การศึกษารูปแบบการจัดการมลภาวะอากาศภายในอาคารในพื้นที่เขตเมือง กรณีศึกษา อาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย และ หน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ

ปรียนิตย์ ใหม่เจริญศรี[1], ศิริลักษ์ กลิ่นมาลี[2], สุนิสา แวงชัยภูมิ[3]

(วันที่รับบทความ: 29 พฤษภาคม 2567, วันที่แก้ไข: 19 สิงหาคม 2567, วันที่ตอบรับ 19 สิงหาคม 2567)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาข้อมูลมลภาวะอากาศภายในอาคาร ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลภาวะอากาศภายในอาคาร 2) พัฒนารูปแบบและแนวทางการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคารที่เหมาะสม ในอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัยและหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ (ขนาดเล็ก) ในพื้นที่เขตเมือง จังหวัดลำปางและจังหวัดระยอง รวมจำนวน 20 แห่ง

ผลการศึกษา การตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์ การเคลื่อนที่ของอากาศ อนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) อนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซโอโซน (O_3) ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ (CH_2O) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) เชื้อแบคทีเรียรวม และเชื้อราราวม พบว่า อาคารทุกแห่งมีปริมาณ PM2.5 และ PM10 สูงเกินมาตรฐาน ส่วน CO_2 ในอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัยและหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ สูงเกินมาตรฐาน 1 และ 2 แห่ง ตามลำดับ อาคาร เชื้อแบคทีเรียรวมสูงเกินมาตรฐาน 8 และ 4 แห่ง ตามลำดับ และเชื้อราราวมสูงเกินมาตรฐาน 4 และ 3 แห่ง ตามลำดับ ผลการพัฒนารูปแบบการจัดการคุณภาพอากาศ โดยสร้างห้องปลอดฝุ่นความดันบวกด้วยการคำนวณปริมาตรห้องและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเพื่อนำมาออกแบบขนาดเครื่องฟอกอากาศและเครื่องเติมอากาศที่เหมาะสมสำหรับแต่ละห้อง พบว่า ปริมาณ PM2.5 และ PM10 รวมถึงพารามิเตอร์อื่นๆ ลดลงจนถึงระดับที่เป็นไปตามเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร กรมอนามัย ปี 2559[(1)] และมาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร ของสิงคโปร์[(2)] แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคารโดยการสร้างห้องปลอดฝุ่นที่จำเพาะกับปัญหาและลักษณะของอาคารที่มีประสิทธิภาพ ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปสร้างเป็นกรณีตัวอย่างสำหรับอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัยและหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิอื่นที่มีปัญหาคุณภาพอากาศ ให้สามารถจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคารได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะเป็นผลดีต่อสุขภาพของผู้ที่อาศัยภายในอาคารด้วย

คำสำคัญ : มลพิษอากาศภายในอาคาร; การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ; ศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย; หน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ

[1]นักวิชาการสาธารณสุขชำนาญการพิเศษ, [2-3] นักวิชาการสาธารณสุขชำนาญการปฏิบัติการ

[1-2]สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย, [3] โรงพยาบาลนพรัตนราชธานี กรมการแพทย์

Corresponding author: ปรียนิตย์ ใหม่เจริญศรี, e-mail: preyanit.m@gmail.com

Study of the management model for air pollutant in public buildings in urban area; case study: Child Development Center and Primary Health Care

Preyanit Maijaroensri[1], Sirilak Klinmalee[2], Sunisa Wangchaiyaphum[3]

(Received 29th May 2024; Revised : 19th August 2024; Accepted 19th August 2024)

Abstract

This study aimed 1) to study the indoor air quality, health risk due to exposure to indoor air pollutants and 2) to develop the model and guideline controlling indoor air quality in a total of 20 Child Development Center and Primary Health Care in the urban area of Lampang and Rayong Provinces.

The results of monitoring indoor air parameters, including temperature, relative humidity, air movement, particulate matter with diameter of less than 2.5 micron (PM2.5), particulate matter with diameter of less than 10 micron (PM10), carbon dioxide (CO_2), carbon monoxide (CO), ozone (O_3), formaldehyde (CH_2O), volatile organic compounds (VOCs), and total bacteria and total fungi counts, found that PM 2.5 and PM10 concentrations in all building were higher than indoor air quality standard. Carbon dioxide concentrations were found higher than the recommended level, particularly in child development center and 2 primary health care buildings. Total bacteria counts were found higher than the recommended level, particularly 8 child development centers and 4 primary health care buildings. Total fungi counts were found higher than the recommended level, particularly in 4 child development centers and 3 primary health care buildings. Model of Indoor air quality management by creating positive pressure cleanroom according to the calculation of total airflow and air exchanging rate was used to design the size of air purifier and replenishment system, specifically to the room. After implementation, it was found that, PM2.5 and PM10 concentrations and other parameters were reduced to the recommended levels[(1)] and Indoor Air Quality Standard in Singapore.[(2)] This indicated the effectiveness of the developed indoor air quality management model of this study. This model can be used as the successful study case for other child development centers and primary health care and leads to positive impact for building occupant's health.

Keywords : indoor air quality, health risk assessment, child development center, primary health care.

[1]Public Health Technical Officer, Senior Professional Level, [2-3]Public Health Technical Officer, Practitioner Level [1-2]Bureau of Environmental Health, Department of anamai, [3]Nopparat Rajathanee Hospital, Department of medical services

Corresponding author : Preyanit Maijaroensri e-mail : preyanit.m@gmail.com

บทนำ

สถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทย ในปี 2564 โดยภาพรวมดีขึ้นกว่าปีที่ผ่านมา แต่ยังพบค่าฝุ่นละออง PM2.5 PM10 ก๊าซโอโซน เกินค่ามาตรฐานในหลายพื้นที่ พบค่าดัชนีคุณภาพอากาศเกินเกณฑ์มาตรฐาน มากที่สุด 5 ลำดับแรก ได้แก่ สระบุรี พิษณุโลก กรุงเทพมหานคร สมุทรสงคราม และลำปาง นอกจากนี้ พบสารเบนซีน 1,3 - บิวทาไดอีน 1,2 ไดคลอโรอีเธน และคลอโรฟอร์ม มีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานในบางพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่ริมถนน และรอบพื้นที่อุตสาหกรรมจังหวัดระยอง[3] ด้านปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น องค์การอนามัยโลก เปิดเผยว่า ร้อยละ 30 ของอาคารทั่วโลกอาจมีปัญหาด้านคุณภาพอากาศและมีปริมาณสารมลพิษทางอากาศสูงกว่าภายนอกอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลภาวะอากาศในพื้นที่เขตเมือง เนื่องจากการใช้พื้นที่ กิจกรรมภายในเมือง มลพิษทางอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร เช่น อาคารที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมลพิษ ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น โรงงานอุตสาหกรรม และอื่นๆ และจากแหล่งกำเนิดภายในอาคารเอง เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร สารเคมี เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น ทั้งนี้ แหล่งที่มาของสารมลพิษทางอากาศภายในอาคารมีแหล่งที่แตกต่างกัน ปริมาณสารมลพิษทางอากาศขึ้นอยู่กับวัสดุและเชื้อเพลิงที่ใช้ รวมถึงลักษณะของกิจกรรมของมนุษย์ และอาจเกิดจากการระบายอากาศที่ไม่ดี และการออกแบบที่ไม่ดี[4-6] ซึ่งหากการจัดการอาคารที่ไม่เหมาะสม การระบายอากาศไม่ดี มลพิษทางอากาศเกิดการสะสมมีปริมาณสูงขึ้น และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนได้ จากข้อมูลพบผู้เจ็บป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจมากขึ้นทุกปี ในปี 2563-2564 พบอัตราป่วย 4,193 และ 4,205 ต่อแสนประชากร ตามลำดับ (กองยุทธศาสตร์และแผนงาน กระทรวงสาธารณสุข, 2565) และหากอาคารดังกล่าวเป็นอาคารสาธารณะที่มีผู้ใช้งานเป็นกลุ่มอ่อนไหว ได้แก่ เด็กเล็ก ผู้ป่วย รวมถึงมีการอยู่รวมกันภายในอาคารจำนวนมาก เช่น ศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย สถานรับเลี้ยงเด็ก สถานบริการสาธารณสุข เป็นต้น สารมลพิษทางอากาศเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพแก่ผู้ที่ได้รับสัมผัสมากขึ้น ทั้งนี้ ผลกระทบที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันไปตามชนิดและปริมาณของสารมลพิษ และลักษณะสุขภาพของผู้ที่ได้รับสัมผัส การศึกษานี้ จึงมุ่งที่จะศึกษามลภาวะอากาศภายในอาคาร ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัส และการพัฒนารูปแบบการจัดการมลภาวะอากาศภายในอาคารสาธารณะในพื้นที่เขตเมือง โดยมุ่งเน้นที่อาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย และหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ (ขนาดเล็ก) ในพื้นที่จังหวัดลำปางและระยอง เนื่องจากเป็นจังหวัดที่พบปัญหาคุณภาพอากาศสูง เพื่อพัฒนาแนวทางการจัดการมลภาวะอากาศ ภายในอาคารที่เหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์การศึกษา

1. เพื่อศึกษาข้อมูลมลภาวะอากาศภายในอาคาร ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลภาวะอากาศภายในอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย และหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ (ขนาดเล็ก)

2. เพื่อพัฒนารูปแบบและแนวทางการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคารที่เหมาะสมสำหรับอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย และหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ (ขนาดเล็ก)

นิยามศัพท์เฉพาะ

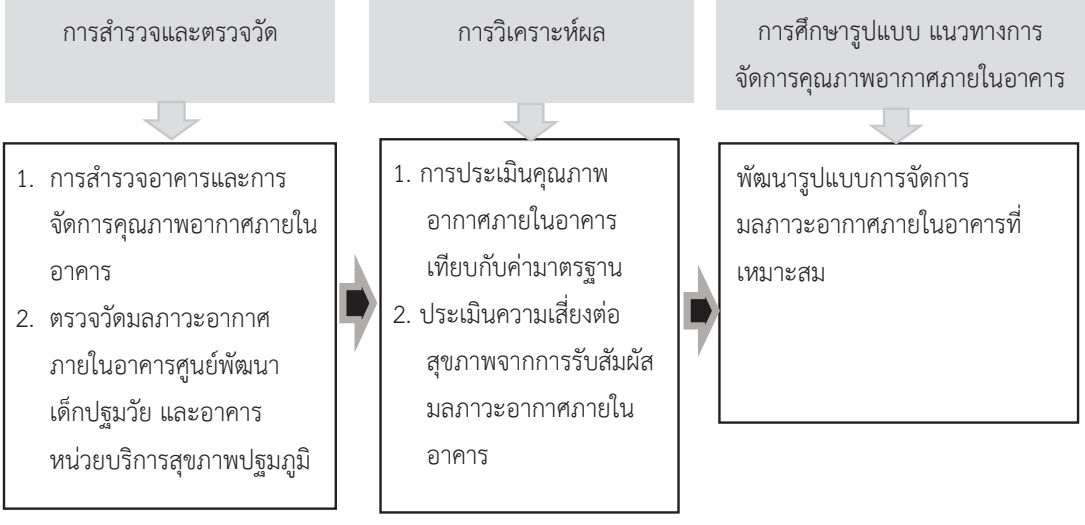
1. ศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย หมายถึง สถานพัฒนาเด็กปฐมวัย หรือ สถานรับเลี้ยงเด็ก

2. หน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ (ขนาดเล็ก) หมายถึง โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล หรือ ศูนย์บริการสาธารณสุข

กรอบแนวคิดการวิจัย

สมมุติฐานงานวิจัย

มลภาวะอากาศภายในอาคาร มีผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลภาวะอากาศภายในอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัยและหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ หากมีรูปแบบและแนวทางการจัดการเพื่อลดปริมาณมลภาวะอากาศภายในอาคารที่เหมาะสม จะทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัยและหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิที่ดี



วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการการศึกษา การศึกษานี้ เป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1) กลุ่มตัวอย่างสำหรับเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศภายในอาคาร ประกอบด้วยอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัยและหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ (ขนาดเล็ก) ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ของจังหวัดลำปางและระยอง จังหวัดละ 5 แห่งของแต่ละประเภทอาคาร รวมอาคารทั้งสิ้น 20 แห่ง โดยใช้เกณฑ์การคัดเลือก คือ อาคารที่ตั้งเขตเมือง อยู่จุดใกล้ถนนหรือที่มีการจราจรหนาแน่น อาคารที่เปิดดำเนินการแล้ว 2 ปีขึ้นไป และยินดีให้เข้าไปเก็บข้อมูล

2) กลุ่มผู้ใช้อาคาร ได้แก่ ครูพี่เลี้ยงเด็ก และเจ้าหน้าที่หน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ สำหรับประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการ

รับสัมผัสมลภาวะอากาศภายในอาคารของผู้ใช้อาคาร โดยเกณฑ์คัดเข้า คือ เป็นผู้ใช้อาคารที่ได้รับสัมผัสมลภาวะอากาศภายในอาคาร และอยู่ในอาคารดังกล่าวไม่น้อยกว่า 6 เดือน และยินดีให้ข้อมูล

ช่วงเวลาดำเนินการ ระหว่างมกราคม 2564 - กรกฎาคม 2565

เครื่องมือ วิธีการ และการวิเคราะห์ ประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลมลภาวะอากาศภายในอาคาร ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลภาวะอากาศภายในอาคาร ศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย และหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ

1. การสำรวจอาคาร ประกอบด้วย ข้อมูลจำนวนผู้ใช้อาคาร ขนาดของห้อง พื้นที่ช่องเปิด ประตู หน้าต่าง สภาพแวดล้อม การดูแลและบำรุงรักษาระบบการจัดการคุณภาพอากาศและแหล่งมลพิษทางอากาศในอาคาร

2. การตรวจวัดมลภาวะอากาศภายในอาคาร ทำการตรวจวัด จำนวน 2 รอบ ได้แก่

1) การตรวจวัดเบื้องต้น ใช้เวลาตรวจวัด 15 นาที เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการคัดเลือกห้องที่จะดำเนินการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดโดยละเอียด พารามิเตอร์ในการตรวจวัด ได้แก่ $PM_{2.5}$ PM_{10} CO CO_2

2) การตรวจวัดโดยละเอียดเฉพาะในห้องที่มีแนวโน้มการเกิดปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร และเป็นห้องที่มีเด็กหรือเจ้าหน้าที่ใช้งานเป็นประจำ ใช้เวลาตรวจวัด 8 ชั่วโมง โดยอาคารแต่ละแห่ง ทำการตรวจวัด จำนวน 2 ห้อง พารามิเตอร์ในการตรวจวัด ประกอบด้วย ภาวะสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การเคลื่อนที่ของอากาศ และมลพิษทางอากาศภายในอาคาร (Indoor air pollution) ได้แก่ $PM_{2.5}$ PM_{10} CO_2 CO O_3 CH_2O TVOCs เชื้อแบคทีเรียรวม เชื้อราราวม

เครื่องมือและวิธีการการตรวจวัด การตรวจวัดและเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศ ได้ดำเนินการตามวิธีที่กำหนดไว้ตามข้อแนะนำของกรมอนามัยและมาตรฐานของสิงคโปร์ (Singapore Standard SS 554: 2016:2021 (Code of Practice for Indoor Air Quality for Air Conditioned buildings)) [(2)] ดังนี้

- การตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วในการไหลของอากาศ โดยใช้เครื่องวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร Q-Trak TSI 7545 ตรวจวัด 5 นาที

- การตรวจวัด $PM_{2.5}$ PM_{10} โดยใช้เครื่อง Met One model Aerocet 531S, CO CO_2 โดยเครื่อง Q-Trak TSI 7545, O_3 โดยเครื่อง AeroQual Model S500 ใช้ sensor วัดโอโซน, CH_2O โดยใช้เครื่อง Formaldemeter htV, TVOCs โดยเครื่อง MiniRAE วัดแบบ Grab Sampling ตรวจวัด 8 ชั่วโมง

- การเก็บตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียรวมและเชื้อราราวม การเก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้เครื่องดูดอากาศ Air-sampler System AESAP 1075 Sample air Lite ผ่านอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยอัตราความเร็วของอากาศ เท่ากับ 1 ft^3/min เป็นเวลา 5 นาที และนำไปเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการเพื่อแยกเชื้อต่อไป

3. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องจากการรับสัมผัสมลภาวะอากาศในอาคาร

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health risk assessment) โดยคำนวณจากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ) จากการสัมผัสกับสารมลพิษทางอากาศจากการหายใจ[7,8] ดังสมการ

$$HQ = \frac{ADD}{RfD}$$

เมื่อ HQ คือ ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient)
ADD คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่วัน (mg/kg-day)[9]
RfD คือ Inhalation Reference Dose หรือค่ามาตรฐานกำหนด (mg/kg-day)[10]

โดยที่ค่า HQ <1.0 แสดงว่า ภาวะยอมรับได้ในความเสี่ยงต่อสุขภาพ และ HQ >1.0 แสดงว่า มีความภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพ

ค่าดัชนีอันตรายต่อสุขภาพรวม หรือ Hazard Index (HI) คือ ความเสี่ยงรวมของผลกระทบทางสุขภาพแบบเรื้อรัง ซึ่งเป็นผลรวมของค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) ของสารมลพิษทางอากาศแต่ละชนิด ได้แก่ CO_2 CO TVOCs PM10 PM2.5 โดยที่ค่า HI <1.0 แสดงว่า ภาวะยอมรับได้ในความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ และ HI >1.0 แสดงว่า มีความภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์

$$HI = \sum HQ = HQ_{CO_2} + HQ_{CO} + HQ_{TVOCs} + HQ_{PM_{10}} + HQ_{PM_{2.5}}$$

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> การศึกษารูปแบบการจัดการมลภาวะอากาศภายในอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัยและหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิที่เหมาะสม โดยคัดเลือกอาคารจากขั้นตอนที่ 1 เป็นอาคารที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดมลภาวะอากาศภายในอาคาร และผู้บริหารหรือเจ้าของอาคารยินยอมให้ดำเนินการ จังหวัดละ 2 อาคาร รวมทั้งสิ้น 4 แห่ง มาพัฒนารูปแบบการจัดการมลภาวะอากาศภายในอาคาร โดยใช้หลักการจัดการแหล่งกำเนิดมลภาวะ การระบายอากาศเฉพาะจุด การใช้อากาศสะอาดมาแทนที่อากาศที่ปนเปื้อนภายในอาคาร และการใช้ระบบกรองอากาศ จากนั้นประเมินประสิทธิภาพ โดยการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดมลภาวะอากาศภายในอาคารก่อน-หลัง เป็นไปตาม (ร่าง) ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะ กรมอนามัย ปี 2559

ผลการศึกษา

1. การศึกษามลภาวะอากาศภายในอาคาร ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลภาวะอากาศภายในอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย และหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ

1.1 ผลการศึกษามลภาวะอากาศภายในอาคาร

1) อาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย จังหวัดลำปาง พบว่า ผลการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของอากาศ มีค่าเฉลี่ย 0.13±0.07 m/s ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าเฉลี่ย 58.9±11.4 และอุณหภูมิ ค่าเฉลี่ย 27.7±2.5 °C ส่วนมลภาวะอากาศภายในอาคาร พบว่า CO_2 มีค่าเฉลี่ย 614±149 ppm, CO ค่าเฉลี่ย 3.11±3.47 ppm, PM10 ค่าเฉลี่ย 112.1±58.3 µg/m^3 และ PM2.5 ค่าเฉลี่ย 49.0±20.4 µg/m^3 ส่วนเชื้อแบคทีเรียรวม มีค่าเฉลี่ย 515±234 CFU/m^3 เชื้อรารวม ค่าเฉลี่ย 548±196 CFU/m^3 ทั้งนี้ ไม่พบ TVOCs, O_3 และ CH_2O เมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ[1] พบปัญหามากที่สุด คือ PM10 (ร้อยละ 100) รองลงมา PM2.5 และอุณหภูมิ (ร้อยละ 70)

2) อาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย จังหวัดระยอง พบว่า ผลการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของอากาศ มีค่าเฉลี่ย 0.25±0.07 m/s ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าเฉลี่ย 50.4±5.5 และอุณหภูมิ ค่าเฉลี่ย 32.2±2.6°C ส่วนค่ามลภาวะอากาศภายในอาคาร พบว่า CO_2 มีค่าเฉลี่ย 465±84 ppm, PM10 ค่าเฉลี่ย 106.4±47.1 µg/m^3 และ PM2.5 ค่าเฉลี่ย 29.3±6.4 µg/m^3 ส่วนเชื้อแบคทีเรียรวม มีค่าเฉลี่ย 1,250±1,380 CFU/m^3 เชื้อรารวม ค่าเฉลี่ย 354±262 CFU/m3 ทั้งนี้ ไม่พบ TVOCs, O_3, CO และ CH2O เมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ พบปัญหามากที่สุด คือ อุณหภูมิ และ PM10 (ร้อยละ 100) รองลงมา คือ เชื้อแบคทีเรียรวม (ร้อยละ 60)

3) อาคารหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ จังหวัดลำปาง พบว่า ผลการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของอากาศ มีค่าเฉลี่ย 0.22±0.26 m/s ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าเฉลี่ย 60.2±5.8 และอุณหภูมิ ค่าเฉลี่ย 26.5±1.2 °C ส่วนค่ามลภาวะอากาศภายในอาคาร พบว่า CO_2 มีค่าเฉลี่ย 491±54 ppm, CO ค่าเฉลี่ย 4.30±4.57 ppm, PM10 ค่าเฉลี่ย 87.5±19.6 µg/m3 และ PM2.5 ค่าเฉลี่ย 46.1±18.4 µg/m^3, ส่วนเชื้อแบคทีเรียรวม มีค่าเฉลี่ย 217±103 CFU/m^3 เชื้อรารวม ค่าเฉลี่ย 493±187 CFU/m^3 ทั้งนี้ ไม่พบ TVOCs, O_3, และ CH_2O เมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ พบปัญหามากที่สุด คือ PM10 (ร้อยละ 100) รองลงมา PM2.5 อุณหภูมิ (ร้อยละ 70)

4) อาคารหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ จังหวัดระยอง พบว่า ผลการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของอากาศ มีค่าเฉลี่ย 0.19±0.06 m/s ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าเฉลี่ย 46.9±10.4 และอุณหภูมิ ค่าเฉลี่ย 29.5±1.7 °C ส่วนค่ามลภาวะอากาศภายในอาคาร พบว่า CO_2 มีค่าเฉลี่ย 611±139 ppm, PM10 ค่าเฉลี่ย 78.2±27.1 µg/m^3, PM2.5 ค่าเฉลี่ย 26.3±5.6 µg/m^3 และ TVOCs ค่าเฉลี่ย 0.40±0.30 ppm ส่วนเชื้อแบคทีเรียรวม ค่าเฉลี่ย 517±128 CFU/m^3 เชื้อรารวม ค่าเฉลี่ย 240±107 CFU/m^3 ทั้งนี้ ไม่พบ O_3, CO, และ CH_2O เมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ พบปัญหามากที่สุด คือ PM10 และอุณหภูมิ (ร้อยละ 100) รองลงมา เชื้อแบคทีเรียรวม (ร้อยละ 70)

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดมลภาวะอากาศภายในอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัยและหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ

พารามิเตอร์	ศพด. จ.ลำปาง		ศพด. จ.ระยอง		PCU จ.ลำปาง		PCU จ.ระยอง		Guideline 1*	Guideline 2**
	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย ±SD	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย ±SD	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย ±SD	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย ±SD		
Air Movement (m/s)	0.01-0.28	0.13±0.07	0.13-0.38	0.25±0.07	0.0 1-0.77	0.22±0.26	0.11-0.28	0.19±0.06	<0.30	0.10-0.30
RH (%)	40.2-75.0	58.9±11.4	43.4-58.2	50.4±5.5	52.4-69.2	60.2±5.8	31.1-61.3	46.9±10.4	<70	50-65
Temp. (°C)	23.9-30.4	27.7±2.5	29.3-36.4	32.2±2.6	24.2-27.7	26.5±1.2	27.0-32.0	29.5±1.7	23-25	24-26
CO_2 (ppm)	451-960	614±149	372-576	465±84	437-606	491±54	382-776	611±139	700 above outdoor (8 h.)	≤1,000
CO (ppm)	0.00-9.10	3.11±3.47	0	0	0.0-0.5	4.30±4.57	0	0	≤9	≤9
CH_2O (ppm) (30 min)	0 ≤0.1	0	0	0	0	0	0	0	≤0.08	
O_3 (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	≤0.05 (8 h.)	≤0.1
PM_{10} (µg/m^3)	58.2-232	112.1±58.3	75.2-235.8	106.4±47.1	58.7-115	87.5±19.6	51.3-141.7	78.2±27.1	No standard	≤50

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดมลภาวะอากาศภายในอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัยและหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ (ต่อ)

พารามิเตอร์	ศพด. จ.ลำปาง		ศพด. จ.ระยอง		PCU จ.ลำปาง		PCU จ.ระยอง		Guideline 1*	Guideline 2**
	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย ±SD	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย ±SD	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย ±SD	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย ±SD		
$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	24.0-80.7	49.0±20.4	19.2-38.8	29.3±6.4	24.0-73.5	46.1±18.4	17.9-30.9	26.3±5.6	≤37.5 (24 h.)	≤35
TVOC (ppm)	0	0	0	0	0	0	0-0.70	0.40±0.30	≤1 (8 h.)	≤3
TBC (CFU/m^3)	280-1000	515±234	340-4,200	1258±1380	140-370	217±103	260-660	517±128	≤1,000	≤500
TFC (CFU/m^3)	280-790	548±196	95-980	354±262	270-860	493±187	75-420	240±107	No standard	≤500

หมายเหตุ: *** Guideline 1:** Code of practice for indoor air quality for air-conditioned buildings (SS 554: 2016:2021) (2) ประเทศสิงคโปร์

****Guideline 2:** เกณฑ์ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร ตามคู่มือปฏิบัติงาน เพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร สำหรับเจ้าหน้าที่ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2559[1]

1.2 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health risk assessment)

1) อาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย จังหวัดลำปาง เมื่อประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ พบว่า การสัมผัสของ CO_2 และ CO มีค่า HQ <1 หมายถึง ภาวะยอมรับได้ในความเสี่ยงต่อสุขภาพ ขณะที่ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีค่า HQ > 1 หมายถึง มีภาวะความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยพบค่าเฉลี่ย HQ จากการสัมผัส PM_{10} ในช่วงวัยเด็ก วัยรุ่น และวัยผู้ใหญ่ มีค่า 2.97±1.55 ถึง 5.08±2.64, 1.79±0.93 ถึง 2.11±1.10 และ 1.53±0.79 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของ HQ จากการสัมผัส $PM_{2.5}$ ในช่วงวัยเด็ก วัยรุ่น และวัยผู้ใหญ่ มีค่า 1.86±0.77 ถึง 3.18±1.32, 1.12±0.47 ถึง 1.32±0.55 และ 0.95±0.40 ตามลำดับ

2) อาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย จังหวัดระยอง เมื่อประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ พบว่า การสัมผัสของ CO_2 มีค่า HQ <1 มีภาวะที่ยอมรับได้ ขณะที่ PM_{10} มีค่า HQ > 1 และ $PM_{2.5}$ ในช่วงวัยเด็ก พบว่า มีค่า HQ > 1 มีภาวะความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยพบค่าเฉลี่ยของ HQ จากการสัมผัส PM_{10} ในช่วงวัยเด็ก วัยรุ่น และวัยผู้ใหญ่ มีค่า 2.82±1.25 ถึง 4.82±2.13, 1.70±0.75 ถึง 2.00±0.89 และ 2.00±0.89 ตามลำดับ ขณะที่ค่าเฉลี่ยของ HQ จากการสัมผัส $PM_{2.5}$ ในช่วงวัยเด็ก มีค่า 1.11±0.24 ถึง 1.90±0.42

<u>ค่าดัชนีอันตรายต่อสุขภาพรวม (HI)</u> ของอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย พบว่าจังหวัดลำปาง มีค่า HI ในช่วงวัยเด็ก วัยรุ่น และวัยผู้ใหญ่ 6.10±2.20 ถึง 10.43±3.76, 3.68±1.33 ถึง 4.33±1.56, 3.13±1.13 ตามลำดับ ขณะที่จังหวัดระยอง ค่า HI ในช่วงวัยเด็ก วัยรุ่น และวัยผู้ใหญ่ มีค่า 4.55±1.35 ถึง 7.77±2.30, 2.74±0.81 ถึง 3.22±0.95 และ 2.33±0.69 ตามลำดับ โดยค่า HI ของ ศพด. จังหวัดลำปางและระยอง มีค่า HI > 1.0 บ่งชี้ว่า มีภาวะความเสี่ยงต่อสุขภาพ และค่า HI ของช่วงวัยเด็กมีค่ามากกว่าวัยรุ่นและวัยผู้ใหญ่

3) อาคารหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ จังหวัดลำปาง เมื่อประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ พบว่า การสัมผัสของ CO_2 และ CO มีค่า HQ <1 มีภาวะยอมรับได้ ขณะที่ PM10 และ $PM_{2.5}$ มีค่า HQ > 1 มีภาวะความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยค่าเฉลี่ยของ HQ จากการสัมผัส PM_{10} ในช่วงวัยเด็ก ช่วงวัยรุ่น และช่วงวัยผู้ใหญ่ มีค่า 2.32±0.52 ถึง 3.96±0.89, 1.40±0.31 ถึง 1.64±0.37 และ 1.19±0.27 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของ HQ จากการสัมผัส $PM_{2.5}$ ในช่วงวัยเด็ก ช่วงวัยรุ่น และช่วงวัยผู้ใหญ่ มีค่า 1.75±0.70 ถึง 2.99±1.19, 1.05±0.42 ถึง 1.24±0.50 และ 0.90±0.36 ตามลำดับ

4) อาคารหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ จังหวัดระยอง เมื่อประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ พบว่า การสัมผัสของ CO_2 และ TVOCs มีค่า HQ <1 มีภาวะยอมรับได้ ขณะที่ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ในช่วงวัยเด็ก มีค่า HQ > 1 มีภาวะความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยค่าเฉลี่ย HQ จากการสัมผัส PM_{10} ในช่วงวัยเด็ก ช่วงวัยรุ่น และช่วงวัยผู้ใหญ่ มีค่า 2.07±0.72 ถึง 3.55±1.23, 1.25±0.43 ถึง 1.47±0.51 และ 1.07±0.37 ตามลำดับ ส่วนค่า HQ จากการสัมผัส $PM_{2.5}$ ในช่วงวัยเด็ก มีค่า 1.00±0.21 ถึง 1.70±0.36

ค่าดัชนีอันตรายต่อสุขภาพรวม (HI) ของอาคารหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ พบค่า HI ของจังหวัดลำปาง ในช่วงวัยเด็ก วัยรุ่น และวัยผู้ใหญ่ มีค่า 5.35±1.57 ถึง 9.14±2.68, 3.23±0.95 ถึง 3.79±1.11 และ 2.75±0.81 ตามลำดับ ขณะที่ค่า HI ของจังหวัดระยอง ในช่วงวัยเด็ก วัยรุ่น และวัยผู้ใหญ่ มีค่า 4.03±0.78 ถึง 6.89±1.33, 2.43±0.47 ถึง 2.86±0.55 และ 2.07±0.40 ตามลำดับ โดยค่า HI ของ PCU จังหวัดลำปางและจังหวัดระยอง มีค่า HI > 1.0 บ่งชี้ว่า มีภาวะความเสี่ยงต่อสุขภาพ และค่า HI ของช่วงวัยเด็กมีค่ามากกว่าวัยรุ่นและวัยผู้ใหญ่

2. การพัฒนารูปแบบและแนวทางการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคารที่เหมาะสม

การศึกษานี้ เลือกอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย และ หน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ จากจังหวัดลำปาง และจังหวัดระยอง ประเภทละ 1 แห่งต่อจังหวัด รวมทั้งสิ้น 4 แห่ง ดำเนินการดังนี้

1) ประชุมร่วมกับผู้บริหาร ผู้ดูแลอาคาร เพื่อร่วมกันกำหนดแนวปฏิบัติการดูแลบำรุงรักษา การทำความสะอาด การจัดวางวัสดุอุปกรณ์ การจัดเก็บยา เวชภัณฑ์ สารเคมีและน้ำยาฆ่าเชื้อ และการดูแลและบำรุงรักษาระบบระบายอากาศในอาคาร

2) สำรวจอาคารเพื่อแบ่งโซนพื้นที่ และเลือกพื้นที่เพื่อบริหารจัดการคุณภาพอากาศภายใน โดยการใช้เกณฑ์การแบ่งโซนพื้นที่แบบโซนสี ดังนี้ 2.1 พื้นที่สีแดง คือ พื้นที่ที่จัดการไม่ได้และไม่สามารถควบคุมการเข้าออกได้เลย 2.2 พื้นที่สีเหลือง คือ พื้นที่ที่จัดการได้ แต่ไม่สามารถควบคุมการเข้าออกได้เลย มีบางพื้นที่ต่อเชื่อมกับพื้นที่ที่ควบคุมยาก (พื้นที่สีแดง) เช่น พื้นที่ทางเข้าจำนวนมาก พื้นที่ที่โถงกิจกรรม พื้นที่มีการระบายอากาศขนาดใหญ่ 2.3 พื้นที่สีเขียว คือ พื้นที่ที่จัดการได้และสามารถควบคุมการเข้าออกได้ เช่น ห้องที่มีประตู หน้าต่างปิดมิดชิด ห้องเรียน เป็นต้น

3) พัฒนาห้องปลอดฝุ่นความดันบวก โดยเลือกห้องพื้นที่สีเขียว มาออกแบบห้องในรูปแบบระบบความดันบวกพร้อมระบบฟอกอากาศ ด้วยการสร้างความดันแตกต่างระหว่างในห้องและนอกห้อง โดยการเติมอากาศเข้าห้องเพื่อทำให้เป็นห้องความดันเป็นบวก (Positives pressure) เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศและดันฝุ่นออกจากห้อง ซึ่งมีหลักการคือ ใช้กับห้องที่มีลักษณะปิดหรือกึ่งปิด ต้องมีการปิดช่องเปิดต่างๆ ให้เรียบร้อย จากนั้นจะป้องกันฝุ่นจากภายนอกห้องเข้าสู่ในห้อง และกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็กไปพร้อมๆ กัน โดยจะใช้เครื่องดูดอากาศจากภายนอกซึ่งผ่านระบบกรองอากาศแล้วเข้าสู่ภายในห้อง และดันอากาศภายในห้องที่มีปริมาณฝุ่นสูงออกนอกห้อง และใช้เครื่องกรอง/ฟอกอากาศสำเร็จรูปช่วยฟอกอากาศภายในห้องร่วมด้วย ดังนี้

3.1 สำรวจข้อมูล ได้แก่ ขนาดพื้นที่ห้อง พื้นที่ประตู-หน้าต่าง-ช่องว่าง จำนวนคนที่อยู่ในห้องต่อวัน ระบบจัดการอากาศภายในห้อง สภาพแวดล้อมของพื้นที่ การดูแลพื้นที่ แหล่งมลพิษอากาศ

3.2 กำจัดแหล่งมลพิษอากาศภายในห้อง รวมถึงงดกิจกรรมที่ทำให้เกิดฝุ่นภายในห้อง

3.3 ปิดช่องเปิดและรอยรั่วต่าง ๆ ของห้อง ด้วยเทปหรือพลาสติก เพื่อลดการรั่วไหลของอากาศเข้ามาในห้อง

3.4 คำนวณปริมาตรห้อง และ ค่าอัตราการส่งผ่านอากาศบริสุทธิ์ (Clean Air Delivery Rate : CADR) เพื่อนำมาเลือกขนาดเครื่องเติมอากาศแบบมีระบบกรองอากาศ และเครื่องกรองอากาศที่เหมาะสม Clean Air Delivery Rate = ปริมาตรห้อง x Air change per hour ทั้งนี้ ค่าจำนวนครั้งของการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงภายในอาคาร (Air change per hour : ACH) อ้างอิงจาก CDC (2019) กำหนดค่า สำหรับในสำนักงาน ห้องเรียน ห้องตรวจ = 6 เท่า ห้องฉุกเฉิน = 12 เท่า

3.5 ดำเนินการติดตั้งเครื่องเติมอากาศแบบมีระบบกรองฝุ่น และเครื่องฟอกอากาศ เพื่อให้ได้ค่าอัตราการส่งผ่านอากาศบริสุทธิ์มากกว่าที่คำนวณไว้

ตารางที่ 2 การออกแบบเครื่องกรองเติมอากาศ และ เครื่องกรองอากาศ/เครื่องฟอกอากาศภายใน

	ศพด. จ.ลำปาง		**ศพด. จ.ระยอง**		**PCU จ.ลำปาง**		**PCU จ.ระยอง**	
	ห้อง 1	**ห้อง 2**	**ห้อง 1**	**ห้อง 2**	**ห้อง 1**	**ห้อง 2**	**ห้อง 1**	**ห้อง 2**
ขนาดห้อง (m^3)	96	240	78.40	143.08	88.8	136.8	176.51	80.64
CADR load (m^3/hr)	578	1,440	470	858.5	1,066*	820.8	1,059.1	968*
เครื่องกรองเติมอากาศ (ภายนอก)	300 (1 เครื่อง)	900 (1 เครื่อง)	300 (1 เครื่อง)	600 (1 เครื่อง)	600 (1 เครื่อง)	300 (1 เครื่อง)	600 (1 เครื่อง)	600 (1 เครื่อง)
เครื่องกรองอากาศ (ภายใน)	300 (2 เครื่อง)	450 (2 เครื่อง)	300 (2 เครื่อง)	300 (2 เครื่อง)	300 (2 เครื่อง)	300 (2 เครื่อง)	300 (2 เครื่อง)	300 (2 เครื่อง)

หมายเหตุ : * ห้องฉุกเฉินมีประตู และมีการปิดเปิดตลอดเวลา ใช้ค่าอัตราการไหลเวียน 12 เท่า

4) การประเมินประสิทธิภาพการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร พิจารณาจากการลดมลภาวะอากาศภายในอาคาร โดยนำผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ เปรียบเทียบก่อนและหลังการติดตั้งระบบ ผลการตรวจวัดภายหลังการพัฒนาระบบ พบว่า มลภาวะอากาศภายในอาคาร ได้แก่ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีค่าลดลงไม่เกินเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ[1] (≤ 50 μg/m^3 และ ≤35 μg/m^3 ตามลำดับ) แต่กลับพบว่า CO_2 มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ไม่เกินเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ[1] (≤ 1,000 ppm) ส่วนอุณหภูมิอยู่ในช่วงเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ[1] (≤ 24-26 ˚C) นอกจากนี้พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์มีปริมาณลดลง อย่างไรก็ตาม แม้เชื้อแบคทีเรียรวมจะลดลงแต่ยังมีค่าเกินค่าเฝ้าระวัง[1] (500 CFU/m^3) แต่ไม่เกินค่ามาตรฐานประเทศสิงคโปร์[2](≤1,000 CFU/m^3)

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดมลภาวะอากาศภายในอาคารภายหลังการพัฒนาระบบ

พารามิเตอร์		ศพด. จ.ลำปาง (ค่าเฉลี่ย±SD)		ศพด. จ.ระยอง (ค่าเฉลี่ย±SD)		PCU จ.ลำปาง (ค่าเฉลี่ย±SD)		PCU จ.ระยอง (ค่าเฉลี่ย±SD)	
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 1	ห้อง 2
Temp. (°C)	ก่อน	27.4±2.1	28.1±0.5	27.3±3.0	27.5±2.5	26.5±1.6	26.5±0.9	30.9±0.3	30.6±0.5
	หลัง	25.5±0.8	24.7±0.1	27.5±1.3	27.2±1.9	26.8±1.3	26.1±1.8	26.2±1.4	26.0±1.8
CO_2 (ppm)	ก่อน	322	562	412	397	246	281	357	362
	หลัง	536	611	574	571	353	473	484	453
CO (ppm)	ก่อน	1.00	6.80	0	0	1.00	1.10	0.10	0.10
	หลัง	1.40	5.60	0	0	1.40	1.50	0	0
CH_2O (ppm)	ก่อน	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01
	หลัง	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.02
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	ก่อน	232	66.9	87.9	75.2	80.7	78.6	85.7	142
	หลัง	44.3	49.6	34.1	39.9	45.8	42.4	45.4	26.8
$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	ก่อน	69.9	40.7	29.0	28.8	40.3	39.0	29.4	34.2
	หลัง	24.3	16.9	9.8	11.5	21.1	13.0	17.7	6.1
TVOCs (ppm)	ก่อน	0.20	0.30	0.30	0.50	0.30	0.10	0.20	0.20
	หลัง	0	0	0.20	0.30	0	0	0.50	0.20

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดมลภาวะอากาศภายในอาคารภายหลังการพัฒนาระบบ (ต่อ)

พารามิเตอร์		ศพด. จ.ลำปาง (ค่าเฉลี่ย±SD)		ศพด. จ.ระยอง (ค่าเฉลี่ย±SD)		PCU จ.ลำปาง (ค่าเฉลี่ย±SD)		PCU จ.ระยอง (ค่าเฉลี่ย±SD)	
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 1	ห้อง 2
TBC (CFU/m^3)	ก่อน	645±389	640±156	1,600±849	1,390±1,149	343±392	300±85	225±7	170±14
	หลัง	565±134	620±255	890±438	650±14	113±39	130±113	640±57	175±49
TFC (CFU/m^3)	ก่อน	1,050±71	650±382	152±95	265±7	1,150±212	1,130±240	250±99	245±21
	หลัง	280±99	305±7	315±106	295±78	145±35	193±152	330±14	195±7

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษา มลภาวะอากาศภายในอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย และหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ ในพื้นที่จังหวัดลำปางและระยอง พบว่า ปัญหาที่พบมากที่สุด PM_{10} $PM_{2.5}$ อุณหภูมิ และเชื้อแบคทีเรียรวม ทั้งนี้ เนื่องจากที่ตั้งของอาคารอยู่ในพื้นที่มีปริมาณฝุ่นละอองสูง โดยจังหวัดระยองเป็นพื้นที่เขตอุตสาหกรรม มีการก่อสร้างถนนเพื่อเชื่อมโยงระบบโลจิสติคส์ในพื้นที่โครงการระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก ส่วนจังหวัดลำปางมีการเก็บข้อมูลในช่วงที่มีฝุ่นละอองสูง อีกทั้งอาคารอยู่ใกล้ที่มีการจราจรหนาแน่น บางที่อยู่ใกล้ที่มีการเผาในที่โล่ง นอกจากนี้ช่วงที่ทำการศึกษามีสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ทำให้อาคารไม่เปิดใช้เครื่องปรับอากาศ เปิดประตูและหน้าต่างเพื่อระบายอากาศ ส่งผลให้ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ภายในอาคารมีค่าเกินเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ ด้านปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวม เนื่องจากจำนวนผู้มารับบริการและจำนวนเด็กต่อห้องมีความหนาแน่นมาก และมีการระบายอากาศที่ไม่ดี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เนตรชนก สมใน และคณะ[11] ที่พบว่าห้องที่ระบายอากาศที่ไม่ดีจะมีผลต่อการสะสมของปริมาณเชื้อแบคทีเรียมากกว่าห้องที่ระบายอากาศดี และการศึกษาของ นูรฮูดา สุวรรณนุรักษ์ และคณะ[12] พบว่า ความหนาแน่นของคนที่มีอยู่ในห้องมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของเชื้อแบคทีเรียรวม นอกจากนี้ บางอาคารพบ TVOCs ซึ่งพบแหล่งกำเนิดภายในอาคาร เช่น ยา เวชภัณฑ์ และน้ำยาฆ่าเชื้อปริมาณมาก โดยเฉพาะหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ เมื่อนำผลการตรวจวัดมาประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการสัมผัสมลภาวะภายในอาคารของ ศพด. และ CPU พบว่า ค่า HQ ของ CO_2 CO TVOCs มีค่า HQ <1.0 หมายถึง ภาวะยอมรับได้ในความเสี่ยงต่อสุขภาพ ขณะที่ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีค่า HQ > 1.0 หมายถึง ภาวะความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ช่วงวัยเด็กที่มีภาวะความเสี่ยงต่อสุขภาพที่มีค่าสูงกว่าช่วงวัยอื่น อาจเนื่องมาจากปัจจัยด้านสรีรวิทยา เด็กจะมีความต้องการออกซิเจนที่สูงขึ้นและจะทำให้อัตราการหายใจสูงขึ้นด้วย (ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว) ซึ่งอัตราการหายใจเข้าเฉลี่ยของเด็กจะเป็นสามเท่าของผู้ใหญ่[9] ดังนั้นระยะยาวเด็กจะดูดซึมฝุ่นละอองในอากาศเข้าสู่ทางเดินหายใจมากกว่าผู้ใหญ่ และอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ คือเส้นผ่านศูนย์กลางของทางเดินหายใจ ซึ่งพบว่าเด็กจะมีทางเดินหายใจขนาดเล็กกว่าผู้ใหญ่ ทำให้เด็กมีแนวโน้มจะเพิ่มการหายใจและมีโอกาสที่สะสมฝุ่นละอองมากขึ้น[13]

เมื่อมีการพัฒนารูปแบบการจัดการมลภาวะภายในอาคารของอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัย จำนวน 2 แห่ง และหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ จำนวน 2 แห่ง โดยเพิ่มความเข้มงวดในการดูแลความสะอาด จัดวางวัสดุอุปกรณ์ การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ ระบบระบายอากาศ และการพัฒนาห้องปลอดฝุ่นแบบความดันบวกพร้อมติดตั้งเครื่องฟอกอากาศ จากนั้นทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร ผลการศึกษาพบว่า มลภาวะอากาศภายในอาคาร ได้แก่ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ค่าไม่เกินเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ[1] ($\leq$ 50 $\mu g/m^3$ และ $\leq$35 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ) แต่พบว่ามี CO_2 เพิ่มขึ้น

แต่ไม่เกินเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ[1] (≤ 1,000 ppm) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากจำนวนผู้มารับบริการในหน่วยบริการสุขภาพ หรือจำนวนเด็กมีสัดส่วนต่อพื้นที่ห้องมาก และอาจมาจากการเปิดปิดประตูทำให้แหล่งมลพิษภายนอกอาคาร เช่น การจราจร การเผาไหม้ชีวมวล เป็นต้น เข้าสู่ภายในห้อง นอกจากนี้ พบว่า เชื้อแบคทีเรียรวมถึงแม้จะลดลงแต่ยังมีค่าเกินเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ(1) (≤500 CFU/m^3) แต่ไม่เกินค่ามาตรฐานประเทศสิงคโปร์[2] (≤1,000 CFU/m^3) ส่วนเชื้อรารวมมีค่าไม่เกินเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ[1] (≤500 CFU/m^3)

ข้อเสนอแนะ

1) การพัฒนารูปแบบการจัดการมลภาวะอากาศภายในอาคาร ควรมีการนำเสนอต่อหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการอาคาร ออกแบบอาคาร และระบบการระบายอากาศ เพื่อนำไปพัฒนาออกแบบอาคารที่ปลอดมลภาวะ เช่น กรมการปกครอง องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เป็นต้น

2) กรณีที่พบปัญหามลภาวะอากาศสูง ควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เช่น หน้ากากอนามัยที่ป้องกันมลภาวะอากาศโดยเฉพาะฝุ่นละออง เป็นต้น

3) ควรมีการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะ อย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง โดยเฉพาะกลุ่มอาคารสาธารณะที่มีกลุ่มอ่อนไหวอาศัยอยู่ เช่น กลุ่มเด็กเล็ก กลุ่มผู้สูงอายุ ผู้ป่วย เป็นต้น เพื่อเป็นการเฝ้าระวังและคุ้มครองสุขภาพความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชน

4) การพัฒนาระบบการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร จำเป็นต้องมีหน่วยงานรับผิดชอบหลัก ที่มีบทบาทและภารกิจด้านการพัฒนาองค์ความรู้ เทคโนโลยี มาตรฐาน และเป็นกลไกขับเคลื่อนการพัฒนาคุณภาพอากาศภายในอาคาร ระดับประเทศ

5) การจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร ต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วน ทั้งภาครัฐ เอกชน ผู้เชี่ยวชาญ เจ้าของหรือผู้ครอบครองอาคาร ผู้ดูแลอาคาร รวมถึงประชาชน ดังนั้นการสร้างความรอบรู้ในทุกมิติให้กับผู้มีส่วนได้เสียและภาคีเครือข่าย จึงต้องมีการดำเนินการอย่างครอบคลุม

6) การศึกษาครั้งนี้ พบปัญหาการสะสมของฝุ่น PM10 และ PM2.5 ภายในอาคาร จึงได้มีการพัฒนารูปแบบจัดการมลภาวะอากาศภายในอาคารในรูปแบบห้องปลอดฝุ่นความดันบวก แต่ยังพบว่ามีปัญหาเรื่องการสะสมของ CO_2 เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่ามีค่าไม่เกินเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังฯ แต่ก็มีแนวโน้มสะสมเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นควรมีการศึกษาการจัดการมลภาวะอากาศให้รอบด้านและหลายรูปแบบอาคาร

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย. คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร สำหรับเจ้าหน้าที่. กระทรวงสาธารณสุข: นนทบุรี. 95 หน้า. 2559.
2. Singapore Standard Council. Code of practice for indoor air-quality for air conditioned buildings (SS 554:2016)

[อินเตอร์เน็ต]. 2021. [เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2565]; เข้าถึงได้ จาก: https://www.enviresearch.co.th/wp-content/uploads/2020/01/Indoor-Air-2016.pdf

3. กรมควบคุมมลพิษ. สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงของประเทศไทย ปี 2564 [อินเตอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2565]; เข้าถึงได้ จาก: https://www.pcd.go.th/publication/27805/
4. Strand V, Rak S, Svartengren M, Bylin G. Nitrogen dioxide exposure enhances asthmatic reaction to inhaled allergen in subjects with asthma. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. 1997; 155: 881-7.
5. Chunram N, Vinitketkumnuen U, Deming RL, Chantara S. Indoor and outdoor levels of PM2.5 from selected residential and workplace buildings in Chiang Mai. Chiang Mai Journal of Science. 2007; 34(2): 219-26.
6. Klinmalee A, Srimongkol K, Kim Oanh NT. Indoor air pollution levels in public buildings in Thailand and exposure assessment. Environmental Monitoring and Assessment. 2009; 159(1-4): 581-94.
7. Adamiec E and Jarosz-Krzemińska E. Human health risk assessment associated with contaminants in the finest fraction of sidewalk dust collected in proximity to trafficked roads. Scientific Reports. 2019; 9: 16364.
8. Olufemi AC, Mji A and Mukhola MS. Health risks of exposure to air pollutants among students in schools in the vicinities of coal mines. Energy Exploration and Exploitation. 2019; 37(6): 1638-11656.
9. U.S. EPA (United States-Environmental Protection Agency). Exposure Factors Handbook: 2011 edition; National Center for Environmental Assessment [Internet]. Washington, DC; 2011 [Cites 20 January 2022]. Assessed from; http://www.epa.gov/ncea/efh.
10. Hamastia A, Hermawati E, Marina R and Andrian R. Estimated analysis on environmental health risk of 2.5 microns particulate matter to urban communities in South Jakarta. Indian Journal of Public Health Research and Development. 2019; 10(2); 332-7.
11. เนตรชนก สมใจ, พิพัฒน์ ลักษมีจรัลกุล, พิศิษฐ์ วัฒนสมบูรณ์ และสุคนธา ศิริ. คุณภาพอากาศด้านจุลินทรีย์ กายภาพและสิ่งแวดล้อมภายในอาคารห้องสมุดมหาวิทยาลัยในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์. 2562; 19(2): 68-84.

12. นูรฮูดา สุวรรณนุรักษ์, ลัดดาวัลย์ พะวร, พหล แสนสมชัย และอรอุมา จันทร์เสถียร. ปริมาณแบคทีเรียรวมในอากาศภายในอาคารวิทยาลัยนครราชสีมา. การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาลัยนครราชสีมา ครั้งที่ 6 ประจำปี 2562, วันที่ 30 มีนาคม 2562, ณ วิทยาลัยนครราชสีมา จ.นครราชสีมา. 1059-64.

13. Miller MD, Marty MA, Arcus A, Brown J, Morry D, Sandy M. Differences between Children and Adults: implications for Risk Assessment at California EPA. International Journal of Toxicology. 2002; 21: 403-18.