คุณภาพอากาศภายในห้องเรียนมหาวิทยาลัย: การวิเคราะห์เชิงทฤษฎี กรณีศึกษาจังหวัดชลบุรี

รจนา ประไพนพ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี 20230
E-mail: rotchana@eng.src.ku.ac.th

รับบทความ: 4 กันยายน 2568 แก้ไขบทความ: 27 ตุลาคม 2568 ยอมรับตีพิมพ์: 2 พฤศจิกายน 2568

บทคัดย่อ

คุณภาพอากาศภายในอาคารสถานศึกษามีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเรียนรู้และสุขภาพของผู้ใช้อาคาร การศึกษานี้วิเคราะห์ความเข้มข้นของ PM2.5 และ CO_2 ในห้องเรียนอุดมศึกษาจังหวัดชลบุรี โดยใช้แนวทางการจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงทฤษฎี ห้องเรียนกรณีศึกษามีความจุสูงสุด 46 คน พื้นที่ 64 m^2 ปริมาตร 185.6 m^3 เป็นห้องปรับอากาศที่มีพัดลมระบายอากาศ ยังไม่มีระบบกรองอากาศหรือเครื่องฟอกอากาศ การศึกษาจำลองสถานการณ์ปัจจุบันและกรณีที่มีเครื่องฟอกอากาศโดยใช้สมการสมดุลมวลในสภาวะคงตัว ผลการศึกษาพบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 9.39 h^{-1} เพียงพอรักษาระดับ CO_2 ไม่เกิน 1,000 ppm เมื่อใช้งานเต็มความจุ CO_2 ในห้องคำนวณได้ 829 ppm (กรณีกำหนด CO_2 ภายนอก 430 ppm) สำหรับ PM2.5 เมื่อไม่มีเครื่องฟอกอากาศ หากฝุ่น PM2.5 ภายนอกเท่ากับ 60 $\mu g/m^3$ การคำนวณพบว่าภายในห้องจะมีฝุ่น PM2.5 เท่ากับ 47.49 $\mu g/m^3$ การประเมินขนาดเครื่องฟอกอากาศเพื่อรักษาระดับ PM2.5 ภายในห้องให้ได้ 15 $\mu g/m^3$ (เกณฑ์อากาศดีมาก) เมื่อฝุ่นภายนอก 30–70 $\mu g/m^3$ จะต้องใช้ CADR 1,027–4,745 m^3/h หากต้องการควบคุมค่าฝุ่น PM2.5 ภายในห้องให้ได้ระดับที่ต่ำกว่า 25 $\mu g/m^3$ (เกณฑ์อากาศดี) ต้องใช้ CADR 1,800 m^3/h การเปรียบเทียบผลคำนวณกับการวัดจริงพบว่า I/O ratio ของ PM2.5 จากการคำนวณเท่ากับ 0.79 และจากการวัดแล้วปรับค่าเท่ากับ 0.75–0.79 (ห้องไม่มีเครื่องฟอกอากาศ) เมื่อ PM2.5 วัดได้ตั้งแต่ 4 $\mu g/m^3$ ขึ้นไป แสดงให้เห็นความแม่นยำของแบบจำลอง แต่การปรับค่าที่ PM2.5 ต่ำกว่า 4 $\mu g/m^3$ ยังไม่แม่นยำนัก ส่วน CO_2 ความแม่นยำในการทำนายขึ้นกับการกำหนดค่า CO_2 ภายนอก อัตราการระบายอากาศ และอัตราการผลิต CO_2 ในห้องที่เหมาะสม ข้อจำกัดของการศึกษา คือ เป็นการศึกษาเชิงทฤษฎี สมมติพารามิเตอร์เป็นค่าคงที่ และศึกษาเฉพาะภาวะคงตัว การศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการทำนาย CO_2 การประมาณขนาดเครื่องฟอกอากาศที่เหมาะสม และการทำนายระดับ PM2.5 ภายในห้องเรียนซึ่งเป็นประโยชน์ในการเลือกระบบฟอกอากาศสำหรับสถานศึกษาต่อไป

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน คาร์บอนไดออกไซด์ ห้องเรียน การวิเคราะห์เชิงทฤษฎี คุณภาพอากาศภายใน

Abstract

Indoor Air Quality in University Classrooms: A Theoretical Modeling Approach with a Case Study in Chonburi

Rotchana Prapainop

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Sri Racha,
Kasetsart University, Sri Racha Campus, Chonburi 20230, Thailand
*E-mail: rotchana@eng.src.ku.ac.th

Received: 4 September 2025 Revised: 27 October 2025 Accepted: 2 November 2025

Abstract

Indoor air quality in educational buildings significantly impacts learning efficiency and occupant health. This study analyzes PM2.5 and CO_2 concentrations in higher education classrooms in Chonburi Province using theoretical mathematical modeling approaches. The case study classroom has a maximum capacity of 46 occupants, floor area of 64 m^2, volume of 185.6 m^3, and is air–conditioned with exhaust fans but lacks air filtration or purification systems. The study simulates current conditions and scenarios with air purifiers using steady–state mass balance equations. Results indicate that an air exchange rate of 9.39 h^{-1} is sufficient to maintain CO_2 levels below 1,000 ppm at full occupancy. Indoor CO_2 concentration was calculated at 829 ppm (assuming outdoor CO_2 of 430 ppm). For PM2.5 without air purification, when outdoor PM2.5 equals 60 $\mu g/m^3$, calculations show indoor PM2.5 concentration of 47.49 $\mu g/m^3$. Air purifier sizing assessment to maintain indoor PM2.5 at 15 $\mu g/m^3$ (excellent air quality standard) with outdoor concentrations of 30–70 $\mu g/m^3$ requires CADR of 1,027–4,745 m^3/h. To control indoor PM2.5 below 25 $\mu g/m^3$ (good air quality standard), CADR of 1,800 m^3/h is required. Comparison between calculated and measured with adjusted results shows PM2.5 I/O ratios of 0.79 (calculated) and 0.75–0.79 (measured and adjusted) for rooms without air purifiers when PM2.5 is equal or higher than 4 $\mu g/m^3$, demonstrating model accuracy. However, for PM2.5 is smaller than 4 $\mu g/m^3$, the accuracy of prediction is reduced. For CO_2, prediction accuracy depends on appropriate assumptions of outdoor CO_2 concentrations, ventilation rates, and indoor CO_2 generation rates. Study limitations include theoretical approach, constant parameter assumptions, and steady–state conditions only. This study provides guidance for CO_2 prediction, appropriate air purifier sizing estimation, and indoor PM2.5 level prediction in classrooms, which is beneficial for selecting air purification systems for educational institutions.

Keywords: Particulate matter 2.5, Carbon dioxide, Classroom, Theoretical analysis, Indoor air quality