

คาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนปรับอากาศ ที่ไม่มีการระบายอากาศด้วยวิธีกล

ธนิต จินดาวณิก *

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

cthanit@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในห้องนอนปรับอากาศของบ้านพักอาศัย เนื่องจากห้องนอนเป็นห้องที่มีการใช้งานและเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นระยะเวลานาน วิธีดำเนินการศึกษาใช้วิธีสำรวจภาคสนามในบ้านใช้งานจริงจำนวน 10 กรณีศึกษา การเก็บข้อมูลใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ตรวจวัดระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นรายชั่วโมงขณะที่มีการใช้งานปรับอากาศ จากการศึกษาพบว่าหลังการใช้งานได้ประมาณ 2-3 ชั่วโมงระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในเริ่มสูงขึ้นเกิน 1,000-1,100 ppm ณ จุดนี้ถือได้ว่าการระบายอากาศไม่เพียงพอ ในกรณีที่มีผู้ใช้งานในห้องนอน 2 คน 3 คน และ 4 คน พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสูงสุดถึง 1,900 ppm 2,178 ppm และ 2,665 ppm ตามลำดับ ณ จุดดังกล่าวเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ ดังนั้น ห้องนอนควรมีการระบายอากาศโดยนำอากาศใหม่ภายนอกเข้ามา

คำสำคัญ: ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คุณภาพอากาศภายในอาคาร

* รองศาสตราจารย์

Carbon Dioxide in Air-Conditioned Bedrooms without Mechanical Ventilation

Thanit Chindavanig*

Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University

cthanit@chula.ac.th

Abstract

This research had an objective to study carbon dioxide gas accumulating in air-conditioned bedrooms without mechanical ventilation in houses since they were occupied in an air-conditioning stage for a long period. The methodology of the study was investigation in actual ten occupied houses. A scientific instrument was installed to measure hourly carbon dioxide level during occupation under air-conditioning stage. It was found that after two to three hours of occupation the carbon dioxide level reached over 1,000-1,100 ppm. At this point it was considered that the ventilation of those rooms were not enough. In cases of two, three and four occupants in bedrooms the carbon dioxide levels could reach 1,900 ppm, 2178 ppm and 2,665 ppm accordingly. These carbon dioxide levels had impact to occupants' health. Therefore ventilation, bringing outside fresh air, in air-conditioned bedrooms was necessary.

Keywords: Carbon Dioxide, Indoor Air Quality

บทนำ

ในสังคมปัจจุบันผู้คนหันมาสนใจต่อสุขภาพตัวเองมากขึ้น และต้องการมีคุณภาพชีวิตที่ดี คุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จะส่งผลต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัย ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นการดำรงชีวิตในเขตเมือง เช่น กรุงเทพฯและปริมณฑล

ผู้คนจำนวนมากนิยมใช้เครื่องปรับอากาศในอาคารพักอาศัยเพื่อปรับอากาศทำความเย็นภายในบ้านให้อยู่ในสภาวะสบาย ห้องที่นิยมติดตั้งเครื่องปรับอากาศมากที่สุดคือห้องนอนเนื่องจากเป็นห้องที่ใช้งานบ่อยและผู้อยู่อาศัยต้องการความสบายในการนอนหลับพักผ่อนช่วงกลางคืนจากการสำรวจสอบถามเบื้องต้นพบว่า บ้านส่วนใหญ่ที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศมักจะไม่มียระบบการระบาย

* Associate Professor

อากาศด้วยวิธีการที่นำอากาศใหม่จากภายนอกเข้ามาในห้องขณะทำการปรับอากาศ การปรับอากาศจะทำความเย็นให้กับอากาศภายในห้องเพียงอย่างเดียวโดยวิธีหมุนเวียนอากาศภายในห้องให้ผ่านคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ อากาศภายนอกที่จะเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศได้จึงมีเพียงแค่การรั่วซึม (infiltration) ผ่านรอยแยกตามกรอบประตูและหน้าต่างภายนอกเท่านั้น อย่างไรก็ตามการนำอากาศใหม่ภายนอกที่ร้อนและชื้นเข้ามาก็ส่งผลต่อภาระในการปรับอากาศ และหากมีการนำอากาศใหม่ภายนอกเข้ามามากเกินไปก็ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

ในการหายใจของคนเราร่างกายจะใช้ก๊าซออกซิเจนในการสันดาปและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาการอยู่อาศัยในห้องปรับอากาศที่ปิดทึบเป็นระยะเวลายาวนานเช่นห้องนอนจะทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลงและปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับสะสมเพิ่มสูงขึ้นซึ่งไม่ดีต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย การรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาตามรอยแยกของกรอบประตูและหน้าต่างนั้นไม่น่าจะเพียงพอที่ทำให้ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตที่มีสุขภาพดีที่สุดได้

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอนปรับอากาศที่ไม่มีการระบายอากาศด้วยวิธีการขณะที่มีการใช้งานจริงในชีวิตประจำวัน ก๊าซอื่น ๆ สารชีวภาพ ฝุ่นละออง เชื้อแบคทีเรีย และเชื้อราในอากาศไม่อยู่ในขอบเขตของการศึกษานี้ บ้านกรณีศึกษาที่เข้าทำการเก็บข้อมูลเป็นบ้านร่วมสมัยทั่วไปในยุคปัจจุบันที่มีการใช้งานแบบปรับอากาศที่ไม่มีการระบายอากาศด้วยวิธีการ และตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครหรือปริมณฑล พื้นที่ในบ้านที่ทำการศึกษาคงจำกัดอยู่ที่ห้องนอน เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศเป็นระยะเวลาที่ยาวนานที่สุดในบ้านพักอาศัยทั่วไป

ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

ส่วนประกอบของอากาศ

อากาศประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ ไอน้ำ และอนุภาคฝุ่นละอองปะปนกัน ส่วนผสมของอากาศตามสถานที่ต่าง ๆ อาจแตกต่างกันบ้าง ก๊าซที่เป็นองค์ประกอบหลักในอากาศประกอบด้วย ไนโตรเจน ออกซิเจน อาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่น ๆ ปริมาณของก๊าซหลัก ๆ ในอากาศคิดเป็นสัดส่วนโดยปริมาตรเป็นดังนี้ ก๊าซไนโตรเจน 78.08 % ก๊าซออกซิเจน 20.95 % ก๊าซอาร์กอน 0.93 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 % และก๊าซอื่น ๆ อีก 0.02 % ถ้าคิดเป็น ppm (part per million) โดยปริมาตรประมาณได้ดังนี้ ก๊าซไนโตรเจน 209,500 ppm ก๊าซออกซิเจน 780,900 ppm ก๊าซอาร์กอน 9,300 ppm และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 300 ppm ด้วยน้ำหนักแล้วก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่สุดคือ 44.009 รองลงมาคือ ก๊าซอาร์กอน ก๊าซออกซิเจน และก๊าซไนโตรเจนมีน้ำหนักโมเลกุลที่ 38.948 31.998 และ 28.012 ตามลำดับ คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไฟ มีความหนาแน่น 1.98 kg/m³ ซึ่งเป็นประมาณ 1.5 เท่าของอากาศ

การหายใจและระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อมนุษย์

ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่สำคัญของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย มนุษย์หายใจเอาก๊าซออกซิเจนเข้าไปสันดาปกับอาหารภายในเซลล์และให้พลังงานออกมาเพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ การหายใจของคนเราจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายปล่อยออกมาสัมพันธ์กับระดับการเผาผลาญของกิจกรรม ลมหายใจออกของมนุษย์มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 5.6 ผู้ใหญ่โดยเฉลี่ยลมหายใจออกมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 35,000 ถึง 50,000 ppm (สูงกว่าอากาศภายนอก 100

เท่า) ในอาคารมนุษย์เป็นต้นกำเนิดหลักที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารที่สูงเพิ่มขึ้นมีผลมาจากจำนวนผู้ใช้อาคาร ระยะเวลาที่อยู่ในอาคาร และการนำอากาศใหม่ภายนอกเข้ามา ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องปิดขนาด 3.5 x 4 ตารางเมตรสามารถเพิ่มขึ้นจาก 500 ถึง 1,000 ppm ภายใน 45 นาที The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ระบุว่าอากาศภายในที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิน 1,000 ppm ถือว่ามีการระบายอากาศไม่เพียงพอ

ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารที่สูงจะก่อให้เกิดอาการง่วงซึม ปวดหัว และทำงานได้ไม่ดี การขาดออกซิเจนหรือได้รับคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปมากจะทำให้เลือดเป็นกรด เกิดการขยายตัวของหลอดเลือดกระตุ้นระบบการหายใจเร็วขึ้นทำให้หัวใจเต้นเร็ว และกดสมอง อาการทางคลินิกเป็นดังนี้ อาการระยะยาวผลของการได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าปกติไปนาน ๆ อาจทำให้ปวดหัวบ่อย กดสมอง มึนงง ง่วงซึม เครียด ความดันโลหิตและอัตราการหายใจอาจเพิ่มสูงขึ้นได้ อาการเฉียบพลันจากการสูดหายใจเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมากในระยะแรกทำให้เกิดอาการหายใจเร็ว หายใจลึกขึ้น ความดันโลหิตสูงขึ้น หัวใจเต้นเร็ว ชีพจรเร็ว หากได้รับในปริมาณมากขึ้นจะเริ่มมีผลกดสมอง ทำให้ซึมลง ปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ มึนงง สับสน การได้ยินลดลง และรบกวนการมองเห็นเนื่องจากสมองถูกกดการทำงาน ที่ผิวหนังจะเกิดหลอดเลือดขยายตัวเหงื่อออก กล้ามเนื้อกระตุก (tremor) อาจพบมีคลื่นไส้ อาเจียน และท้องเสีย บางรายอาจมีอาการคลั่ง (panic) หากได้รับปริมาณสูงมากจะทำให้หมดสติและเสียชีวิตในที่สุด ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 2,500 ppm ถึง 5,000 ppm ก่อให้เกิดอาการปวดหัว มึนงง คลื่นไส้ และอาการอื่น ๆ เกิดขึ้นได้เมื่ออยู่ในที่มีระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า 5,000 ppm เป็นเวลาหลายชั่วโมง ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ 40,000 ppm เกิดอันตรายต่อสุขภาพและเสียชีวิตทันที

Lipsett, Shusterman และ Beard ได้บันทึกผลของคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูง(มากกว่าที่พบในอาคารทั่วไป)ที่มีผลต่อสุขภาพมนุษย์ว่า ที่ระดับมากกว่า 20,000 ppm จะทำให้หายใจลึกขึ้นที่ระดับ 40,000 ppm เพิ่มระดับการหายใจอย่างชัดเจน ที่ระดับ 100,000 ppm ก่อให้เกิดการรบกวนการมองเห็น กล้ามเนื้อกระตุก และหมดสติ และที่ระดับ 250,000 ppm (ความเข้มข้น 25%) ทำให้ตาย

Satish และคณะได้ทำการศึกษาความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นในอาคารต่อสมรรถนะการทำงานด้วยการทดลองใช้อาสาสมัคร 22 คนให้ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับ 600 1,000 และ 2,500 ppm ในห้องทดลองที่เสมือนสำนักงาน โดยแบ่งอาสาสมัครออกเป็น 6 กลุ่ม แต่ละกลุ่มอยู่ในสภาวะระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่กำหนดเป็นระยะเวลา 2.5 ชั่วโมง ทั้งหมดทดลองภายในหนึ่งวัน ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการตัดสินใจลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญเชิงสถิติ ห้องที่มีระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 1,000 ppm เปรียบเทียบกับในห้องที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 600 ppm สมรรถนะในการตัดสินใจลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญที่สเกล 6 ใน 9 เมตริก และห้องที่มีระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 2,500 ppm เปรียบเทียบกับในห้องที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 600 ppm สมรรถนะในการตัดสินใจลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญที่สเกล 7 ใน 9 เมตริก

มาตรฐานระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร

โดยปกติอากาศภายนอกจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ราว 300 ถึง 400 ppm ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารขึ้นอยู่กับจำนวนคน ระยะเวลาที่เข้าอยู่ ปริมาณอากาศภายนอกที่เข้ามา ขนาดของห้อง ผลผลิตเผาไหม้ที่เข้ามาภายใน เช่น ไอเสียรถยนต์ เต้าเผา การสูบบุหรี่และความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอก

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) และ American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGH) ระบุระดับคาร์บอนไดออกไซด์แนะนำสูงสุดที่คนเข้าอยู่ในช่วงเวลา 8 ชั่วโมงเฉลี่ย (time weighted average) ไม่เกินระดับ 5,000 ppm ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) พ.ศ. 2520 กำหนดค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 5,000 ppm

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ได้ออกมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 62-1989 การระบายอากาศสำหรับคุณภาพอากาศภายในที่ยอมรับ ซึ่งระบุคำแนะนำ (guideline) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารไม่เกิน 1,000 ppm โดยขึ้นกับสมมติฐานการนำอากาศภายนอกเข้ามาในอัตรา 15 cfm (cubic feet per minute) ต่อคนและอากาศภายนอกมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 300 ppm ต่อมาในปี ค.ศ. 1999 มาตรฐาน ANSI/ASHRAE 62-1999 การระบายอากาศสำหรับคุณภาพอากาศภายในที่ยอมรับ ออกมาโดยกำหนดใช้ค่าความแตกต่างความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในและภายนอกที่ 700 ppm กับการระบายอากาศขั้นต่ำแทนที่จะใช้ค่าสัมบูรณ์ (absolute) 1,000 ppm และค่านี้ถูกระบุเป็นข้อมูลต่อมาจนถึงมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 62.1-2016 การระบายอากาศสำหรับคุณภาพอากาศภายในที่ยอมรับ อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าวไม่เกิดความเสียหายต่อสุขภาพแต่ใช้เป็นเกณฑ์ความสบายมนุษย์ด้านกลิ่นและคุณภาพอากาศภายในอาคาร (indoor air quality) ทั้งนี้เนื่องจากการหายใจของคนก่อมลภาวะและกลิ่นออกมา (odorous bioeffluents) ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ ASHRAE ออกมาเป็นคำแนะนำ (guideline) ไม่ใช่ค่ามาตรฐาน (standard)

ในอาคารที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิน 1,000 ppm หรือมีคาร์บอนไดออกไซด์ภายในสูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอก 700 ppm ในระดับคงที่ (steady-

state) ถือว่าอาคารนั้นมีการระบายอากาศไม่เพียงพอควรมีการระบายอากาศโดยนำอากาศภายนอกเข้ามาในอัตรา 15 cfm/person (7.5 L/s/person) การใช้เครื่องวัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อควบคุมอัตราการระบายอากาศหรือการนำอากาศภายนอกเข้ามาในระบบปรับอากาศเป็นวิธีที่เรียกว่า DCV (demand controlled ventilation) การหาอัตราการระบายอากาศสามารถคำนวณได้โดยอัตราการระบายอากาศเท่ากับค่า 10,500หารด้วยความแตกต่างความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างภายนอกกับภายใน อัตราการระบายอากาศที่ได้มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตต่ออนาที (cfm) ต่อคน

วิธีการศึกษา

การศึกษาใช้วิธีการสำรวจภาคสนามเก็บข้อมูลจากการทำงานจริงของบ้านพักอาศัยในกรุงเทพฯ หรือปริมณฑล จำนวน 10 กรณีศึกษาและนำผลที่ได้มาประมวลและสรุปผล การเก็บข้อมูลได้รับความร่วมมือจากอาสาสมัครที่เป็นเจ้าของอาคารและเป็นผู้ใช้ห้องนอนเป็นผู้นำเครื่องมือเข้าไปติดตั้งในห้อง ผู้ศึกษาไม่ได้เข้าไปในบ้านและในห้องนอนที่ทำการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาสภาพภายในและไม่ได้สังเกตการณ์พฤติกรรมในการใช้ห้องนอนของอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการเนื่องจากเป็นการละเมิดความเป็นส่วนตัวของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการ ข้อมูลระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปรากฏเริ่มจากการเปิดเครื่องปรับอากาศจนถึงการปิดเครื่องปรับอากาศ

การเก็บข้อมูลระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะบันทึกเป็นรายชั่วโมงระยะเวลาต่อเนื่องหนึ่งคืน เครื่องมือจะถูกติดตั้งในห้องนอนปรับอากาศของตัวอย่างกรณีศึกษา หัววัดก๊าซจะติดตั้งในระดับความสูงของศีรษะ ณ โต๊ะข้างหัวนอน ขณะนอนหลับที่ความสูงประมาณ 45-60 เซนติเมตร นอกเหนือจากนั้นข้อมูลสภาพแวดล้อมทั่วไปได้รับการบันทึกด้วย เช่น เจ้าของอาคาร สถานที่ตั้ง วันที่ติดตั้งเครื่องมือ จำนวนผู้ใช้งาน เวลาเปิดปิดเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิที่ตั้งไว้ของเครื่องปรับอากาศ พื้นที่และปริมาตรห้อง ชนิดและขนาดหน้าต่างหรือช่องเปิด เป็นต้น

เครื่องมือที่ใช้เก็บค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเครื่องมือที่ผลิตโดย Lutron รุ่น MCH-383SD หัววัด NDIR มีช่วงการวัด 0 ถึง 4,000 ppm ความละเอียดการแสดงผล (resolution) 1 ppm และมีความแม่นยำ (accuracy) ± 40 ppm ($\leq 1,000$ ppm) ฟังก์ชันบันทึกข้อมูลด้วย SD Card ดังแสดงในภาพที่ 1

ผลการศึกษา

ห้องนอนที่ทำการศึกษามีจำนวนผู้ใช้งาน 1-4 คน ขนาดพื้นที่ประมาณ 12.00-20.50 ตารางเมตร (เฉลี่ย 15.51 ตารางเมตร) ปริมาตรห้อง 31.00-53.30 ลูกบาศก์เมตร (เฉลี่ย 40.92 ลูกบาศก์เมตร) ความยาวรอยแยกช่องเปิด



ภาพที่ 1 เครื่องมือตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่ 1 สรุปภาพห้องนอนของ 10 กรณีศึกษา

Case No.	No. of Occupants	Area of Room (m ²)	Volume of Room (m ³)	Crack Length (m)	Type of Opening	Material of Opening
Case 1	2	17.10	44.46	22.30	Slide	UPVC
Case 2	3	12.80	33.28	10.90	Slide	UPVC
Case 3	3	16.32	42.43	12.60	Slide	UPVC
Case 4	4	20.50	53.30	26.90	Slide	UPVC
Case 5	1	12.00	31.00	10.00	Slide	UPVC
Case 6	4	16.00	41.60	13.50	Swing	Wood
Case 7	2	16.32	42.43	13.70	Slide	UPVC
Case 8	3	17.10	44.46	22.30	Slide	UPVC
Case 9	2	12.00	31.20	21.50	Slide	UPVC
Case 10	2	15.00	45.00	10.70	Slide	Alumimium
Average		15.51	40.92	16.44		

10.00-26.90 เมตร (เฉลี่ย 16.44 เมตร) ลักษณะช่องเปิดเป็นบานเลื่อนเปิดสวนสองทางเป็นส่วนใหญ่กับบานเปิดวัสดุบานกรอบเป็น UPVC ไม้ และอลูมิเนียม ดังแสดงในตารางที่ 1

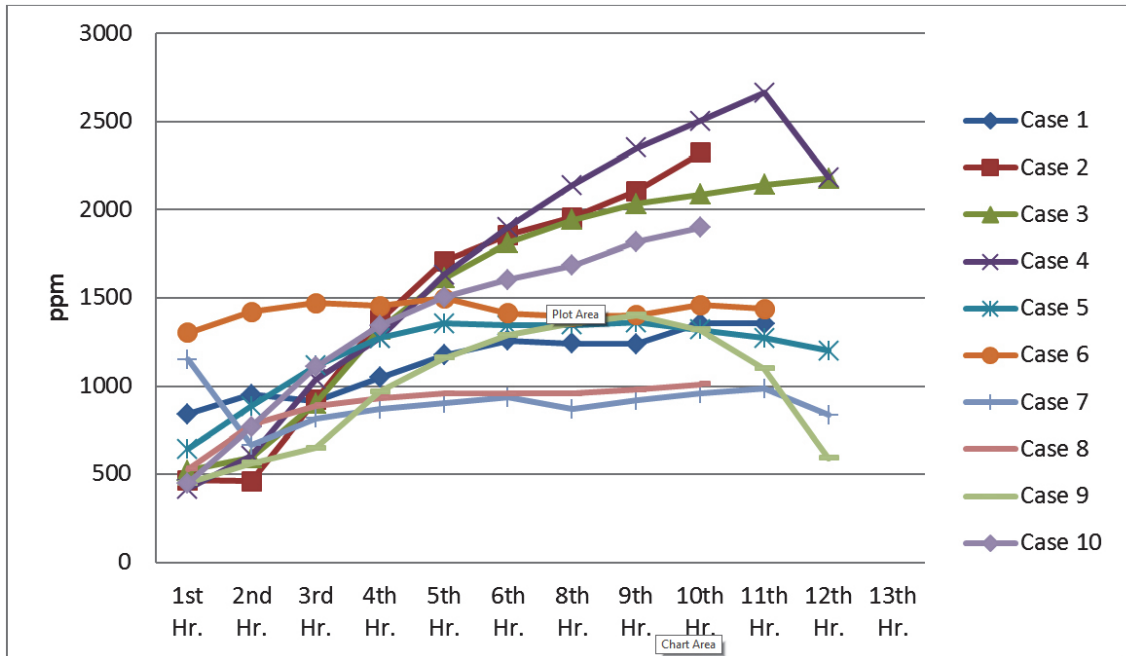
จากการสำรวจพบว่าระยะเวลาชั่วโมงในการใช้ห้องนอนขณะปรับอากาศอยู่ที่ 7.00 ชั่วโมง จนถึง 11.50 ชั่วโมง โดยประมาณหรือเฉลี่ย 9.26 ชั่วโมง จาก 10 กรณีศึกษาพบว่า มี 2 กรณีศึกษาที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 1,000-1,100 ppm นั่นคือกรณีศึกษาที่ 7 ซึ่งมีผู้ใช้งาน 2 คนเป็นผู้หญิงรูปร่างเล็กและเด็กอายุ 6 ขวบ และกรณีศึกษาที่ 8 ที่อาจมีการรั่วซึมจากประตูบานเลื่อนภายในห้องนอน

จากกรณีศึกษาส่วนใหญ่หลังจากเปิดเครื่องปรับอากาศและเข้าใช้ห้องนอน 2 ถึง 3 ชั่วโมงระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มสูงเกิน 1,000 ppm ในกรณีที่มีผู้ใช้งานในห้องนอน 1 คน 2 คน 3 คน และ 4 คนพบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสูงสุดถึง 1,360 ppm 1,900 ppm 2,178 ppm และ 2,665 ppm ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดการใช้งานอยู่ที่ 1,244 ppm และค่าเฉลี่ยสูงสุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 1,607 ppm

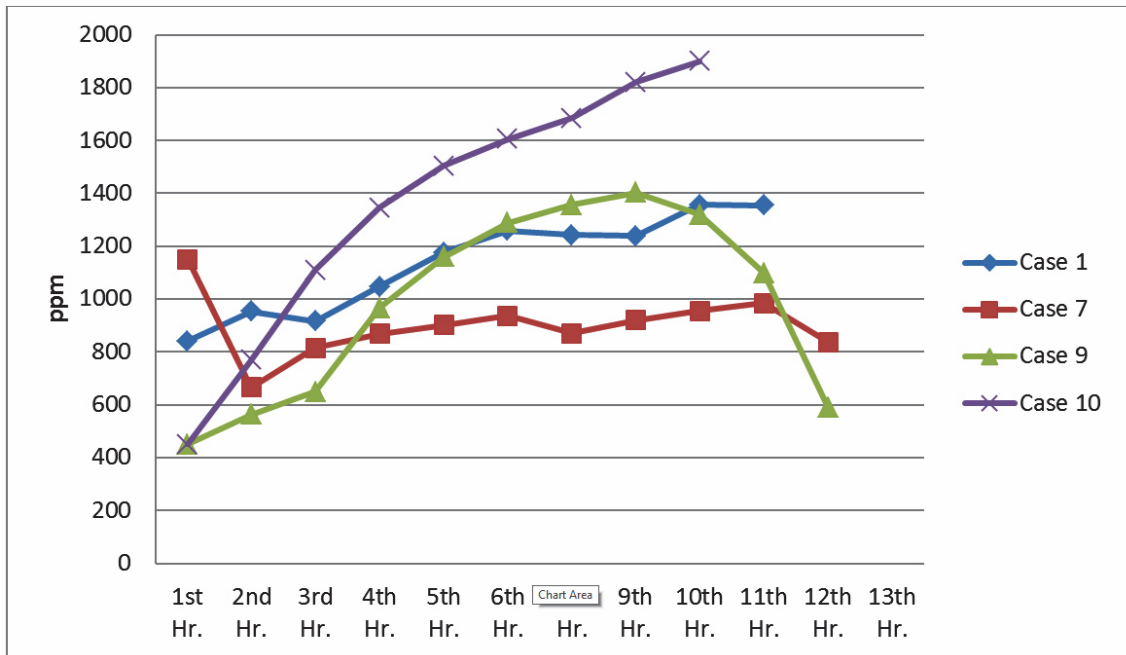
ผลการศึกษาระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอนปรับอากาศกรณีใช้งานจริงจำนวน 10 กรณีศึกษาสรุปออกมาดังในตารางที่ 2 และแผนภูมิในภาพที่ 2, 3, 4 และ 5

ตารางที่ 2 ผลสรุปการศึกษาของ 10 กรณีศึกษา

Case No.	No. of Occ.	Hour of A/C (hr.)	CO ₂ >1000 ppm at Hr.	Ave CO ₂ (ppm)	Peak CO ₂ (ppm)
Case 1	2	9.33	3	1,114	1,357
Case 2	3	7.00	3	1,366	2,108
Case 3	3	10.50	3	1,559	2,178
Case 4	4	9.75	2	1,701	2,665
Case 5	1	11.5	2.5	1,192	1,360
Case 6	4	8.75	0.1	1,426	1,500
Case 7	2	9.85	0.1	887	985
Case 8	3	8.32	8	893	1,010
Case 9	2	10.55	4	986	1,403
Case 10	2	7.05	2	1,320	1,900
Average	2.6	9.26	2.77	1,244	1,647



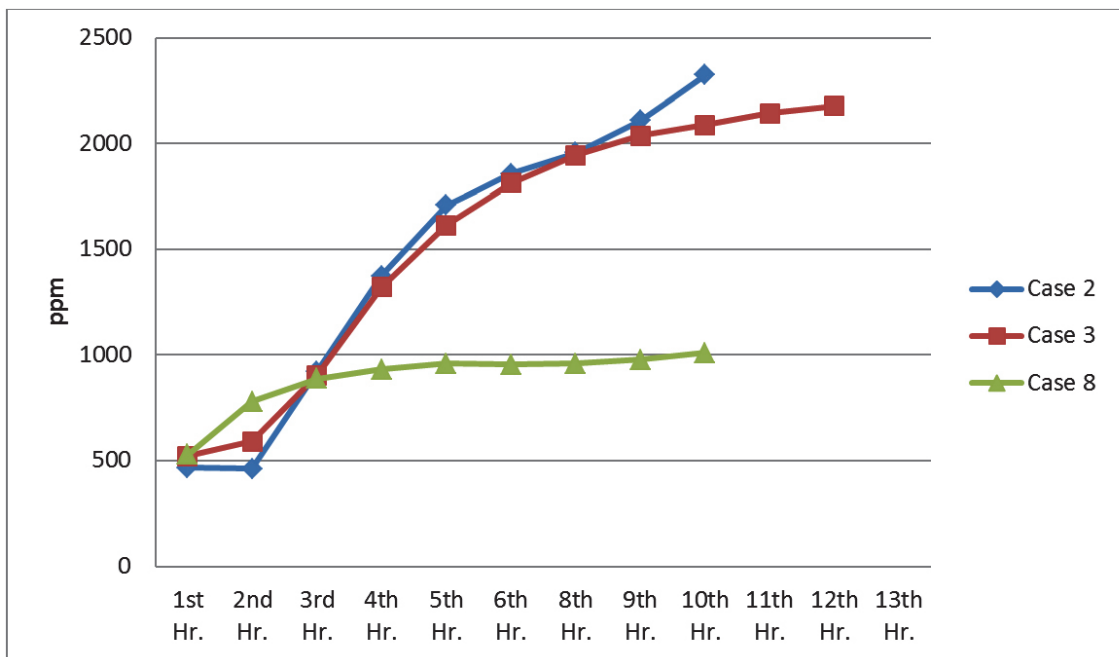
ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm) ขณะเปิดเครื่องปรับอากาศของ 10 กรณีศึกษา



ภาพที่ 3 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm) กรณีมีผู้ใช้งาน 2 คน

กรณีที่มีผู้ใช้งานในห้องนอน 2 คน พบว่าหลังจากการใช้งานไปแล้วประมาณ 3 ชั่วโมง 3 ใน 4 กรณีศึกษา มีระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมสูงเกิน 1,000 ppm และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 1,400 จนถึง 1,900 ppm ในช่วงท้ายของ

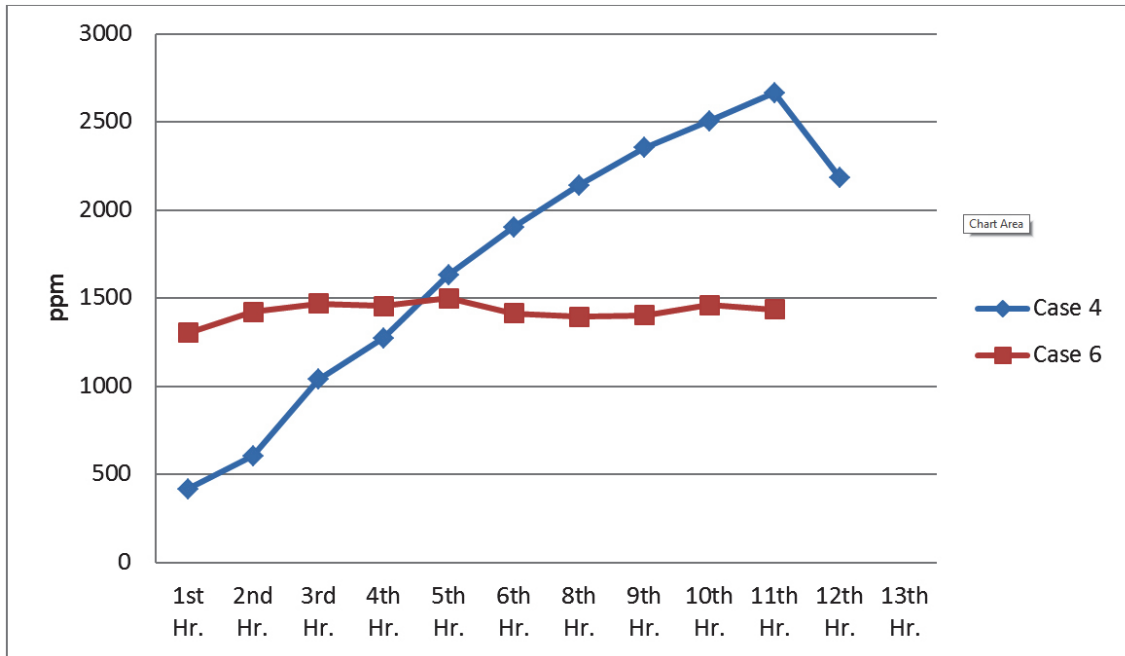
การใช้งาน มีกรณีศึกษาที่ 7 ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 1000 ppm อาจเนื่องจากผู้ใช้อาคารเป็นผู้หญิงรูปร่างเล็กกับเด็กอายุ 6 ขวบ ประกอบกับปริมาตรห้องนอนที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าค่าเฉลี่ยของกรณีศึกษาทั้งหมด



ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm) กรณีมีผู้ใช้งาน 3 คน

กรณีที่มีผู้ใช้งานในห้องนอน 3 คน พบว่าหลังจากการใช้งานไปแล้วประมาณ 2.5 ชั่วโมง 2 ใน 3 กรณีศึกษา มีระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมสูงเกิน 1,000 ppm และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงมากกว่า 2,000 ppm และสามารถขึ้นไปถึงประมาณ 2,300 ppm หลังการใช้งานเกิน 8 ชั่วโมง ในกรณีศึกษา

ที่ 8 ที่ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมไม่สูงมาก อาจเนื่องจากในห้องนอนมีประตูห้องน้ำเป็นประตูบานเลื่อนขนาดใหญ่และหน้าต่างห้องน้ำถูกเปิดไว้ตลอดเวลา อาจมีการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาได้มากกว่ากรณีศึกษาอื่น ๆ



ภาพที่ 5 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm) กรณีมีผู้ใช้งาน 4 คน

กรณีที่มีผู้ใช้งานในห้องนอน 4 คน ในกรณีศึกษาที่ 4 พบว่าหลังจากการใช้งาน 2 ชั่วโมงครึ่งระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมเริ่มสูงเกิน 1,000 ppm และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกิน 2,000 ppm หลังการใช้งานเกิน 8 ชั่วโมง และเพิ่มสูงมากกว่า 2,500 ppm เมื่อใช้งานเกิน 10 ชั่วโมง ในกรณีศึกษาที่ 6 เป็นที่น่าสังเกตว่าระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมสูงขึ้นไปมากเหมือนกรณีศึกษาที่ 4 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะและวัสดุของบานเปิดเป็นบานเปิดไม้ที่มีรอยแยกตามกรอบหน้าต่างมากกว่าบานเปิดแบบ UPVC ของกรณีศึกษาที่ 4 ทำให้การรั่วซึมของอากาศเข้ามาในห้องนอนได้มากกว่ากรณีศึกษาอื่น ๆ

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ห้องนอนปรับอากาศที่ไม่มีการระบายอากาศด้วยวิธีกล 8 ใน 10 กรณีศึกษามีระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมสูงเกิน 1,000-1,100 ppm

ส่วนใหญ่หลังการใช้งานไปประมาณ 2-3 ชั่วโมงระดับความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในเริ่มสูงขึ้นไปเกิน 1,000-1,100 ppm ณ จุดนี้ถือได้ว่าการระบายอากาศไม่เพียงพอตามคำแนะนำของ ANSI/ASHRAE 62.1-2016 การระบายอากาศสำหรับคุณภาพอากาศภายในที่ยอมรับ และมาตรฐานของ The National Institute for Occupational Safety and Health

ส่วนอีก 2 กรณีศึกษาที่ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมไม่เกิน 1,000-1,100 ppm อาจเนื่องมาจากผู้ใช้ห้องนอนมีขนาดร่างกายเล็ก ในบางกรณีอาจมีการรั่วซึมจากประตูภายในของห้องนอนที่มีมากกว่ากรณีศึกษาอื่น ๆ กรณีที่มีผู้ใช้งาน 2 คนพบว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถเพิ่มสูงขึ้นไปประมาณ 1,400 จนถึง 1,900 ppm ในกรณีที่ผู้ใช้งาน 3 คนความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อาจเพิ่มสูงมากกว่า 2,000 ppm และสามารถขึ้นไปถึงประมาณ 2,300 ppm ได้หลังการใช้งานเกิน 8 ชั่วโมง และในกรณีที่ผู้ใช้งาน 4 คน ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกิน

2,000 ppm ได้หลังการใช้งานเกิน 8 ชั่วโมง และสามารถเพิ่มสูงมากกว่า 2,500 ppm เมื่อใช้งานเกิน 10 ชั่วโมง ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงมากกว่า 2,000-2,500 ppm จะมีผลต่อสุขภาพอาจก่อให้เกิดอาการง่วงซึม และปวดหัวได้

ดังนั้น เพื่อคงคุณภาพอากาศภายในห้องนอนที่ดีและเพื่อสุขภาพของผู้ใช้งานห้องนอนควรมีการระบายอากาศโดยนำอากาศใหม่ภายนอกเข้ามา การระบายอากาศสามารถทำได้โดยการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติหรือด้วยวิธีกล สำหรับห้องนอนปรับอากาศการระบายอากาศควรใช้วิธีกล และควบคุมปริมาณอากาศใหม่ภายนอกเข้ามาในปริมาณที่เหมาะสม การเลือกขนาดพัดลมระบายอากาศให้สอดคล้องกับลักษณะห้องนอนและจำนวนผู้ใช้งาน จะช่วยให้คุณภาพอากาศภายในอยู่ในระดับมาตรฐาน และประหยัดพลังงานเครื่องปรับอากาศ หากเลือกพัดลมระบายอากาศที่มีขนาดใหญ่เกินไปก็จะเป็นภาระกับเครื่องปรับอากาศทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้ามาก ส่วนการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติโดยการเปิดหน้าต่างขณะใช้เครื่องปรับอากาศสามารถกระทำได้โดยเปิดช่องเปิดจนระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามจะไม่สามารถควบคุมปริมาณอากาศใหม่เข้ามาในระดับที่คงที่ได้ และอาจสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาภาคสนามเบื้องต้นจากห้องนอนและผู้ใช้งานที่ค่อนข้างหลากหลายตามบ้านทั่วไปที่มีการใช้งานจริง ดังนั้น จึงมีตัวแปรอิสระจำนวนมากที่ผู้ศึกษาไม่สามารถควบคุมได้ ผลการศึกษาที่ได้จึงเป็นเพียงแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอนปรับอากาศที่ไม่มีการระบายอากาศด้วยวิธีกล ลักษณะการสะสมและการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการศึกษาในครั้งนี้ อาจไม่ตรงหรือเกิดขึ้นกับกรณีอื่นก็เป็นได้ มีตัวแปรหลายตัวแปรที่สามารถส่งผลกระทบต่อระดับการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ เช่น เพศ อายุ ขนาดร่างกาย และระดับการเผาผลาญของกิจกรรมที่ส่งผลต่อปริมาณที่ร่างกายปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ขนาดและ

ปริมาตรของห้อง ลักษณะและวัสดุของการก่อสร้างของห้อง ประตูและหน้าต่างที่มีผลต่อการรั่วซึมอากาศทิศทางของห้องและแรงลมภายนอกที่กระทำต่อห้องที่ส่งผลต่อการรั่วซึมอากาศ เป็นต้น หากมีการศึกษาต่อไปในอนาคตด้วยวิธีการทดลองในห้องทดลองที่สามารถควบคุมตัวแปรอิสระต่างดังกล่าวได้ จะทราบถึงอิทธิพลของแต่ละตัวแปรต่อระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในห้อง และได้ผลการศึกษาที่ละเอียด ลึก และแม่นยำกว่านี้

บรรณานุกรม

“ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ข้อมูลทั่วไปอันตรายที่เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์.” สืบค้น 14 มิถุนายน 2559. <http://www.thaieditorial.com/tag/>.

“คาร์บอนไดออกไซด์.” สืบค้น 14 มิถุนายน 2559. <https://th.wikipedia.org/wiki/>.

จุฑารัตน์ ฉัตรวิริยางค์และวิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์. “Carbon Dioxide.” สืบค้น 14 มิถุนายน 2559. http://www.summacheeva.org/index_thaitox_carbon_dioxide.htm.

“ส่วนประกอบของอากาศ.” สืบค้น 14 มิถุนายน 2559. http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Internal%20Combustion%20Engine%20Part%20I/3_1.html.

“องค์ประกอบของอากาศ.” สืบค้น 14 มิถุนายน 2559. <http://physicsworld.nanacity.com/physicsworld/lesson/world4.htm?kattempt=1>.

- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). *TLVs and BEIs*. Cincinnati, OH.: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2011.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. *ANSI/ASHRAE 62.1-2016: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta, GA.: ASHRAE Headquarters, 2016.
- “ASHRAE Technical FAQ.” Accessed July 1, 2016. <https://www.ashrae.org/File%20Library/docLib/.../TC-04-03-FAQ-35.pdf>.
- “Carbon Dioxide (CO2).” Accessed July 12, 2016. <http://www.health.state.mn.us/divs/eh/indoorair/co2/>.
- Greiner, Tom. “Indoor Air Quality: Carbon Monoxide and Carbon Dioxide (AEN-125).” Accessed July 1, 2016. <http://www.abe.iastate.edu/extension-and-outreach/indoor-air-quality-carbon-monoxide-and-carbon-dioxide-aen-125/>.
- “Indoor Air Quality.” Accessed June 14, 2016. https://en.wikipedia.org/wiki/Indoor_air_quality.
- Lipsett, M.J., Shusterman, D.J. and Beard, R.R. “Inorganic Compounds of Carbon, Nitrogen, and Oxygen.” In *Patty’s Industrial Hygiene and Toxicology*, G.D. Clayton and F.D. Clayton, eds. New York: John Wiley & Sons, 1994.
- National Institute for Occupational Safety and Health. “Indoor Environmental Quality: Building Ventilation.” Accessed October 8, 2008. <http://www.cdc.gov/niosh/topics/indoorenv/BuildingVentilation.html>.
- OSHA (Occupational Safety and Health Administration). “*Sampling and Analytical Methods: Carbon Dioxide in Workplace Atmospheres*.” Accessed May 7, 2012. <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id172/id172.html>.
- Petty, Stephen. “*Summary of ASHRAE’s Position on Carbon Dioxide (CO2) Levels in Spaces*.” Accessed July 1, 2016. www.eesinc.cc/downloads/CO2positionpaper.pdf.
- Prill, Rich. “*Why Measure Carbon Dioxide Inside Buildings?*” Accessed July 1, 2016. www.energy.wsu.edu/Documents/CO2inbuildings.pdf.
- “*Study: Bad In-Flight Air Exacerbated by Passengers*.” Talk of the Nation, National Public Radio. September 21, 2007.
- Usha, Satish, Mark J. Mendell, Krishnamurthy, Shekhar, Toshifumi, Hotchi, Douglas, Sullivan, Siegfried, Streufert and William J., Fisk. “Is CO2 an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO2 Concentrations on Human Decision-Making Performance.” *Environ Health Perspect*. Accessed July 13, 2016. DOI:10.1289/ehp.1104789. <http://ehp.niehs.nih.gov/1104789/>.