 37.57% ตามลำดับ บริเวณ HEPA filter พบ Fe ปริมาณ 43.80 ng/m^3 คิดเป็น 35.66% บริเวณทางเดินภายในห้องพักผู้ป่วยรวมก่อนเข้าสู่ห้องแยกมี Al มากสุด เท่ากับ 30.46 ng/m^3 คิดเป็น 29.79% สำหรับ ฝุ่นละอองบริเวณระเบียงด้านนอกอาคารธาตุที่พบปริมาณมากที่สุดคือ Fe เท่ากับ 125.32 ng/m^3 คิดเป็น 39.35%

สำหรับ $\text{PM}_{2.5-10}$ พบว่า V ในทุกจุดเก็บตัวอย่างภายในอาคารมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection Limit) กลุ่มธาตุที่พบในปริมาณมาก ($>10 \text{ ng}/\text{m}^3$) 3 ธาตุภายในห้องพักผู้ป่วย คือ Fe Al และ Zn กลุ่มธาตุที่พบรองลงมา ($1-10 \text{ ng}/\text{m}^3$) ได้แก่ Cr Mn Ni Cu และ Pb และกลุ่มธาตุที่พบปริมาณน้อย ($<1 \text{ ng}/\text{m}^3$) ได้แก่ Co As Cd และ Sb จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุที่พบภายในห้องผู้ป่วยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 4.28 ธาตุที่พบมากสุดในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีดังนี้ บนเตียงผู้ป่วย ช่อง return air และ HEPA filter พบ Al ปริมาณ 75.11 84.50 และ 79.35 ng/m^3 คิดเป็น 43.61% 49.85% และ 43.33% ตามลำดับ บริเวณทางเดินภายในห้องพักผู้ป่วยรวมก่อนเข้าสู่ห้องแยกมี Al มากสุด เท่ากับ 68.66 ng/m^3 คิดเป็น 59.03% สำหรับ ฝุ่นละอองบริเวณระเบียงด้านนอกอาคารธาตุที่พบปริมาณมากที่สุดคือ Fe เท่ากับ 671.57 ng/m^3 คิดเป็น 59.25%

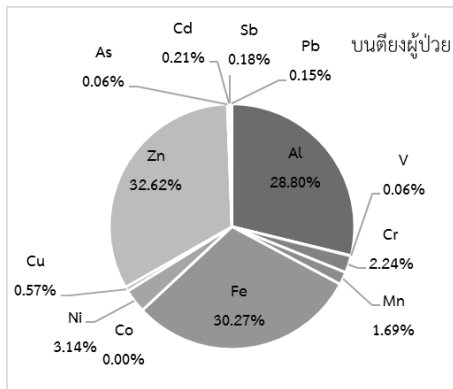
เปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค ICP-MS และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุโดยเทคนิคแสงซินโครตรอนเพื่อจำแนกธาตุ พบว่าผลการวิเคราะห์มีความ

สอดคล้องกันคือ PM_{2.5}บริเวณบนเตียงผู้ป่วยพบธาตุ Al บริเวณทางเดินภายในห้องพักผู้ป่วยรวม พบธาตุ Al และ Fe ระเบียบด้านนอกรักษาพบธาตุ Fe Mn Ni Zn และ Cr สำหรับ PM_{2.5-10} บริเวณบนเตียงผู้ป่วย พบธาตุ Fe บริเวณระเบียบด้านนอกรักษาพบธาตุ Fe Mn Ni Zn Cu และ Cr

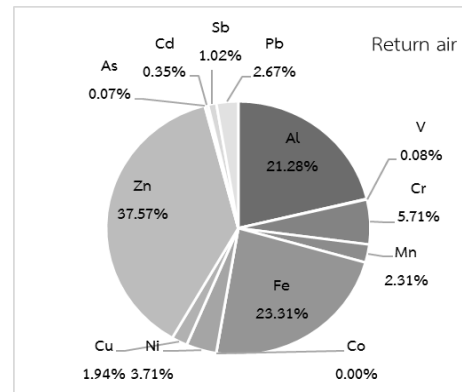
ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นโลหะของ PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบและระเบียบด้านนอกรักษา (ng/m³)

ชนิดธาตุ	บนเตียงผู้ป่วย	Return air	HEPA filter	ทางเดิน	ระเบียบ
Al	28.36±33.27	19.61±11.48	25.83±18.85	30.46±23.17	74.49±46.27
V	0.06±0.02	0.07±0.04	0.09±0.05	0.18±0.27	1.78±1.77
Cr	2.21±1.36	5.26±4.91	2.49±2.67	4.34±2.89	7.17±11.09
Mn	1.66±0.07	2.13±1.56	1.83±0.12	1.80±0.37	6.82±4.03
Fe	29.80±20.13	21.48±20.22	43.80±25.19	25.55±11.57	125.32±69.65
Co	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ni	3.09±0.88	3.42±1.60	4.78±1.67	5.80±3.20	8.00±6.59
Cu	0.56±0.49	1.79±2.14	2.12±2.71	5.80±4.42	4.42±4.09
Zn	32.12±23.62	34.62±23.33	35.88±35.68	26.82±12.62	73.95±58.38
As	0.06±0.02	0.06±0.03	0.09±0.01	0.11±0.02	1.92±1.14
Cd	0.21±0.13	0.32±0.10	1.05±1.67	0.28±0.05	0.64±0.18
Sb	0.18±0.09	0.94±0.63	1.55±2.41	0.17±0.08	1.12±1.33
Pb	0.15±0.37	2.46±0.20	3.32±3.30	0.93±0.30	12.88±11.03

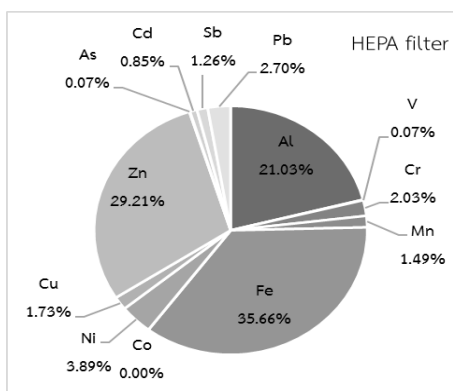
* N.D. คือ Not detected



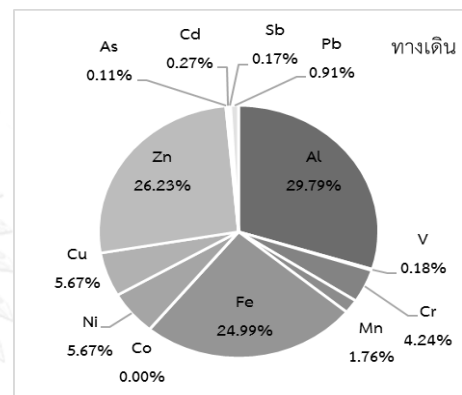
(ก)



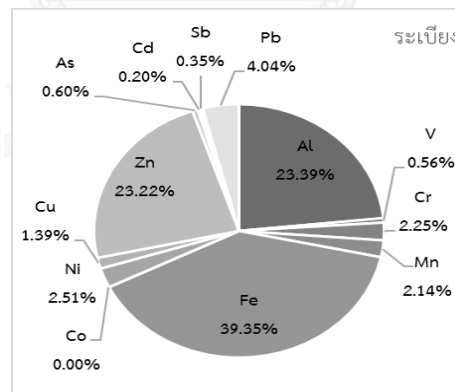
(ข)



(ค)



(ง)



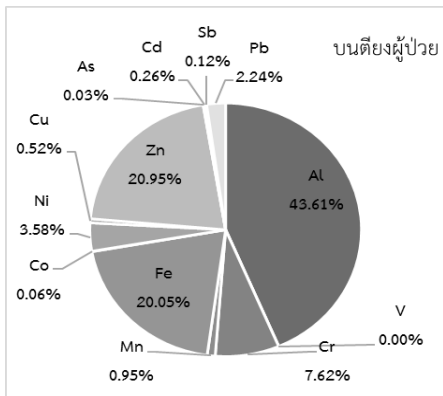
(จ)

ภาพที่ 4.27 เปอร์เซ็นต์ธาตุที่พบของ PM_{2.5} ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ

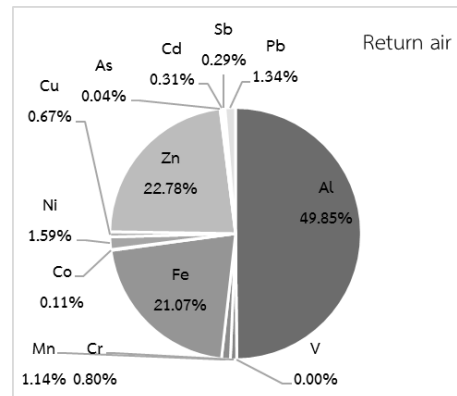
ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นโลหะของ PM_{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบและ
 ระเบียงด้านนอกอาคาร (ng/m³)

ชนิดธาตุ	บนเตียงผู้ป่วย	Return air	HEPA filter	ทางเดิน	ระเบียง
Al	75.11±50.23	84.50±8.68	79.35±50.33	68.66±56.59	348.12±191.96
V	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.02±0.68
Cr	13.12±14.40	1.36±1.13	6.02±6.26	2.20±1.75	3.17±3.56
Mn	1.63±0.38	1.94±0.53	2.03±0.30	1.67±0.13	8.93±7.15
Fe	34.53±19.40	35.71±13.41	12.28±18.63	15.16±12.59	671.57±287.81
Co	0.11±0.02	0.19±0.21	0.05±0.01	0.18±0.15	0.21±0.06
Ni	6.17±4.63	2.70±2.18	6.86±1.75	5.08±3.64	7.58±4.53
Cu	0.90±0.61	1.13±0.69	15.01±1.04	1.73±0.99	8.08±6.19
Zn	36.08±29.90	38.62±32.70	60.44±30.29	20.33±20.39	46.27±37.00
As	0.05±0.01	0.07±0.01	0.06±0.02	0.05±0.01	0.59±0.28
Cd	0.45±0.16	0.52±0.11	0.52±0.07	0.50±0.06	0.66±0.32
Sb	0.21±0.14	0.49±0.41	0.49±0.49	0.43±0.27	0.86±0.73
Pb	3.86±0.51	2.27±0.86	N.D.	0.33±0.65	37.46±47.33

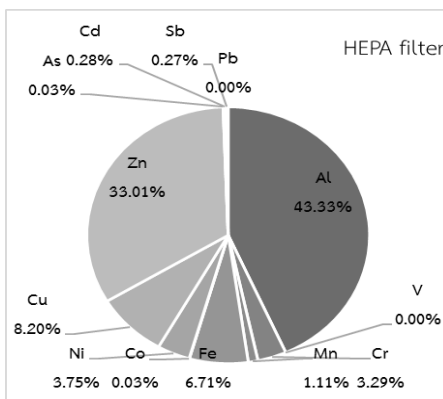
* N.D. คือ Not detected



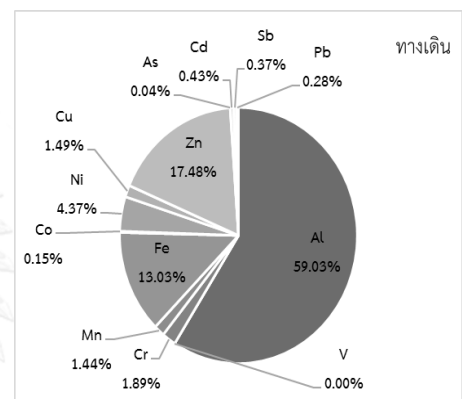
(ก)



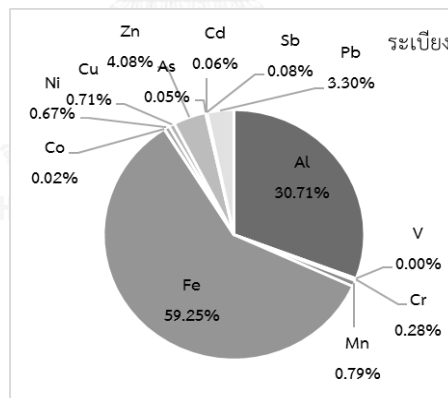
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 4.28 เปอร์เซนต์ธาตุที่พบของ PM_{2.5-10} ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ

4.6.3 ปริมาณโลหะภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก

ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง คือ บนเตียงผู้ป่วย ช่อง return air และช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และทางเดินภายในห้องพักผู้ป่วยรวมก่อนเข้าสู่ห้องแยก ผลการศึกษาปริมาณโลหะในฝุ่นละอองในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยและระเบียงด้านนอกอาคารรายงานเป็นความเข้มข้นโลหะเฉลี่ยในหน่วยนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ng/m^3) ใน $\text{PM}_{2.5}$ แสดงดังตารางที่ 4.14 และใน $\text{PM}_{2.5-10}$ แสดงดังตารางที่ 4.15

การวิเคราะห์ $\text{PM}_{2.5}$ พบว่า บนเตียงผู้ป่วยและบริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) ไม่พบ Mn และบริเวณทางเดินในห้องพักรวมไม่พบ Cr เนื่องจากทั้งสองธาตุมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection Limit) กลุ่มธาตุที่พบในปริมาณมาก ($>10 \text{ ng}/\text{m}^3$) ภายในห้องพักผู้ป่วยคือ Fe Al และ Zn เช่นเดียวกับผลที่พบในห้องผู้ป่วยพิเศษและห้องที่มีความดันเป็นลบ กลุ่มธาตุที่พบรองลงมา ($1-10 \text{ ng}/\text{m}^3$) ได้แก่ Cr Mn Cu Ni และ Pb และกลุ่มธาตุที่พบปริมาณน้อย ($<1 \text{ ng}/\text{m}^3$) ได้แก่ V Co As Cd และ Sb จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุที่พบภายในห้องผู้ป่วยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 4.29 ธาตุที่พบมากสุดในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีดังนี้ บนเตียงผู้ป่วย พบ Zn $18.38 \text{ ng}/\text{m}^3$ คิดเป็น 42.89% บริเวณ return air และ HEPA filter พบ Al เท่ากับ 89.93 และ $29.93 \text{ ng}/\text{m}^3$ คิดเป็น 68.75% และ 37.03% ตามลำดับ บริเวณทางเดินภายในห้องพักผู้ป่วยรวมก่อนเข้าสู่ห้องแยกมี Al มากสุด เท่ากับ $29.48 \text{ ng}/\text{m}^3$ คิดเป็น 52.17% สำหรับฝุ่นละอองบริเวณระเบียงด้านนอกอาคารธาตุที่พบปริมาณมากสุดคือ Fe เท่ากับ $80.32 \text{ ng}/\text{m}^3$ คิดเป็น 38.57%

สำหรับ $\text{PM}_{2.5-10}$ ไม่พบ Mn บนเตียงผู้ป่วยและบริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) เช่นเดียวกับ $\text{PM}_{2.5}$ และบริเวณช่อง return air และบนเตียงผู้ป่วย ไม่พบ Al ส่วน V และ Cr ไม่สามารถตรวจพบได้บริเวณ return air เนื่องจากปริมาณธาตุเหล่านี้มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection Limit) กลุ่มธาตุที่พบในปริมาณมาก ($>10 \text{ ng}/\text{m}^3$) ภายในห้องพักผู้ป่วยคือ Fe และ Zn กลุ่มธาตุที่พบรองลงมา ($1-10 \text{ ng}/\text{m}^3$) ได้แก่ Ni Al Cr Mn Cu และ Pb และกลุ่มธาตุที่พบปริมาณน้อย ($<1 \text{ ng}/\text{m}^3$) ได้แก่ V Co As Cd และ Sb จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุที่พบภายในห้องผู้ป่วยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 4.30 ธาตุที่พบมากสุดในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีดังนี้ บนเตียงผู้ป่วย พบ Zn เท่ากับ $18.80 \text{ ng}/\text{m}^3$ คิดเป็น 56.85% บริเวณช่อง return air และ HEPA filter พบ Fe เท่ากับ 30.23 และ $35.67 \text{ ng}/\text{m}^3$ คิดเป็น 53.25% และ 34.58% ตามลำดับ บริเวณทางเดินภายในห้องพักผู้ป่วยรวมก่อนเข้าสู่

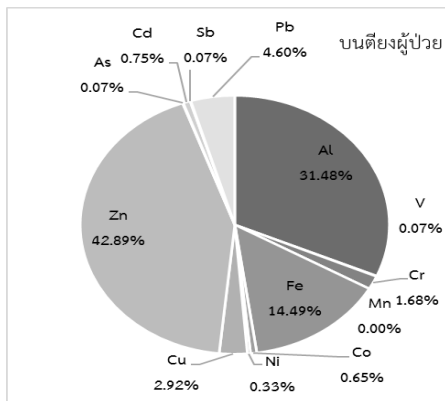
ห้องแยกมี Fe มากสุด เท่ากับ 20.97 ng/m^3 คิดเป็น 34.58% สำหรับฝุ่นละอองบริเวณระเบียงด้านนอกอาคารธาตุที่พบปริมาณมากที่สุดคือ Al เท่ากับ 249.28 ng/m^3 คิดเป็น 51.17%

เปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค ICP-MS และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุโดยเทคนิคแสงซินโครตรอนเพื่อจำแนกธาตุ พบว่าผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกันคือ $\text{PM}_{2.5}$ $\text{PM}_{2.5}$ บริเวณบนเตียงผู้ป่วยพบธาตุ Fe ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) พบธาตุ Al ช่อง return air พบธาตุ Fe Mn Zn และ Ni บริเวณทางเดินภายในห้องพักผู้ป่วยรวม พบธาตุ Al และ Mn ระเบียงด้านนอกอาคารพบธาตุ Fe Mn Ni Zn และ Cr สำหรับ $\text{PM}_{2.5-10}$ บริเวณทางเดินภายในห้องพักผู้ป่วยรวม พบธาตุ Fe Mn Zn Cu Cr และ Al บริเวณระเบียงด้านนอกอาคารพบธาตุ Fe Mn Ni Zn Cu Cr และ Ni

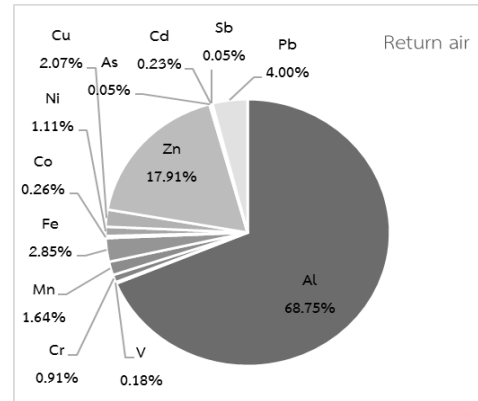
ตารางที่ 4.14 ความเข้มข้นโลหะของ $\text{PM}_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวกและระเบียงด้านนอกอาคาร (ng/m^3)

ชนิดธาตุ	บนเตียงผู้ป่วย	Return air	HEPA filter	ทางเดิน	ระเบียง
Al	13.49±2.17	89.93±50.21	29.93±9.70	29.48±19.40	80.32±66.80
V	0.03±0.01	0.23±0.34	0.07±0.06	0.03±0.03	0.96±0.31
Cr	0.72±0.50	1.19±0.60	1.54±1.74	N.D.	5.38±0.30
Mn	N.D.	2.14±0.26	N.D.	1.32±0.80	2.14±1.11
Fe	6.21±2.32	3.73±2.30	19.88±6.20	8.11±0.59	50.98±2.36
Co	0.28±0.03	0.34±0.09	0.33±0.09	0.30±0.04	0.28±0.07
Ni	0.14±0.08	1.45±0.47	2.82±1.91	1.97±1.85	3.81±5.30
Cu	1.25±0.57	2.71±1.72	1.25±1.54	1.90±2.30	2.99±1.77
Zn	18.38±24.96	23.42±31.52	18.64±7.55	9.61±6.70	50.38±36.51
As	0.03±0.01	0.06±0.02	0.09±0.06	0.09±0.14	2.25±0.52
Cd	0.32±0.50	0.30±0.22	0.98±0.32	0.32±0.12	0.78±0.20
Sb	0.03±0.01	0.07±0.04	0.06±0.04	0.19±1.10	0.26±0.31
Pb	1.97±0.98	5.23±6.78	0.65±0.60	3.19±2.21	7.69±4.80

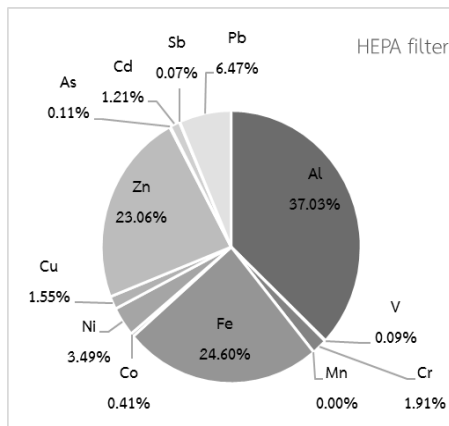
* N.D. คือ Not detected



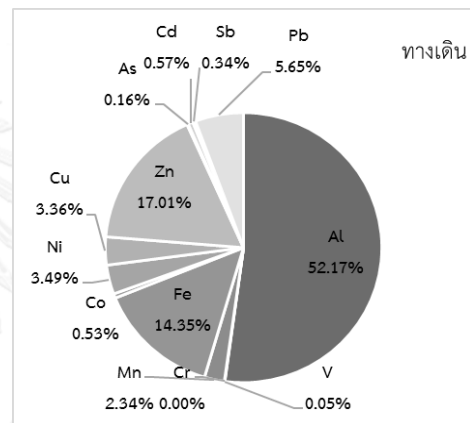
(ก)



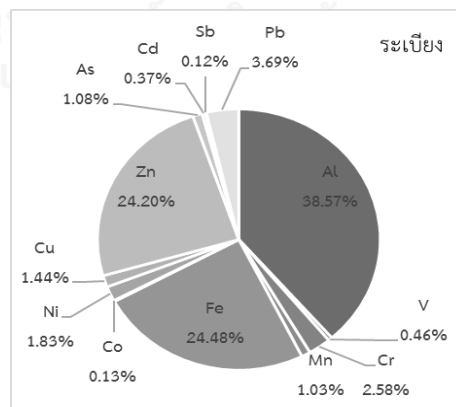
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

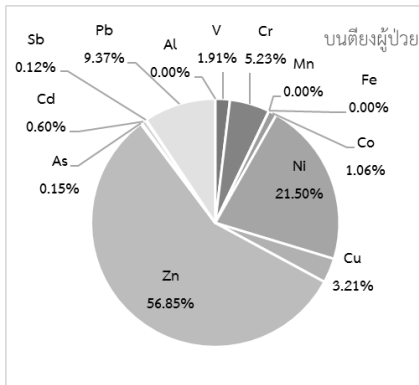
ภาพที่ 4.29 เปอร์เซ็นธาตุที่พบของ PM_{2.5} ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก

ตารางที่ 4.15 ความเข้มข้นโลหะของ PM_{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวกและ
ระเบียงด้านนอกอาคาร (ng/m³)

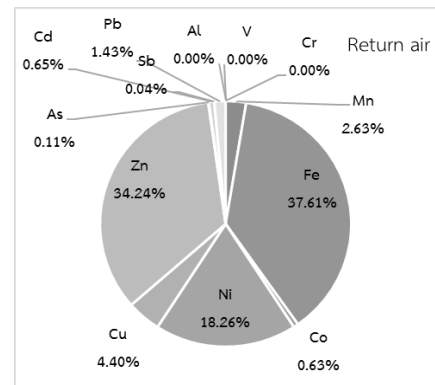
ชนิดธาตุ	บนเตียงผู้ป่วย	Return air	HEPA filter	ทางเดิน	ระเบียง
Al	N.D.	N.D.	5.604.52	8.37±6.21	249.28±133.20
V	0.63±0.33	N.D.	0.12±0.22	0.26±0.32	0.60±0.08
Cr	1.73±0.32	N.D.	0.21±0.34	3.18±2.64	1.18±0.62
Mn	N.D.	2.11±1.32	N.D.	1.89±1.04	3.16±2.30
Fe	N.D.	30.23±25.63	35.67±30.25	20.97±14.26	198.18±47.80
Co	0.35±0.13	0.51±0.16	0.38±0.05	0.51±0.06	0.42±0.02
Ni	7.11±6.13	14.68±16.28	3.66±2.35	5.17±5.21	5.84±6.20
Cu	1.06±1.26	3.54±4.62	2.51±2.04	1.66±0.89	2.92±1.51
Zn	18.80±9.66	27.52±18.10	16.96±19.93	13.52±10.25	19.88±2.75
As	0.05±0.01	0.09±0.06	0.04±0.10	0.08±0.10	0.55±0.32
Cd	0.2±0.09	0.52±0.36	0.43±0.05	0.32±0.10	0.13±0.09
Sb	0.04±0.12	0.03±0.01	0.05±0.03	0.22±0.32	0.32±0.36
Pb	3.10±1.35	1.15±1.23	1.35±0.95	4.49±4.91	4.70±2.10

* N.D. คือ Not detected

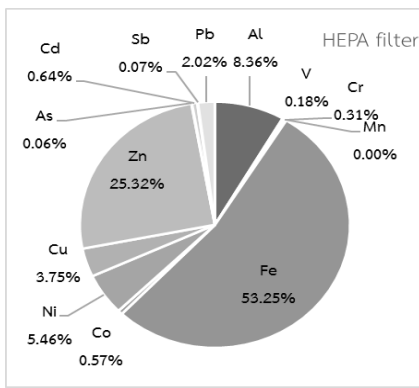




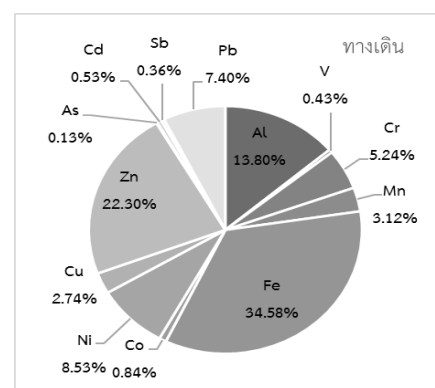
(ก)



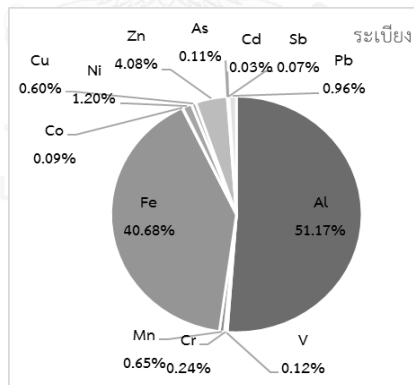
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 4.30 เปอร์เซนต์ธาตุที่พบของ PM_{2.5-10} ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) ภายในอาคารโรงพยาบาล สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดธาตุที่มีในฝุ่นละอองโดยเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Wang et al. (2006) ที่ทำการศึกษาคู่ประกอบธาตุหลักใน $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ภายในโรงพยาบาลในเมืองกวางซู ประเทศจีน ได้จำแนกแหล่งที่มาของธาตุในฝุ่นละอองทั้งสองขนาดแบ่งออกได้เป็น 2 แหล่งกำเนิดคือ จากธรรมชาติที่เป็นดินจากเปลือกโลกและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ ได้แก่ Al K Mg Ca Fe Ti และ Mn ธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ V Cr Cd Ni Cu Pb Zn As Sn และ Se ดังนั้น จากผลการศึกษาพบธาตุหลักภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นลบและห้องที่มีระบบความดันเป็นบวก คือ Fe Al Zn โดย Fe และ Al พบมากกว่า 50% ของธาตุทั้งหมดภายในห้องผู้ป่วย แสดงว่าฝุ่นละอองมีแหล่งกำเนิดจากดินเปลือกโลกเป็นหลัก ในขณะที่ Zn เป็นองค์ประกอบธาตุจากการปลดปล่อยของเครื่องยนต์ (Huang et al., 2009) ส่วนธาตุรองชนิดอื่นๆ ที่พบในปริมาณต่ำมีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร การก่อสร้าง และการเผาไหม้ ซึ่งห้องพักผู้ป่วยพิเศษที่ทำการศึกษานี้อยู่บนอาคารสูง กลางเมืองที่มีการจราจรรอบๆ โรงพยาบาลค่อนข้างหนาแน่น รวมทั้งในชั้นใกล้เคียงกับห้องที่ทำการเก็บตัวอย่าง เป็นโรงอาหารที่มีการประกอบอาหารภายในอาคาร และบริเวณใกล้เคียงยังมีการก่อสร้างอาคารอีกด้วย ธาตุต่างๆ และฝุ่นละอองอาจจะเข้าสู่ภายในอาคารผ่านทางรอยแตกของผนัง ขอบประตูหน้าต่างที่ปิดไม่สนิท และฝุ่นละอองที่ติดมากับรองเท้า เสื้อผ้าของบุคคล

4.7 การจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุในฝุ่นละอองด้วยเทคนิค Principle component analysis

จากการใช้เทคนิค Principle component analysis (PCA) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุและจัดกลุ่มข้อมูลธาตุที่มีความคล้ายคลึงกันไว้กลุ่มเดียวกัน เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก และฝุ่นละอองจากบรรยากาศภายนอกอาคาร โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics Version 22 ในการวิเคราะห์ ใช้วิธีหมุนแกนแบบ Varimax with Kaiser Normalization ของข้อมูลจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในฝุ่นละอองและให้ค่า Missing ที่ไม่พบปริมาณธาตุแทนค่าเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่อง ICP-MS สามารถวิเคราะห์ได้ (Detection Limit)

4.7.1 การวิเคราะห์ Principle component analysis ของธาตุในฝุ่นละอองบริเวณ ด้านนอกอาคาร

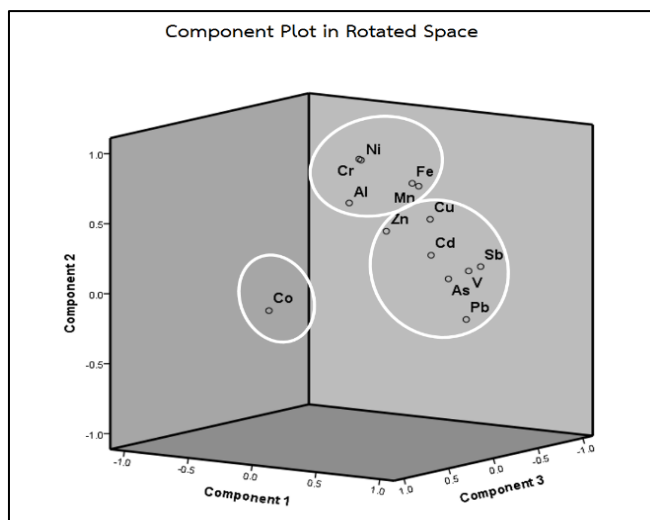
4.7.1.1 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุของ PM_{2.5} บริเวณด้านนอกอาคาร

วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุและจัดกลุ่มข้อมูลธาตุของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) จากระเบียบด้านนอกอาคารใกล้กับห้องพักผู้ป่วยทั้ง 3 ห้อง (n=18) สามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่มองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 4.16 และภาพที่ 4.31 รายละเอียดของชนิดธาตุที่จัดตามองค์ประกอบเป็นดังนี้

- องค์ประกอบที่ 1 ให้ค่า variance 39.23% ได้แก่ V Sb Pb As Cu Zn และ Cd
- องค์ประกอบที่ 2 ให้ค่า variance 31.51% ได้แก่ Ni Cr Mn Fe และ Al
- องค์ประกอบที่ 3 ให้ค่า variance 9.15% คือ Co

ตารางที่ 4.16 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุใน PM_{2.5} จำแนกตามจุดเก็บตัวอย่างระเบียงด้านนอกอาคาร

องค์ประกอบที่ 1		องค์ประกอบที่ 2		องค์ประกอบที่ 3	
% variance = 39.23		% variance = 31.51		% variance =9.15	
ธาตุ	Factor loading	ธาตุ	Factor loading	ธาตุ	Factor loading
V	0.949	Ni	0.921	Co	0.789
Sb	0.906	Cr	0.848		
Pb	0.899	Mn	0.788		
As	0.834	Fe	0.777		
Cu	0.717	Al	0.688		
Zn	0.598				
Cd	0.596				



ภาพที่ 4.31 การจัดกลุ่มธาตุใน $PM_{2.5}$ จากกระเบื้องด้านนอกอาคาร

4.7.1.2 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุของ $PM_{2.5-10}$ บริเวณด้านนอกอาคาร

วิเคราะห์ห้องค์ประกอบธาตุและจัดกลุ่มข้อมูลธาตุของฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) จากกระเบื้องด้านนอกอาคารใกล้กับห้องพักผู้ป่วยทั้ง 3 ห้อง ($n=18$) สามารถจัดกลุ่มได้ 2 กลุ่มองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 4.17 และภาพที่ 4.32 รายละเอียดของชนิดธาตุที่จัดตามองค์ประกอบเป็นดังนี้

- องค์ประกอบที่ 1 ให้ค่า variance 54.41% ได้แก่ V Mn Sb Al Cu As Pb Cd และ Zn
- องค์ประกอบที่ 2 ให้ค่า variance 19.31% ได้แก่ Fe Ni Cr และ Co

ตารางที่ 4.17 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุใน $PM_{2.5-10}$ จำแนกตามจุดเก็บตัวอย่างระเบียงด้านนอกอาคาร

องค์ประกอบที่ 1		องค์ประกอบที่ 2	
% variance = 54.41		% variance = 19.31	
ธาตุ	Factor loading	ธาตุ	Factor loading
V	0.947	Fe	0.807
Mn	0.933	Ni	0.737
Sb	0.909	Cr	0.671
Al	0.889	Co	0.574
Cu	0.889		
As	0.874		
Pb	0.824		
Cd	0.814		
Zn	0.755		



ภาพที่ 4.32 การจัดกลุ่มธาตุใน $PM_{2.5-10}$ จากระเบียงด้านนอกอาคาร

4.7.2 การวิเคราะห์ Principle component analysis ของธาตุในฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

4.7.2.1 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุของ PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

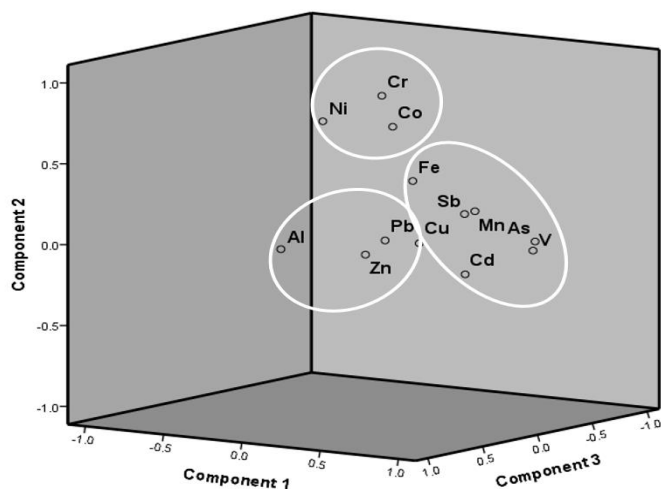
วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุและจัดกลุ่มข้อมูลธาตุของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษโดยรวมปริมาณของธาตุทุกจุดภายในห้องพักผู้ป่วย (n=24) สามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่มองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 4.18 และภาพที่ 4.33 รายละเอียดของชนิดธาตุที่จัดตามองค์ประกอบเป็นดังนี้

- องค์ประกอบที่ 1 ให้ค่า variance 36.95% ได้แก่ As V Mn Cd Sb Fe และ Cu
- องค์ประกอบที่ 2 ให้ค่า variance 17.44% ได้แก่ Cr Ni และ Co
- องค์ประกอบที่ 3 ให้ค่า variance 17.27% ได้แก่ Al Zn และ Pb

ตารางที่ 4.18 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุใน PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

องค์ประกอบที่ 1		องค์ประกอบที่ 2		องค์ประกอบที่ 3	
% variance = 36.95		% variance = 17.44		% variance = 17.27	
ธาตุ	Factor loading	ธาตุ	Factor loading	ธาตุ	Factor loading
As	0.940	Cr	0.887	Al	0.914
V	0.931	Ni	0.727	Zn	0.735
Mn	0.885	Co	0.715	Pb	-0.177
Cd	0.885				
Sb	0.846				
Fe	0.588				
Cu	0.577				

Component Plot in Rotated Space

ภาพที่ 4.33 การจัดกลุ่มธาตุของ PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

4.7.2.2 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุของ PM_{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

วิเคราะห์ห้องค์ประกอบธาตุและจัดกลุ่มข้อมูลธาตุของฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน (PM_{2.5-10}) ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษโดยรวมปริมาณของธาตุทุกจุดภายในห้องพักผู้ป่วย (n=24) สามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่มองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 4.19 และภาพที่ 4.34 รายละเอียดของชนิดธาตุที่จัดตามองค์ประกอบเป็นดังนี้

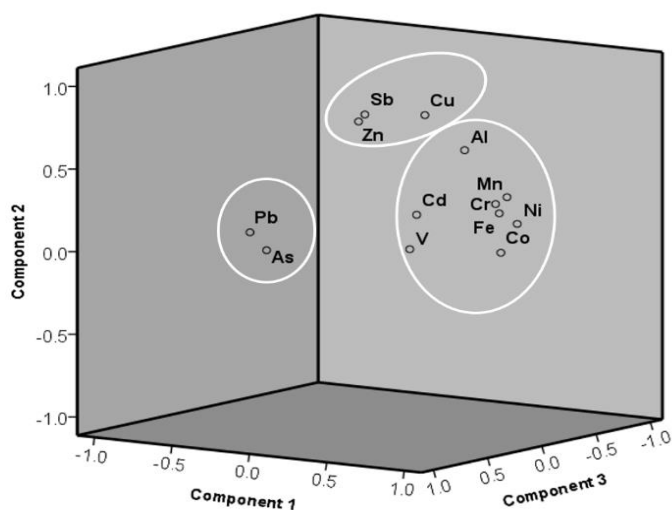
- องค์ประกอบที่ 1 ให้ค่า variance 41.32% ได้แก่ Ni Fe Mn Co Cr V Cd และ Al
- องค์ประกอบที่ 2 ให้ค่า variance 22.84% ได้แก่ Sb Zn และ Cu
- องค์ประกอบที่ 3 ให้ค่า variance 21.22% ได้แก่ As และ Pb

ตารางที่ 4.19 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุใน PM_{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

องค์ประกอบที่ 1		องค์ประกอบที่ 2		องค์ประกอบที่ 3	
% variance = 41.32		% variance = 22.84		% variance = 21.22	
ธาตุ	Factor loading	ธาตุ	Factor loading	ธาตุ	Factor loading
Ni	0.921	Sb	0.855	As	0.968
Fe	0.912	Zn	0.806	Pb	0.940
Mn	0.909	Cu	0.798		
Co	0.816				
Cr	0.806				
V	0.693				
Cd	0.674				
Al	0.661				



Component Plot in Rotated Space



ภาพที่ 4.34 การจัดกลุ่มธาตุของ PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

4.7.3 การวิเคราะห์ Principle component analysis ของธาตุในฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นลบ

4.7.3.1 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีความดันเป็นลบ วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุและจัดกลุ่มข้อมูลธาตุของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นลบโดยรวมปริมาณของธาตุทุกจุดภายในห้องพักผู้ป่วย ($n=24$) พบว่า เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวและพิจารณา ค่า KMO and Bartlett's Test มีค่าเท่ากับ 0.444 (<0.5) แสดงว่าตัวแปรแต่ละตัวที่นำมาวิเคราะห์ ไม่มีความสัมพันธ์กันไม่ควรใช้ Factor analysis ในการจัดกลุ่มองค์ประกอบ (ทรงพล ต่อนี้, 2548)

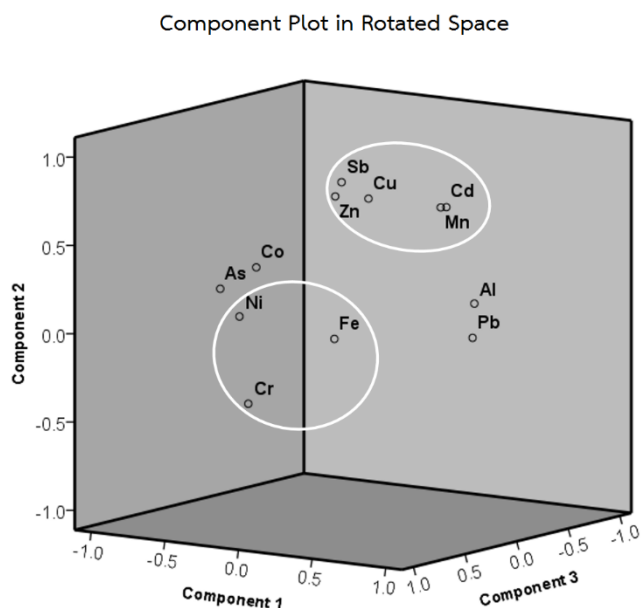
4.7.3.2 ผลการวิเคราะห์ Principle component analysis ของธาตุใน $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีความดันเป็นลบ

วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุและจัดกลุ่มข้อมูลธาตุของฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน ($PM_{2.5-10}$) ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษโดยรวมปริมาณของธาตุทุกจุดภายในห้องพักผู้ป่วย ($n=24$) สามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่มองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 4.20 และภาพที่ 4.35 รายละเอียดของชนิดธาตุที่จัดตามองค์ประกอบเป็นดังนี้

- องค์ประกอบที่ 1 ให้ค่า variance 28.79% ได้แก่ Al As Pb และ Co
- องค์ประกอบที่ 2 ให้ค่า variance 25.86% ได้แก่ Sb Cu Mn Cd และ Zn
- องค์ประกอบที่ 3 ให้ค่า variance 18.57% ได้แก่ Cr Ni และ Fe

ตารางที่ 4.20 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุใน $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีความดันเป็นลบ

องค์ประกอบที่ 1		องค์ประกอบที่ 2		องค์ประกอบที่ 3	
% variance = 28.79		% variance = 25.86		% variance = 18.57	
ธาตุ	Factor loading	ธาตุ	Factor loading	ธาตุ	Factor loading
Al	0.883	Sb	0.792	Cr	0.868
As	0.855	Cu	0.782	Ni	0.805
Pb	0.775	Mn	0.738	Fe	0.771
Co	0.412	Cd	0.734		
		Zn	0.683		



ภาพที่ 4.35 การจัดกลุ่มธาตุของ $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ

4.7.4 การวิเคราะห์ Principle component analysis ของธาตุในฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นบวก

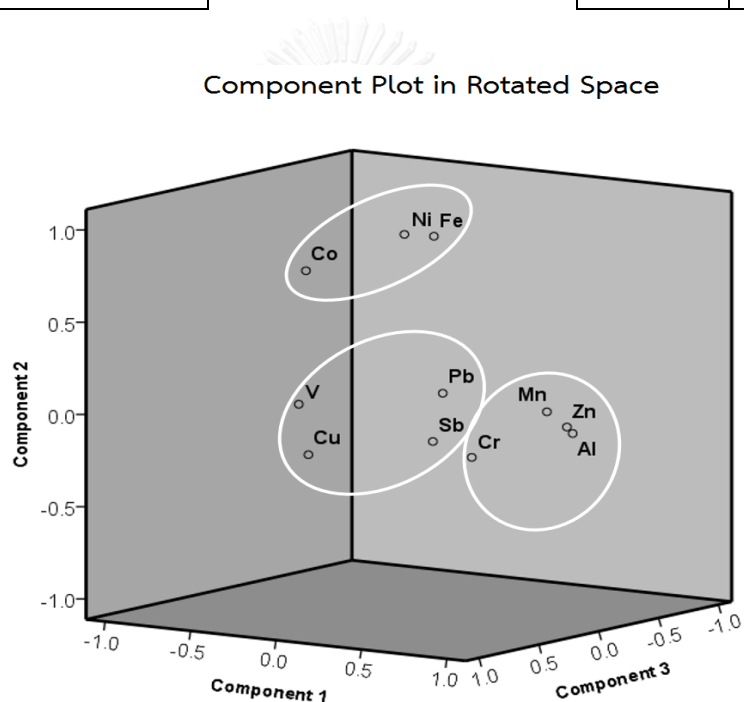
4.7.4.1 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก

วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุและจัดกลุ่มข้อมูลธาตุของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวกโดยรวมปริมาณของธาตุทุกจุดภายในห้องพักผู้ป่วย ($n=24$) สามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่มองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.36 รายละเอียดของชนิดธาตุที่จัดตามองค์ประกอบเป็นดังนี้

- องค์ประกอบที่ 1 ให้ค่า variance 25.39% ได้แก่ Al Zn Mn และ Cr
- องค์ประกอบที่ 2 ให้ค่า variance 21.20% ได้แก่ Ni Fe และ Co
- องค์ประกอบที่ 3 ให้ค่า variance 17.84% ได้แก่ Cu V Pb และ Sb

ตารางที่ 4.21 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุใน PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก

องค์ประกอบที่ 1		องค์ประกอบที่ 2		องค์ประกอบที่ 3	
% variance = 25.39		% variance = 21.20		% variance = 17.84	
ธาตุ	Factor loading	ธาตุ	Factor loading	ธาตุ	Factor loading
Al	0.933	Ni	0.915	Cu	0.891
Zn	0.884	Fe	0.898	V	0.881
Mn	0.832	Co	0.743	Pb	-0.319
Cr	0.554			Sb	-0.266



ภาพที่ 4.36 การจัดกลุ่มธาตุของ PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก

4.7.4.2 การจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุของ PM_{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก

วิเคราะห์ห้องค์ประกอบธาตุและจัดกลุ่มข้อมูลธาตุของฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน (PM_{2.5-10}) ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นบวกโดยรวมปริมาณของธาตุทุกจุดภายในห้องพักผู้ป่วย (n=24) พบว่า เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวและพิจารณาค่า KMO and Bartlett's Test มีค่าเท่ากับ 0.315 (<0.5) แสดงว่าตัวแปรแต่ละตัวที่นำมา

วิเคราะห์ที่ไม่มีความสัมพันธ์กันไม่ควรใช้ Factor analysis ในการจัดกลุ่มองค์ประกอบ (ทรงพล ต่อนี, 2548)

4.7.5 การวิเคราะห์จำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุในฝุ่นละออง

เมื่อจัดกลุ่มองค์ประกอบของธาตุในฝุ่นละอองด้วยเทคนิค Principle component analysis ภายในห้องพักผู้ป่วยและระเบียงนอกอาคาร สามารถวิเคราะห์จำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงดังตารางที่ 4.22 และตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.22 การจัดจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุใน PM_{2.5} โดยอ้างอิงข้อมูลกรณีศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา

การศึกษา	ธรรมชาติ	กิจกรรมของมนุษย์	
		จราจร	อุตสาหกรรม
งานวิจัยที่ผ่านมา*	Cd Ni Cr Al Fe Mn As V Co	Cd Cu Pb Ni Cr Mn Co	Cd Cu Pb Cr Zn Fe Mn As Ba Sb Sn
ระเบียง			
- องค์ประกอบที่ 1	V As Cd	Cd Cu Pb	Cd Cu Pb Zn As Sb
- องค์ประกอบที่ 2	Ni Cr Al Mn Fe	Ni Cr Mn	Cr Mn Fe
- องค์ประกอบที่ 3	Co	Co	
ห้องผู้ป่วยพิเศษ			
- องค์ประกอบที่ 1	As V Mn Cd Fe	Mn Cd Cu	As Mn Cd Sb Fe Cu
- องค์ประกอบที่ 2	Cr Ni Co	Cr Ni Co	Cr
- องค์ประกอบที่ 3	Al	Pb	Pb Zn
ห้องระบบความดัน +			
- องค์ประกอบที่ 1	Cr Al Mn	Cr Mn	Cr Zn Mn
- องค์ประกอบที่ 2	Ni Fe Co	Ni Co	Fe
- องค์ประกอบที่ 3	V	Cu Pb	Cu Pb Sb

* (Dragović et al., 2008; Joshi et al., 2009; Li et al., 2004; Lu et al., 2012; Meza-Figueroa et al., 2007; Shah and Shaheen, 2007; Yongming et al., 2006)

ตารางที่ 4.23 การจัดจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุใน $PM_{2.5-10}$ โดยอ้างอิงข้อมูลกรณีศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา

การศึกษา	ธรรมชาติ	กิจกรรมของมนุษย์	
		จราจร	อุตสาหกรรม
งานวิจัยที่ผ่านมา*	Cd Ni Cr Co Al Fe Mn As V	Cd Cu Pb Ni Cr Mn Co	Cd Cu Pb Cr Zn Fe Mn As Ba Sb Sn
ระเบียง			
- องค์ประกอบที่ 1	V Mn Al As Cd	Mn Cu Pb Cd	Cd Zn Mn Sb Cu As Pb
- องค์ประกอบที่ 2	Fe Ni Cr Co	Ni Cr Co	Fe Cr
ห้องผู้ป่วยพิเศษ			
- องค์ประกอบที่ 1	Ni Fe Mn Co Cr V Cd Al	Ni Mn Co Cr Cd	Fe Mn Cr Cd
- องค์ประกอบที่ 2	-	Cu	Cu Sb Zn
- องค์ประกอบที่ 3	As	Pb	Pb As
ห้องระบบความดัน -			
- องค์ประกอบที่ 1	Al As Co	Pb Co	Pb
- องค์ประกอบที่ 2	Cd Mn	Cd Cu	Cd Cu Sb Mn Zn
- องค์ประกอบที่ 3	Cr Ni Fe	Cr Ni	Cr Fe

* (Dragović et al., 2008; Joshi et al., 2009; Li et al., 2004; Lu et al., 2012; Meza-Figueroa et al., 2007; Shah and Shaheen, 2007; Yongming et al., 2006)

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลการจำแนกแหล่งกำเนิดของงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถอธิบายแหล่งกำเนิดธาตุใน $PM_{2.5}$ จากระเบียงด้านนอกอาคารได้ โดยพบว่าธาตุในองค์ประกอบที่ 1 มีแหล่งกำเนิดมาจากการปลดปล่อยจากอุตสาหกรรมเป็นหลัก องค์ประกอบที่ 2 และ 3 ส่วนมากเป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ สำหรับ $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ธาตุในองค์ประกอบที่ 1 มีแหล่งกำเนิดมาจากการปลดปล่อยจากอุตสาหกรรมเป็นหลักเช่นเดียวกับฝุ่นจากระเบียง องค์ประกอบที่ 2 มีแหล่งกำเนิดทั้งจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ และองค์ประกอบที่ 3 มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ส่วน $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นบวก พบว่า ธาตุในองค์ประกอบที่ 1 2 และ 3 มีแหล่งกำเนิดจากทั้งธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์

การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดธาตุใน $PM_{2.5-10}$ จากระเบียงด้านนอกอาคารพบว่า ธาตุในองค์ประกอบที่ 1 มีแหล่งกำเนิดมาจากการปลดปล่อยจากอุตสาหกรรมเป็นหลัก องค์ประกอบที่ 2

ส่วนมากเป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ สำหรับ $PM_{2.5-10}$ จากภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษธาตุในองค์ประกอบที่ 1 มีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ องค์ประกอบที่ 2 มีแหล่งกำเนิดทั้งจากกิจกรรมของมนุษย์ไม่ได้มาจากธรรมชาติ และองค์ประกอบที่ 3 มาจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก ส่วน $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นบวก พบว่า ธาตุในองค์ประกอบที่ 2 ปลดปล่อยจากอุตสาหกรรมเป็นหลัก องค์ประกอบที่ 2 และ 3 มีแหล่งกำเนิดจากทั้งธรรมชาติและ กิจกรรมของมนุษย์

จากการจัดกลุ่มองค์ประกอบธาตุของ $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ในบรรยากาศที่ได้จากการเก็บตัวอย่างบริเวณระเบียงด้านนอกอาคาร และภายในห้องพักผู้ป่วยทั้ง 3 ห้อง สามารถจัดกลุ่มองค์ประกอบของธาตุและจำแนกแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองทั้ง 2 ขนาดได้ 2 กลุ่มหลัก คือ 1) จากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติที่มีอยู่โดยทั่วไปในดินและหินจากเปลือกโลกและฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ และ 2) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ปลดปล่อยจากการจราจร การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และจากอุตสาหกรรม เป็นต้น เมื่อพิจารณาหาแหล่งกำเนิดในบริเวณใกล้เคียงกับโรงพยาบาลที่ทำการศึกษา พบว่า โรงพยาบาลตั้งอยู่ใจกลางเมืองของกรุงเทพมหานคร มีสวนสาธารณะขนาดใหญ่ อยู่ใกล้เคียง มีกิจกรรมของมนุษย์ที่จะปลดปล่อยฝุ่นละอองมากมายหลายกิจกรรม ถนนรอบๆ โรงพยาบาลมีการจราจรหนาแน่น ภายในโรงพยาบาลมีการก่อสร้างอาคารที่มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองค่อนข้างมาก และภายในอาคารมีร้านอาหารที่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการประกอบอาหาร อีกทั้งภายในโรงพยาบาลมีการใช้น้ำยาทำความสะอาดและเครื่องมือทางการแพทย์ที่อาจจะ เป็นแหล่งกำเนิดของธาตุต่างๆ ที่พบในฝุ่นละออง มลพิษอากาศต่างๆ อาจจะแพร่เข้าสู่ภายในอาคาร ผ่านทางรอยแตกของผนัง การเปิดประตูและหน้าต่างของอาคาร และติดตามตามเสื้อผ้า รองเท้าของ บุคคลที่เข้ามาภายในอาคาร รวมทั้งเข้ามาตามท่อระบบระบายอากาศของอาคาร

4.8 ค่าการสะสมตัวของโลหะในฝุ่นละออง (Enrichment Factor: EF)

ค่าการสะสมตัวของโลหะในฝุ่นละออง (Enrichment Factor) เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของธาตุ ในรูปแบบต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของธาตุต่างๆ ที่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเป็นการบอกถึงระดับการปนเปื้อนของธาตุชนิดนั้นในธรรมชาติ (Lawson and Winchester, 1979) ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของธาตุจากฝุ่นละอองภายในอาคาร ฝุ่นละอองบริเวณ ระเบียงด้านนอกอาคาร เปรียบเทียบกับฝุ่นจากการจราจร โดยใช้ปริมาณ Fe เป็นธาตุอ้างอิง และใช้ ปริมาณธาตุที่ได้จากฝุ่นละอองจากพื้นที่ธรรมชาติที่ไม่มีกิจกรรมของมนุษย์ คือ ฝุ่นละอองจากพื้นที่ โครงการพัฒนาพื้นที่จุฬาฯ สระบุรี อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี เป็นแหล่งอ้างอิงของพื้นที่ที่ไม่มี

กิจกรรมของมนุษย์ ธาตุที่ตรวจพบถือว่ามีความเสี่ยงเกิดมาจากธรรมชาติเท่านั้น ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 4.24 (ธาตุที่ไม่สามารถตรวจวัดได้จะใช้ค่า Detection limit ในการคำนวณค่า EF)

ตารางที่ 4.24 ความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุจากแหล่งอ้างอิง (ng/m³)

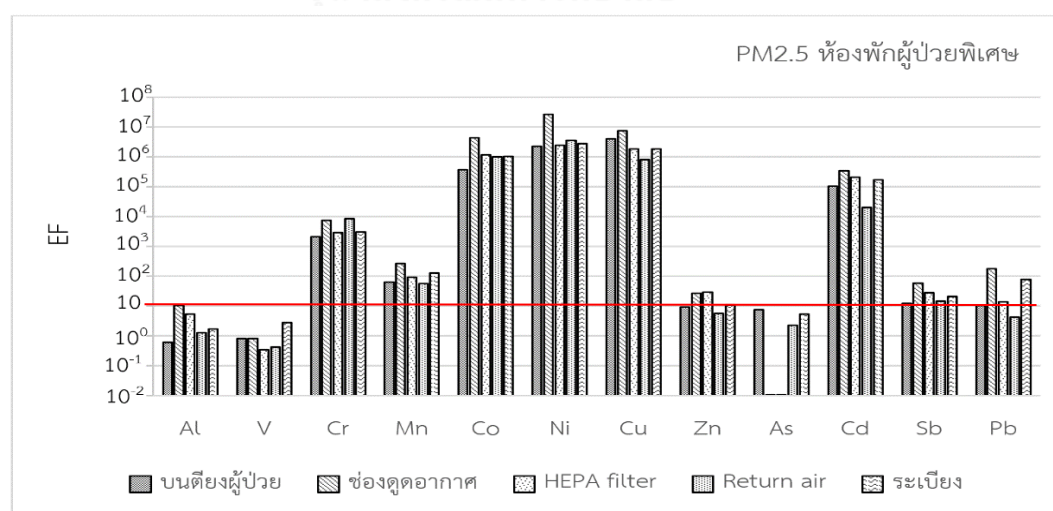
ธาตุ	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Pb
แหล่งอ้างอิง	96.06	0.79	N.D.	0.15	316.09	N.D.	N.D.	N.D.	17.07	0.31	N.D.	0.05	0.18

หมายเหตุ: N.D. คือ Not Detected

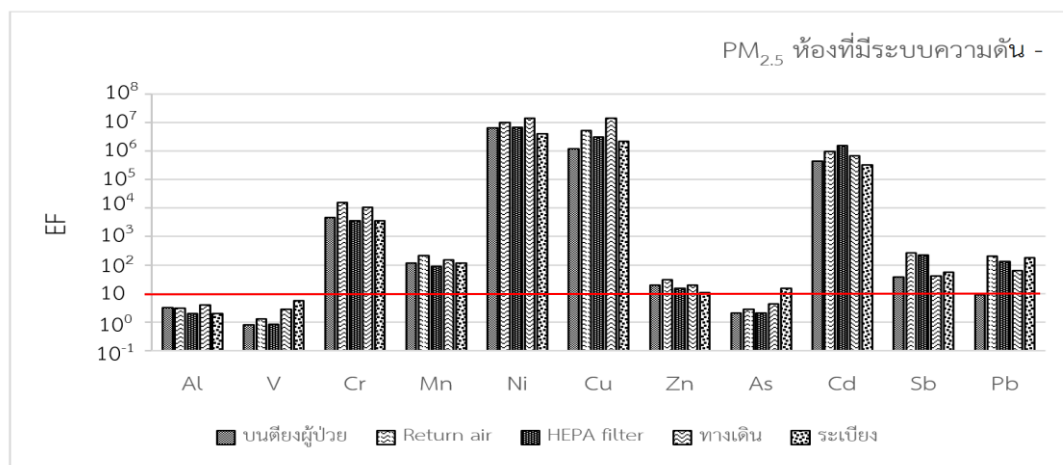
ในการคำนวณค่า Enrichment factor การบ่งชี้ค่า EF จากงานวิจัยของ Joshi et al. (2009) Almeida et al. (2011) และ Canha et al. (2014) ได้กำหนดว่า เมื่อค่า EF ของธาตุมากกว่า 10 หมายถึงธาตุนั้นๆ มีแนวโน้มที่จะมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ และค่า EF ของธาตุมีค่าระหว่าง 1-10 หมายถึงธาตุนั้นๆ มีแหล่งกำเนิดมาจากทั้งกิจกรรมของมนุษย์และมาจากธรรมชาติ

4.8.1 การสะสมตัวของโลหะใน PM_{2.5} ของห้องพักผู้ป่วย

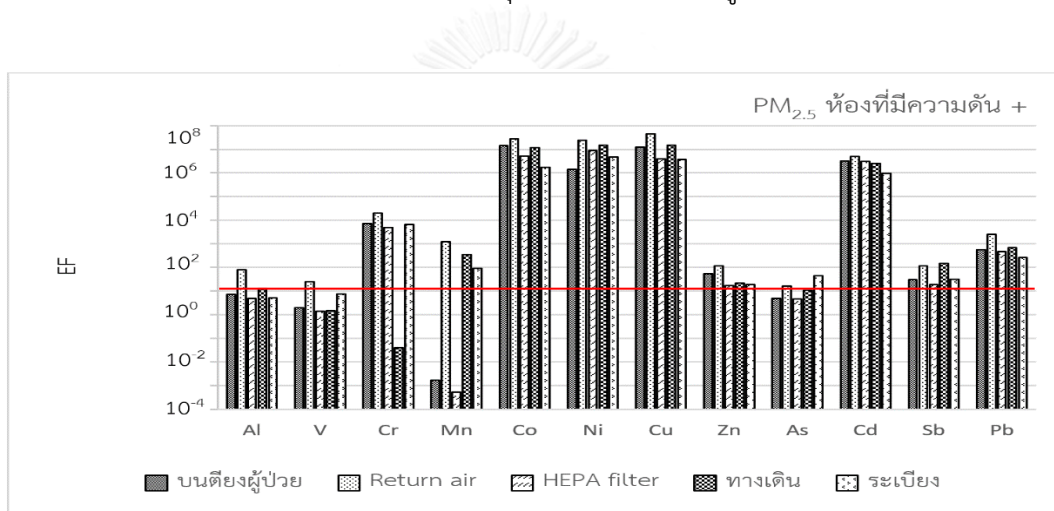
จากผลการคำนวณค่า Enrichment factor ของ PM_{2.5} ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นลบ ห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นบวก และฝุ่นละอองจากระเบียงด้านนอกอาคาร โดยใช้ Fe เป็นธาตุอ้างอิง ค่า EF ของธาตุจาก PM_{2.5} ของแต่ละห้องแสดงดังภาพที่ 4.37-4.39



ภาพที่ 4.37 Enrichment factor ของธาตุจาก PM_{2.5} ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ



ภาพที่ 4.38 Enrichment factor ของธาตุจาก PM_{2.5} ห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ



ภาพที่ 4.39 Enrichment factor ของธาตุจาก PM_{2.5} ห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก

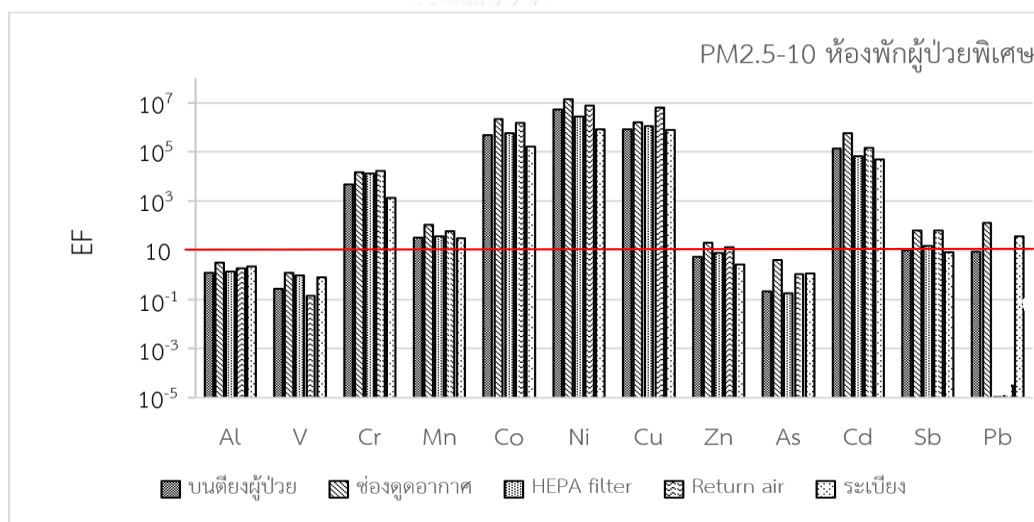
การวิเคราะห์ค่า Enrichment factor ของธาตุโลหะจาก PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษไม่สามารถคำนวณค่า EF ของ As บริเวณช่องดูดอากาศและช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) ได้ และภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบไม่สามารถคำนวณค่า EF ของ Co ได้ เนื่องจากมีปริมาณต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection Limit)

ค่า EF ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นลบ ห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นบวก พบว่าทั้ง 3 ห้อง มีธาตุที่มีค่า EF เฉลี่ยคล้ายคลึงกันคือ กลุ่มธาตุที่มีค่า EF มากกว่า 10 ได้แก่ Cr Mn Co (ยกเว้นห้องความดันลบ) Ni Cu Zn Cd Sb และ Pb แสดงให้เห็นว่าธาตุเหล่านี้มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก อาทิ การจราจร การปลดปล่อยจากอุตสาหกรรมและการเผาไหม้เชื้อเพลิง สำหรับกลุ่มธาตุที่มีค่า EF น้อย

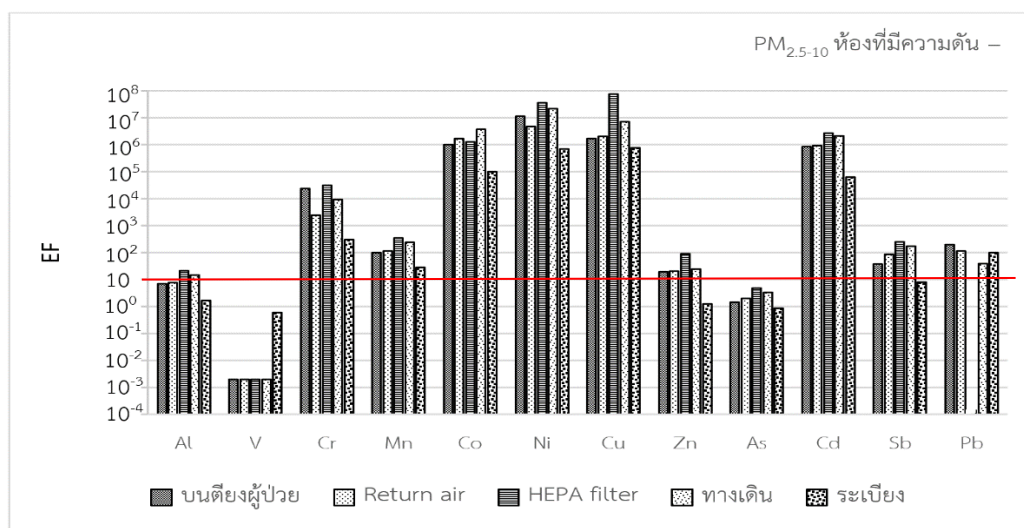
กว่า 10 ได้แก่ Al V และ As ซึ่งถือเป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น จากดินและหินที่อยู่บนเปลือก (Joshi et al., 2009)

4.8.2 การสะสมตัวของโลหะใน PM_{2.5-10} ของห้องพักผู้ป่วย

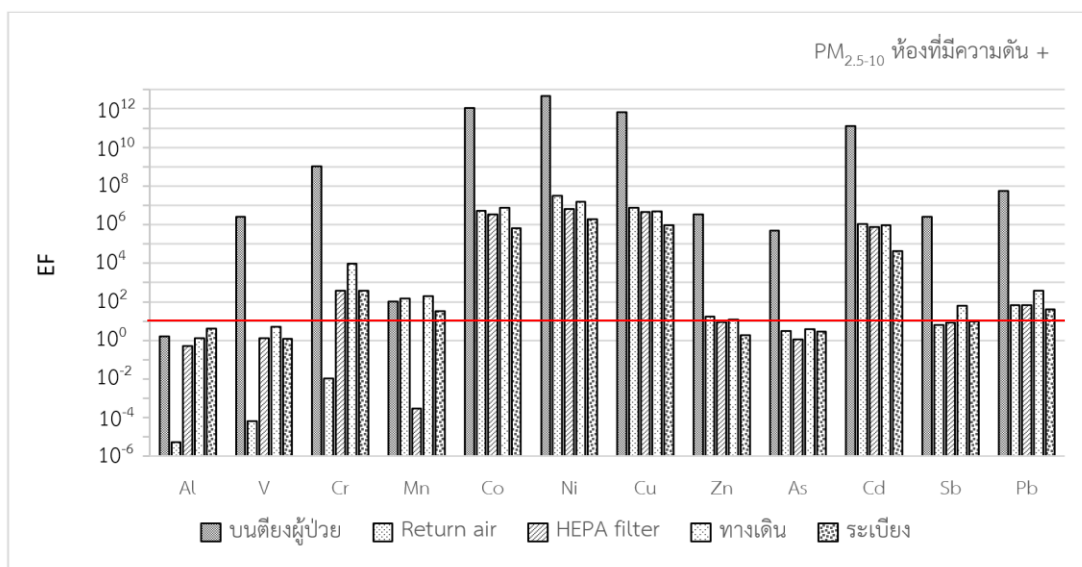
จากการคำนวณค่า Enrichment factor ของ PM_{2.5-10} ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นลบ ห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นบวก และฝุ่นละอองจากระเบียงด้านนอกอาคาร โดยใช้ Fe เป็นธาตุอ้างอิง ผลการศึกษาค่า EF ของธาตุจาก PM_{2.5-10} ของแต่ละห้องแสดงดังภาพที่ 4.40-4.42



ภาพที่ 4.40 Enrichment factor ของธาตุจาก PM_{2.5-10} ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ



ภาพที่ 4.41 Enrichment factor ของธาตุจาก PM_{2.5-10} ห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ



ภาพที่ 4.42 Enrichment factor ของธาตุจาก PM_{2.5-10} ห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นบวก

จากการศึกษาค่า Enrichment factor ของโลหะจาก PM_{2.5-10} ของห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ไม่สามารถคำนวณค่า EF ของ Pb บริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air ได้ และภายในห้องพักผู้ป่วยที่มีระบบความดันเป็นลบ ไม่สามารถคำนวณค่า EF ของ Pb บริเวณช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) ได้ เนื่องจากมีปริมาณต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection Limit)

ผลการคำนวณค่า EF ของธาตุที่พบใน PM_{2.5-10} บริเวณห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นลบ ห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นบวก พบว่าทั้ง 3 ห้อง มีธาตุที่มีค่า EF เฉลี่ยคล้ายคลึงกันคือ กลุ่มธาตุที่มีค่า EF มากกว่า 10 ได้แก่ Cr Mn Co Ni Cu Zn Cd Sb และ Pb ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร การปลดปล่อยจากอุตสาหกรรมและการเผาไหม้เชื้อเพลิง สำหรับกลุ่มธาตุที่มีค่า EF น้อยกว่า 10 ได้แก่ Al V และ As ซึ่งถือว่ามีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น ดินและหินที่อยู่บนเปลือกโลก

จากผลของค่าการสะสมตัวของโลหะในฝุ่นละอองของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ในการศึกษาครั้งนี้มีแนวโน้มของกลุ่มธาตุไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุในฝุ่นละอองได้ดังนี้

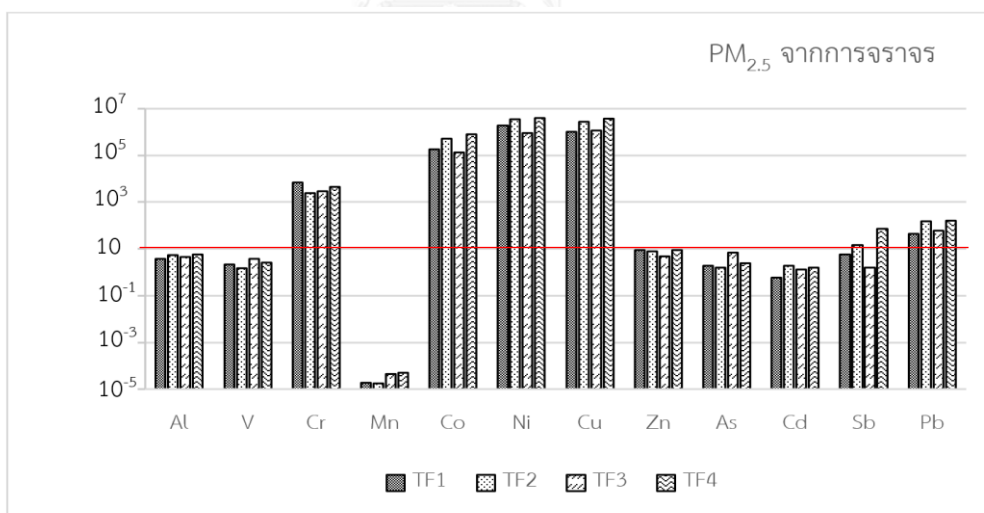
- ธาตุ Cr Mn Co Ni Cu Zn Cd Sb และ Pb เป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นสำคัญ
- ธาตุ Al V และ As เป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ

4.8.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า Enrichment Factor ผุ่นละอองภายในอาคารกับผุ่นในพื้นที่จราจร

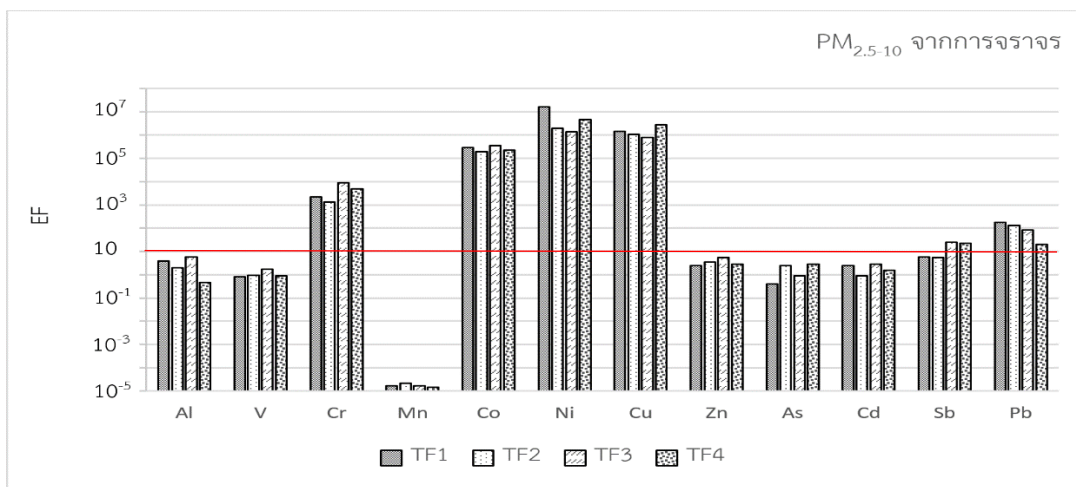
ทำการเปรียบเทียบค่า Enrichment factor ของธาตุจากผุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยทั้ง 3 ห้อง กับค่า Enrichment factor ของธาตุในผุ่นละอองที่เก็บในบริเวณใกล้เส้นทางจราจรภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยซึ่งอยู่ในเขตเมืองเช่นเดียวกับโรงพยาบาลที่ทำการศึกษามีการสัญจรของยานพาหนะคล้ายกับการจราจรรอบๆ โรงพยาบาล และเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูง 1.2-1.5 เมตร โดยมีจุดเก็บตัวอย่างดังนี้

- TF 1 บริเวณป้อมยามหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์
- TF 2 บริเวณป้อมยามภาควิชาชีววิทยา
- TF 3 บริเวณใต้อาคารมหาชิรณหิต
- TF 4 บริเวณป้อมยามหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ค่า EF ของธาตุใน $PM_{2.5}$ ของผุ่นจากการจราจร แสดงดังภาพที่ 4.40 และค่า EF ของธาตุจาก $PM_{2.5-10}$ ของผุ่นการจราจร แสดงดังภาพที่ 4.43 โดยสามารถพิจารณาได้ว่าธาตุที่มีค่า EF มากกว่า 10 เป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจรเป็นสำคัญ



ภาพที่ 4.43 Enrichment factor ของธาตุจาก $PM_{2.5}$ ในผุ่นจราจร



ภาพที่ 4.44 Enrichment factor ของธาตุจาก PM_{2.5-10} ในฝุ่นจราจร

จากภาพที่ 4.43 และภาพที่ 4.44 แสดงให้เห็นว่า ค่า EF ของธาตุจากฝุ่นละอองทั้งสองขนาดที่มีค่ามากกว่า 10 ได้แก่ Cr Co Ni Cu และ Pb แสดงว่าธาตุกลุ่มนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ คือ การจราจรเป็นแหล่งกำเนิดหลัก ซึ่งเป็นกลุ่มธาตุที่ได้ระบุไว้ในการศึกษาของ Li et al. (2004) Shah and Shaheen (2007) และ Lu et al. (2012)

เมื่อนำผลการศึกษาค่า EF ของฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นลบ และห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตที่มีระบบความดันเป็นบวกที่ได้ มาวิเคราะห์เปรียบเทียบฝุ่นในพื้นที่จราจร ดังแสดงในตารางที่ 4.25 พบว่า Cr Co Ni Cu Pb จาก PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยทั้ง 3 ห้อง พบคล้ายกับฝุ่นที่มาจากพื้นที่การจราจร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Lombay et al. (2015)) ที่ทำการศึกษาลักษณะของ PM_{2.5} ภายในห้อง ICU ของโรงพยาบาลในเมืองมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ ที่มีการจราจรโดยรอบหนาแน่นเช่นเดียวกับพื้นที่ของโรงพยาบาลที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ แต่อาจจะมีความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศและชนิดของยานพาหนะ ทั้งรถยนต์ส่วนบุคคล รถโดยสารสาธารณะ และรถบรรทุก แต่มีการใช้เชื้อเพลิงชนิดเดียวกัน ได้แก่ น้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่ว น้ำมันดีเซล และแก๊ส

ตารางที่ 4.25 การจำแนกกลุ่มธาตุด้วยค่า Enrichment Factor ของฝุ่นละอองภายในห้องพักผู้ป่วย กับฝุ่นในพื้นที่จราจร

พื้นที่ศึกษา	ขนาดฝุ่น	EF	
		>10	<10
จราจร	PM _{2.5}	Cr Co Ni Cu Pb	Al V As Mn Zn Cd
	PM _{2.5-10}	Cr Co Ni Cu Pb	Al V As Mn Zn Cd
ห้องผู้ป่วยพิเศษ	PM _{2.5}	Cr Co Ni Cu Pb Mn Zn Cd Sb	Al V As
	PM _{2.5-10}	Cr Co Ni Cu Pb Mn Zn Cd Sb	Al V As
ห้องที่มีระบบความดันลบ	PM _{2.5}	Cr Co Ni Cu Pb Mn Zn Cd Sb	Al V As
	PM _{2.5-10}	Cr Co Ni Cu Pb Mn Zn Cd Sb	Al V As
ห้องที่มีระบบความดันบวก	PM _{2.5}	Cr Co Ni Cu Pb Mn Zn Cd Sb	Al V As
	PM _{2.5-10}	Cr Co Ni Cu Pb Mn Zn Cd Sb	Al V As

จากผลการจำแนกแหล่งกำเนิดขององค์ประกอบธาตุใน PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} โดยภาพรวมทั้งวิธี Principle component analysis (PCA) (ดังตารางที่ 4.22 และตารางที่ 4.23) และการศึกษาค่าการสะสมตัวของโลหะในฝุ่นละออง (Enrichment Factor) โดยใช้ค่า EF (ดังตารางที่ 4.25) เมื่อนำข้อมูลจากทั้งสองวิธีมาวิเคราะห์เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุให้ชัดเจนยิ่งขึ้น พบว่า ข้อมูลธาตุที่พบในฝุ่นละอองจากภายในห้องพักผู้ป่วยที่วิเคราะห์ได้จาก PCA เปรียบเทียบกับค่า EF ของธาตุในฝุ่นละอองจากพื้นที่ใกล้เคียงเส้นทางจราจร พบธาตุที่มีค่า EF>10 ซึ่งจัดเป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรเป็นหลัก ได้แก่ Cr Co Ni Cu และ Pb ส่วนธาตุ Mn Zn Cd และ Sb (มีค่า EF>10) ที่ไม่ใช่ธาตุที่มาจากการจราจรจะถือว่ามีแหล่งกำเนิดจากแหล่งอื่น เช่น อุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากคริวเรือน และการก่อสร้าง เป็นต้น สำหรับธาตุที่มีค่า EF<10 เป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ ได้แก่ Al V As รวมถึง Fe ที่ใช้เป็นธาตุอ้างอิงจัดว่าเป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจาก

ธรรมชาติ ดังแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลองค์ประกอบธาตุใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ ในตารางที่ 4.26 และตารางที่ 4.27 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.26 จำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุใน $PM_{2.5}$ เปรียบเทียบ PCA และ EF

จุดเก็บตัวอย่าง	ธรรมชาติ	กิจกรรมของมนุษย์	
		จราจร	แหล่งกำเนิดอื่น
ระเบียง	As V Al Fe	Cu Pb Ni Cr Co	Cd Zn Sb Mn
ห้องผู้ป่วยพิเศษ	As V Al Fe	Cu Pb Ni Cr Co	Cd Zn Sb Mn
ห้องระบบความดันบวก	V Al Fe	Cu Pb Ni Cr Co	Zn Sb Mn

ตารางที่ 4.27 จำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุใน $PM_{2.5-10}$ เปรียบเทียบ PCA และ EF

จุดเก็บตัวอย่าง	ธรรมชาติ	กิจกรรมของมนุษย์	
		จราจร	แหล่งกำเนิดอื่น
ระเบียง	As V Al Fe	Cu Pb Ni Cr Co	Cd Zn Sb Mn
ห้องผู้ป่วยพิเศษ	As V Al Fe	Cu Pb Ni Cr Co	Cd Zn Sb Mn
ห้องระบบความดันลบ	As Al Fe	Cu Pb Ni Cr Co	Cd Zn Sb Mn

จึงสรุปได้ว่า องค์ประกอบธาตุใน $PM_{2.5}$ และ $PM_{2.5-10}$ สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดได้ดังนี้

- AS V Al และ Fe มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ
- Cu Pb Ni Cr และ Co มีแหล่งกำเนิดจากการจราจร
- Cd Zn Sb และ Mn มีแหล่งกำเนิดจากแหล่งอื่น เช่น อุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากครัวเรือน และการก่อสร้าง เป็นต้น

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาองค์ประกอบธาตุโลหะและปริมาณความเข้มข้นในฝุ่นละอองขนาดเล็ก ภายในห้องพักผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร คือ ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ และห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก เก็บตัวอย่าง 6 ครั้ง ในช่วงเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม 2558 และเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม 2558 โดยแต่ละช่วงเวลาการศึกษาเก็บตัวอย่างฝุ่นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อสัปดาห์ คือวันจันทร์ พุธและศุกร์ ทำการเก็บตัวอย่างห้องพักผู้ป่วยพิเศษ 5 จุด คือ บนเตียงผู้ป่วย ช่องดูดอากาศออกนอกห้อง return air ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และระเบียงด้านนอกอาคาร ห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ และห้องผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก 5 จุด คือ บนเตียงผู้ป่วย return air ช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) ทางเดินนอกห้อง และระเบียงด้านนอกอาคาร ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษมีค่าในช่วง $1.24-10.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยค่าสูงสุดพบที่บริเวณช่องดูดอากาศ ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบมีค่าในช่วง $2.03-3.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ค่าสูงสุดพบที่บริเวณ HEPA filter และห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวกมีค่าในช่วง $1.64-2.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ค่าสูงสุดพบที่บริเวณ HEPA filter ความเข้มข้นบริเวณระเบียงนอกอาคารในชั้นห้องพักผู้ป่วยพิเศษและชั้นห้องที่มีระบบความดันเป็นลบและบวก เท่ากับ 21.21 ± 3.72 และ $25.29 \pm 13.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ

2) ความเข้มข้น $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษมีค่าในช่วง $2.74-11.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ค่าสูงสุดพบที่บริเวณ HEPA filter ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบมีค่าในช่วง $5.32-5.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ค่าสูงสุดคือบริเวณบนเตียงผู้ป่วย และห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวกมีค่าในช่วง $4.37-4.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ค่าสูงสุดพบที่บริเวณ HEPA filter ความเข้มข้นบริเวณ ตามลำดับ

3) ความเข้มข้น PM_{10} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ ห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ และห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก มีค่าในช่วง $5.13-14.84$, $7.37-8.37$ และ $6.01-9.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ภายในห้องพักผู้ป่วยทั้ง 3 ห้องพบค่าสูงสุดที่บริเวณ HEPA filter เช่นเดียวกัน ความเข้มข้นบริเวณระเบียงนอกอาคารในชั้น

ห้องพักผู้ป่วยพิเศษและชั้นห้องที่มีระบบความดันเป็นลบและบวก เท่ากับ 41.75 ± 6.16 และ $50.34 \pm 6.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ

4) ความเข้มข้นเฉลี่ยของ $\text{PM}_{2.5}$ $\text{PM}_{2.5-10}$ และ PM_{10} จากทุกจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยทั้ง 3 ห้อง มีค่าต่ำสุดที่ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ (ชั้น 16) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00, 3.97, และ $5.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาด มีแนวโน้มเดียวกันคือ มีค่าสูงสุดภายในห้องพักผู้ป่วยระบบความดันเป็นลบ (ชั้น 8) รองลงมาคือ ห้องพักผู้ป่วยระบบความดันเป็นบวก (ชั้น 8) และห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

5) ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ พบว่า $\text{PM}_{2.5}$ บริเวณช่องดูดอากาศมีความสัมพันธ์กับช่อง return air ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01 ($r=0.924$) PM_{10} บริเวณ HEPA filter มีความสัมพันธ์กับบริเวณช่องดูดอากาศที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($r=0.865$) ส่วน $\text{PM}_{2.5-10}$ ไม่มีความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองในแต่ละจุดเก็บ ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ พบ $\text{PM}_{2.5-10}$ ระหว่างบนเตียงผู้ป่วยและช่อง return air มีความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($r=0.831$) และระหว่างช่องอากาศผ่านแผ่นกรองฝุ่น (HEPA filter) และช่อง return air มีความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($r=0.895$) สำหรับ PM_{10} มีความสัมพันธ์ระหว่างบนเตียงผู้ป่วยและช่อง return air ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($r=0.831$) ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก $\text{PM}_{2.5}$ $\text{PM}_{2.5-10}$ และ PM_{10} ในจุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุดภายในห้องพักผู้ป่วยไม่มีความสัมพันธ์กัน

6) ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศภายในและภายนอกอาคาร (I/O ratio) ทุกจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยทั้ง 3 ห้อง มีค่า I/O ratio น้อยกว่า 1 แสดงว่า $\text{PM}_{2.5}$ $\text{PM}_{2.5-10}$ และ PM_{10} ไม่มีแหล่งกำเนิดภายในอาคารแต่ได้รับผลกระทบจากฝุ่นละอองภายนอกอาคารแล้วแพร่เข้าสู่ภายในห้องพักผู้ป่วยผ่านทางรอยแยกแตกของผนังอาคารหรือจากช่องหน้าต่างที่ปิดไม่สนิท

7) การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุใน $\text{PM}_{2.5}$ เก็บภายในห้องพักผู้ป่วยทั้ง 3 ห้องโดยเทคนิคแสงซินโครตรอน ธาตุที่พบเฉพาะในอาคารเพียงอย่างเดียวคือ Al ธาตุที่พบเฉพาะภายนอกอาคารคือ Cu และ Ni ธาตุที่พบทั้งภายในและภายนอกอาคารคือ Si Cl K Ti Fe Mn Zn และ Cr สำหรับ $\text{PM}_{2.5-10}$ ผลการวิเคราะห์พบว่าธาตุที่พบเฉพาะในอาคารเพียงอย่างเดียวคือ Al ธาตุที่พบเฉพาะภายนอกอาคารคือ Ni และ Cu ธาตุที่พบทั้งภายในและภายนอกอาคารคือ Si Cl K Fe Ti Mn และ Zn เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในราดำ *Curvularia lunata* และราขาว *Fusarium* spp. พบธาตุ Cl K Ti Fe Zn และ Cr ในราทั้ง 2 ชนิด และธาตุ Mn พบเฉพาะในราดำ

8) ชนิดและปริมาณโลหะในฝุ่นละอองภายในอาคารทั้ง 3 ห้องและภายนอกอาคาร 3 ห้อง ธาตุปริมาณหลัก ($>10 \text{ ng}/\text{m}^3$) ที่พบคือ Al Fe และ Zn ธาตุที่มีปริมาณรอง ($1-10 \text{ ng}/\text{m}^3$) คือ

Cr Mn Ni และ Cu สำหรับธาตุ V Co As Cd Sb และ Pb ช่วงความเข้มข้นที่พบค่อนข้างกว้างตั้งแต่ 0.02-73.95 ng/m³

9) การจำแนกแหล่งกำเนิดของธาตุในฝุ่นละอองด้วยเทคนิค PCA สามารถจัดกลุ่มองค์ประกอบของธาตุและจำแนกแหล่งกำเนิดของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ได้ 2 กลุ่มหลัก คือ 1) จากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติที่มีอยู่โดยทั่วไปในดินและหินจากเปลือกโลกและฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ และ 2) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ปลดปล่อยจากการจราจร การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และจากอุตสาหกรรม

10) ค่าการสะสมตัวของโลหะในฝุ่นละออง (Enrichment Factor) ของ PM_{2.5} และ PM_{2.5-10} ทั้ง 3 ห้องที่วิเคราะห์ได้สามารถนำมาจำแนกแหล่งกำเนิดตามชนิดของธาตุได้ 2 กลุ่ม คือ ธาตุ Cr Mn Co Ni Cu Zn Cd Sb และ Pb เป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นสำคัญ และธาตุ Al V และ As เป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการสะสมตัวของโลหะในฝุ่นที่มาจากพื้นที่การจราจร พบว่า ธาตุ Cr Co Ni Cu และ Pb เป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจร

11) เปรียบเทียบ PCA และ EF จำแนกแหล่งกำเนิดขององค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง คือ ธาตุ As V Al และ Fe เป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ ธาตุ Cu Pb Ni Cr และ Co เป็นธาตุที่มีแหล่งกำเนิดจากการจราจร และธาตุ Cd Zn Sb และ Mn เป็นธาตุที่ปลดปล่อยจากกระบวนการอุตสาหกรรม การก่อสร้างและการเผาไหม้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในฝุ่นละอองที่เก็บจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ โดยตรง เช่น จากท่อไอเสียรถยนต์ โรงอาหาร เขตพื้นที่ก่อสร้าง และจากโรงงานอุตสาหกรรม สามารถใช้เป็นข้อมูลยืนยันแหล่งที่มาขององค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

2) ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าฝุ่นละอองที่พบภายในห้องพักรักษาตัวผู้ป่วยนั้นได้รับอิทธิพลจากการแพร่กระจายของฝุ่นละอองที่อยู่ภายนอกอาคาร ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการคุณภาพอากาศของโรงพยาบาล เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชนและเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาล และเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการวางแผนควบคุมและป้องกัน มลภาวะจากฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในห้องพักรักษาตัว

3) จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้กำหนดแนวทางการป้องกันมลพิษอากาศภายในห้องพักรักษาตัวของโรงพยาบาล โดยโรงพยาบาลควรมีการทำความสะอาดภายในห้องส่งอากาศและ

ตรวจเช็คประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งควรเปิดระบบปรับอากาศของห้องผู้ป่วยก่อนที่จะมีการเข้าพักล่วงหน้าอย่างน้อย 1 วัน เพื่อให้ระบบปรับอากาศทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ

4) โรงพยาบาลควรควบคุมและป้องกันฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดภายในอาคารที่ระบุได้แน่ชัด เช่น การใช้น้ำยาทำความสะอาด และการประกอบอาหารของโรงอาหารภายในอาคาร ซึ่งจะสามารถปลดปล่อยธาตุโลหะบางชนิดที่พบในฝุ่นละอองภายในห้องพักรักษาผู้ป่วย ในกรณีฝุ่นละอองที่เกิดจากแหล่งกำเนิดภายนอกอาคาร โรงพยาบาลควรออกแบบห้องพักรักษาผู้ป่วยที่สามารถป้องกันการแพร่กระจายของฝุ่นละอองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5) จากผลการศึกษาที่พบว่าเชื้อราและฝุ่นละอองมีองค์ประกอบธาตุที่คล้ายกัน การควบคุมปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก และควบคุมอุณหภูมิความชื้นของห้องผู้ป่วยให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานจะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้



รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

- Almeida, S. M., Canha, N., Silva, A., et al. (2011). Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools. *Atmospheric Environment*, 45(40), 7594-7599.
- American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (1981). ASHRAE Standard 55-1981: Thermal Environmental Condition for Human Occupancy. Atlanta, GA.
- Botkin, D. B., and Keller, E. A. (2003). Environmental Science: Earth as a living planet. USA: John Wiley and Sons.
- Branco, P. T. B. S., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., et al. (2014). Indoor air quality in urban nurseries at Porto city: Particulate matter assessment. *Atmospheric Environment*, 84, 133-143.
- Canha, N., Almeida, S. M., Freitas, M. d. C., et al. (2014). Particulate matter analysis in indoor environments of urban and rural primary schools using passive sampling methodology. *Atmospheric Environment*, 83, 21-34.
- Chan, A. T. (2002). Indoor-outdoor relationships of particulate matter and nitrogen oxides under different outdoor meteorological conditions. *Atmospheric Environment*, 36(9), 1543-1551.
- Dockery, D. W., and Pope, C. A., 3rd. (1994). Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annu Rev Public Health*, 15, 107-132.
- Dragović, S., Mihailović, N., and Gajić, B. (2008). Heavy metals in soils: Distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources. *Chemosphere*, 72(3), 491-495.
- Francis J. Curry National Tuberculosis Center. (1999). Isolation Rooms: Design, Assessment, and Upgrade. Institutional Consultation Services.
- Hathairatana Garivait. (1999). A study on air pollution by air borne polycyclic aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Bangkok urban atmosphere. *Asian Institute of Technology School of Environment*.

- Huang, S., Tu, J., Liu, H., et al. (2009). Multivariate analysis of trace element concentrations in atmospheric deposition in the Yangtze River Delta, East China. *Atmospheric Environment*, 43(36), 5781-5790.
- Joshi, U. M., Vijayaraghavan, K., and Balasubramanian, R. (2009). Elemental composition of urban street dusts and their dissolution characteristics in various aqueous media. *Chemosphere*, 77(4), 526-533.
- Lawson, D. R., and Winchester, J. W. (1979). A standard crustal aerosol as a reference for element enrichment factor. *Atmospheric Environment*, 13, 925-930.
- Li, X., Lee, S.-l., Wong, S.-c., et al. (2004). The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach. *Environmental Pollution*, 129(1), 113-124.
- Lombay, M. F. T. C., Quirit, L. L., Molina, V. B., et al. (2015). Characterization of particulate matter 2.5 in an urban tertiary care hospital in the Philippines. *Building and Environment*, 92, 432-439.
- Loupa, G., Zarogianni, A.-M., Karali, D., et al. (2016). Indoor/outdoor PM_{2.5} elemental composition and organic fraction medications, in a Greek hospital. *Science of The Total Environment*, 550, 727-735.
- Lu, X., Zhao, C., Chen, C., et al. (2012). Radioactivity level of soil around Baqiao coal-fired power plant in China. *Radiation Physics and Chemistry*, 81(12), 1827-1832.
- Meza-Figueroa, D., De la O-Villanueva, M., and De la Parra, M. L. (2007). Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México. *Atmospheric Environment*, 41(2), 276-288.
- Pope, C. A., 3rd, Burnett, R. T., Thun, M. J., et al. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, 287(9), 1132-1141.
- Saçmacı, Ş., and Kartal, Ş. (2013). Determination of palladium by on-line flow-injection direct spectrophotometry in environmental samples using 2,2'-furyldioxime as a chelator. *Talanta*, 109, 26-30.
- Shah, M. H., and Shaheen, N. (2007). Statistical analysis of atmospheric trace metals and particulate fractions in Islamabad, Pakistan. *Journal of Hazardous Materials*, 147(3), 759-767.

- Tancharakorn, S., Tanthanuch, W., Kamonsutthipajit, N., et al. (2012). The first microbeam synchrotron X-ray fluorescence beamline at the Siam Photon Laboratory. *Journal of Synchrotron Radiation*, 19(4), 536-540.
- United States Environmental Protection Agency. (1995). The inside story: A guide to indoor air Quality. Washington DC: EPA.
- Wang, X., Bi, X., Sheng, G., et al. (2006). Hospital indoor PM10/PM2.5 and associated trace elements in Guangzhou, China. *Science of The Total Environment*, 366(1), 124-135.
- WHO. (2005). WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe.
- Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C., et al. (2006). Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of The Total Environment*, 355(1-3), 176-186.

ภาษาไทย

- แมนสรวง วุฒิอุดมเลิศ. เชื้อที่มากับมลพิษในอาคาร: รา. [ออนไลน์]. 2555. แหล่งที่มา: <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/116/รา-เชื้อที่มากับมลพิษในอาคาร/> [20 ธันวาคม 2558]
- กุลธิดา เลิศเชาวยุทธ. (2553). ความแปรปรวนของจำนวนเชื้อราในอากาศกับการระบายอากาศและสภาวะอากาศภายในห้องของโรงพยาบาลกลาง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต), วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ. (2555). คุณภาพอากาศภายในอาคาร. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- จิตรพรรณ ภูษาภักดีภพ และ ชมพูนุศักรดี พูลเกษม. (2544). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพอากาศภายในอาคารและกลุ่มอาการเจ็บป่วยของพนักงานที่ทำงานในสำนักงานของโรงพยาบาลในจังหวัดชลบุรี. ชลบุรี: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- จิรวัดณ์ จิงศิริกุลวิทย์. ฝุ่นละอองในอากาศกับการปรับตัว. [ออนไลน์]. 2558. แหล่งที่มา, <http://www.vachiraphuket.go.th/www/publichealth/?name=knowledge&file=readknowledge&id=290> [15 มกราคม 2558]

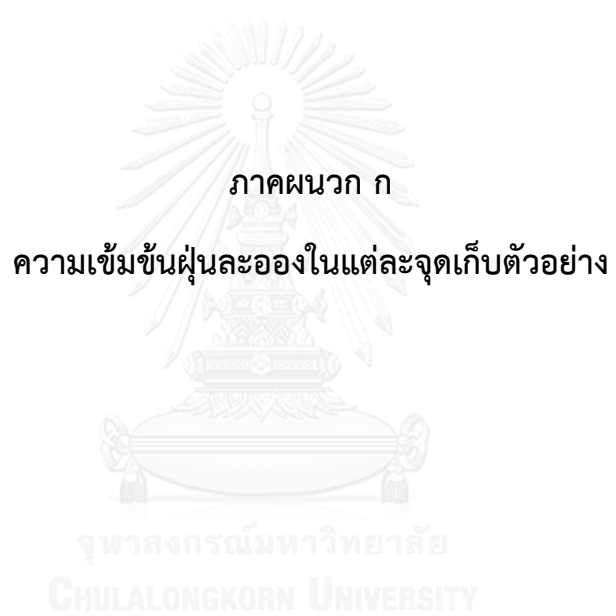
- ณัฐพงษ์ แหละหมั่น. (2548). อัตราการชุกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกลุ่มอาการป่วยเหตุอาคารของเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานภายในอาคารของโรงพยาบาลที่มีการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐพงษ์ เต็มจักรวาท. (2548). การกระจายของฝุ่นและเชื้อราบริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทรงพล ต่อนี่. (2548). คอมพิวเตอร์สำหรับงานวิจัยทางสุขศึกษา: เอกสารประกอบการสอน สข 553 = Computer for research in health education. กรุงเทพมหานคร คณะพลศึกษามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ธิดิพัฒน์ หิรัญคำ. (2556). การวิเคราะห์ความเข้มข้นและจัดกลุ่มโลหะหนักจากฝุ่นในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นรุตตม์ สหนาวิน. (2558). การประเมินความเสี่ยงในการรับสัมผัสสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนทางการหายใจของผู้ค้าขายริมถนนในกรุงเทพมหานคร : กรณีศึกษาถนนสุขุมวิท. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บริษัท แคมฟิล. ความดันในห้องเป็นลบ. [ออนไลน์]. 2556. แหล่งที่มา : <http://www.camfilfarr.co.th/industries/hospitals/negative-room-pressure/> [15 มกราคม 2558]
- บริษัทอาร์พีซี อินโนเวชั่นจำกัด. Ventilation System (ระบบระบายอากาศ). [ออนไลน์]. 2556. แหล่งที่มา: from <http://www.rpci.co.th/15366434/ventilation-system-ระบบระบายอากาศ> [20 มกราคม 2558]
- บุษบา จุงาม และ พลกฤต กฤษไมตรี. (2555). การศึกษาปรับปรุงวิธีการควบคุมความชื้น เพื่อลดปัญหาการเกิดเชื้อราในหอพักผู้ป่วย. วิศวกรรมสาร มก, 82, 1-14.
- ประภิต วาที่สาธกิจ และกรองจิต วาที่สาธกิจ. สารานุกรมไทยสำหรับเด็กและเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เล่ม 28. [ออนไลน์]. 2547. แหล่งที่มา: www.nmd.go.th/preventmed/webtest/document/smoke [10 กุมภาพันธ์ 2558]
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. Positive pressure / ความดันบวก. [ออนไลน์]. 2556. แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1695/positive-pressure-ความดันบวก> [5 มกราคม 2558]

- ยูวดี คาคการณ์ไกล และ ชูชัย ศุภวงศ์. (2542). สถานการณ์ด้านสุขภาพ และอนามัยสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : โครงการตำรากรมอนามัย.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, ฤชากร จิรกาลวสาน, ภารดี ช่วยบำรุง, และคณะ. (2553). คู่มือการศึกษาและประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารโรงพยาบาล กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. .
- วนิดา จินตาสตร. (2551). มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศรัญญู คำภาบุตร. (2552). ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศภายในโรงพยาบาล. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมชัย บวรกิตติ. (2542). อากาศพิษในอาคาร. เวชศาสตร์สิ่งแวดล้อม: กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์.
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. (2556). มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ. พิมพ์ปรับปรุงครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์. (2549). การออกแบบห้องแยกเดี่ยวผู้ป่วย (Isolation Room Design). บทความวิชาการ, 17, 56-66.
- อนุวัฒน์ แสงอ่อน. (2547). องค์ประกอบที่เป็นธาตุโลหะและแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของ PM2.5 ในอากาศเขตเมืองและเขตชานเมืองของจังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต), สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิรัชต์ สมฤทธิ์, ยุทธศักดิ์ เจียมไชยศรี, ธารทิพย์ ภาสบุตร, และคณะ. (2553). สำรวจ รวบรวม และจำแนก รา *fusarium* สาเหตุโรคพืช Surveying, Collecting and identification of Plant Pathogenic *Fusarium*. คลังผลงานวิจัย กรมวิชาการเกษตร, 1445-1463.
- อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ. (2543). ระดับฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 และ 10 ไมครอนในอากาศจังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่วารสาร, 39, 95-100.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ตารางที่ ก.1 ความเข้มข้น PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและระเบียงด้านนอกอาคาร

ตัวอย่าง	วันที่เก็บ	จุดเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นฝุ่นละออง (µg/m ³)		
			PM2.5	PM2.5-10	PM10
1	29 /06/2558	บนเตียง	2.08	3.97	6.05
2	29 /06/2558	ช่องดูดอากาศ	10.8	2	13.57
3	29 /06/2558	HEPA filter	3.47	11.37	14.84
4	29 /06/2558	Return air	3.36	3.48	6.84
5	29 /06/2558	ระเบียง	17.38	23.43	40.81
6	1/07/2558	บนเตียง	3.13	4.05	7.18
7	1/07/2558	ช่องดูดอากาศ	2.94	2.72	5.66
8	1/07/2558	HEPA filter	0.97	3.93	4.9
9	1/07/2558	Return air	1.7	5.25	6.95
10	1/07/2558	ระเบียง	17.99	18.83	36.82
11	3/07/2558	บนเตียง	1.88	2.69	4.57
12	3/07/2558	ช่องดูดอากาศ	3.14	2.38	5.52
13	3/07/2558	HEPA filter	3.98	4.35	8.33
14	3/07/2558	Return air	1.94	4.81	6.75
15	3/07/2558	ระเบียง	20.09	18.69	38.78
16	23/11/2558	บนเตียง	0.11	4.63	4.74
17	23/11/2558	ช่องดูดอากาศ	0.79	4.25	5.04
18	23/11/2558	HEPA filter	1.29	4.27	5.56
19	23/11/2558	Return air	0.14	4.33	4.47
20	23/11/2558	ระเบียง	27.57	26.08	53.65
21	25/11/2558	บนเตียง	0.4	3.87	4.27
22	25/11/2558	ช่องดูดอากาศ	0.49	2.65	3.14
23	25/11/2558	HEPA filter	0	1.46	1.46
24	25/11/2558	Return air	0	3.95	3.95
25	25/11/2558	ระเบียง	21.48	20.88	42.36
26	27/11/2558	บนเตียง	0	3.94	3.94
27	27/11/2558	ช่องดูดอากาศ	1.47	2.42	3.89
28	27/11/2558	HEPA filter	3.5	4.85	8.35
29	27/11/2558	Return air	0.32	3.56	3.88
30	27/11/2558	ระเบียง	22.72	15.36	38.08

ตารางที่ ก.2 ความเข้มข้น PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบและระบายนอกรอาคาร

ตัวอย่าง	วันที่เก็บ	จุดเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นฝุ่นละออง (µg/m ³)		
			PM2.5	PM2.5-10	PM10
1	6/07/2558	บนเตียง	4.17	8.09	12.26
2	6/07/2558	HEPA filter	2.55	5.61	8.16
3	6/07/2558	Return air	3.34	7.48	10.82
4	6/07/2558	ทางเดิน	4.23	9.98	14.21
5	6/07/2558	ระเบียง	22	26.23	48.23
6	8/07/2558	บนเตียง	4.34	6.69	11.03
7	8/07/2558	HEPA filter	5.48	6.52	12
8	8/07/2558	Return air	2.74	6.47	9.21
9	8/07/2558	ทางเดิน	3.85	7.54	11.39
10	8/07/2558	ระเบียง	29.43	42.52	71.95
11	10/07/2558	บนเตียง	1.44	5.59	7.03
12	10/07/2558	HEPA filter	3.33	7.45	10.78
13	10/07/2558	Return air	0.49	7.35	7.84
14	10/07/2558	ทางเดิน	4.93	5.18	10.11
15	10/07/2558	ระเบียง	25.83	33.53	59.36
16	30/11/2558	บนเตียง	1.8	6.73	8.53
17	30/11/2558	HEPA filter	1.86	4.53	6.39
18	30/11/2558	Return air	0.86	4.58	5.44
19	30/11/2558	ทางเดิน	4.35	5.34	9.69
20	30/11/2558	ระเบียง	24.53	22.06	46.59
21	2/12/2558	บนเตียง	0	3.96	3.96
22	2/12/2558	HEPA filter	1.53	4.75	6.28
23	2/12/2558	Return air	2.59	3.88	6.47
24	2/12/2558	ทางเดิน	3.12	5.28	8.4
25	2/12/2558	ระเบียง	60.5	42.69	103.19
26	4/12/2558	บนเตียง	2.45	1.59	4.04
27	4/12/2558	HEPA filter	3.56	3.06	6.61
28	4/12/2558	Return air	2.16	2.28	4.44
29	4/12/2558	ทางเดิน	4	3.02	7.01
30	4/12/2558	ระเบียง	31.09	15.94	47.04

ตารางที่ ก.3 ความเข้มข้น PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวกและระบายอากาศ

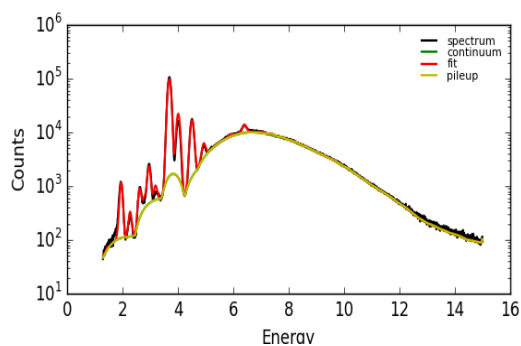
ตัวอย่าง	วันที่เก็บ	จุดเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นฝุ่นละออง (µg/m ³)		
			PM2.5	PM2.5-10	PM10
1	13/07/2558	บนเตียง	2.7	6.74	9.44
2	13/07/2558	HEPA filter	3.06	4.52	7.58
3	13/07/2558	Return air	3.2	3.19	6.39
4	13/07/2558	ทางเดิน	3.74	7.15	10.89
5	13/07/2558	ระเบียง	19.55	24.24	43.79
6	15/07/2558	บนเตียง	0.63	4.64	5.26
7	15/07/2558	HEPA filter	4.13	5.57	9.7
8	15/07/2558	Return air	2.82	6.22	9.04
9	15/07/2558	ทางเดิน	2.81	6.57	9.38
10	15/07/2558	ระเบียง	16.07	18.63	34.7
11	17/07/2558	บนเตียง	1.92	3.9	5.83
12	17/07/2558	HEPA filter	5.69	5.22	10.9
13	17/07/2558	Return air	1.27	5.4	6.67
14	17/07/2558	ทางเดิน	2.25	4.31	6.55
15	17/07/2558	ระเบียง	9.58	11.86	21.44
16	7/12/2558	บนเตียง	0.52	3.17	3.69
17	7/12/2558	HEPA filter	2.08	3.99	6.07
18	7/12/2558	Return air	0.96	2.6	3.56
19	7/12/2558	ทางเดิน	2.99	6.45	9.44
20	7/12/2558	ระเบียง	35.27	33.32	68.59
21	9/12/2558	บนเตียง	1.91	4.45	6.36
22	9/12/2558	HEPA filter	0.52	3.11	3.63
23	9/12/2558	Return air	1.37	4.28	5.65
24	9/12/2558	ทางเดิน	1.81	5.27	7.08
25	9/12/2558	ระเบียง	8.56	8.86	17.42
26	11/12/2558	บนเตียง	2.55	3.3	5.85
27	11/12/2558	HEPA filter	0.73	5.08	5.81
28	11/12/2558	Return air	0.22	4.55	4.77
29	11/12/2558	ทางเดิน	3.17	4.86	8.03
30	11/12/2558	ระเบียง	22.18	19.64	41.82



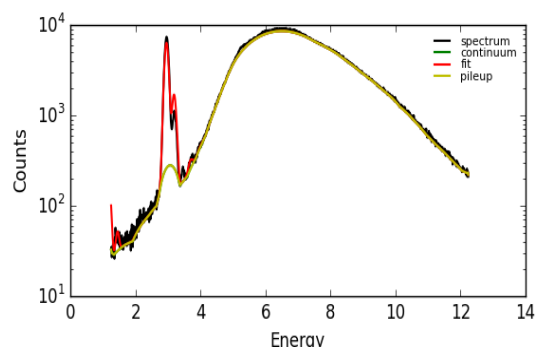
ภาคผนวก ข

ตัวอย่างสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ฝุ่นละอองด้วยเทคนิคแสงซินโครตรอน

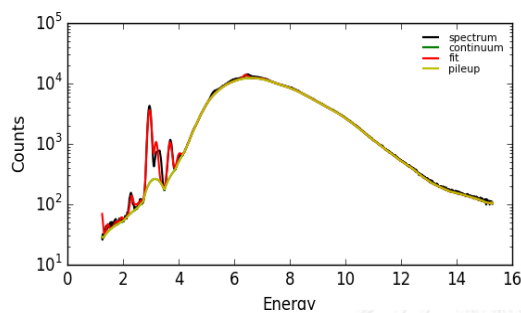
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



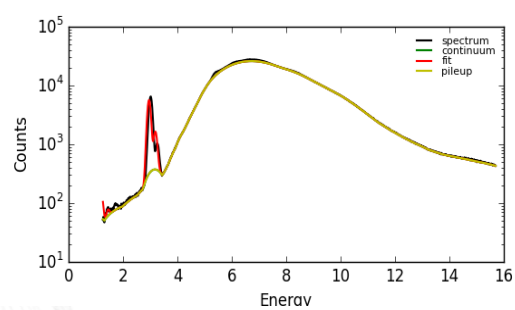
(ก) บนเตียงผู้ป่วย



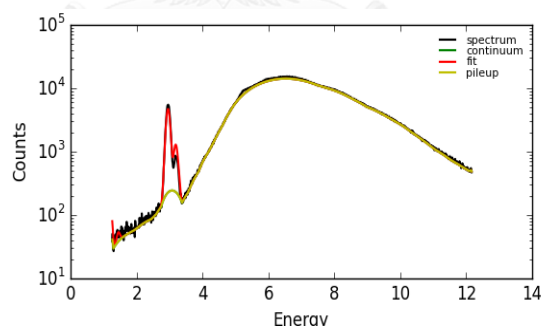
(ข) ช่องดูอากาศ



(ค) ระเบียง

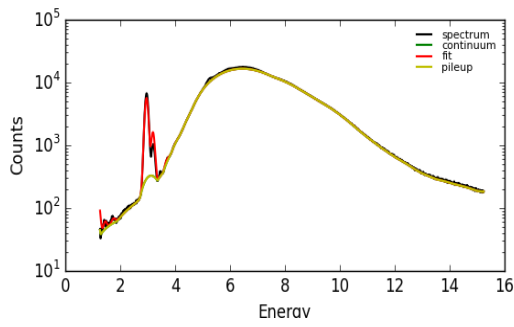


(ง) HEPA filter

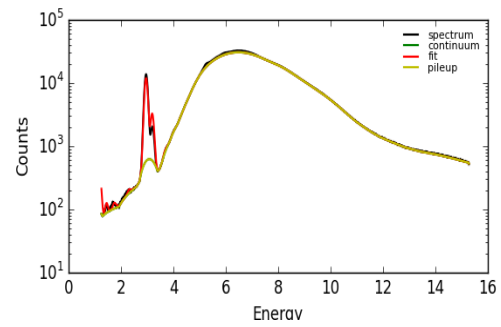


(จ) Return air

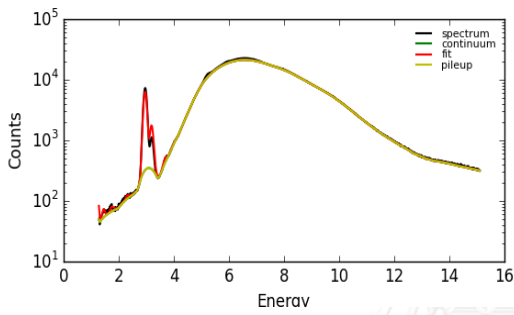
ภาพที่ ข.1 ตัวอย่างสเปกตรัมของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักรักษาพิเศษ



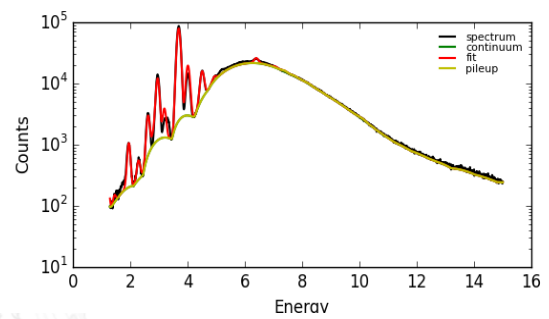
(ก) บนเตียง



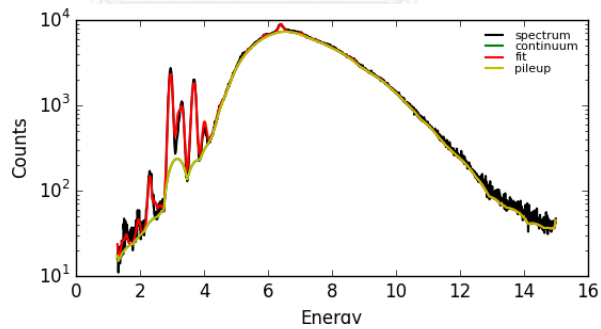
(ข) HEPA filter



(ค) Return air

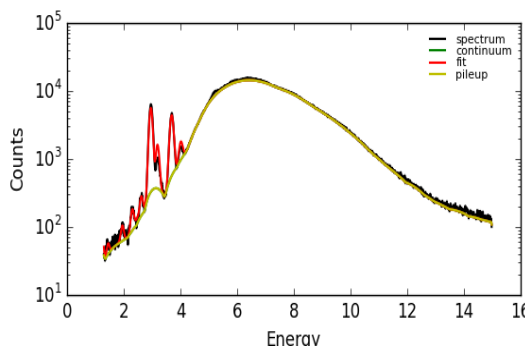


(ง) ทางเดิน

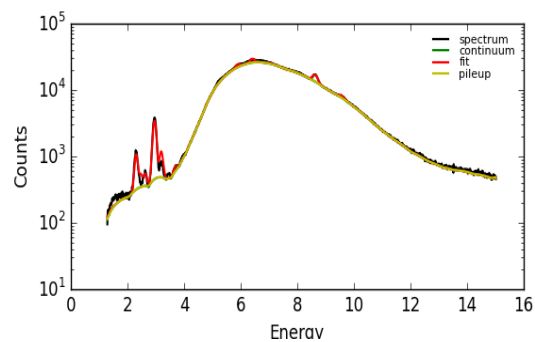


(จ) ระเบียง

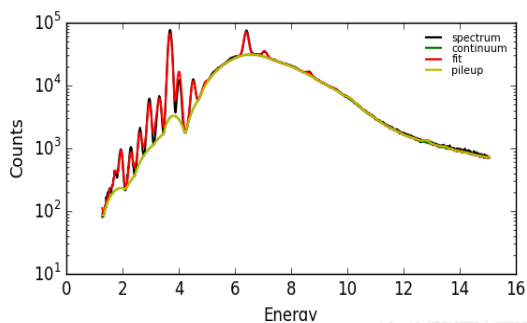
ภาพที่ ข.2 ตัวอย่างสเปกตรัมของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นลบ



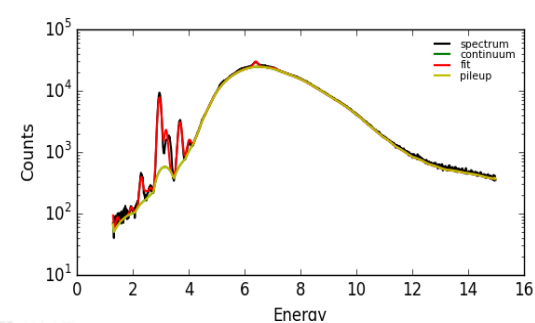
(ก) บนเตียง



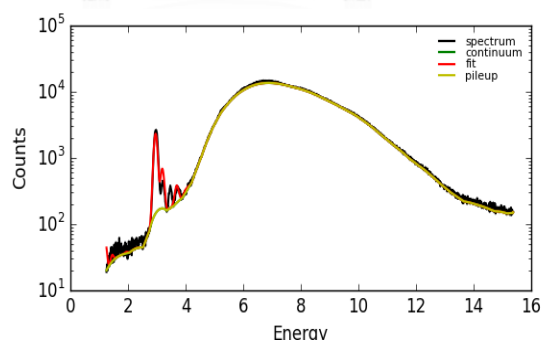
(ข) ทางเดิน



(ค) HEPA filter

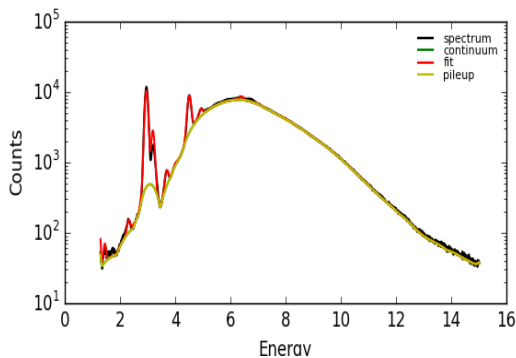


(ง) return air

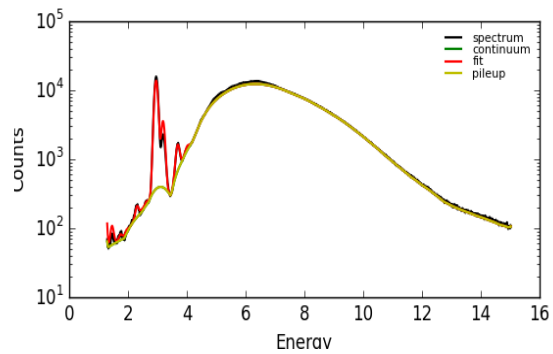


(จ) ระเบียง

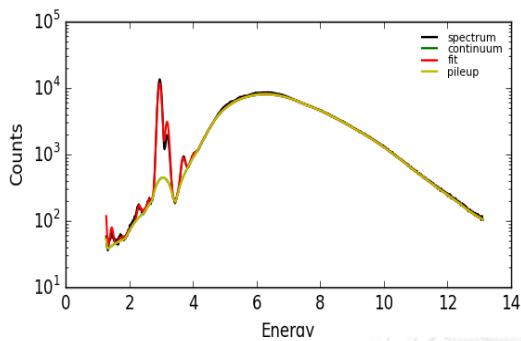
ภาพที่ ข.3 ตัวอย่างสเปกตรัมของ $PM_{2.5}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตในห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก



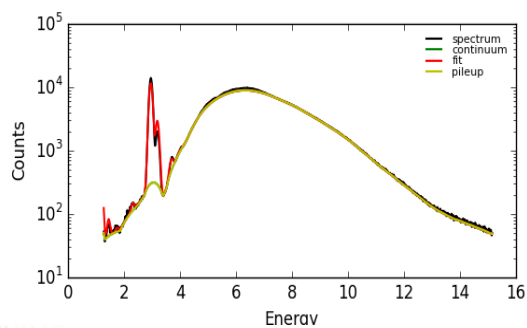
(ก) บนเตียง



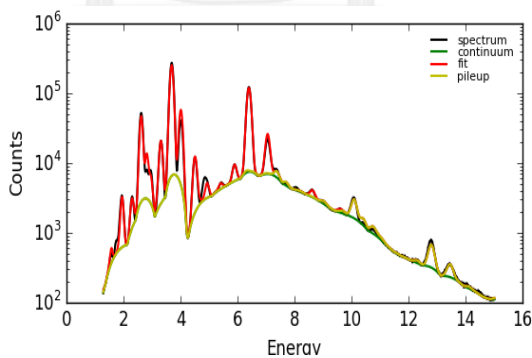
(ข) HEPA filter



(ค) return air

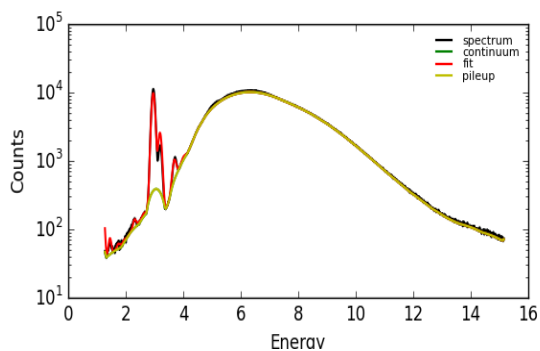


(ง) ช่องดูดอากาศ

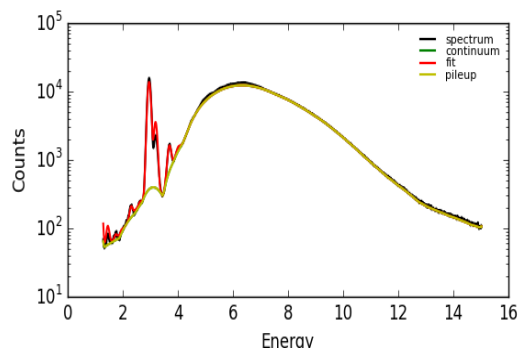


(จ) ระเบียง

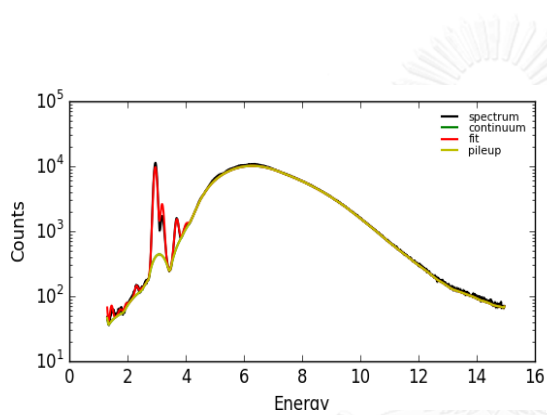
ภาพที่ ข.4 ตัวอย่างสเปกตรัมของ PM_{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ



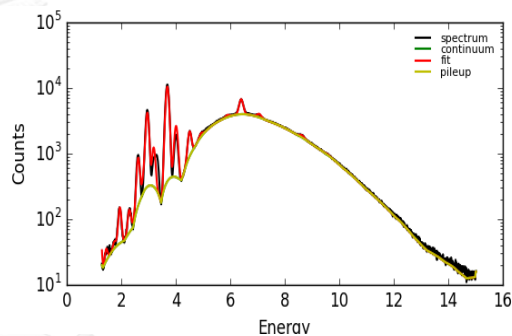
(ก) บนเตียง



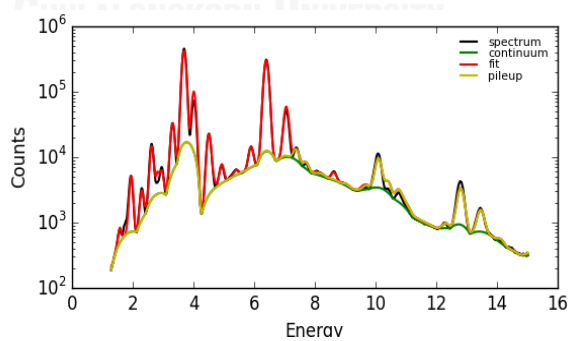
(ข) HEPA filter



(ค) return air



(ง) ทางเดิน



(จ) ระเบียง

ภาพที่ ข.5 ตัวอย่างสเปคตรัมของ $PM_{2.5-10}$ ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตให้ห้องแยกที่มีระบบความดันเป็นบวก



ตารางที่ ค.1 ความเข้มข้นโลหะของ PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษและระเบียงนอกอาคาร (ng/m³)

จุดเก็บ	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Pb
ระเบียง	59.46	0.14	10.84	2.22	144.54	0.19	1.75	2.49	42.80	0.15	0.09	0.14	N.D
ระเบียง	151.60	1.28	3.28	7.38	147.37	0.35	8.98	5.12	175.17	0.71	0.35	0.39	4.74
ระเบียง	23.21	0.36	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	25.58	N.D	N.D	0.00	0.95
ระเบียง	8.13	0.62	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.51	16.10	N.D	N.D	N.D	8.02
ระเบียง	5.71	0.64	0.97	N.D	15.67	N.D	2.37	1.22	22.05	N.D	N.D	0.72	0.74
ระเบียง	1.28	0.39	0.29	N.D	16.81	N.D	1.24	N.D	7.62	N.D	N.D	0.16	N.D
บนเตียง	11.58	0.81	5.45	6.15	131.05	0.20	1.04	6.86	88.83	0.84	0.37	0.52	0.65
บนเตียง	31.31	0.09	2.73	1.97	196.56	0.10	0.56	13.71	42.80	N.D	0.09	0.20	N.D
บนเตียง	18.90	N.D	N.D	1.77	7.50	0.10	12.81	1.03	80.85	N.D	0.08	0.13	N.D
บนเตียง	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
บนเตียง	N.D	0.00	3.94	N.D	N.D	N.D	2.86	N.D	N.D	N.D	N.D	0.03	N.D
บนเตียง	N.D	0.00	2.35	N.D	N.D	N.D	3.06	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
ช่องดูดอากาศ	36.86	0.00	0.45	1.88	24.44	0.12	0.98	0.91	65.20	N.D	0.10	0.19	N.D
ช่องดูดอากาศ	45.43	0.05	3.15	1.87	15.87	0.23	8.69	4.10	27.81	N.D	0.06	0.15	N.D
ช่องดูดอากาศ	56.60	0.06	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.16	8.06	N.D	N.D	0.08	N.D
ช่องดูดอากาศ	N.D	0.00	0.20	N.D	N.D	N.D	12.48	N.D	5.86	N.D	N.D	N.D	N.D
ช่องดูดอากาศ	N.D	0.03	3.29	N.D	N.D	N.D	2.70	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
ช่องดูดอากาศ	N.D	N.D	N.D	N.D	3.95	0.27	N.D	N.D	1.07	N.D	N.D	N.D	1.51
HEPA	28.98	0.01	3.99	1.55	47.60	0.14	0.76	0.62	31.68	0.07	0.19	0.32	0.30
HEPA	120.96	0.08	N.D	1.50	69.67	0.14	3.04	2.31	131.53	0.07	0.19	0.11	0.30
HEPA	75.12	0.06	0.50	2.97	59.78	0.14	0.79	1.13	59.41	0.07	0.09	0.20	0.30
HEPA	N.D	0.01	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.14	0.02	0.07	0.01	0.02	0.30
HEPA	N.D	N.D	1.97	N.D	N.D	N.D	2.64	0.14	0.02	0.07	0.01	0.02	0.30
HEPA	N.D	N.D	N.D	N.D	8.15	0.27	0.34	0.14	0.02	0.07	0.01	0.02	0.38
return air	37.27	0.07	19.80	1.92	151.02	0.24	6.93	1.28	36.08	0.21	0.03	0.22	N.D
return air	45.91	0.07	27.18	2.95	124.55	0.38	15.72	1.86	46.43	N.D	0.04	0.23	N.D
return air	28.43	0.16	10.03	N.D	N.D	N.D	0.75	0.50	43.19	N.D	N.D	N.D	5.25
return air	N.D	N.D	4.10	N.D	N.D	N.D	1.72	N.D	5.54	N.D	N.D	N.D	N.D
return air	N.D	N.D	0.49	N.D	N.D	N.D	1.26	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
return air	N.D	N.D	N.D	N.D	5.60	0.25	N.D	N.D	11.43	N.D	N.D	N.D	0.34

ตารางที่ ค.2 ความเข้มข้นโลหะของ PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตใน
ห้องแยกที่มีระบบความดันลบและระเบียงนอกรอาคาร (ng/m³)

จุดเก็บ	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Pb
ระเบียง	63.90	0.72	3.92	0.87	52.90	N.D	3.09	0.59	62.07	N.D	0.87	0.13	16.66
ระเบียง	40.57	0.84	3.99	N.D	48.26	N.D	3.26	0.24	30.02	N.D	N.D	0.06	5.64
ระเบียง	12.97	0.25	0.64	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	8.00	N.D	N.D	N.D	N.D
ระเบียง	97.55	1.09	29.63	9.08	197.66	N.D	18.60	4.54	53.40	0.73	0.42	0.81	2.64
ระเบียง	86.96	4.85	1.39	9.47	161.38	N.D	4.86	9.70	139.40	3.00	0.67	3.32	30.25
ระเบียง	145.00	2.95	3.48	7.88	166.41	N.D	10.20	7.05	150.86	2.03	0.59	1.30	9.19
บนเตียง	13.81	0.05	3.52	N.D	N.D	N.D	2.71	N.D	13.70	N.D	N.D	N.D	N.D
บนเตียง	3.39	0.09	3.57	N.D	17.81	N.D	2.96	N.D	3.43	N.D	N.D	N.D	N.D
บนเตียง	N.D	0.04	2.22	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
บนเตียง	80.76	0.07	1.25	1.63	58.42	N.D	3.83	0.91	62.59	0.07	0.24	0.28	N.D
บนเตียง	2.40	N.D	N.D	1.61	13.92	N.D	1.88	N.D	39.25	0.03	0.08	0.16	N.D
บนเตียง	41.46	0.06	0.52	1.74	29.06	N.D	4.07	0.22	41.64	0.08	0.32	0.10	0.91
HEPA	16.44	0.10	2.51	N.D	N.D	N.D	2.38	N.D	38.31	N.D	N.D	N.D	N.D
HEPA	30.53	0.19	6.26	N.D	49.86	N.D	4.13	N.D	12.82	N.D	3.56	N.D	5.66
HEPA	9.04	0.06	N.D	N.D	28.11	N.D	N.D	6.17	12.01	N.D	N.D	N.D	1.00
HEPA	60.53	0.10	0.56	1.95	85.42	N.D	4.80	1.21	105.66	0.09	0.22	0.21	N.D
HEPA	12.40	0.04	N.D	1.84	30.40	N.D	6.00	0.57	17.44	0.09	0.15	4.34	N.D
HEPA	26.06	0.07	0.66	1.70	25.24	N.D	6.64	0.56	29.07	0.10	0.28	0.12	N.D
return air	18.26	0.12	2.91	N.D	16.52	0.06	3.60	N.D	45.66	N.D	N.D	N.D	N.D
return air	N.D	0.05	4.30	N.D	N.D	0.06	2.25	N.D	1.37	N.D	N.D	N.D	N.D
return air	N.D	0.06	N.D	N.D	7.78	0.06	N.D	N.D	12.67	N.D	N.D	N.D	N.D
return air	3.97	N.D	N.D	1.06	11.42	0.06	1.75	0.28	46.97	0.04	0.22	0.24	N.D
return air	26.71	0.11	12.41	3.92	57.16	0.06	5.85	3.30	63.84	0.09	0.41	1.46	N.D
return air	29.54	0.02	1.42	1.42	14.54	0.06	3.65	N.D	37.23	0.06	0.34	1.13	2.46
ทางเดิน	3.41	0.04	8.33	N.D	N.D	N.D	6.22	9.30	20.54	N.D	N.D	N.D	0.03
ทางเดิน	N.D	0.73	2.14	N.D	11.11	N.D	0.66	N.D	12.69	N.D	N.D	0.07	0.03
ทางเดิน	N.D	0.01	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.03
ทางเดิน	57.88	0.10	3.00	1.83	39.34	N.D	5.31	0.67	32.58	0.09	0.28	0.24	0.03
ทางเดิน	22.31	0.09	1.81	1.43	24.72	N.D	8.80	0.58	45.50	0.12	0.24	0.23	0.03
ทางเดิน	38.26	0.13	6.44	2.16	27.10	N.D	8.04	0.19	22.82	0.13	0.34	0.15	0.93

ตารางที่ ค.3 ความเข้มข้นโลหะของ PM_{2.5} ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตใน
ห้องแยกที่มีระบบความดันบวกและระบายอากาศ (ng/m³)

จุดเก็บ	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Pb
ระเบียง	144.59	1.00	N.D	1.57	N.D	N.D	N.D	4.57	52.51	N.D	N.D	0.18	9.08
ระเบียง	72.16	0.91	N.D	1.43	N.D	N.D	N.D	2.87	93.66	N.D	N.D	0.15	8.58
ระเบียง	152.58	1.18	5.38	3.43	N.D	0.18	11.63	3.98	92.05	N.D	N.D	0.21	2.60
ระเบียง	25.90	0.83	N.D	N.D	50.98	0.30	0.45	0.55	31.83	N.D	0.78	0.89	10.65
ระเบียง	N.D	0.47	N.D	N.D	N.D	0.30	0.67	N.D	2.70	N.D	N.D	0.03	1.38
ระเบียง	6.37	1.37	N.D	N.D	N.D	0.35	2.48	N.D	29.53	2.25	N.D	0.14	13.85
บนเตียง	12.53	0.04	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	10.44	N.D	N.D	N.D	N.D
บนเตียง	11.97	0.03	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1.65	9.81	N.D	N.D	N.D	N.D
บนเตียง	15.97	0.05	0.73	N.D	N.D	N.D	N.D	0.85	62.59	N.D	N.D	0.03	N.D
บนเตียง	N.D	N.D	N.D	N.D	6.21	0.25	N.D	N.D	1.40	N.D	N.D	N.D	1.97
บนเตียง	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.28	0.08	N.D	7.70	N.D	N.D	N.D	N.D
บนเตียง	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.31	0.20	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
HEPA	33.56	0.06	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.16	19.66	N.D	N.D	N.D	N.D
HEPA	23.37	0.13	2.77	N.D	N.D	N.D	N.D	2.35	23.87	N.D	N.D	N.D	N.D
HEPA	41.93	0.02	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	14.00	N.D	N.D	2.28	N.D
HEPA	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.26	N.D	N.D	8.42	N.D	N.D	N.D	N.D
HEPA	N.D	N.D	0.31	N.D	N.D	0.30	1.48	N.D	N.D	N.D	N.D	0.12	N.D
HEPA	20.88	N.D	N.D	N.D	19.88	0.44	4.18	N.D	27.23	N.D	N.D	N.D	0.65
return air	34.98	0.07	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	38.03	N.D	N.D	0.04	10.03
return air	233.48	0.11	1.19	2.15	N.D	N.D	N.D	1.07	81.81	N.D	N.D	N.D	N.D
return air	N.D	0.01	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1.51	8.14	N.D	N.D	0.10	N.D
return air	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.31	1.79	N.D	4.08	N.D	N.D	N.D	N.D
return air	N.D	N.D	N.D	N.D	3.73	0.28	N.D	3.53	3.37	N.D	N.D	N.D	0.44
return air	1.33	0.73	N.D	N.D	N.D	0.44	1.12	4.73	5.12	N.D	N.D	N.D	N.D
ทางเดิน	33.54	0.08	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1.91	19.11	N.D	N.D	N.D	N.D
ทางเดิน	46.54	0.06	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	9.56	N.D	N.D	N.D	N.D
ทางเดิน	N.D	0.01	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.20	N.D
ทางเดิน	N.D	0.02	N.D	N.D	N.D	0.28	0.66	N.D	4.87	N.D	N.D	N.D	4.76
ทางเดิน	N.D	N.D	N.D	1.32	7.70	0.25	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
ทางเดิน	8.39	0.02	N.D	N.D	8.53	0.34	3.28	N.D	4.91	N.D	N.D	N.D	1.63

ตารางที่ ค.5 ความเข้มข้นโลหะของ PM_{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตใน
ห้องแยกที่มีระบบความดันลบและระเบียงนอกรอาคาร (ng/m³)

จุดเก็บ	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Pb
ระเบียง	314.79	0.68	N.D.	3.57	N.D.	N.D.	N.D.	3.73	9.31	N.D.	N.D.	0.64	N.D.
ระเบียง	270.11	0.62	N.D.	3.02	N.D.	N.D.	N.D.	2.92	26.59	N.D.	N.D.	0.14	N.D.
ระเบียง	91.81	0.23	8.29	2.55	991.18	0.19	10.48	4.36	9.48	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
ระเบียง	417.74	1.21	1.04	14.52	464.45	0.26	12.25	9.73	56.50	0.43	0.49	0.90	4.00
ระเบียง	673.35	2.19	2.86	19.83	835.69	0.27	2.63	19.47	97.10	0.92	1.04	2.07	70.93
ระเบียง	320.92	1.17	0.50	10.10	394.95	0.14	4.96	8.32	78.64	0.42	0.46	0.57	N.D.
บนเตียง	4.67	N.D.	N.D.	0.47	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	76.29	N.D.	N.D.	0.24	N.D.
บนเตียง	N.D.	N.D.	N.D.	0.47	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	20.56	N.D.	N.D.	0.01	N.D.
บนเตียง	N.D.	N.D.	23.31	0.47	56.20	0.12	11.42	1.05	10.33	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
บนเตียง	235.97	N.D.	2.94	2.05	28.61	N.D.	2.65	1.70	13.66	0.05	0.64	0.28	4.23
บนเตียง	59.00	N.D.	N.D.	1.28	N.D.	N.D.	N.D.	0.33	N.D.	0.03	0.38	0.17	3.50
บนเตียง	0.81	N.D.	N.D.	1.59	18.79	N.D.	4.45	0.53	59.56	0.06	0.35	0.38	N.D.
HEPA	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
HEPA	59.35	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.14	52.54	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
HEPA	N.D.	N.D.	10.46	N.D.	38.84	0.06	7.23	N.D.	6.36	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
HEPA	220.52	N.D.	1.60	2.37	31.48	0.05	8.51	2.22	8.73	0.05	0.58	0.28	N.D.
HEPA	28.43	N.D.	N.D.	1.88	5.16	N.D.	4.39	2.40	215.80	0.08	0.53	0.15	N.D.
HEPA	9.13	N.D.	N.D.	1.83	1.65	N.D.	7.31	1.25	74.06	0.08	0.45	1.06	N.D.
return air	1.37	N.D.	2.16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4.74	N.D.	N.D.	0.23	N.D.
return air	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.12	32.79	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
return air	N.D.	N.D.	0.56	N.D.	N.D.	0.04	5.45	N.D.	2.22	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
return air	165.37	N.D.	N.D.	2.56	47.99	N.D.	1.05	1.35	67.10	0.06	0.46	0.24	2.87
return air	154.95	N.D.	N.D.	1.65	37.75	N.D.	0.86	1.38	41.27	0.07	0.64	0.40	1.66
return air	16.30	N.D.	N.D.	1.63	21.41	0.34	3.44	1.69	83.60	0.09	0.46	1.10	N.D.
ทางเดิน	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.74	11.39	N.D.	N.D.	0.49	N.D.
ทางเดิน	N.D.	N.D.	3.74	N.D.	15.15	0.28	8.40	1.42	10.74	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
ทางเดิน	N.D.	N.D.	2.56	N.D.	N.D.	0.08	8.02	N.D.	14.27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
ทางเดิน	124.45	N.D.	N.D.	1.72	32.06	N.D.	1.38	1.04	19.86	0.05	0.42	0.22	0.33
ทางเดิน	70.23	N.D.	N.D.	1.52	1.83	N.D.	0.94	2.27	4.96	0.05	0.53	0.22	N.D.
ทางเดิน	11.30	N.D.	0.30	1.77	11.61	N.D.	6.67	3.18	60.75	0.06	0.42	0.78	N.D.

ตารางที่ ค.6 ความเข้มข้นโลหะของ PM_{2.5-10} ภายในห้องพักผู้ป่วยกุมารเวชกรรมวิกฤตใน
ห้องแยกที่มีระบบความดันบวกและระบายอากาศ

จุดเก็บ	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Pb
ระเบียง	301.65	0.67	1.18	3.01	N.D.	N.D.	N.D.	2.21	N.D.	N.D.	N.D.	0.22	N.D.
ระเบียง	473.47	1.23	N.D.	6.36	N.D.	N.D.	N.D.	2.46	24.74	N.D.	N.D.	0.15	N.D.
ระเบียง	182.44	0.51	N.D.	1.45	N.D.	N.D.	N.D.	6.26	11.14	N.D.	N.D.	0.03	N.D.
ระเบียง	227.92	0.70	N.D.	1.81	265.78	0.54	5.85	N.D.	N.D.	0.55	0.78	0.90	N.D.
ระเบียง	N.D.	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	0.34	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
ระเบียง	60.91	0.49	N.D.	N.D.	130.59	0.39	N.D.	0.79	23.78	N.D.	N.D.	N.D.	4.70
บนเตียง	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
บนเตียง	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.09	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
บนเตียง	N.D.	0.63	98.75	N.D.	N.D.	0.17	14.77	1.95	28.00	N.D.	0.14	0.04	1.50
บนเตียง	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.45	8.87	N.D.	30.34	N.D.	N.D.	N.D.	4.03
บนเตียง	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.37	0.55	N.D.	13.83	N.D.	0.27	N.D.	2.50
บนเตียง	N.D.	N.D.	4.71	N.D.	N.D.	0.42	4.27	N.D.	12.76	N.D.	N.D.	N.D.	4.39
HEPA	5.60	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.77	1.78	N.D.	N.D.	0.09	N.D.
HEPA	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.16	N.D.	N.D.	N.D.	0.03	N.D.
HEPA	N.D.	N.D.	0.21	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.56	N.D.	N.D.	0.03	N.D.
HEPA	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	35.67	0.44	5.33	3.61	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
HEPA	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.37	2.00	N.D.	39.53	N.D.	N.D.	N.D.	1.35
HEPA	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.32	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
return air	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
return air	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.68	33.48	6.81	43.15	N.D.	N.D.	0.04	N.D.
return air	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.28	24.69	N.D.	N.D.	0.03	N.D.
return air	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.58	5.12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
return air	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.45	5.45	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
return air	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	30.23	0.32	N.D.	N.D.	39.13	N.D.	N.D.	N.D.	1.15
ทางเดิน	10.86	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
ทางเดิน	12.86	0.08	N.D.	N.D.	20.97	N.D.	N.D.	2.30	2.07	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
ทางเดิน	1.39	0.26	3.18	1.89	N.D.	N.D.	N.D.	1.03	21.84	N.D.	N.D.	0.22	N.D.
ทางเดิน	N.D.	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	0.44	5.18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
ทางเดิน	N.D.	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	0.34	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.12
ทางเดิน	N.D.	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	0.33	N.D.	N.D.	16.67	N.D.	N.D.	N.D.	8.06

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างผลการคำนวณทางสถิติ โดย SPSS statistics version 22



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.1 การทดสอบทางสถิติโดยใช้ Pearson's correlation ของความเข้มข้น PM_{2.5} ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
บนเตียง	1.2667	1.28087	6
ช่องดูดอากาศ	3.2717	3.84566	6
HEPA	2.2017	1.65241	6
return	1.2433	1.32589	6
ระเบียง	21.2050	3.71737	6

Correlations

		บนเตียง	ช่องดูดอากาศ	HEPA	return	ระเบียง
บนเตียง	Pearson Correlation	1	.527	.108	.768	-.811
	Sig. (2-tailed)		.282	.838	.074	.050
	N	6	6	6	6	6
ช่องดูดอากาศ	Pearson Correlation	.527	1	.496	.924**	-.656
	Sig. (2-tailed)	.282		.317	.008	.157
	N	6	6	6	6	6
HEPA	Pearson Correlation	.108	.496	1	.539	-.238
	Sig. (2-tailed)	.838	.317		.270	.649
	N	6	6	6	6	6
return	Pearson Correlation	.768	.924**	.539	1	-.775
	Sig. (2-tailed)	.074	.008	.270		.070
	N	6	6	6	6	6
ระเบียง	Pearson Correlation	-.811	-.656	-.238	-.775	1
	Sig. (2-tailed)	.050	.157	.649	.070	
	N	6	6	6	6	6

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

ตารางที่ ข.2 การทดสอบทางสถิติโดยใช้ Pearson's correlation ของความเข้มข้น $PM_{2.5-10}$ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
บนเตียง	3.8583	.63506	6
ช่องดูดอากาศ	2.7367	.78334	6
HEPA	5.0383	3.32333	6
return	4.2300	.70379	6
ระเบียง	20.5450	3.80363	6



Correlations

		บนเตียง	ช่องดูดอากาศ	HEPA	return	ระเบียง
บนเตียง	Pearson Correlation	1	.592	.061	-.245	.498
	Sig. (2-tailed)		.216	.908	.640	.315
	N	6	6	6	6	6
ช่องดูดอากาศ	Pearson Correlation	.592	1	-.399	.260	.574
	Sig. (2-tailed)	.216		.433	.619	.233
	N	6	6	6	6	6
HEPA	Pearson Correlation	.061	-.399	1	-.447	.268
	Sig. (2-tailed)	.908	.433		.374	.607
	N	6	6	6	6	6
return	Pearson Correlation	-.245	.260	-.447	1	-.079
	Sig. (2-tailed)	.640	.619	.374		.882
	N	6	6	6	6	6
ระเบียง	Pearson Correlation	.498	.574	.268	-.079	1
	Sig. (2-tailed)	.315	.233	.607	.882	
	N	6	6	6	6	6

ตารางที่ ข.3 การทดสอบทางสถิติโดยใช้ Pearson's correlation ของความเข้มข้น PM₁₀ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
บนเตียง	5.1250	1.23856	6
ช่องดูดอากาศ	6.1367	3.77073	6
HEPA	7.2400	4.51412	6
return	5.4733	1.51948	6
ระเบียง	41.7500	6.15565	6



Correlations

		บนเตียง	ช่องดูดอากาศ	HEPA	return	ระเบียง
บนเตียง	Pearson Correlation	1	.509	.211	.762	-.265
	Sig. (2-tailed)		.302	.689	.078	.612
	N	6	6	6	6	6
ช่องดูดอากาศ	Pearson Correlation	.509	1	.865*	.625	-.081
	Sig. (2-tailed)	.302		.026	.184	.878
	N	6	6	6	6	6
HEPA	Pearson Correlation	.211	.865*	1	.497	-.190
	Sig. (2-tailed)	.689	.026		.316	.718
	N	6	6	6	6	6
return	Pearson Correlation	.762	.625	.497	1	-.414
	Sig. (2-tailed)	.078	.184	.316		.414
	N	6	6	6	6	6
ระเบียง	Pearson Correlation	-.265	-.081	-.190	-.414	1
	Sig. (2-tailed)	.612	.878	.718	.414	
	N	6	6	6	6	6

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

ตารางที่ ข.4 การทดสอบทางสถิติโดยใช้ One Way ANOVA ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องระบบความดันลบ

	จุดเก็บตัวอย่าง	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
ความเข้มข้น	บนเตียง	.193	6	.200*	.937	6	.639
	HEPA	.194	6	.200*	.932	6	.593
	return	.213	6	.200*	.914	6	.464
	ทางเดิน	.184	6	.200*	.975	6	.925

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
บนเตียง	6	2.3667	1.66937	.68152	.6148	4.1186	.00	4.34
HEPA	6	3.0517	1.42968	.58366	1.5513	4.5520	1.53	5.48
return	6	2.0300	1.12171	.45794	.8528	3.2072	.49	3.34
ทางเดิน	6	4.0800	.59980	.24487	3.4505	4.7095	3.12	4.93
Total	24	2.8821	1.42915	.29172	2.2786	3.4856	.00	5.48

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ความเข้มข้น

LSD

(I) จุดเก็บตัวอย่าง	(J) จุดเก็บตัวอย่าง	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
บนเตียง	HEPA	-.68500	.73307	.361	-2.2142	.8442
	return	.33667	.73307	.651	-1.1925	1.8658
	ทางเดิน	-1.71333*	.73307	.030	-3.2425	-.1842
HEPA	บนเตียง	.68500	.73307	.361	-.8442	2.2142
	return	1.02167	.73307	.179	-.5075	2.5508
	ทางเดิน	-1.02833	.73307	.176	-2.5575	.5008
return	บนเตียง	-.33667	.73307	.651	-1.8658	1.1925
	HEPA	-1.02167	.73307	.179	-2.5508	.5075
	ทางเดิน	-2.05000*	.73307	.011	-3.5792	-.5208
ทางเดิน	บนเตียง	1.71333*	.73307	.030	.1842	3.2425
	HEPA	1.02833	.73307	.176	-.5008	2.5575
	return	2.05000*	.73307	.011	.5208	3.5792

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ข.5 การทดสอบทางสถิติโดยใช้ One Way ANOVA ของความเข้มข้น PM_{2.5-10} ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องระบบความดันลบ

Tests of Normality

	จุดเก็บตัวอย่าง	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
ความเข้มข้น	บนเตียง	.203	6	.200 [*]	.936	6	.628
	HEPA	.143	6	.200 [*]	.986	6	.978
	return	.205	6	.200 [*]	.915	6	.472
	ทางเดิน	.284	6	.141	.922	6	.517

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					บนเตียง	6		
HEPA	6	5.3200	1.55677	.63555	3.6863	6.9537	3.06	7.45
return	6	5.3400	2.09616	.85575	3.1402	7.5398	2.28	7.48
ทางเดิน	6	6.0567	2.39581	.97809	3.5424	8.5709	3.02	9.98
Total	24	5.5396	2.00284	.40883	4.6939	6.3853	1.59	9.98

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ความเข้มข้น

LSD

(I) จุดเก็บตัวอย่าง	(J) จุดเก็บตัวอย่าง	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
บนเตียง	HEPA	.12167	1.22523	.922	-2.4341	2.6774
	return	.10167	1.22523	.935	-2.4541	2.6574
	ทางเดิน	-.61500	1.22523	.621	-3.1708	1.9408
HEPA	บนเตียง	-.12167	1.22523	.922	-2.6774	2.4341
	return	-.02000	1.22523	.987	-2.5758	2.5358
	ทางเดิน	-.73667	1.22523	.554	-3.2924	1.8191
return	บนเตียง	-.10167	1.22523	.935	-2.6574	2.4541
	HEPA	.02000	1.22523	.987	-2.5358	2.5758
	ทางเดิน	-.71667	1.22523	.565	-3.2724	1.8391
ทางเดิน	บนเตียง	.61500	1.22523	.621	-1.9408	3.1708
	HEPA	.73667	1.22523	.554	-1.8191	3.2924
	return	.71667	1.22523	.565	-1.8391	3.2724

ตารางที่ ข.6 การทดสอบทางสถิติโดยใช้ One Way ANOVA ของความเข้มข้น PM₁₀ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องระบบความดันลบ

	จุดเก็บตัวอย่าง	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
ความเข้มข้น	บนเตียง	.194	6	.200 [*]	.915	6	.472
	HEPA	.262	6	.200 [*]	.837	6	.124
	return	.147	6	.200 [*]	.974	6	.920
	ทางเดิน	.171	6	.200 [*]	.973	6	.912

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					บนเตียง	6		
HEPA	6	8.3700	2.46638	1.00690	5.7817	10.9583	6.28	12.00
return	6	7.3700	2.39286	.97688	4.8589	9.8811	4.44	10.82
ทางเดิน	6	10.1350	2.49620	1.01907	7.5154	12.7546	7.01	14.21
Total	24	8.4208	2.77453	.56635	7.2493	9.5924	3.96	14.21

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ความเข้มข้น

LSD

(I) จุดเก็บตัวอย่าง	(J) จุดเก็บตัวอย่าง	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
บนเตียง	HEPA	-.56167	1.58394	.727	-3.8657	2.7424
	return	.43833	1.58394	.785	-2.8657	3.7424
	ทางเดิน	-2.32667	1.58394	.157	-5.6307	.9774
HEPA	บนเตียง	.56167	1.58394	.727	-2.7424	3.8657
	return	1.00000	1.58394	.535	-2.3040	4.3040
	ทางเดิน	-1.76500	1.58394	.278	-5.0690	1.5390
return	บนเตียง	-.43833	1.58394	.785	-3.7424	2.8657
	HEPA	-1.00000	1.58394	.535	-4.3040	2.3040
	ทางเดิน	-2.76500	1.58394	.096	-6.0690	.5390
ทางเดิน	บนเตียง	2.32667	1.58394	.157	-.9774	5.6307
	HEPA	1.76500	1.58394	.278	-1.5390	5.0690
	return	2.76500	1.58394	.096	-.5390	6.0690

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวแสงสุรีย์ ศรีสะอาด สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (เกียรตินิยมอันดับ 2) จากภาควิชาเคมี สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทบัณฑิต ในหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

การเผยแพร่ผลงาน

นำเสนอผลงานเรื่อง "ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 และ 10 ไมครอน ภายในห้องพักผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาล" ในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 40 (The 40th National Graduate Research Conference) ระหว่างวันที่ 20-21 ตุลาคม 2559 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา