# ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับการใช้เครื่องฟอกอากาศแบบเคลื่อนย้ายได้สำหรับลดความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในห้อง

# Misconceptions Regarding the Use of Portable Air Purifiers for Reducing Indoor Fine Particulate Matter Concentrations

**มณีรัตน์ องค์วรรณดี**

**Maneerat Ongwandee**

วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช

Institute of Metropolitan Development, Navamindradhiraj University

* Email: maneerat.ong@nmu.ac.th

ส่งต้นฉบับบทความ : 2 ม.ค. 67 / ส่งบทความฉบับแก้ไข : 20 ก.พ. 67 / ตอบรับให้เผยแพร่ : 21 ก.พ. 67 / เผยแพร่ : 24 พ.ค. 67

**การอ้างอิง:** มณีรัตน์ องค์วรรณดี. (2567). ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับการใช้เครื่องฟอกอากาศแบบเคลื่อนย้ายได้สำหรับลดความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในห้อง. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 28 (ฉบับที่ 1).

https://doi.org/10.35762/EJ.2567001

**บทคัดย่อ**

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเครื่องฟอกอากาศแบบเคลื่อนย้ายได้ในการลดความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในห้องที่มีแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองมาจากด้านนอกอาคารเมื่อใช้เครื่องฟอกภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน อันได้แก่ อัตราการรั่วไหลของอากาศเข้าออกห้อง และ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองด้านนอกอาคาร วิธีการศึกษาใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการสมดุลมวลแบบถังปฏิกิริยาการไหลกวนผสมอย่างสมบูรณ์ เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องพื้นที่ 12 ตารางเมตร ในช่วงเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 2 ชั่วโมง ตามฉากทัศน์ที่สร้างขึ้นบนสมมติฐานว่าภายในห้องไม่มีแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองใด แหล่งกำเนิดมาจากภายนอกอาคารเพียงอย่างเดียว และเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ในแบบจำลองมีขนาดเหมาะสมกับพื้นที่ห้องที่ใช้ ผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า อัตราการรั่วไหลของอากาศเข้าออกห้องที่เพิ่มขึ้นและความเข้มข้นฝุ่นละอองภายนอกอาคารที่สูงขึ้น จะลดทอนความสามารถของเครื่องฟอกอากาศในการควบคุมฝุ่นละอองภายในห้องให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้ใช้

**คำสำคัญ** : ฝุ่นละอองขนาดเล็ก; เครื่องฟอกอากาศ; การรั่วไหลอากาศเข้าออกอาคาร; คุณภาพอากาศในอาคาร

**Abstract**

This article aimed to examine the capability of portable air purifiers to reduce indoor fine particulate matter (PM) concentrations in situations where PM originated from outdoor sources. The performance of the air purifier was evaluated under different environmental conditions, including varying room air leakage rates between indoor and outdoor environments and different outdoor PM levels. A mathematical modeling approach based on the mass balance equation for a completely mixed flow reactor (well-mixed room model) was employed to simulate variations in indoor PM concentrations in a 12 m² room over a period of 0–2 hours. The simulation scenarios were constructed under the following assumptions: no indoor sources were present; all PM originated solely from outdoor environments; and the air purifier used in the model was appropriately sized for the room. The model predictions showed that increasing room air leakage rates and higher outdoor particulate matter concentrations significantly reduced the ability of the air purifier to maintain indoor PM concentrations at levels considered safe for occupants.

**Keywords:** Fine particulate matter; Portable air purifier; Air leakage; Indoor air quality (IAQ)

## 1. บทนำ

ด้วยประเทศไทยเผชิญกับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในบรรยากาศต่อเนื่องมาเป็นเวลาหลายปี และการแก้ไขปัญหายังไม่เกิดผลสัมฤทธิ์ให้เห็นว่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศจะมีแนวโน้มลดลงแต่อย่างใด (อรอุมา โชติพงศ์, 2561) ดังนั้นประชาชนคนไทยจึงจำเป็นต้องหาวิธีปกป้องตนเองจากฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือการจัดหาเครื่องฟอกอากาศแบบเคลื่อนย้ายได้ (Portable air cleaning device) มาไว้ใช้ในที่พักอาศัย ความตื่นตัวของประชาชนต่อการแก้ไขปัญหาด้วยตนเองอาจสะท้อนได้จากผลลัพธ์ของการค้นหาคำว่า ‘เครื่องฟอกอากาศ’ ในโปรแกรมสืบค้นหาข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต โดยข้อมูลจาก Google Trends แสดงให้เห็นว่าคำนี้ถูกค้นหาด้วยจำนวนครั้งที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นประจำในช่วงระหว่างธันวาคมจนถึงเมษายนมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 จนถึงปัจจุบัน (Google Trends, 2023)

อย่างไรก็ดี การควบคุมฝุ่นละอองภายในห้องที่ใช้เครื่องฟอกอากาศให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้ใช้นั้นขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง เช่น การเลือกขนาดเครื่องฟอกที่มีความสามารถในการฟอกอากาศเหมาะสมกับพื้นที่ใช้งาน ห้องที่ใช้งานมีอัตราการรั่วไหลของอากาศที่สกปรกจากภายนอกเข้าสู่ห้องได้มากน้อยแค่ไหน ความเข้มข้นของฝุ่นละอองด้านนอกแต่ละวันมากน้อยเพียงใด เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้อาจสร้างความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนให้กับผู้ใช้งานว่าเมื่อเปิดใช้เครื่องฟอกอากาศแล้วจะเท่ากับว่าอากาศในห้องสะอาดปราศจากฝุ่นละออง บทความนี้จึงต้องการนำเสนอฉากทัศน์การใช้งานเครื่องฟอกอากาศภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการลดทอนความสามารถของเครื่องฟอกอากาศในการควบคุมฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในห้องที่ใช้งาน

เพื่อให้ผู้ใช้เครื่องฟอกอากาศมีความเข้าใจที่ถูกต้องและเกิดความตระหนักถึงข้อจำกัดของการใช้งานในสถานการณ์จริง

## 2. คำอธิบายศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาในบทความนี้ครอบคลุมเฉพาะเครื่องฟอกอากาศแบบเคลื่อนย้ายได้ที่นิยมใช้ในที่พักอาศัย (Portable air cleaning device) และผลิตภัณฑ์เครื่องฟอกอากาศต้องมีการระบุค่า *CADR* (Clean Air Delivery Rate) สำหรับการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก

### 1) CADR (Clean Air Delivery Rate)

CADR คือ อัตราที่เครื่องฟอกส่งอากาศสะอาดออกมา (หลังจากดักจับหรือกรองฝุ่นละอองออกจากอากาศสกปรกที่ไหลเข้าตัวเครื่องแล้ว) ค่านี้ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยบริษัทผู้ผลิตเครื่องฟอกจะระบุไว้ที่ผลิตภัณฑ์และแสดงในหน่วย เช่น CADR ของเครื่องฟอกยี่ห้อ AA รุ่น BB มีค่าเท่ากับ xx cfm (Cubic feet per minute) หมายถึง ใน 1 นาที เครื่องส่งอากาศสะอาดได้ xx ลูกบาศก์ฟุต การทดสอบเพื่อหาค่า CADR ของเครื่องฟอกนั้นมีมาตรฐานสากลกำหนดไว้อยู่ เช่น สมาคมผู้ผลิตเครื่องใช้ในบ้านเรือนของสหรัฐอเมริกา (Association of Home Appliance Manufacturers) (AHAM, 2014) กำหนดให้ทดสอบหาค่า CADR ในห้องทดสอบขนาด 1,008 ลูกบาศก์ฟุต แบ่งเป็นการทดสอบดักจับอนุภาค 3 ประเภท ได้แก่ ควันบุหรี่ (Cigarette smoke ขนาดอนุภาค 0.1-1 ไมครอน) ฝุ่นละเอียด (Fine test dust 0.5-3 ไมครอน) และเกสรดอกไม้ (Pollen 5-11 ไมครอน)

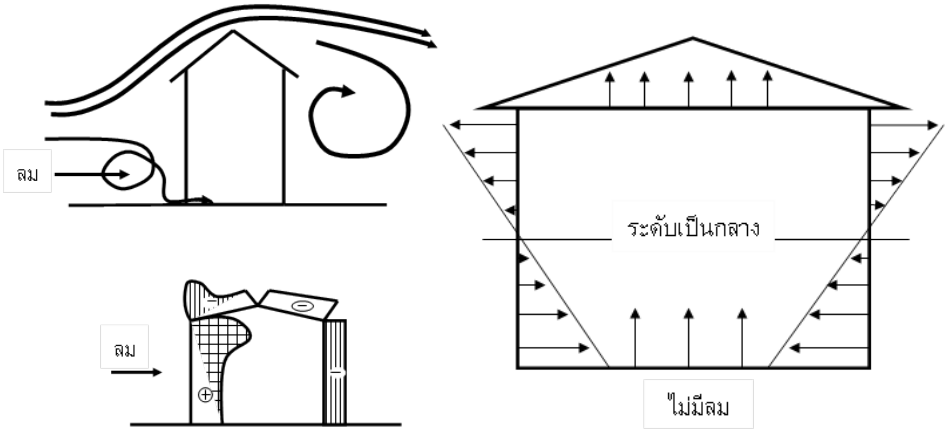
ถ้าแปลความหมายของ CADR ตามที่นิยามโดย AHAM “The rate of contaminant reduction in the test chamber when the unit is turned on, minus the rate of natural decay when the unit is not running, multiplied by the volume of the test chamber as measured in cubic feet.” *(*AHAM, 2014) หมายถึง “อัตราการลดลงของสิ่งปนเปื้อนในอากาศในห้องทดสอบเมื่อเปิดใช้เครื่องฟอกอากาศ หักลบ อัตราการลดลงของสิ่งปนเปื้อนในอากาศด้วยกลไกตามธรรมชาติเมื่อไม่ใช้เครื่องฟอกอากาศ จากนั้นคูณด้วยปริมาตรของห้องทดสอบในหน่วยลูกบาศก์ฟุต” ขออธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับกลไกตามธรรมชาติที่ทำให้ฝุ่นละอองถูกกำจัดออกจากอากาศได้ ยกตัวอย่างเช่นฝุ่นละอองสามารถตกลงสู่พื้นผิวหรือเกาะติดกับพื้นผิววัสดุต่าง ๆ ภายในห้องได้ (Deposition) ผ่านกลไกการเคลื่อนที่ของฝุ่นจากอากาศมาสู่พื้นผิว ได้แก่ การแพร่ การพัดพา และแรงโน้มถ่วง เนื่องจาก AHAM ใช้ระบบหน่วยอเมริกันจึงเป็นลูกบาศก์ฟุต สามารถแปลงหน่วย CADR เป็นหน่วย SI ได้ ถ้าพิจารณาจากนิยามข้างต้นจะเห็นว่าค่า CADR ไม่ได้ขึ้นกับประเภทตัวกรองหรือเทคโนโลยีที่ใช้ดักจับฝุ่น การทดสอบประเมินค่า CADR จึงครอบคลุมทั้งเครื่องฟอกที่ใช้ตัวกรองเส้นใย (เช่น HEPA filter*)* และ ที่ใช้หลักการทางไฟฟ้าซึ่งไม่มีตัวกรองและอาจใช้หรือไม่ใช้พัดลมดูดอากาศหมุนเวียนผ่านตัวเครื่องก็ได้

สำหรับประเทศไทยมีการใช้ค่า CADR เพื่อบ่งบอกประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศในการลด $PM_{2.5}$ ดังแสดงในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 3061-2563 เครื่องฟอกอากาศ เฉพาะด้านประสิทธิภาพการลด $PM_{2.5}$ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2563) โดยกำหนดให้ใช้อนุภาคเพื่อการทดสอบที่ได้จากสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride, KCl) 0.5 โมลาร์ หรือ ไดเอทิลเฮกซิลซีบาเคต (di-ethyl-hexyl-sebacate, $C_{26}H_{50}O_4$) ตามมาตรฐาน ISO 14644 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาค 0.2-0.6 ไมครอน ในขณะที่มาตรฐานทดสอบของ AHAM เพื่อหาค่า CADR *ของ* $PM_{2.5}$ นั้นจะได้จากการเฉลี่ยแบบมัชฌิมเรขาคณิต (Geometric average) ของค่า CADR ควันบุหรี่ (0.1-1 ไมครอน) และ CADR ฝุ่นละเอียด (0.5-3 ไมครอน) ทั้งนี้อนุภาคฝุ่น 0.5-3 ไมครอนที่ใช้ทดสอบคือฝุ่นละเอียดมาตรฐานวิศวกรรม (Engineered standard fine dust) หรือที่รู้จักในนาม “Arizona Road Dust” หรือ “ISO fine dust” นอกจากนี้ CADR ในมาตรฐานของ AHAM จะไม่ครอบคลุมการทดสอบใช้กับมลพิษอากาศในสถานะที่เป็นก๊าซ (AHAM, 2020)

ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตที่จำหน่ายเครื่องฟอกอากาศในประเทศไทยมีการระบุค่า CADR ไว้ที่ผลิตภัณฑ์เพื่อให้ผู้ซื้อใช้เลือกขนาดเครื่องฟอกอากาศให้พอเหมาะกับพื้นที่ห้องที่จะใช้งาน อย่างไรก็ดี มอก. เครื่องฟอกนี้ถูกกำหนดเป็นเพียงมาตรฐานทั่วไปซึ่งหมายถึงผู้ผลิตสามารถยื่นขอการรับรองคุณภาพโดยสมัครใจ ไม่บังคับ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558)

**2) การรั่วไหลของอากาศเข้าออกห้อง (Air infiltration and exfiltration)**

โดยทั่วไปห้องในอาคารที่พักอาศัยมีอากาศจากภายนอกไหลเข้าออกไม่ว่าจะมาจากการเปิดประตูหน้าต่าง การเปิดใช้พัดลมดูดอากาศ ทำให้ห้องมีการระบายอากาศนำอากาศใหม่เข้ามาเจือจางอากาศเดิมในห้อง สำหรับห้องที่ปิดสนิทก็ยังมีการรั่วไหลอากาศผ่านช่องเปิดตามขอบประตูหน้าต่างได้เช่นกัน (Unintentional openings) อันเป็นผลจากแรงลมที่พัดพาอาคารทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันอากาศภายนอกและภายในอาคาร รวมถึงผลของแรงลอยตัวของอากาศร้อนหรือการจมตัวลงของอากาศเย็นภายในอาคารอันเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร ฤดูกาลจึงมีผลต่ออัตราการรั่วไหลของอากาศเข้าออกห้อง ดังรูปที่ 1 (มณีรัตน์ องค์วรรณดี, 2566) ดังนั้น ถ้ามลพิษอากาศมีแหล่งกำเนิดหลักอยู่ด้านนอกอาคาร การรั่วไหลของอากาศนี้จะเป็นปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อการควบคุมมลพิษอากาศภายในห้อง




รูปที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วไหลของอากาศเข้าออกอาคารจากลมพัดผ่านอาคารหรืออุณหภูมิภายในและภายนอกที่แตกต่าง (มณีรัตน์ องค์วรรณดี, 2556)

**3. เงื่อนไขการจำลองสถานการณ์การใช้เครื่องฟอกอากาศ**

ในบทความนี้จำลองสถานการณ์การใช้งานเครื่องฟอกอากาศยี่ห้อหนึ่งสำหรับห้องนอนขนาดพื้นที่ 12 ตารางเมตร เพดานสูง 2.4 เมตร ผู้ใช้สามารถเลือกขนาดเครื่องฟอกที่เหมาะกับพื้นที่ห้องนี้โดยดูคำแนะนำของ AHAM หรือ ค่าที่ระบุไว้ในภาคผนวกของ มอก. 3061-2563 ก็ได้ โดยในบทความนี้เลือกใช้ขนาดเครื่องฟอกจากพื้นที่ห้องที่ใช้ได้ (Applicable floor area) มีค่า CADR = 100 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ 2.8 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดไว้ใน มอก. 3061-2563 ประมาณ 2 เท่า ค่า CADR นี้จะใช้สำหรับการคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละอองในห้องนอนภายใต้สถานการณ์จำลองต่อไป

นอกจากนี้กำหนดค่าตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ ได้แก่ อัตราการตกของฝุ่นละอองสู่พื้นผิวภายในห้องด้วยกลไกธรรมชาติ (Deposition rate) มีค่าเท่ากับ 0.1 ต่อชั่วโมง (Lai and Nazaroff, 2000) และกำหนดให้ภายในห้องไม่มีแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองใด ๆ แหล่งกำเนิดหลักมาจากฝุ่นละอองภายนอกอาคารเท่านั้น อากาศภายในห้องมีการกวนผสมอย่างดี (Well mixed room) การพยากรณ์ความเข้มข้นฝุ่นละอองในอากาศภายในห้องใช้สมการสมดุลมวลแบบถังปฏิกิริยาการไหลกวนผสมอย่างสมบูรณ์ (Completely mixed flow reactor, CMFR) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฝุ่นละอองในช่วงเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 2 ชั่วโมง ตามฉากทัศน์ที่สร้างขึ้น แบบจำลองคณิตศาสตร์แสดงดังสมการที่ 1 สำหรับรายละเอียดของสมการสามารถดูได้ในบทความ Ongwandee and Kruewan (2013)

$$C_t = \left(C_{in,t=0} \times e^{-\left(\lambda+k+\frac{CADR}{V}\right)t}\right) + \left(\frac{\lambda C_{out}}{\lambda+k+\frac{CADR}{V}}\right) \times \left(1 - e^{-\left(\lambda+k+\frac{CADR}{V}\right)t}\right) \qquad \text{(สมการที่ 1)}$$

โดยที่ $C_t$ คือ ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้องที่เวลา $t$ ใด ๆ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, มคก./ลบ.ม.); $C_{in,t=0}$ คือ ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้อง ณ เวลาเริ่มต้น (มคก./ลบ.ม); $C_{out}$ คือ ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายนอกอาคาร (มคก./ลบ.ม); $\lambda$ คือ อัตราการรั่วไหลของอากาศเข้าออกห้อง (เท่าของปริมาตรห้องต่อ

ชั่วโมง หรือ ต่อชั่วโมง); *k* คือ อัตราการตกของฝุ่นละอองสู่พื้นผิวภายในห้องด้วยกลไกธรรมชาติ (ต่อชั่วโมง); *V* คือ ปริมาตรห้อง (ลูกบาศก์เมตร); *t* คือ เวลา (ชั่วโมง)

**1) สถานการณ์จำลองที่ 1 ผลของอัตราการรั่วไหลอากาศเข้าออกห้อง**

ฝุ่นละอองด้านนอกอาคารมีค่า 100 มคก./ลบ.ม. ซึ่งเป็นระดับฝุ่นละออง เช่น $PM_{2.5}$ ที่พบได้ในช่วงฤดูแล้งของประเทศไทย และสมมติให้ในห้องนอนมีความเข้มข้นฝุ่นละอองเริ่มต้นก่อนเปิดเครื่องฟอกอากาศเท่ากับ 100 มคก./ลบ.ม. (ให้เหตุผลว่าเนื่องจากเปิดหน้าต่างทิ้งไว้) สถานการณ์ที่ 1 จะจำลองให้ห้องนอนมีอัตราการรั่วไหลอากาศเข้าออกห้อง 2 ระดับ และจำลองสภาพระหว่างใช้กับไม่ใช้เครื่องฟอกอากาศ ดังนี้

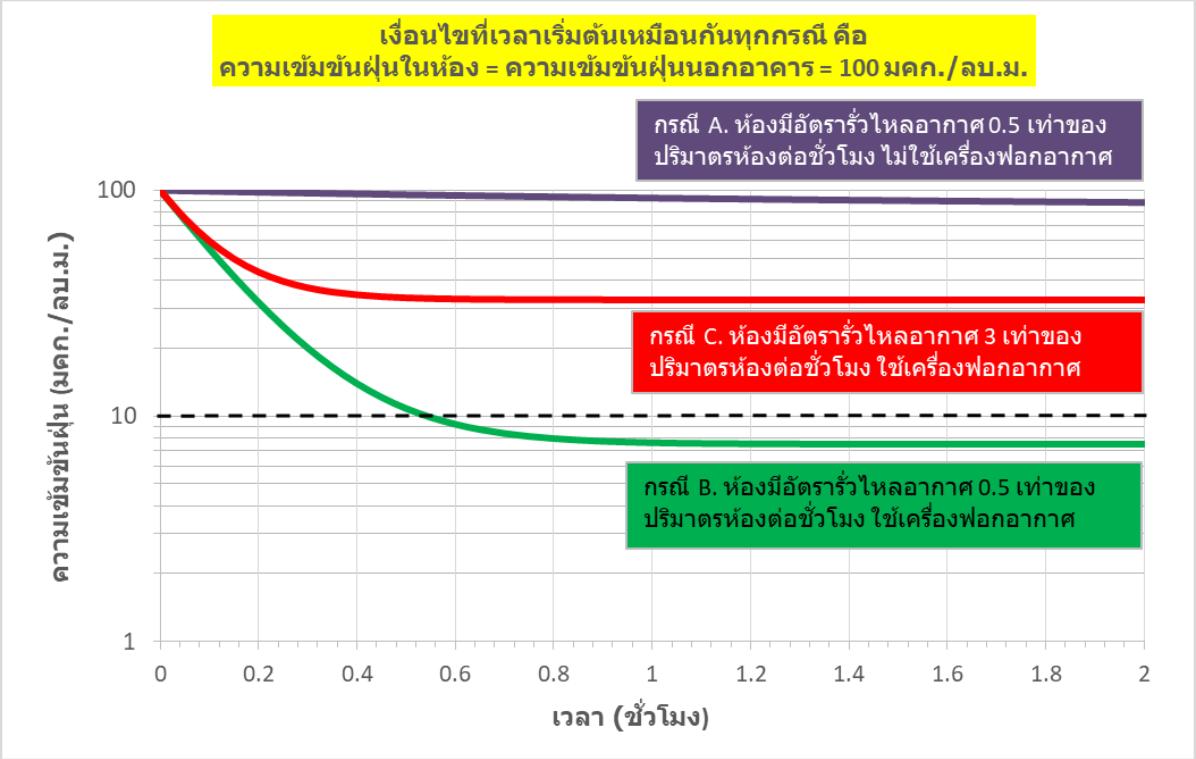
กรณี A. อัตรารั่วไหลอากาศ 0.5 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (ตัวเลขยิ่งน้อย ห้องยิ่งปิดทึบอากาศรั่วไหลน้อย-ปิดประตูหน้าต่างสนิท) และไม่ใช้เครื่องฟอกอากาศ

กรณี B. อัตรารั่วไหลอากาศ 0.5 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง และเปิดใช้เครื่องฟอกอากาศ

กรณี C. อัตรารั่วไหลอากาศ 3 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง และเปิดใช้เครื่องฟอก (ห้องมีอากาศรั่วไหลมากที่สุดในฉากทัศน์นี้ เช่น เปิดแง้มหน้าต่างไว้)

รูปที่ 2 แสดงความเข้มข้นฝุ่นละอองในห้องนอนภายใต้สถานการณ์จำลองที่ 1 ที่มีอัตราการรั่วไหลอากาศเข้าออกห้องนอนแตกต่างกัน โดยกราฟแกน Y แสดงด้วยสเกล log ฐานสิบเพื่อให้สะดวกในการพิจารณาความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ระดับต่ำ ๆ ได้ จะเห็นว่ากรณี A. เมื่อไม่ใช้เครื่องฟอกอากาศ ระดับฝุ่นละอองในห้องจะลดลงเหลือ 88 มคก./ลบ.ม. หรือลดลงไปร้อยละ 12 จากค่าเริ่มต้น กรณี B. เมื่อเปิดใช้เครื่องฟอกไปได้ครึ่งชั่วโมง ระดับฝุ่นละอองลดลงต่ำกว่า 10 มคก./ลบ.ม. กรณี C. เปิดใช้เครื่องฟอกเช่นกัน ฝุ่นละอองในห้องลดลงถึงระดับ 35 มคก./ลบ.ม. แต่จะไม่ลดลงไปต่ำกว่านี้เนื่องจากสาเหตุที่สำคัญคือ ห้องมีการรั่วไหลของอากาศเข้าออกห้องมาก ถึงแม้เปิดใช้เครื่องฟอกแล้วก็ตามแต่ไม่สามารถสู้กับฝุ่นละอองจากด้านนอกที่ถูกเติมเข้าสู่ในห้องตลอดเวลา เพิ่มเติมข้อมูลสำหรับกรณี C. ถ้าไม่เปิดใช้เครื่องฟอกเลย ความเข้มข้นฝุ่นละอองในห้องเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมงจะยังคงใกล้เคียงกับระดับด้านนอกอาคารคือประมาณ 97 มคก./ลบ.ม.

จากสถานการณ์จำลองที่ 1 นี้จะเห็นได้ว่า การใช้เครื่องฟอกอากาศให้ได้ประสิทธิภาพจำเป็นต้องลดการรั่วไหลของอากาศเข้าออกห้องให้ต่ำที่สุด เช่น ปิดห้องให้มิดชิด อุดรอยรั่วขอบประตูหน้าต่าง เนื่องจากแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองหลักอยู่ด้านนอกอาคาร ไม่ใช่อยู่ภายในห้อง (สำหรับกรณีหลัง มาตรการที่ใช้ควรคือการจัดการแหล่งกำเนิดในห้องและ/หรือการเปิดห้องให้มีการระบายอากาศถ่ายเทเอาสิ่งปนเปื้อนในอากาศในห้องออกไป) การปิดห้องให้มิดชิดมากที่สุดจึงจะสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อให้เครื่องฟอกอากาศทำงานฟอกเฉพาะอากาศสกปรกที่ยังหลุดรอดเข้ามาให้ห้อง




รูปที่ 2 ความเข้มข้นฝุ่นละอองในห้องนอนภายใต้สถานการณ์จำลองที่ 1 ที่มีอัตราการรั่วไหลอากาศของห้องนอนแตกต่างกัน

อย่างไรก็ดีผลกระทบด้านลบที่สำคัญมากจากการปิดห้องให้มิดชิด คือ การสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) ที่มาจากผู้อยู่ในห้อง เครื่องฟอกอากาศไม่สามารถกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ได้ นอกจากปัญหาของคาร์บอนไดออกไซด์โดยตัวมันเองแล้ว อัตราการระบายอากาศที่ลดต่ำลงมาก ๆ มีผลต่อการสะสมของมลพิษอากาศอื่นที่เกิดขึ้นหรือถูกปล่อยออกมาภายในห้องเนื่องจากมลพิษอากาศไม่สามารถถูกระบายถ่ายเทออกจากห้องปิดทึบ เช่น เชื้อจุลชีพที่ถูกผลิตจากคนที่อยู่ในห้อง การแพร่กระจายของเชื้อโรคระบบทางเดินหายใจ (เช่น เชื้อหวัด โควิด-19 และอื่น ๆ) สารอินทรีย์ที่ผลิตจากคน (Human bioeffluents) รวมทั้งมลพิษอากาศสารระเหยจากวัสดุภายในห้อง (เช่น ก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์) ดังนั้น การใช้เครื่องฟอกอากาศเพียงอย่างเดียวในห้องปิดทึบที่มีจำนวนคนอยู่หนาแน่นเช่นในอาคารสาธารณะจึงไม่ใช่แนวปฏิบัติในการสร้างสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่มีคุณภาพอากาศดีได้ ยกตัวอย่างเช่น ห้องเรียนเด็ก เป็นต้น ซึ่งแนวทางที่ดีที่สุดในการป้องกันฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดหลักอยู่ด้านนอกอาคารพร้อมกับสามารถรักษาอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมได้ คือ การใช้ระบบการเติมอากาศสะอาดความดันบวกเข้าสู่ห้องตลอดเวลา (Positive pressure fresh air system, PPS) ผู้สนใจสามารถอ่านบทความเพิ่มเติมของ Haug (2020) การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมระดับ $PM_{2.5}$ ในห้องขนาด 32 ตารางเมตรระหว่างการใช้ระบบ PPS กับการใช้เครื่องฟอกอากาศประเภทตัวกรองเส้นใย

**2) สถานการณ์จำลองที่ 2 ผลของความเข้มข้นฝุ่นละอองด้านนอกอาคาร**

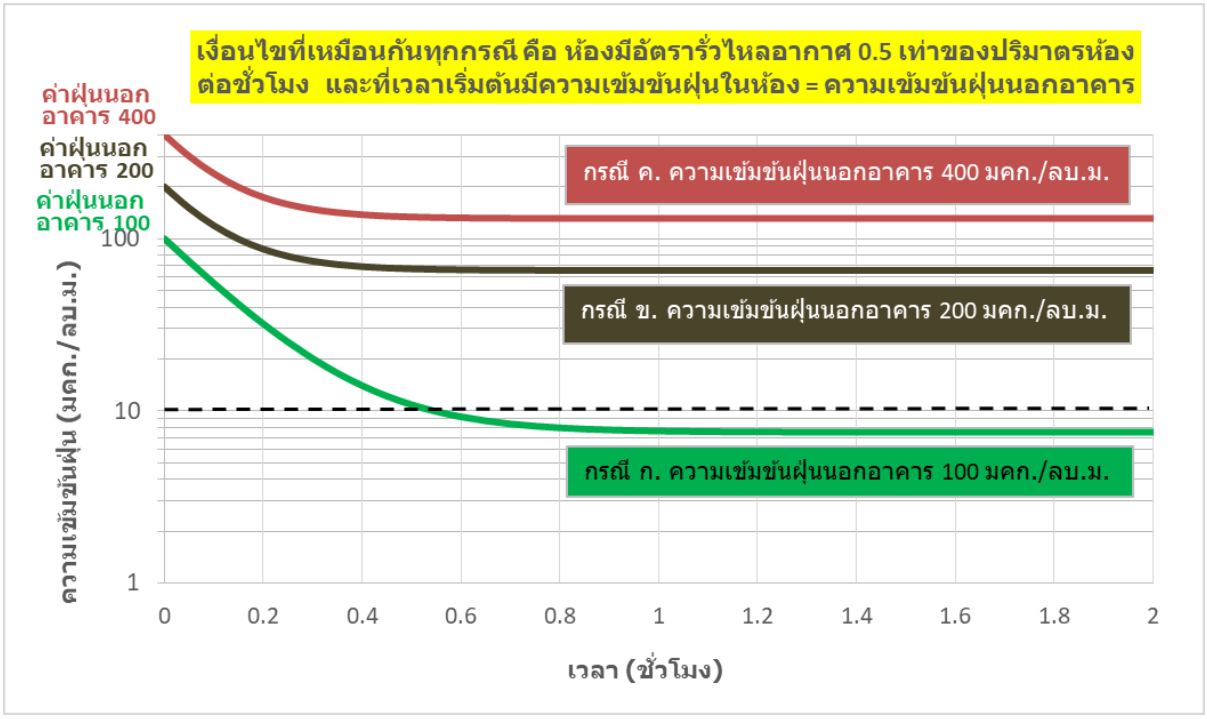
ความเข้มข้นฝุ่นละอองด้านนอกอาคารเพิ่มขึ้นจาก 100 เป็น 200 และ 400 มคก./ลบ.ม. ซึ่งเป็นระดับที่พบได้ในช่วงวิกฤต $PM_{2.5}$ ในภาคเหนือของประเทศไทย เครื่องฟอกอากาศที่ใช้อยู่ในห้องจะสามารถรับมือได้หรือไม่ โดยในที่นี้กำหนดให้ห้องนอนมีอัตราการรั่วไหลอากาศต่ำ ๆ เท่ากับ 0.5 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง ให้อากาศสกปรกจากด้านนอกรั่วไหลเข้าสู่ในห้องได้น้อยสุดแล้ว สถานการณ์นี้จะจำลองให้ความเข้มข้นฝุ่นละอองด้านนอกมี 3 ระดับ โดยทุกกรณีเปิดใช้เครื่องฟอกอากาศ ดังนี้

กรณี ก. ความเข้มข้นฝุ่นละอองนอกอาคาร 100 มคก./ลบ.ม. เปิดใช้เครื่องฟอกอากาศ (กรณี ก. คือ กรณี B. ในสถานการณ์จำลองที่ 1 ทั้งนี้เพื่อให้เห็นระดับอ้างอิงเมื่อคงค่าอัตราการรั่วไหลของอากาศ 0.5 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง)

กรณี ข. ความเข้มข้นฝุ่นละอองนอกอาคาร 200 มคก./ลบ.ม. เปิดใช้เครื่องฟอกอากาศ

กรณี ค. ความเข้มข้นฝุ่นละอองนอกอาคาร 400 มคก./ลบ.ม. เปิดใช้เครื่องฟอกอากาศ

รูปที่ 3 แสดงความเข้มข้นฝุ่นละอองในห้องนอนภายใต้สถานการณ์จำลองที่ 2 ที่มีฝุ่นละอองด้านนอกอาคารเพิ่มขึ้นจาก 100 เป็น 200 และ 400 มคก./ลบ.ม. โดยที่ห้องยังปิดมิดชิดตามเดิม จะเห็นว่าเมื่อฝุ่นละอองด้านนอกสูงขึ้นมากกว่า 200 มคก./ลบ.ม. เครื่องฟอกอากาศไม่สามารถลดฝุ่นละอองในห้องลงต่ำกว่า 10 มคก./ลบ.ม. ได้ และในกรณีที่ฝุ่นละอองด้านนอกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 400 มคก./ลบ.ม. เราอาจพบว่าฝุ่นละอองในห้องยังคงสูงกว่า 100 มคก./ลบ.ม. ถึงแม้จะเปิดใช้เครื่องฟอกอากาศนานกว่า 2 ชั่วโมงแล้วก็ตาม




รูปที่ 3 ความเข้มข้นฝุ่นละอองในห้องนอนภายใต้สถานการณ์จำลองที่ 2 ที่มีความเข้มข้นฝุ่นละอองด้านนอกอาคารแตกต่างกัน

จากสถานการณ์จำลองที่ 2 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองด้านนอกอาคารมีผลอย่างยิ่งต่อความสามารถของเครื่องฟอกอากาศในการควบคุมฝุ่นละอองในห้องให้อยู่ในระดับต่ำได้ (เช่นต่ำกว่า 10 มคก./ลบ.ม.) ดังนั้น อาคารในพื้นที่ภาคเหนือจึงต้องติดตั้งเครื่องฟอกอากาศในห้องมากกว่าหนึ่งเครื่องหรือใช้เครื่องที่มีค่า CADR สูงกว่านี้ หรือต้องอุดรอยรั่วของห้องให้มิดชิดมากกว่านี้อีก แต่มาตรการที่เข้มข้นดังกล่าวนี้ก็ไม่รับประกันว่าเครื่องฟอกอากาศจะช่วยปกป้องคนในอาคารจากฝุ่นละอองได้ถ้าฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทยในแต่ละปียังคงไต่ระดับสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ ดังนั้น การควบคุมแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศจึงเป็นสิ่งสำคัญที่สุด

## 4. บทสรุป

การจำลองสถานการณ์ในบทความนี้ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่า เครื่องฟอกอากาศแบบเคลื่อนย้ายได้ถูกทำให้ลดทอนความสามารถในการควบคุมฝุ่นละอองในห้องจากปัจจัยสภาพแวดล้อมที่สำคัญอันได้แก่ อัตราการรั่วไหลของอากาศเข้าออกห้อง และความเข้มข้นฝุ่นละอองด้านนอกอาคาร ดังนั้น การใช้งานเครื่องฟอกอากาศอย่างมีประสิทธิภาพในสภาพจริง (Effectiveness) ผู้ใช้จำเป็นต้องอุดช่องเปิดหรือขอบรอยต่อต่าง ๆ ของห้องให้สนิทเพื่อกันไม่ให้อากาศจากภายนอกนำพาฝุ่นละอองเข้าสู่ด้านในห้อง แต่ผู้ใช้อาจได้รับผลกระทบจากอัตราการระบายอากาศของห้องที่ต่ำลง แนวทางนี้จึงอาจเหมาะกับห้องที่มีจำนวนผู้ใช้สอยน้อยต่อพื้นที่ เช่น ห้องในที่พักอาศัยส่วนบุคคล เป็นต้น การใช้เครื่องฟอกอากาศจึงไม่ควรเป็นมาตรการหลักสำหรับควบคุมฝุ่นละอองในห้องที่มีจำนวนผู้ใช้สอยหนาแน่นต่อพื้นที่ นอกจากนี้ในพื้นที่ที่มีความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศสูงหลักร้อยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผู้ใช้ควรต้องเพิ่มขนาดเครื่องฟอกให้ใหญ่ขึ้นคือเลือกเครื่องที่มีค่า CADR มากกว่าค่าที่แนะนำ เช่นกรณีในแบบจำลองเลือกใช้เครื่องขนาดใหญ่กว่าค่าแนะนำ 2 เท่า หรือต้องจัดหาจำนวนเครื่องฟอกมากกว่าหนึ่งเครื่องสำหรับพื้นที่ใช้งาน แต่สำหรับห้องหรืออาคารที่มีผู้ใช้สอยหนาแน่นควรพิจารณาระบบเติมอากาศสะอาดความดันบวกเป็นมาตรการหลักซึ่งจะป้องกันฝุ่นละอองพร้อมช่วยรักษาอัตราการระบายของห้องได้อย่างเพียงพอ สำหรับข้อแนะนำการเลือกประเภทเครื่องฟอกและข้อแนะนำอื่น ๆ สามารถศึกษาได้ในบทความ มณีรัตน์ องค์วรรณดี (2553) ทั้งนี้เงื่อนไขทั้งหมดในบทความนี้พิจารณาเฉพาะการควบคุมมลพิษอากาศประเภทฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีแหล่งกำเนิดภายนอกอาคารเท่านั้น ไม่ได้ครอบคลุมถึงมลพิษอากาศอื่นที่มีแหล่งกำเนิดในอาคาร เช่น ก๊าซอนินทรีย์ สารระเหยอินทรีย์ สารกึ่งระเหยอินทรีย์ เป็นต้น

---

**เอกสารอ้างอิง**

มณีรัตน์ องค์วรรณดี. (2553). เครื่องฟอกอากาศ ทางออกสำหรับการกำจัดมลพิษอากาศภายในอาคาร? วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 14(3), 7-10.

มณีรัตน์ องค์วรรณดี. (2556). การจัดการคุณภาพอากาศในอาคาร :มลพิษอากาศในอาคาร การตรวจวัด และวิธีการควบคุมทางวิศวกรรม. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2563). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 3061-2563 เครื่องฟอกอากาศ เฉพาะด้านประสิทธิภาพการลด PM2.5. กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2558). มาตรฐานทั่วไป. สืบค้นจาก https://www.tisi.go.th/website/about/TISI2

อรอุมา โชติพงศ์. (2561). ฝุ่น PM2.5 ในประเทศไทย. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 22(4), 50-56.

AHAM. (29 August 2014). ANSI/AHAM AC-1: Method for Measuring the Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners: Understanding its Scope and the Related AHAM Industry Certification Program. The Association of Home Appliance Manufacturers. https://ahamverifide.org/wp-content/uploads/2019/07/Scope-of-Air-Cleaner-Certification.pdf

AHAM. (15 Jun 2020). Frequently Asked Questions about Testing of Portable Air Cleaners. The Association of Home Appliance Manufacturers. https://ahamverifide.org/wp-content/uploads/2020/06/Air-Cleaner-Performance-FAQs.pdf

Google Trends. (2 January 2024). เครื่องฟอกอากาศ. https://trends.google.com/trends/explore?date=all&geo=TH&q=%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%9F%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A8&hl=en

Haug, A. (30 Mar 2020). Air Purifier vs. Positive Pressure Fresh Air System – an unfair Battle? https://www.airgradient.com/blog/air-purifier-vs-positive-pressure-fresh-air-system-an-unfair-battle/

Lai, A.C.K., & Nazaroff, W.W. (2000). Modelling Indoor Particle Deposition from Turbulent Flow onto Smooth Surfaces: Journal of aerosol science, 31, 463 476.

Ongwandee, M., & Kruewan, A. (2013). Evaluation of Portable Household and In-Car Air Cleaners for Air Cleaning Potential and Ozone-Initiated Pollutants. Indoor and Built Environment, 22(4), 659-668.