

ความสัมพันธ์ของผู้ใช้ห้องต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ในห้องเรียนปรับอากาศ

A Relationship between Room User and Carbon Dioxide in Air-Conditioned Classroom

ณัณนัพพร มั่งสวัสดิ์*

Naipabhon Mangsawad*

Received: January 19, 2023

Revised: April 10, 2023

Accepted: April 10, 2023

บทคัดย่อ

งานศึกษานี้เป็นการหาความสัมพันธ์ของผู้ใช้ห้องเรียนต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในห้องเรียนปรับอากาศ โดยทำการวัดค่าความเข้มข้นของ CO_2 ภายในห้องเรียนปรับอากาศ สาขาวิชาโยธาสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี จำนวน 3 ห้อง ที่มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันและมีกิจกรรมการเรียนการสอนต่างกัน ด้วยเครื่องวัดคุณภาพอากาศ Air meter Fluke 975 ซึ่งตามเกณฑ์มาตรฐาน (ASHRAE) กำหนดค่าความเข้มข้นของ CO_2 ให้ไม่เกิน 1,000 ส่วนในล้านส่วน (Part per million : ppm) ผลการตรวจวัดพบว่าภายในห้องเรียนที่มีจำนวนผู้ใช้ห้องเรียนไม่เกิน 30 คน มีค่าความเข้มข้นของ CO_2 ตั้งแต่ 393 ถึง 5,314 ppm ทุกห้องติดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน 2 เครื่อง และไม่มีพัดลมดูดอากาศ เมื่อมีการใช้ห้องเป็นเวลา 45 ถึง 60 นาที พบว่าค่าความเข้มข้นของ CO_2 จะเกิน 1,000 ppm อันแสดงถึงการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ เนื่องจากมีผู้ใช้ห้องเป็นจำนวนมากและไม่มีการติดตั้งระบบแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้อง จึงควรพักช่วงเวลาในการใช้งานห้อง โดยให้ผู้ใช้ห้องออกจากห้องและเปิดประตูหน้าต่างเพื่อระบายอากาศ ทุกๆ 45 ถึง 60 นาที และเมื่อผู้ใช้ห้องอยู่ภายในห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อเนื่อง ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิน 1,800 ppm ทุกครั้ง ซึ่งอาจทำให้ผู้เรียนผู้สอนเกิดอาการวิงเวียน ปวดศีรษะ หมดแรง ไม่มีสมาธิ ระคายคอ ระคายจมูก และพบว่าห้องเรียนในช่วงบ่ายจะมีการสะสมของ CO_2 จากช่วงเช้าจนเกินมาตรฐานแล้ว แม้จะหยุดการใช้งานห้องเรียนในช่วงพักเที่ยงและไม่มีคนอยู่ภายในห้องเรียนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก็ไม่สามารถลดความเข้มข้นของ CO_2 ให้ต่ำกว่า 1,000 ppm ได้

จากการศึกษาพบว่า จำนวนผู้ใช้ห้องเรียนที่ไม่ทำให้ระดับความเข้มข้นของ CO_2 เกิน 1,000 ppm ในช่วงเวลาเรียน 3 ชั่วโมงต่อเนื่อง คือ 3 ถึง 6 คนต่อห้อง ซึ่งไม่สามารถใช้งานได้จริง ควรเพิ่มการไหลเวียนของอากาศบริสุทธิ์ภายนอกเข้ามาภายในห้อง และดูดอากาศภายในห้องออกไปภายนอกในระหว่างการใช้งาน เช่น การติดตั้งพัดลมดูดอากาศแบบมีระบบดูดเข้า-ออก และหากต้องการให้อากาศเกิดการถ่ายเทได้เร็วขึ้น ควรติดตั้งพัดลมดูดอากาศเข้า-ออกสองเครื่องในตำแหน่งตรงข้ามกัน ผลการศึกษายังพบว่า การเรียนในห้องเดียวกันนี้โดยไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ แต่เปิดประตูหน้าต่างในตำแหน่งตรงข้ามกัน ทำให้อากาศระบายโดยวิธีธรรมชาติร่วมกับการเปิดพัดลมเพดาน ค่าความเข้มข้นของ CO_2 มีค่าสูงสุดเพียง 459.5 ppm เท่านั้น ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมและไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้ใช้ห้อง

* สาขาวิชาโยธาสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อุดรธานี ประเทศไทย 41000

* Department of Civil Architecture, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University, Udon Thani 41000, Thailand
Corresponding author E-mail: naruwana.ma@udru.ac.th*

Abstract

This study aimed to determine a relationship between room users and carbon dioxide (CO₂) in an air-conditioned classroom. The CO₂ concentration was measured in three air-conditioned classrooms in the Department of Civil Architecture, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University, which had different physical characteristics and different activities, using an air quality meter 'Air meter Fluke 975'. The standard criteria (ASHRAE) determines that the CO₂ concentration should not exceed 1,000 parts per million (ppm). The measurement results showed that in classrooms with 30 or fewer users, the CO₂ concentration ranged from 393 to 5,314 ppm. All classrooms are equipped with 2 split-type air conditioners and no exhaust fan. When the rooms were in use for 45 to 60 minutes, CO₂ concentrations exceeded 1,000 ppm, indicating insufficient ventilation because many people use the room, and no air exchange system is installed. Therefore, students should take a break during use and open the windows and doors for ventilation every 45 to 60 minutes. And after being in the room for 3 hours continuously, the concentration of carbon dioxide would always exceed 1,800 ppm, which may cause dizziness, headache, exhaustion, lack of concentration, and throat and nose irritation. The classrooms in the afternoon had the accumulation of CO₂ from the morning exceed the standard. Even without people in the classroom during the one-hour lunch break, CO₂ concentrations could not be reduced below 1,000 ppm.

The study found that the number of classroom users that do not cause CO₂ to exceed 1,000 ppm during a continuous 3-hour class period is 3 to 6 persons per classroom, which is not practical. The ventilation rate should be increased by the flow of fresh air outside into the room and sucks the air inside the room out during use, such as installing an exhaust fan with an inlet-out system if installing an exhaust fan two machines in opposite positions will make the air flow faster. The study also found that studying in the same room without air conditioning but opening windows and doors in opposite positions. Let the air ventilate naturally in conjunction with turning on the ceiling fan. The CO₂ concentration average value is only 459.5 ppm, which does not adversely affect the health of the room users.

คำสำคัญ: คาร์บอนไดออกไซด์ ห้องเรียน ห้องปรับอากาศ คุณภาพอากาศภายในอาคาร การระบายอากาศ

Keywords: Carbon Dioxide (CO₂), Classroom, Air-Conditioned Room, Indoor Air Quality (IAQ), Ventilation

บทนำ

ในแต่ละวัน คนอาศัยอยู่ภายในอาคารเป็นเวลานาน มากกว่าร้อยละ 90 ของเวลาทั้งวันหรือคิดเป็น 22 ชั่วโมงต่อวัน คุณภาพอากาศภายในอาคาร จึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก (US EPA, 2016) ซึ่งอาคารสาธารณะประเภทอาคารเรียน อาคารสำนักงาน มีการใช้งานภายในอาคารโดยเฉลี่ย 8 ถึง 10 ชั่วโมงต่อวัน จากการเก็บข้อมูล ห้องเรียนระดับ

อุดมศึกษาในปัจจุบันโดยส่วนมากเป็นห้องปรับอากาศและเครื่องปรับอากาศที่นิยมติดตั้งเป็นแบบแยกส่วน ไม่มีระบบระบายอากาศ ไม่มีการเติมอากาศบริสุทธิ์จากภายนอก เนื่องจากเหตุผลของระบบปรับอากาศที่ต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เพื่อให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกสบายในสภาพอากาศภายใน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานภายในห้องที่ติดอีกทั้ง หากมีการแลกเปลี่ยนอากาศภายในและภายนอกห้องในปริมาณมาก จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศ การออกแบบห้องเรียน ห้องทำงาน ต้องคำนึงถึงการใช้งานภายในห้องที่สามารถลดเสียรบกวนจากภายนอกได้ ป้องกันฝุ่นควัน ป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ห้องผ่านกรอบอาคาร สิ่งเหล่านี้ทำให้ภายในห้องไม่มีการระบายอากาศ และอาจมีสารเคมีอันตรายระเหยอยู่ภายในห้องได้ หากผู้ใช้อาคารสูดอากาศภายในห้องแบบนี้อย่างต่อเนื่อง อาจก่อให้เกิดโรคจากอาคาร (Sick Building Syn-drome : SBS) เกิดความเจ็บป่วยเกี่ยวกับอาคาร (Building Related Illness : BRI) เช่น ปริมาณ CO_2 ภายในห้องที่มากกว่า 1,500 ppm อาจทำให้คนภายในห้องรู้สึกวิงเวียน ปวดศีรษะ หดแรงแรง และหาก CO_2 อยู่ในช่วง 1,500 ถึง 4,000 ppm อาจทำให้รู้สึกกระคายเคืองคอ จมูก ไอ และน้ำตาไหลได้ (Myhrvold, A.N., Olsen, E. and Lauridsen, 1996) เป็นสาเหตุของโรคภูมิแพ้ โรคระบบทางเดินหายใจ เมื่อผู้ใช้ห้องทำกิจกรรมมากขึ้น ก๊าซออกซิเจนที่หายใจจะเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ คุณภาพอากาศภายในห้องลดลง ซึ่งระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามเกณฑ์มาตรฐานของสมาคมด้านวิศวกรรมปรับอากาศและทำความเย็นของสหรัฐอเมริกา (ASHRAE) กำหนดให้ไม่ควรมากกว่า 1,000 ส่วนในอากาศหนึ่งล้านส่วน (ppm)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ห้องที่มีการรั่วซึมของอากาศหรือมีการแลกเปลี่ยนอากาศภายในและภายนอกห้อง จะมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่ำกว่าห้องที่ปิดมิดชิด เนื่องจากอากาศภายนอกจะเจือจางความเข้มข้นของอากาศภายใน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะขึ้นอยู่กับจำนวนคนและปริมาตรห้อง (อิริฐมิ ทิมา, 2563) และจากการใช้งานภายในห้องเรียนที่มีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลานานพบว่าสามารถทำให้ผู้เรียนง่วงซึม ไม่สดชื่น อ่อนเพลีย หน้ามืดหมดสติได้ (สุมาวลี จินดาพล, 2562) ซึ่งส่งผลเสียโดยตรงต่อสุขภาพของผู้เรียนและผู้สอน อาจทำให้ความสามารถในการทำงานลดลง เกิดอาการวิงเวียน ปวดศีรษะ หดแรงแรง ระคายเคืองคอ ระคายจมูก และเมื่อสะสมเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดภาวะเลือดเป็นกรด ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดโรคร้ายแรงหลายชนิดได้

การทำกิจกรรมของนักศึกษาในห้องเรียนติดต่อกันเป็นเวลาหลายชั่วโมงต่อวัน และไม่มีการติดตั้งระบบการระบายอากาศภายในห้อง รวมถึงไม่มีการเปิดประตูหน้าต่างเพื่อถ่ายเทอากาศ ซึ่งก่อให้เกิดการสะสมของ CO_2 ที่อาจส่งผลเสียต่อสุขภาพและคุณภาพของการเรียนการสอน ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญ (Myhrvold, Olsen & Lauridsen, 1996) ในประเทศไทยการศึกษาคุณภาพอากาศในห้องเรียนยังไม่มีมากนัก เช่น การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในห้องเรียน (อิริสา กาญจนการะจ่าง และภารดี ช่วยบำรุง, 2560) และคุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (สุมาวลี จินดาพล, 2562) ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาความเข้มข้นของ CO_2 ในห้องเรียนสาขาวิชาโยธา สถาปัตยกรรมและประเมินคุณภาพอากาศในห้องเรียน รวมถึงหาความสัมพันธ์ของผู้ใช้ห้องเรียนต่อปริมาณ CO_2 ในห้องเรียนปรับอากาศ ผลของการศึกษาจะเป็นข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในห้องเรียนให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคารให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน โดยทำการศึกษาค้นคว้า เก็บข้อมูลในช่วงเดือนกันยายน ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 ซึ่งเป็นช่วงก่อนการบังคับสวมหน้ากากอนามัยตามมาตรการป้องกันการระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา ผู้ใช้อาคารไม่ได้สวมหน้ากากจึงไม่มีผลต่อการวัด CO_2 จากการหายใจ กิจกรรมในห้องเรียนเป็นการนั่งทำงาน ค่าระดับการเผาผลาญของร่างกายเฉลี่ยที่ 1.5 Met เป็นวิชาต่อเนื่องทั้งวัน ผู้เรียนส่วนมากแต่งกายเสื้อเชิ้ตแขนสั้น กางเกงขาสั้น ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าเฉลี่ย 0.57 Clo (ASHRAE, 1992) ทุกห้องติดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ห้องละ 2 เครื่อง เปิดที่อุณหภูมิ 23 ถึง 25 องศาเซลเซียส มีการเก็บข้อมูลทุก 10 นาที โดยการวัดบันทึกค่า ความเข้มข้นของ CO_2 ที่วัดได้เป็นค่าเฉลี่ยของทุกจุด แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาประกอบกับการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ASHRAE เพื่อหาสัดส่วนของผู้ใช้ห้องเรียนต่อปริมาตรห้องที่มีความเข้มข้นของ CO_2 ที่เหมาะสม

การเก็บข้อมูล ใช้เครื่องวัดคุณภาพอากาศ Air meter Fluke 975 โดยสามารถวัดอุณหภูมิอากาศได้ในช่วง $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ วัดค่า CO_2 ได้ในช่วง 0 ถึง 5,000 ppm ค่าความแม่นยำในช่วงเปิดเครื่อง 5 นาที คือ $2.75\% + 75\text{ ppm}$ ซึ่งทำการวัดค่า CO_2 ในห้องเรียน 3 ห้องของสาขาวิชาโยธาสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี คือ 1. ห้องเขียนแบบ (TB5106) ขนาดพื้นที่ 85 ตร.ม. ปริมาตรห้อง 323 ลบ.ม. ฝ้าสูง 3.8 เมตร มีช่องเปิด 3 ด้าน 2. ห้องเรียน (TB5104) ขนาดพื้นที่ 43.04 ตร.ม. ปริมาตรห้อง 170 ลบ.ม. ฝ้าสูง 3.95 เมตร มีช่องเปิด 2 ด้าน ตรงข้ามกัน และ 3. ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ (TB7101) พื้นที่ 56.5 ตร.ม. ปริมาตรห้อง 226 ลบ.ม. ฝ้าสูง 4 เมตร มีช่องเปิด 3 ด้าน ซึ่งเป็นห้องเรียนขนาดทั่วไปในสถาบันศึกษา และในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่มีจำนวนผู้ใช้งานค่อนข้างเยอะ ผลที่ได้จากการศึกษา สามารถนำไปใช้กับห้องเรียนขนาดทั่วไปได้ โดยทำการตรวจวัดทั้งหมดห้องละ 2 ถึง 4 วัน ที่ระดับความสูงบนโต๊ะเรียน 0.90 เมตร และที่ระดับความสูงบนโต๊ะเขียนแบบ 1.00 เมตร ซึ่งเป็นระดับของการหายใจและมีจำนวนผู้ใช้ห้องเรียนไม่เกิน 30 คน

ตารางที่ 1 แสดงการเก็บข้อมูลภายในห้องเรียน 3 ห้อง จุดตั้งเครื่องวัดคุณภาพอากาศ Air meter Fluke 975

กรณีศึกษา	ลักษณะกายภาพ	มุมมองด้านบน แสดงจุดตรวจวัดค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้อง
1. ห้องเขียนแบบ (TB5106) ตั้งแต่เวลา 09:00 ถึง 16:40 น. วางเครื่องมือ 3 จุด	ขนาดพื้นที่ 85 ตร.ม. ปริมาตรห้อง 323 ลบ.ม. (ฝ้าสูง 3.8 เมตร)	

ตารางที่ 1 แสดงการเก็บข้อมูลภายในห้องเรียน 3 ห้อง (ต่อ) จุดตั้งเครื่องวัดคุณภาพอากาศ Air meter Fluke 975

กรณีศึกษา	ลักษณะกายภาพ	มุมมองด้านบน แสดงจุดตรวจวัดค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้อง
2. ห้องเรียน (TB5104) ตั้งแต่เวลา 09:22 ถึง 14:50 น. วางเครื่องมือ 4 จุด	ขนาดพื้นที่ 43.04 ตร.ม. ปริมาตรห้อง 170 ลบ.ม. (ฝ้าสูง 3.95 เมตร)	
3. ห้องปฏิบัติการ คอมพิวเตอร์ (TB7101) ตั้งแต่เวลา 09:10 ถึง 19:00 น. วางเครื่องมือ 5 จุด	พื้นที่ 56.5 ตร.ม. ปริมาตรห้อง 226 ลบ.ม. (ฝ้าสูง 4 เมตร)	



ภาพที่ 1 แสดงการวางตำแหน่งเครื่องวัดคุณภาพอากาศในห้องเรียนแบบ (TB5106)

การศึกษา นำอัตราการถ่ายเทอากาศ (Air change per hour: ACH) มาเปรียบเทียบ ซึ่งคำนวณจากสมการ

$$ACH = [\ln (C_o/C_t)] / t$$

โดย C_o คือ ความเข้มข้นของ CO_2 นาที่สุดท้ายที่ยังมีผู้เรียนอยู่ในห้อง

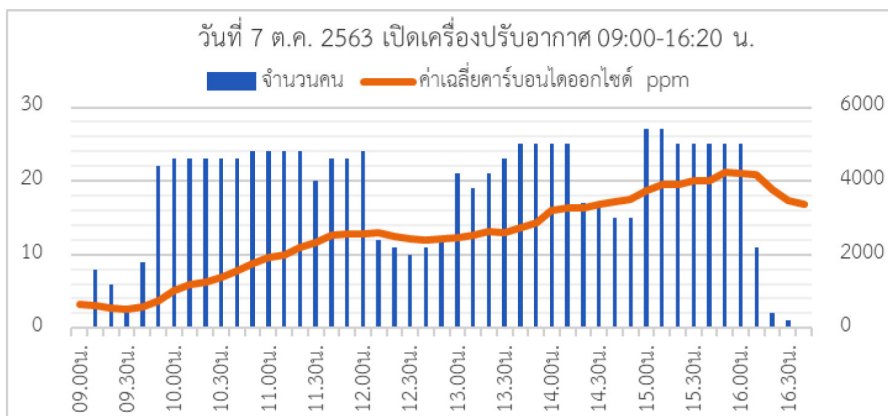
C_t คือ ความเข้มข้นของ CO_2 ที่เวลาใดๆ หลังผู้เรียนออกจากห้อง

t คือ จำนวนชั่วโมงหลังผู้เรียนออกจากห้อง

ซึ่งมาตรฐาน ASHRAE กำหนดค่า ACH สำหรับห้องเรียนไม่ควรต่ำกว่า 6 ACH

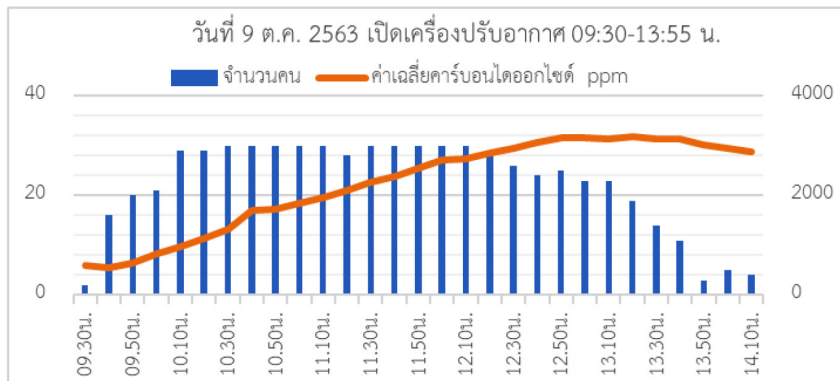
ผลการศึกษา

ผลการเก็บข้อมูลในห้องเขียนแบบ (TB5106) วันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2563 ปิดประตูหน้าต่าง เปิดเครื่องปรับอากาศ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO_2 ทั้ง 3 จุด เมื่อเริ่มใช้ห้องเวลา 09:00 น. คือ 652 ppm เมื่อมีผู้เรียนเข้าห้อง ค่า CO_2 ลดลงถึง 529 ppm ที่เวลา 09:30 น. และเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา เมื่อ 10:00 น. ค่า CO_2 สูงถึง 1,003 ppm จำนวนผู้ใช้ห้อง 24 คน มีการเปิดประตูเข้าออกห้องทุก 10 นาที เนื่องจากผู้เรียนเข้าห้องไม่พร้อมกันและไม่มีสมาธิในการเรียน จึงต้องการออกไปดื่มน้ำและสูดอากาศภายนอกห้อง ทำให้มีการแลกเปลี่ยนของอากาศภายในและภายนอกห้องเล็กน้อย ส่งผลให้ค่า CO_2 ลดลงเล็กน้อยกว่าการไม่เปิดปิดห้อง เมื่อสิ้นสุดคาบเช้า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO_2 สูงถึง 2,605 ppm และลดลงเมื่อผู้เรียนออกจากห้องในช่วงพักเที่ยง แต่ยังมีผู้เรียนค้างอยู่ในห้อง 10 คน ช่วงบ่าย มีผู้ใช้ห้อง 27 คน ค่า CO_2 สูงสุดที่ 4,221 ppm เวลา 16:00 น. และเริ่มลดลงเมื่อเลิกเรียน ดังภาพที่ 2



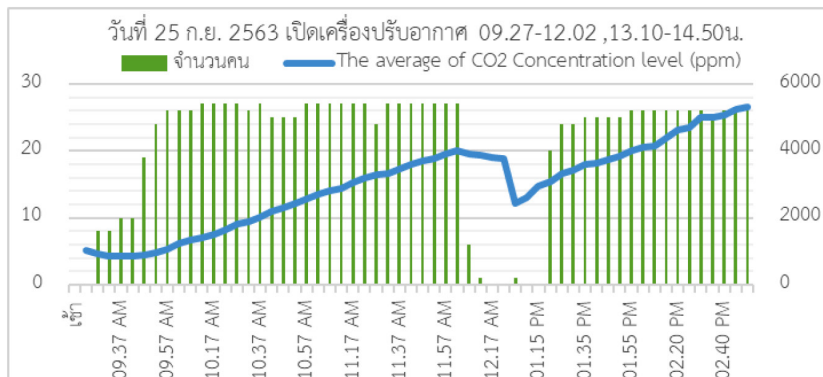
ภาพที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้ใช้ห้องเขียนแบบ (TB5106)
เมื่อวันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2563

วันที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2563 ปิดประตูหน้าต่าง เปิดเครื่องปรับอากาศ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO_2 ทั้ง 3 จุด เมื่อเริ่มใช้ห้องเวลา 09:30 น. คือ 601 ppm เมื่อมีผู้เรียนเข้าห้อง ค่า CO_2 ลดลงถึง 556 ppm เมื่อเวลา 09:40 น. และเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา ที่เวลา 10:20 น. ค่า CO_2 สูงถึง 1,144 ppm จำนวนผู้ใช้ห้องเรียน 30 คน มีการเปิดประตูเข้าออกห้องทุก 10 นาที ช่วงพักเที่ยงผู้เรียนยังคงค้างอยู่ในห้อง ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO_2 สูงถึง 3,161 ppm ณ เวลา 12:50 น. และลดลงช้าๆ เมื่อผู้เรียนเริ่มทยอยออกจากห้อง ดังภาพที่ 3 อัตราการถ่ายเทอากาศหลังเลิกเรียน คนออกจากห้องเปิดประตู 1 บาน เท่ากับ 1.5 ACH



ภาพที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้ห้องเขียนแบบ (TB5106)
เมื่อวันที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2563

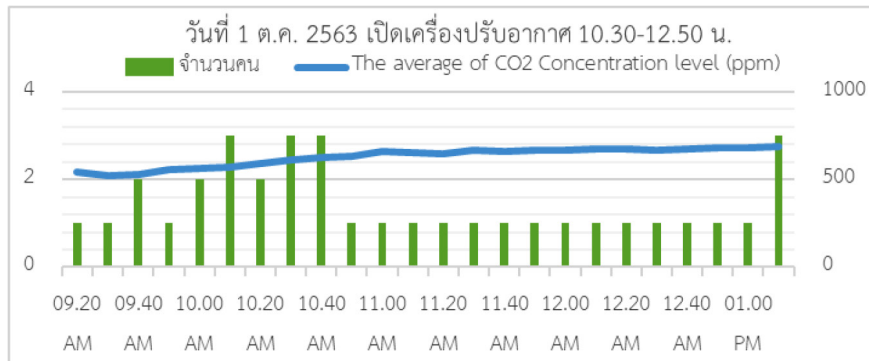
ผลการเก็บข้อมูลในห้องเรียน (TB5104) เมื่อวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2563 ปิดประตูหน้าต่าง เปิดเครื่องปรับอากาศ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO_2 ทั้ง 4 จุด เมื่อเริ่มใช้ห้องเวลา 09:22 น. คือ 1,029 ppm เมื่อผู้เรียนเข้าห้อง ค่า CO_2 ลดลงถึง 840 ppm ที่เวลา 09:37 น. และเพิ่มขึ้น เมื่อเวลา 09:57 น. ค่า CO_2 สูงถึง 1,049 ppm จำนวนผู้ในห้องเรียน 27 คน มีการเปิดประตูเข้าออกห้อง เมื่อสิ้นสุดคาบเรียนเข้า ค่า CO_2 สูงถึง 4,002 ppm และลดลงเมื่อผู้เรียนออกจากห้องในช่วงพักเที่ยงไม่มีคนอยู่ในห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปิดประตู 2 บาน ทำให้ค่า CO_2 ช่วงบ่ายลดลงถึง 2,446 ppm อัตราการถ่ายเทอากาศ เท่ากับ 2.32 ACH เมื่อมีการเรียนคาบต่อไป ค่า CO_2 สูงสุดที่ 5,314 ppm เวลา 14:50 น. ดังภาพที่ 4



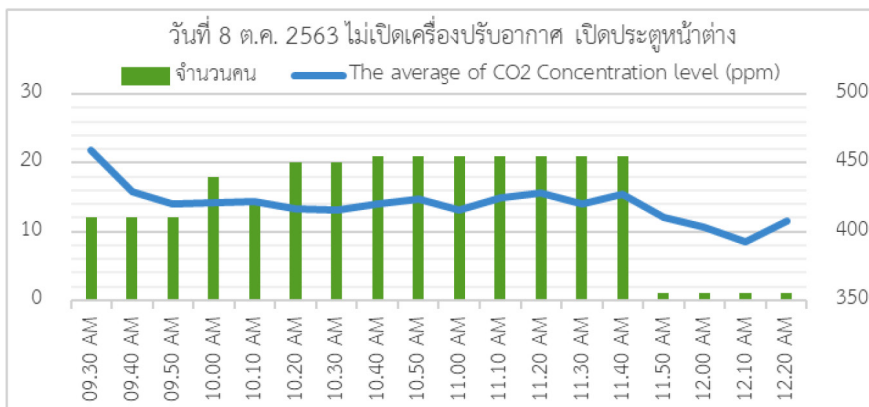
ภาพที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้ห้องเรียน (TB5104)
เมื่อวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2563

วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2563 ปิดประตูหน้าต่าง เปิดเครื่องปรับอากาศ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO_2 ทั้ง 4 จุด เมื่อเริ่มใช้ห้องเวลา 09:20 น. คือ 541 ppm และเมื่อมีมีคนเข้าห้อง ค่า CO_2 ลดลงถึง 525 ppm เมื่อเวลา 09:30 น. และเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา จำนวนผู้ในห้อง 1 ถึง 3 คน ค่า CO_2 สูงสุด 691.5 ppm เมื่อเวลา 13:10 น. ดังภาพที่ 5

วันที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2563 มีฝนเล็กน้อย อุณหภูมิอากาศ 24.7 ถึง 25.4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 78.6 ถึง 82 จึงเปิดประตูหน้าต่าง เปิดพัดลม ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO_2 ทั้ง 3 จุด เมื่อเริ่มใช้ห้องเวลา 09:30 น. คือ 460 ppm เมื่อมีผู้เรียนเข้าห้อง 21 คน ค่า CO_2 ลดลงและไม่เพิ่มสูงขึ้นจนสิ้นสุดคาบเรียน โดยมีค่า CO_2 ต่ำสุดที่ 393 ppm ดังภาพที่ 6

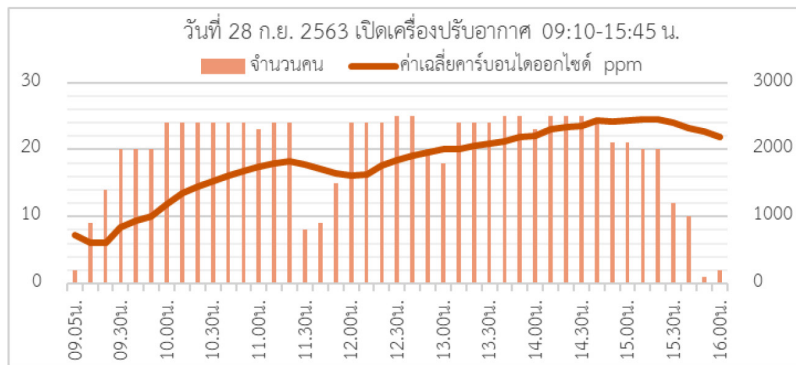


ภาพที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้ใช้ห้องเรียน (TB5104)
เมื่อวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2563



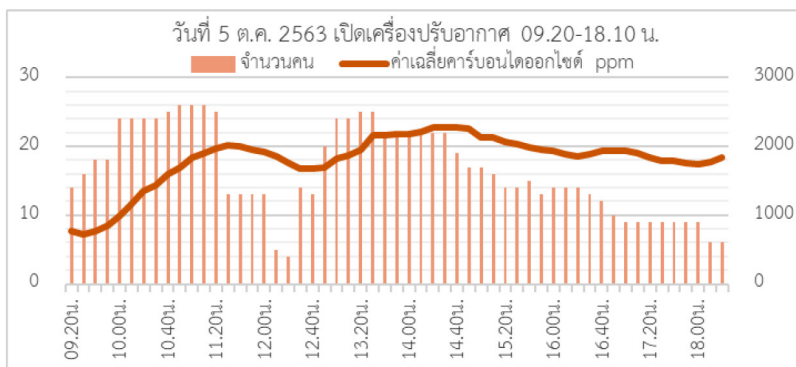
ภาพที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนผู้ใช้ห้องเรียน (TB5104)
เมื่อวันที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2563

ผลการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ (TB7101) เมื่อวันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2563 ปิดประตูหน้าต่าง เปิดเครื่องปรับอากาศ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO_2 ทั้ง 5 จุด เมื่อเริ่มใช้ห้องเวลา 09:05 น. คือ 718 ppm เมื่อมีผู้เรียนเข้าห้อง ค่า CO_2 ลดลงถึง 603 ppm เมื่อเวลา 09:10 น. และเพิ่มขึ้น เมื่อเวลา 09:50 น. ค่า CO_2 สูงถึง 1,012 ppm จำนวนผู้ใช้ห้องเรียน 25 คน มีการเปิดประตูเข้าออกห้องทุก 10 นาที ช่วงพักเที่ยงผู้เรียนยังคงค้างอยู่ในห้อง ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO_2 สูงถึง 2,450 ppm ณ เวลา 15:10 น. และลดลงช้าๆ เมื่อผู้เรียนเริ่มทยอยออกจากห้อง ดังภาพที่ 7



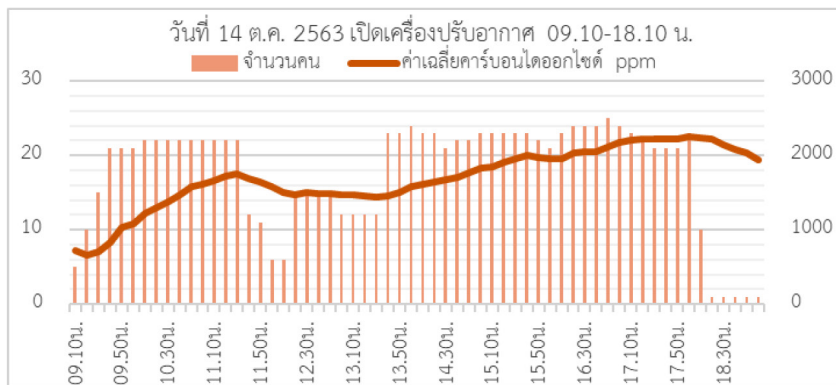
ภาพที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO₂ และจำนวนผู้ใช้ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ (TB7101) เมื่อวันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2563

วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2563 ปิดประตูหน้าต่าง เปิดเครื่องปรับอากาศ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO₂ ทั้ง 5 จุด เมื่อเริ่มใช้ห้องเวลา 09:20 น. คือ 772 ppm และเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา จำนวนผู้ใช้ห้อง 26 คน เมื่อสิ้นสุดคาบเรียนช่วงเช้า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO₂ สูงถึง 2,019 ppm และลดลงเมื่อผู้เรียนออกจากห้องในช่วงพักเที่ยง ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO₂ สูงสุดที่ 2,280 ppm ณ เวลา 14:30 น. และเริ่มลดลงเมื่อคนน้อยลง ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO₂ และจำนวนผู้ใช้ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ (TB7101) เมื่อวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2563

วันที่ 14 ตุลาคม พ.ศ. 2563 ปิดประตูหน้าต่าง เปิดเครื่องปรับอากาศ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO₂ ทั้ง 5 จุด เมื่อเริ่มใช้ห้องเวลา 09:10 น. คือ 722 ppm เมื่อมีคนเข้าห้อง ค่า CO₂ ลดลงถึง 657 ppm เมื่อเวลา 09:20 น. และเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา จำนวนผู้ใช้ห้อง 22 คน เมื่อสิ้นสุดคาบเรียนช่วงเช้า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO₂ สูงถึง 1,755 ppm เมื่อเวลา 11:30 น. และลดลงเมื่อผู้เรียนออกจากห้องในช่วงพักเที่ยง ยังมีผู้เรียนค้างอยู่ในห้อง 6 คน ช่วงบ่ายมีผู้ใช้ห้องเรียน 24 คน ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO₂ สูงสุดที่ 2,253 ppm ณ เวลา 18:00 น. และเริ่มลดลงเมื่อคนออกจากห้อง ดังภาพที่ 9 อัตราการถ่ายเทอากาศหลังเลิกเรียน คนออกจากห้องเปิดประตู 1 บาน เท่ากับ 1.16 ACH



รูปที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO_2 และจำนวนผู้ใช้ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ (TB7101) เมื่อวันที่ 14 ตุลาคม พ.ศ. 2563

ความรู้สึกของผู้เรียนขณะอยู่ในห้องจากแบบสอบถาม ส่วนมากรู้สึกง่วงซึม ไม่สดชื่น ไม่มีสมาธิในการเรียน ต้องการเดินออกจากห้องเรียนบ่อยๆ เพื่อออกไปสูดอากาศข้างนอก ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลจากการสะสม CO_2 ภายในห้องจนเกินระดับมาตรฐาน และมีระดับมากถึงขั้นเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ จากตารางที่ 2 พบว่าห้องเรียนทั้ง 3 ห้อง มีลักษณะทางกายภาพและการใช้งานที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันได้ ห้องเรียน (TB5104) มีค่า CO_2 ที่สะสมอยู่ภายในห้องช่วงเช้าก่อนการใช้ห้อง น้อยที่สุด เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายนอกห้องมีต้นไม้ใกล้ และมากกว่าห้องอื่น แต่มีการสะสมของ CO_2 ในขณะใช้ห้องมากที่สุด เพราะมีปริมาตรห้องน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับจำนวนคนที่ใช้งานห้องเท่าๆ กัน และมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศมากกว่า เพราะมีการเปิดประตู 2 บานระบายอากาศในช่วงพักการใช้งานห้อง ในขณะที่ห้องอื่นๆ มักจะเปิดประตูเพียงแค่ 1 บาน แต่โดยรวม อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศทุกห้องยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานมาก

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของ CO_2 และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศทั้ง 3 ห้อง

กรณีศึกษา	ค่าความเข้มข้นของ CO_2 ที่วัดได้ (ppm)	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)
1. ห้องเรียนแบบ (TB5106)	601 – 4,245	1.5
2. ห้องเรียน (TB5104)	393 – 5,314	2.32
3. ห้องคอมพิวเตอร์ (TB7101)	603 – 2,450	1.16

จากการเก็บข้อมูลค่าความเข้มข้นของ CO_2 ภายในห้องกับจำนวนคน สามารถหาอัตราการเพิ่ม CO_2 ต่อคนภายในห้องนั้นๆ ได้โดยคำนวณจากผลต่างของค่า CO_2 ที่วัดได้นาทีสุดท้ายที่ต้องการใช้ห้องกับค่า CO_2 ที่วัดได้ในนาทีแรกที่เข้าห้องหารด้วยจำนวนคนในห้อง ซึ่งค่าอัตราการเพิ่ม CO_2 ต่อ 1 คนภายในห้องที่สำรวจนั้นๆ จะแตกต่างกันไปตามปัจจัยของห้อง เช่น อัตราการรั่วซึมหรืออัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศภายในห้องกับภายนอกห้อง กิจกรรมที่ทำภายในห้อง เป็นต้น การหาสัดส่วนคนต่อปริมาตรห้อง จึงแตกต่างกันในแต่ละห้องเช่นกันและเป็นเพียงการประมาณการเบื้องต้นของห้องนั้นๆ ซึ่งสัดส่วนคนต่อปริมาตรห้องที่ไม่ทำให้ค่าความเข้มข้น CO_2 ภายในห้องเกิน 1,000 ppm ในช่วงเวลาที่ต้องการใช้งานห้อง สามารถคำนวณจากสมการ People to Room volume Ratio : PPR

$$PPR = \frac{1,000 - C_1}{\left[\frac{C_f - C_1}{P} \right]}$$

โดย C_1 คือ ความเข้มข้นของ CO_2 ที่วัดได้ในเวลาที่แรกที่เข้าห้อง P คือ จำนวนคนในห้อง
 C_f คือ ความเข้มข้นของ CO_2 ที่วัดได้นาทีสุดท้ายที่ต้องการใช้ห้อง

ตารางที่ 3 แสดงผลการเทียบสมการ สัดส่วนผู้ใช้ห้องเรียนต่อปริมาตรห้องที่จะไม่ทำให้ค่าความเข้มข้นของ CO_2 ภายในห้องเกิน 1,000 ppm ในเวลา 3 ชั่วโมง

กรณีศึกษา	ปริมาตรห้อง (ลบ.ม.)	จำนวนคน	สัดส่วน 1 คนต่อปริมาตรห้อง (ลบ.ม.)
1. ห้องเขียนแบบ (TB5106)	323	5	64.6
2. ห้องเรียน (TB5104)	170	3	56.67
3. ห้องคอมพิวเตอร์ (TB7101)	226	6	37.67

สรุปผลการวิจัย

ในช่วงเช้าที่มีการเปิดใช้ห้องเรียน ภายในห้องยังคงมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่ เมื่อมีคนเข้าห้องจะสูดเอา CO_2 ภายในห้องเข้าไป ค่าความเข้มข้นของ CO_2 จึงลดลงในช่วงแรก และเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาทีเป็นต้นไป ในช่วงบ่ายจะมีการสะสมของ CO_2 จากช่วงเช้า แม้จะไม่มีคนอยู่ภายในห้องเรียนในช่วงพักเที่ยง ค่า CO_2 ก็ไม่ต่ำกว่า 1,000 ppm

ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สอดคล้องกับจำนวนคนภายในห้อง เมื่อมีคนอยู่ภายในห้องจำนวนน้อย ถึงแม้ว่าจะปิดประตูหน้าต่าง ระดับ CO_2 จะมีความเข้มข้นน้อย เมื่อมีจำนวนคนเพิ่มขึ้น ค่า CO_2 จะเพิ่มขึ้นและมีการสะสมเรื่อยๆ จำนวนคนจึงเป็นตัวแปรหลัก เมื่อมีการใช้ห้องเป็นเวลา 45 ถึง 60 นาที ค่าความเข้มข้นของ CO_2 จะเกิน 1,000 ppm จึงควรพักช่วงการใช้งานห้อง โดยให้ผู้ใช้ห้องออกจากห้องไปผ่อนคลายและเปิดประตูหน้าต่างเพื่อระบายอากาศ ทุกๆ 45 ถึง 60 นาที เมื่อผู้ใช้ห้องอยู่ในห้องที่สำรวจครบ 3 ชั่วโมงต่อเนื่อง ค่าความเข้มข้นของ CO_2 จะเกิน 1,800 ppm ทุกครั้ง

เมื่อเทียบสัดส่วนผู้ใช้ห้องเรียนต่อปริมาตรห้องที่มีความเข้มข้นของ CO_2 ที่เหมาะสมในแต่ละห้องจะแตกต่างกันตามอัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศภายในห้อง ซึ่งสัดส่วนคนที่คำนวณได้มีค่าน้อยมาก คือ 3 ถึง 6 คนต่อห้อง ซึ่งไม่สามารถใช้งานได้จริง และพบว่าห้องเรียนทั้ง 3 ห้องมีปริมาตรไม่เพียงพอต่อจำนวนคน อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศขึ้นอยู่กับขนาดของช่องเปิด ถ้าเปิดประตูค้ำไว้ 1 บานหลังจากคนออกจากห้อง จะอยู่ในช่วง 1.16 ถึง 1.5 ACH ถ้าเปิดประตู 2 บาน อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจะเท่ากับ 2.32 ACH ซึ่งไม่ถึงเกณฑ์มาตรฐาน ASHRAE ที่กำหนดว่าไม่ควรน้อยกว่า 6 ACH บ่งชี้ว่าการระบายอากาศของห้องเรียนไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะลด CO_2 จากการหายใจของผู้ใช้ห้องเรียนได้ เกิดการสะสมของ CO_2 และสารพิษหรือเชื้อโรคภายในห้อง ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของผู้ใช้ห้องเรียน และความไม่ชอบกฎกระทรวง พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) ระบุว่า หากในขณะใช้งานห้อง ไม่มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ให้จัดให้มีการระบายอากาศโดยวิธีกล เพื่อนำอากาศภายนอกเข้ามาในพื้นที่ห้องไม่น้อยกว่า 7 เท่าของปริมาตรห้องใน 1 ชั่วโมง สำหรับอาคารสำนักงาน

ในการวัดค่า CO_2 ในห้องเรียนเดียวกัน จำนวนผู้เรียนใกล้เคียงกัน แต่ไม่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศ มีการเปิดประตูหน้าต่างในตำแหน่งตรงข้ามกัน เพื่อให้อากาศระบายโดยวิธีธรรมชาติร่วมกับการเปิดพัดลมเพดาน ค่าความเข้มข้นของ CO_2 มีค่าสูงสุดเพียง 459.5 ppm เท่านั้น เนื่องจากมีการแลกเปลี่ยนและการถ่ายเทของอากาศ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 10 (ก-ข) แสดงบรรยากาศภายในห้องเขียนแบบ (TB5106)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 11 (ก-ข) แสดงบรรยากาศภายในห้องเรียน (TB5104)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 12 (ก-ข) แสดงบรรยากาศภายในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ (TB7101)

แนวทางการแก้ไข หากไม่สามารถควบคุมจำนวนคนต่อปริมาตรห้องได้ ควรเพิ่มอัตราการระบายอากาศ เพิ่มการไหลเวียนของอากาศบริสุทธิ์ภายนอกห้องเข้ามาภายในห้อง และดูดอากาศภายในห้องออกไปภายนอก ในระหว่างการใช้งาน เช่น การติดตั้งพัดลมเติมอากาศแบบมีระบบดูดเข้า-ออก มีแผ่นกรองอากาศ และหากต้องการให้อากาศเกิดการถ่ายเทได้เร็วขึ้น ควรติดตั้งพัดลมดูดอากาศเข้า-ออก สองเครื่องในตำแหน่งตรงข้ามกัน แต่ควรคำนึงถึงอัตราการใช้ไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเครื่องปรับอากาศจะทำงานหนักขึ้นด้วย ในการติดตั้งพัดลมดูดอากาศควรคำนึงถึงหลักการการไหลของอากาศ ลมจะเข้าช่องเล็ก-ออกช่องใหญ่ เข้าช่องล่าง-ออกช่องบน ตำแหน่งติดตั้งพัดลมระบายอากาศควรอยู่ตรงข้ามกับทิศที่ลมเข้า ความสูงอยู่ประมาณ 1.80 ถึง 2.40 เมตร ตามข้อมูลของผู้ผลิต การเลือกพัดลมดูดอากาศที่เหมาะสม สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

ขนาดปริมาตรพัดลมดูดอากาศ ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง (CMH) = ขนาดห้อง ลูกบาศก์เมตร X 10

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศ Air meter Fluke 975 และขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมที่ช่วยในการเก็บข้อมูลค่า CO₂ ในห้องเรียน

เอกสารอ้างอิง

- ภารดี ช่วยบำรุง และชัยรัฐา ประพันธ์พน. (2558). ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในระบบขนส่งมวลชนทางบกในเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 23 ฉบับที่ 6 (ฉบับพิเศษ)*, 898-913.
- ลิขิต น้อยจ่ายสิน และสุวิพิชชา พิษณุพงควิชชา. (2562). การประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในห้องสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 24 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2562*, 945-957.
- สุมาลี จินตพาล. (2562). คุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*. 16(1), 93-105.
- อริวุฒิ ทิมา และชูพงษ์ ทองคำสมุทร. (2563). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องเรียนปรับอากาศ. ใน การประชุมวิชาการเสนองานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 21. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- อริสา กาญจนการะจำง และภารดี ช่วยบำรุง. (2560). การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในห้องเรียน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 25 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม 2560*, 960-974.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE]. (2022). *ASHRAE 62.1- Ventilation and acceptable indoor air quality*. Atlanta: Author.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE]. (2020). *ASHRAE 55- thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta: Author.
- Bureau of Environmental Health. Department of Health. (2016). *Handbook of Measurement Indoor Air Quality for the Authorities*. Bangkok: Bureau of Environmental Health. (in Thai)
- Myhrvold, A.N., Olsen, E. and Lauridsen. (1996). Indoor Environment in Schools – Pupils Health and Performance in Regard to CO₂ Concentrations, *Proceedings of Indoor Air' 96: the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Nagoya, Japan.

