การประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในโรงพยาบาล ด้วยการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Assessment of Ventilation Efficiency in a Hospital using Carbon Dioxide Measurement

ศิริรัตน์ เรืองเกษา สุพิชชา เอื้ออรัญโชติ และ ภารดี ช่วยบำรุง*

Sirirat Ruangkasa, Supicha Ua-Arunchote and Paradee Chuaybamroong*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Rangsit campus

Received : 15 February 2017

Accepted : 25 April 2017

Published online : 19 May 2017

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศในโรงพยาบาลของรัฐขนาด 541 เตียง ในคลินิกผู้ป่วยนอก ได้แก่ คลินิกจักษุ คลินิกกุมารเวช และบริเวณหน้าห้องจ่ายยา 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศแบบรวม และในห้องพักผู้ป่วยใน ได้แก่ ห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมชาย (พิเศษ) ซึ่งมีเครื่องปรับอากาศ ห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง (สามัญ) และห้องพักผู้ป่วยอายุรกรรมชาย (สามัญ) ที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ ความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้นำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ ASHRAE ที่กำหนดไว้ 1,000 ppm ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในคลินิกจักษุอยู่ในช่วง 1,013-2,524 ppm ขณะที่การตรวจวัดช่วงที่ไม่มีผู้ใช้บริการพบ 500-583 ppm ในคลินิกกุมารเวช ความเข้มข้นของก๊าซคือ 931-3,225 ppm ช่วงที่ไม่มีผู้ใช้บริการพบ 626-666 ppm ส่วนบริเวณหน้าห้องจ่ายยา 1 ค่าที่ตรวจวัดได้มีความผันผวนจากการมีลมพัดผ่านเป็นระยะ โดยพบ 430-2,474 ppm สำหรับห้องพักผู้ป่วยในแผนกศัลยกรรมชาย (พิเศษ) พบ 638-944 ppm ห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง (สามัญ) ที่เปิดหน้าต่างและพัดลมไว้ตลอดเวลา พบ 322-614 ppm ใกล้เคียงกับห้องพักผู้ป่วยอายุรกรรมชาย (สามัญ) ที่วัดได้ 286-605 ppm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของการระบายอากาศที่ดี จึงสรุปได้ว่าคลินิกผู้ป่วยนอกมีการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอเมื่อเปรียบเทียบกับห้องพักผู้ป่วยใน โดยจำนวนคนและการถ่ายเทของอากาศกับภายนอกอาคารเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ผลการตรวจวัดต่างกัน

คำสำคัญ : การระบายอากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โรงพยาบาล

***Corresponding author. E-mail** : paradee@tu.ac.th

Abstract

This study had measured carbon dioxide concentrations in a 541-bed public hospital in the out-patient department; namely, eye clinic, pediatrics and pharmacy1's waiting area. All has the cool air distributed from the HVAC system. Also, the in-patient departments were studied; namely, male private surgical ward (with air-conditioner), female general surgical wards (without air-conditioner) and male general medical ward (without air-conditioner). The measured concentrations were compared with the ASHRAE standard of 1,000 ppm. It was found that the carbon dioxide concentrations in the eye clinic were in a range of 1,013-2,524 ppm, while those before the service time were 500-583 ppm. Similarly, the concentrations in pediatrics were 931-3,225 ppm, while those before the service time were 626-666 ppm. For the pharmacy1's waiting area, the concentrations were 430-2,474 ppm, fluctuating all the time from the outside wind. In the male private surgical ward, the concentrations were 638-944 ppm. In the female general surgical ward, with natural ventilation through the doors and windows, the concentrations were 322-614 ppm, while those in the male general medical ward were in the range of 286-605 ppm. Both general medical wards with natural ventilation comply with the good ventilation criteria. Therefore, it was concluded that the out-patient department had insufficient ventilation comparing to the in-patient department. Numbers of the patient and outdoor air circulation were the main factors for these different results.

Keywords : ventilation, carbon dioxide, hospital

บทนำ

รูปแบบการใช้ชีวิตของประชาชนในประเทศไทยรวมถึงการออกแบบอาคารสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมืองใหญ่นั้นเปลี่ยนแปลงไปจากอดีตเป็นอย่างมาก จากเรือนไทยทรงโปร่งหลังคาสูงที่ใช้การพึ่งพาการระบายอากาศตามธรรมชาติได้กลายมาเป็นอาคารปิดมิดชิดที่ใช้เครื่องปรับอากาศแทน และยิ่งมีวิกฤตด้านการขาดแคลนพลังงานก็ยิ่งมีการออกแบบอาคารให้แน่นหนา (air-tight building) เพื่อลดการแทรกซึมของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในและลดปริมาณการหมุนเวียนของอากาศ เพื่อช่วยลดภาระการทำงานของระบบปรับอากาศอันนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายลงในที่สุด แต่ปัญหาที่ตามมาก็คือการสะสมตัวของสารมลพิษต่าง ๆ จากการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอจนเกิดเป็นกลุ่มโรคอาการป่วยเหตุอาคาร (sick building syndromes) ซึ่งส่งผลต่อผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร เช่น เกิดอาการเจ็บป่วย ไม่สบายตัว วิงเวียนศีรษะ อ่อนล้า ระคายเคืองที่ตาและผิวหนัง เป็นต้น (US EPA, 1991)

ในกรณีที่อาคารนั้นเป็นโรงพยาบาลหรือสถานบริการทางการแพทย์ ผู้มาใช้บริการมักเป็นผู้ที่เจ็บป่วยและมีเชื้อโรคที่ก่อให้เกิดอาการเจ็บป่วยนั้น ๆ อยู่ภายในร่างกาย การไอ การจาม หรือกระทั่งการพูดคุยเป็นช่องทางหนึ่งที่ทำให้เชื้อโรคแพร่กระจายออกมาจากตัวผู้ป่วยได้ หากระบบการระบายอากาศมีประสิทธิภาพที่เพียงพอ ก็จะสามารถดูดอากาศเสียที่มีการปนเปื้อนออกไปและนำอากาศใหม่ที่สะอาดเข้ามาแทนที่ซึ่งช่วยเจือจางความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ และหากสถานที่นั้นมีการกำจัดเชื้อโรคด้วยวิธีการต่าง ๆ ร่วมด้วย โอกาสที่จะเกิดการแพร่กระจายเชื้อย่อมลดน้อยลงจนอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายได้

ทั้งนี้การประเมินประสิทธิภาพระบบการระบายอากาศวิธีหนึ่งที่กระทำได้ง่ายและไม่ยุ่งยากซับซ้อนคือการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เนื่องจากกระบวนการเผาผลาญภายในร่างกายนั้นก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปล่อยออกมาพร้อมกับลมหายใจของมนุษย์ ดังนั้น ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) จึงใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวแทนของสิ่งชีวภาพที่ปล่อยออกมาจากมนุษย์ (bioeffluents) โดยการหายใจของผู้ใหญ่ในสภาวะปกติสามารถปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตรา 0.005 ลิตร/วินาที (Godish, 2001) ตัวเลขนี้สามารถนำมาคำนวณเป็นอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมต่อการเจือจางสิ่งชีวภาพจากมนุษย์ได้ ดังสมการที่ (1)

$$Q = G/(C_i - C_a) \quad (1)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการระบายอากาศ (ลิตร/วินาที), C_i คือ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารที่สามารถยอมรับได้, C_a คือ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศภายนอกอาคาร และ G คือ อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของคนในอาคาร ซึ่งก็คือ 0.005 ลิตร/วินาที ถ้ากำหนดว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารที่ยอมรับได้ คือ 0.1% หรือ 1,000 ppm ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบได้ทั่วไปในบรรยากาศภายนอกอาคารคือ 0.0365% หรือ 365 ppm ดังนั้นอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมจะได้เป็น

$$Q = 0.005/(0.001 - 0.0003) = 7.14 \text{ ลิตร/วินาที/คน หรือ } 15 \text{ ลูกบาศก์ฟุต/นาที/คน}$$

การนำเข้าอากาศจากภายนอกตามที่คำนวณได้ จะเพียงพอในการเจือจางก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากลมหายใจของผู้ที่อยู่ภายในห้องไม่ให้เกิน 1,000 ppm โดยหากเพิ่มอัตราการระบายอากาศให้มากขึ้นไปอีก เช่น 20 ลูกบาศก์ฟุต/นาที/คน ก็จะช่วยให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เจือจางลงไปอีก ดังนั้น ASHRAE มาตรฐานที่ 62.1 จึงกำหนดว่าการระบายอากาศที่เหมาะสมหรือเพียงพอนั้นจะต้องสามารถทำให้ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องหรือภายในอาคารนั้นไม่เกิน 1,000 ppm ได้ตลอดเวลา (Godish, 2001)

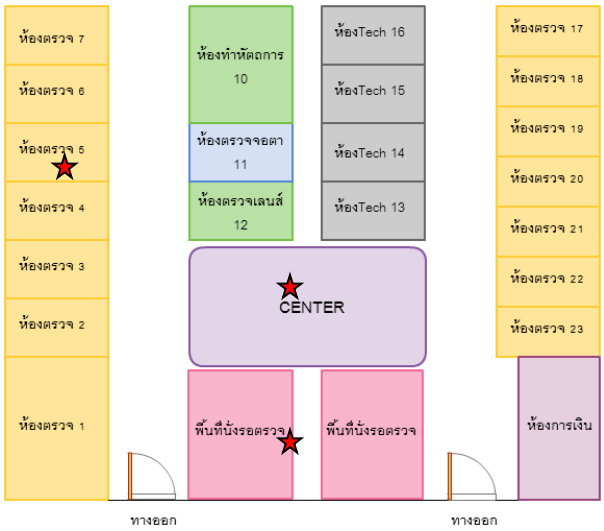
การระบายอากาศที่ไม่เพียงพอจะทำให้เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นตัวแทนของสิ่งชีวภาพจากการปลดปล่อยของมนุษย์ภายในอาคาร ซึ่งในกรณีของโรงพยาบาล การสะสมตัวของก๊าซหรือการแพร่กระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถใช้สะท้อนถึงโอกาสที่เชื้อก่อโรคอื่น ๆ ที่มาจากผู้ป่วยจะเกิดการสะสมตัวหรือแพร่กระจายด้วยเช่นกัน อันจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้มาใช้บริการอื่น ๆ รวมถึงบุคลากรของโรงพยาบาล การศึกษานี้จึงใช้การตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศภายในคลินิกผู้ป่วยนอกซึ่งแต่ละวันมีผู้มาใช้บริการรวมประมาณ 2,000-3,000 คน เปรียบเทียบกับอากาศภายในห้องพักผู้ป่วยในทั้งที่มีและไม่มีเครื่องปรับอากาศ (ใช้การระบายอากาศตามธรรมชาติ) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศของโรงพยาบาลของรัฐขนาด 541 เตียง และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้มาใช้บริการกับระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ที่ตรวจวัด โดยการศึกษาสามารถเป็นแนวทางให้กับการดำเนินการของโรงพยาบาลอื่น ๆ อันจะนำไปสู่การพัฒนาและปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ใช้อุปกรณ์ TSI Q-TRAK Indoor Air Quality Meter รุ่น 7565 และรุ่น 9555 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ชนิด non-dispersive infrared analyzer ที่อ่านค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในทันที ทำการตรวจวัดก๊าซในอากาศที่ระดับความสูง 110 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับของการหายใจ ในคลินิกผู้ป่วยนอกที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลาง (central air system) ได้แก่ คลินิกจักษุ คลินิกกุมารเวช บริเวณหน้าห้องจ่ายยา 1 และตรวจวัดในห้องพักผู้ป่วยใน ได้แก่ ห้องผู้ป่วยศัลยกรรมชาย (พิเศษ) ซึ่งเป็นห้องปรับอากาศ ห้องผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง (สามัญ) และห้องผู้ป่วยอายุรกรรมชาย (สามัญ) ซึ่งไม่มีการปรับอากาศ แต่ละบริเวณตรวจวัด 2 จุดพร้อม ๆ กัน โดยอ่านค่าทุก 2-5 นาที เป็นระยะเวลา 20-240 นาที ในระหว่างการตรวจวัดมีการนับจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละพื้นที่ไปพร้อม ๆ กันด้วย

คลินิกจักษุ

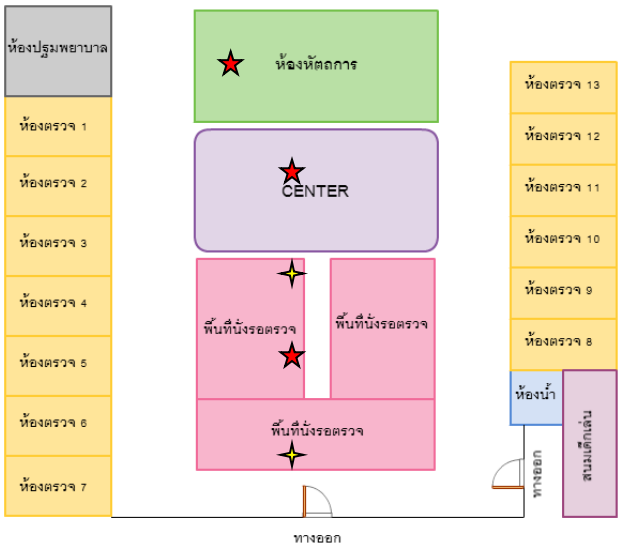
การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบริเวณคลินิกจักษุ (ภาพที่ 1) กระทำทั้งหมด 3 ครั้ง ในครั้งที่ 1 ตรวจวัดบริเวณพื้นที่นั่งรอตรวจซึ่งมีประชาชนนั่งรออยู่เต็มพื้นที่ เปรียบเทียบกับบริเวณหลังเคาน์เตอร์พยาบาล (ตำแหน่ง Center ในภาพ) ครั้งที่ 2 ตรวจวัดบริเวณพื้นที่นั่งรอตรวจเปรียบเทียบกับบริเวณห้องตรวจหมายเลข 5 ซึ่งมีจำนวนคนเพียง 1-3 คน (เฉพาะแพทย์ พยาบาล และผู้ป่วย) โดยมีการวัดเปรียบเทียบระหว่างภายในและภายนอกห้องตรวจด้วย ทั้งนี้ การเปลี่ยนตำแหน่งจุดตรวจวัดในแต่ละครั้งก็เพื่อสังเกตความเข้มข้นของก๊าซว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ระหว่างบริเวณที่มีจำนวนคนหนาแน่นไม่เท่ากัน ในครั้งที่ 3 เป็นการตรวจวัดเพียงจุดเดียวคือบริเวณพื้นที่นั่งรอตรวจในช่วงเช้าก่อนเปิดให้บริการ (7.00 น.-7.22 น.)



ภาพที่ 1 ผังแสดงตำแหน่งตรวจวัดในคลินิกจักษุ (มีระบบปรับอากาศ)

คลินิกกุมารเวช

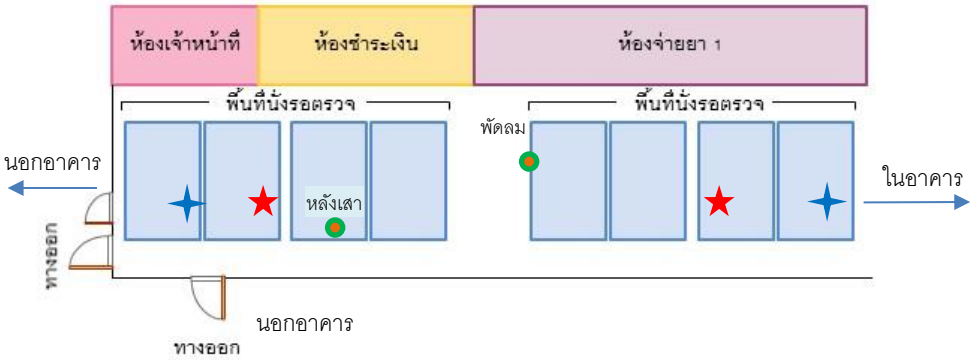
การตรวจวัดในคลินิกกุมารเวช (ภาพที่ 2) กระทำทั้งหมด 4 ครั้ง ในครั้งที่ 1 อยู่บริเวณพื้นที่นั่งรอตรวจหน้าเคาน์เตอร์พยาบาลเปรียบเทียบกับพื้นที่นั่งรอตรวจทางด้านหลัง (ใช้สัญลักษณ์ดาว 4 แฉกในรูป) ครั้งที่ 2 อยู่บริเวณตรงกลางของพื้นที่นั่งรอตรวจเปรียบเทียบกับบริเวณเคาน์เตอร์พยาบาล (ตำแหน่ง center)(ใช้สัญลักษณ์ดาว 5 แฉกในรูป) ครั้งที่ 3 อยู่บริเวณพื้นที่นั่งรอตรวจเปรียบเทียบกับบริเวณห้องหัตถกรรม (มีการเปรียบเทียบระหว่างภายในและภายนอกห้องด้วย) และในครั้งที่ 4 ตรวจวัดเพียงจุดเดียวคือบริเวณตรงกลางของพื้นที่นั่งรอตรวจในช่วงเช้าที่ยังไม่เปิดให้บริการ (7.08 น.-7.22 น.)



ภาพที่ 2 ผังแสดงตำแหน่งตรวจวัดในคลินิกกุมารเวช (มีระบบปรับอากาศ)

บริเวณหน้าห้องจ่ายยา 1

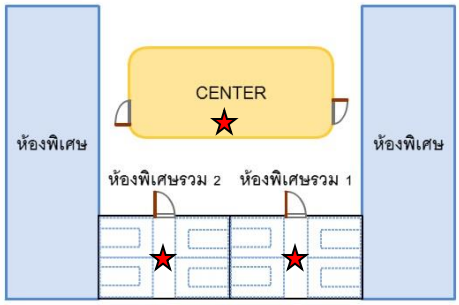
การตรวจวัดในบริเวณหน้าห้องจ่ายยา 1 (ภาพที่ 3) กระทำทั้งหมด 3 ครั้ง ในครั้งที่ 1 อยู่บริเวณพื้นที่นั่งรอรับยาด้านในอาคาร (ฝั่งขวาของรูป) เปรียบเทียบกับบริเวณพื้นที่นั่งรอรับยาใกล้ประตูทางออก (ฝั่งซ้ายของรูป) (ใช้สัญลักษณ์ดาว 5 แฉก) ครั้งที่ 2 ตรวจวัดที่พื้นที่นั่งรอตรวจแต่เลื่อนมาให้อยู่ชิดกับด้านในอาคารมากขึ้น เปรียบเทียบกับพื้นที่นั่งรอตรวจที่อยู่ชิดกับทางออกมากขึ้น (ใช้สัญลักษณ์ดาว 4 แฉก) และในครั้งที่ 3 ตรวจวัดบริเวณใกล้พัดลม เปรียบเทียบกับบริเวณที่ห่างพัดลม (หลังเสา) (ใช้สัญลักษณ์วงกลม) เพื่อสังเกตอิทธิพลของพัดลมต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่



ภาพที่ 3 ผังแสดงตำแหน่งตรวจวัดบริเวณหน้าห้องจ่ายยา 1 (มีระบบปรับอากาศ)

ห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมชาย (พิเศษ)

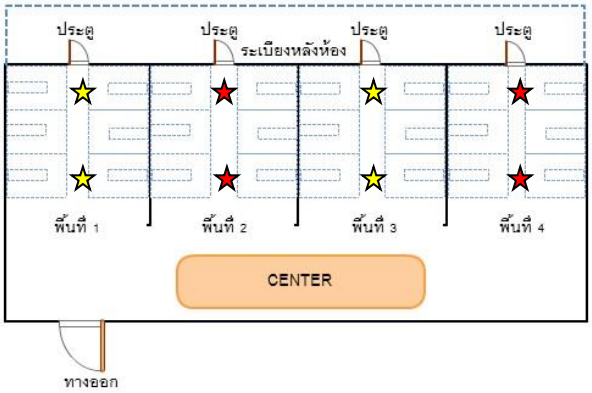
ผังห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมชาย (พิเศษ) แสดงได้ดังภาพที่ 4 การตรวจวัดกระทำ 2 ครั้ง ที่บริเวณเคาน์เตอร์พยาบาล เปรียบเทียบกับภายในห้องพักพิเศษรวม 1 และ 2 โดยในห้องพิเศษแต่ละห้องมีเตียงผู้ป่วยจำนวน 4 เตียง จุดตรวจวัดนั้นอยู่ระหว่างกลางทางเดินของทั้ง 4 เตียง



ภาพที่ 4 ผังแสดงตำแหน่งตรวจวัดในห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมชาย (พิเศษ) (มีระบบปรับอากาศ)

ห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง (สามัญ)

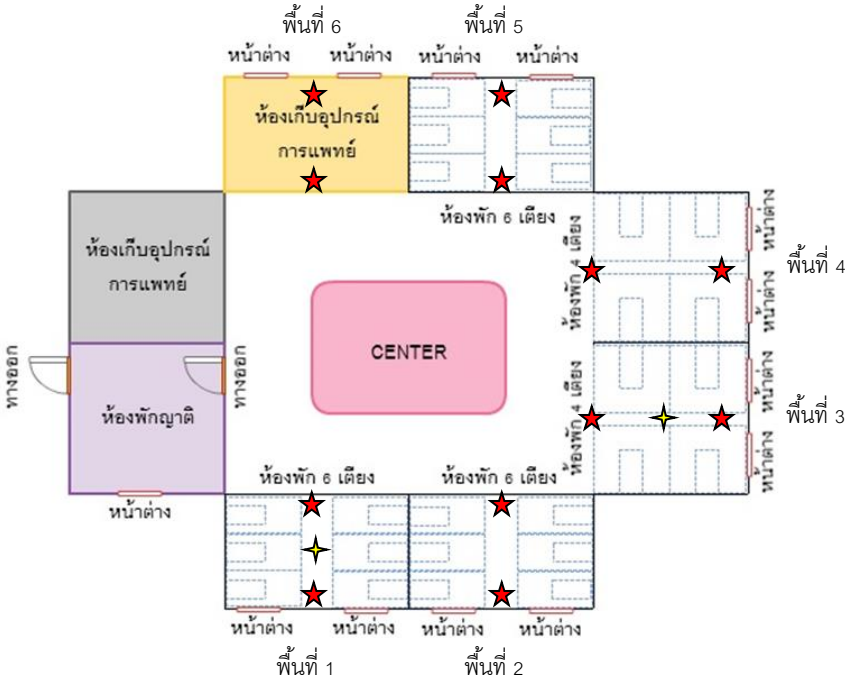
ในห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง (สามัญ) ไม่มีระบบปรับอากาศ การตรวจวัดกระทำโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 พื้นที่ (ภาพที่ 5) แต่ละพื้นที่ตรวจวัดที่บริเวณใกล้เคาน์เตอร์พยาบาล (center ในรูป) เปรียบเทียบกับบริเวณใกล้ประตูริมระเบียงหลังห้อง รวม 2 ครั้ง ในครั้งที่ 1 ตรวจวัดในพื้นที่ 1 ถึงพื้นที่ 4 ครั้งที่ 2 ตรวจวัดเฉพาะพื้นที่ 1 และ พื้นที่ 3 โดยตำแหน่งของจุดตรวจวัดยังคงเหมือนเดิม ระหว่างการตรวจวัด ประตูนั้นถูกเปิดทิ้งไว้ตลอดเวลา



ภาพที่ 5 ผังแสดงตำแหน่งตรวจวัดในห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง (สามัญ) (ไม่มีระบบปรับอากาศ)

ห้องพักผู้ป่วยอายุรกรรมชาย (สามัญ)

ในห้องพักผู้ป่วยอายุรกรรมชาย (สามัญ) ไม่มีระบบปรับอากาศ การตรวจวัดแบ่งพื้นที่เป็น 6 พื้นที่ (ภาพที่ 6) แต่ละพื้นที่ตรวจวัดที่บริเวณใกล้หน้าต่างหลังห้องเปรียบเทียบกับบริเวณใกล้เคาน์เตอร์พยาบาล (center ในรูป) โดยครั้งที่ 1 ตรวจวัดทั้ง 6 พื้นที่ ส่วนครั้งที่ 2 ตรวจวัดเพียง 4 พื้นที่ คือ พื้นที่ 1 และพื้นที่ 3 ที่บริเวณกลางห้องพักผู้ป่วยจุดเดียว (ใช้สัญลักษณ์ดาว 4 แฉกในรูป) และพื้นที่ 5 และพื้นที่ 6 ตรวจวัด 2 จุดเช่นเดิม

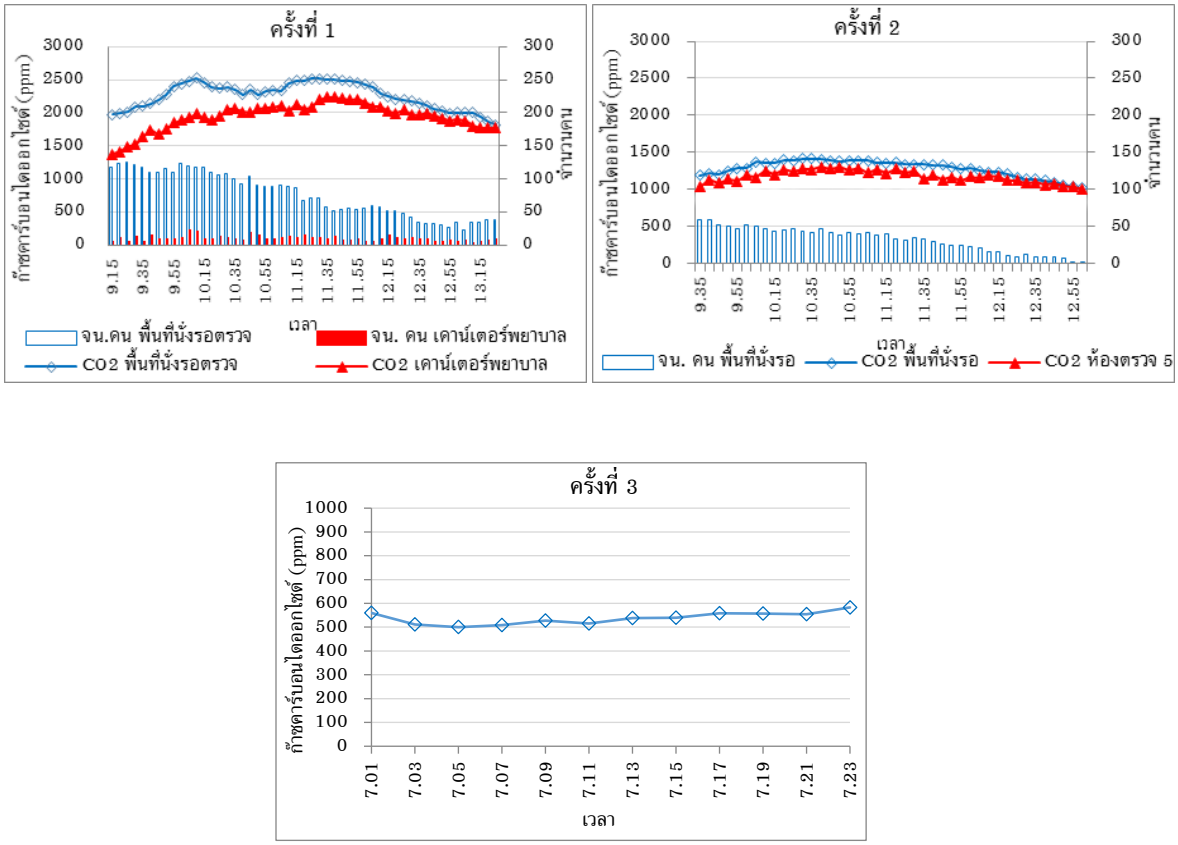


ภาพที่ 6 ผังแสดงตำแหน่งตรวจวัดในห้องพักผู้ป่วยอายุรกรรมชาย (สามัญ) (ไม่มีระบบปรับอากาศ)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

คลินิกจักษุ

การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในคลินิกจักษุ ครั้งที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่นั่งรอตรวจซึ่งมีจำนวนคนหนาแน่น (23-125 คน) กับบริเวณเคาน์เตอร์พยาบาลซึ่งมีจำนวนคนที่น้อยกว่ามาก (4-23 คน) ส่วนครั้งที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างพื้นที่นั่งรอตรวจ (2-66 คน) กับบริเวณห้องตรวจหมายเลข 5 (ภายในและภายนอกห้อง) ซึ่งมีจำนวนคนเพียง 1-3 คน ขณะที่ในครั้งที่ 3 ตรวจวัดในช่วงเวลา 7.00-7.22 น. ซึ่งคลินิกยังไม่เปิดทำการ ได้ผลดังภาพที่ 7 โดยกราฟเส้นด้านบนในภาพเป็นความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 บริเวณ ส่วนกราฟแท่งด้านล่างเป็นจำนวนคนในช่วงที่ตรวจวัด



ภาพที่ 7 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนคนระหว่างที่ตรวจวัดในคลินิกจักษุ (ครั้งที่ 1 และ 2) และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเปิดให้บริการ (ครั้งที่ 3)

จากภาพที่ 7 พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าค่าการระบายอากาศที่ดีของ ASHRAE Standard 62.1 ที่กำหนดไว้ 1,000 ppm ตลอดระยะเวลาที่ตรวจวัดทั้ง 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นที่ 1,376-1,975 ppm ตั้งแต่เวลา 9.15 น. และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ไปจนถึง 2,048-2,516 ppm ที่เวลา 11.25 น. แม้ว่าผู้มาใช้บริการจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ผ่านไปก็ตาม แสดงว่ามีการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้อง จนเมื่อเวลา 11.35 น. ที่ผู้ใช้บริการลดจำนวนลงเหลือ 57 คน ในบริเวณพื้นที่นั่งรอตรวจ ระดับก๊าซจึงค่อย ๆ ลดลง แต่ไม่มากพอที่จะต่ำกว่า 1,000 ppm ได้ แม้ว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณพื้นที่นั่งรอตรวจนั้นจะสูงกว่าบริเวณเคาน์เตอร์พยาบาล แต่เมื่อเปรียบเทียบจำนวนคนในพื้นที่นั่งรอตรวจ (57-125 คน) ที่มากกว่าบริเวณเคาน์เตอร์

พยาบาล (6-23 คน) ถึง 5-10 เท่า ในช่วงเวลา 9.15-11.35 น. แล้ว ความแตกต่างของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบใน 2 บริเวณจัดว่ามีค่อนข้างน้อย (47-119 ppm) และมาใกล้เคียงกันมากที่สุดในช่วงท้ายของการตรวจวัด (ต่างกัน 15 ppm)

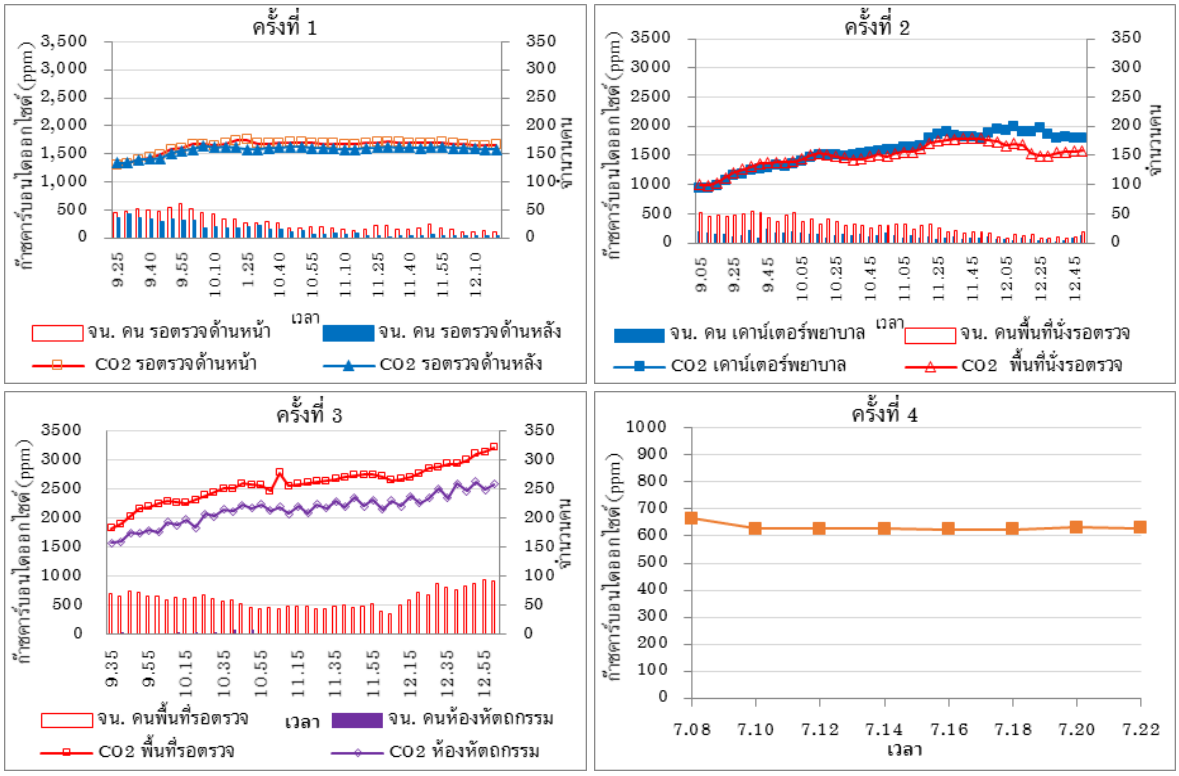
สำหรับการตรวจวัดครั้งที่ 2 เริ่มที่เวลา 9.35 น. พบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1,013-1,197 ppm โดยมีจำนวนคนน้อยกว่าครั้งที่ 1 ประมาณครึ่งหนึ่ง ในครั้งที่ 2 นี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณที่นั่งรอตรวจกับบริเวณห้องตรวจหมายเลข 5 มีความเข้มข้นใกล้กันมากขึ้นแม้ว่าจำนวนคนในห้องตรวจหมายเลข 5 จะมีเพียง 1-3 คนก็ตาม (ไม่สามารถสังเกตเห็นกราฟแท่งของจำนวนคนได้ในรูป) เมื่อเทียบกับจำนวนคนในพื้นที่นั่งรอตรวจที่มี 2-66 คน แสดงว่ามีการแพร่กระจายของก๊าซไปทั่วบริเวณ และเพื่อให้เข้าใจสภาพพื้นที่ของคลินิกจักษุมากยิ่งขึ้น จึงนำเสนอลักษณะของพื้นที่นั่งรอตรวจและบริเวณเคาน์เตอร์พยาบาล เปรียบเทียบกับในห้องตรวจหมายเลข 5 ให้ชัดเจนยิ่งขึ้นดังภาพที่ 8

ภาพที่ 8 ลักษณะพื้นที่ตรวจวัดภายในคลินิกจักษุ

ในครั้งที่ 3 เป็นการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเปิดให้บริการในช่วงเช้า เวลา 7.00-7.22 น. พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 500-583 ppm ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ ASHRAE Standard 62.1 แสดงว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในครั้งที่ 1 และ 2 มาจากจำนวนผู้ใช้บริการอย่างชัดเจน

คลินิกกุมารเวช

การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในคลินิกกุมารเวช ครั้งที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่นั่งรอตรวจด้านหน้าและด้านหลัง ครั้งที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่นั่งรอตรวจกับบริเวณเคาน์เตอร์พยาบาล ครั้งที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างพื้นที่นั่งรอตรวจกับบริเวณห้องหัตถกรรม ส่วนครั้งที่ 4 ตรวจวัดขณะที่ยังไม่เปิดทำการ สามารถแสดงผลได้ดังภาพที่ 9 โดยกราฟเส้นหมายถึงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 2 บริเวณ กราฟแท่งหมายถึงจำนวนคนในช่วงที่ตรวจวัด



ภาพที่ 9 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนคนบริเวณคลินิกกุมารเวช (ครั้งที่ 1, 2 และ 3) และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเปิดให้บริการ (ครั้งที่ 4)

จากภาพที่ 9 พบว่า ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าค่ามาตรฐานการระบายอากาศที่ดีของ ASHRAE Standard 62.1 ตลอดระยะเวลาที่ตรวจวัดทั้ง 3 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นที่ 1,303-1,340 ppm เมื่อเวลา 9.25 น. ซึ่งใกล้เคียงกันมากในบริเวณพื้นที่รอตรวจด้านหน้าและด้านหลัง แม้ว่าจำนวนคนในบริเวณด้านหลัง (2-43 คน) จะน้อยกว่าด้านหน้า (12-61 คน) ก็ตาม แสดงว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการแพร่กระจายไปทั่วบริเวณ โดยในช่วงแรกตั้งแต่เวลา 9.25 น. ไปจนถึง 10.00 น. ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบริเวณพื้นที่ทั้งสองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนคนที่อยู่ในบริเวณดังกล่าว และยังคงมีระดับคงที่ที่ 1,579-1,761 ppm แม้ว่าผู้มาใช้บริการเริ่มลดลงเรื่อย ๆ แสดงว่าการระบายอากาศในบริเวณพื้นที่รอตรวจไม่มีประสิทธิภาพมากพอที่จะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่า 1,000 ppm ได้ ขณะที่การตรวจวัดครั้งที่ 2 ได้เปลี่ยนตำแหน่งจุดตรวจวัดจากบริเวณพื้นที่รอตรวจด้านหลังไปอยู่บริเวณหลังเคาน์เตอร์พยาบาล (2-24 คน) ส่วนอีกตำแหน่งยังคงเป็นพื้นที่นั่งรอตรวจเหมือนเดิม (9-55 คน) ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง 931-2,002 ppm ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจวัดครั้งที่ 1 กล่าวคือช่วงแรกของการตรวจวัดตั้งแต่เวลา 9.05 น. ไปจนถึง 10.00 น. ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบริเวณพื้นที่ทั้งสองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนคนที่อยู่ในบริเวณดังกล่าว และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าจำนวนคนเริ่มลดลงตั้งแต่เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป ในครั้งที่ 3 ได้เปลี่ยนตำแหน่งจุดตรวจวัดไปเป็นบริเวณห้องหัตถกรรม (0-9 คน) ตรวจวัดนอกห้องสลับกับภายในห้องทุก ๆ 5 นาที เพื่อสังเกตความแตกต่างของการมีประตูกั้น ส่วนอีกตำแหน่งยังคงเป็นพื้นที่นั่งรอตรวจ (36-95 คน) พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังคงสอดคล้องกับครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 โดยระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่เวลา

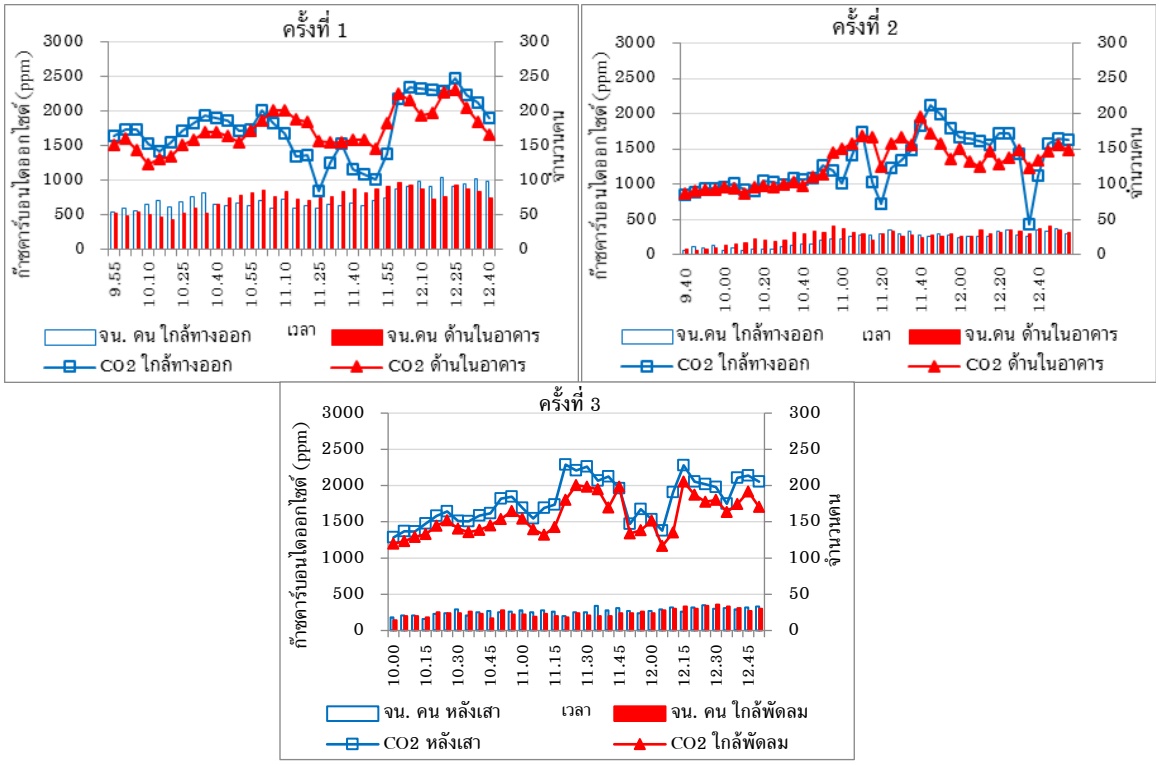
9.35 น. ไปถึง 13.00 น. ซึ่งสูงถึง 1,580–3,225 ppm เนื่องจากจำนวนคนในบริเวณตรวจวัดมีมากกว่าในครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ทั้งนี้ระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้นี้สูงกว่าค่ามาตรฐานการระบายอากาศที่ดีถึง 3 เท่า โดยการตรวจวัดนอกห้องและภายในห้องหัตถกรรมพบการผันผวนของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สาเหตุเกิดจากการเปิด-ปิดประตูกั้นห้องและการเข้าออกของผู้ป่วยและพยาบาลตลอดเวลา ถึงแม้ว่าในห้องหัตถกรรมจะมีจำนวนคนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่บริเวณอื่น (ภาพที่ 10) แต่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแนวโน้มที่พบนั้นแทบไม่แตกต่างไปจากพื้นที่บริเวณอื่นเลย สะท้อนให้เห็นว่าการระบายอากาศไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ จึงมีโอกาสเกิดการแพร่กระจายของเชื้อก่อโรคที่อาจปนเปื้อนอยู่ในอากาศไปทั่วบริเวณของคลินิก

ภาพที่ 10 ลักษณะพื้นที่ตรวจวัดภายในคลินิกกุมารเวช

ส่วนการตรวจวัดครั้งที่ 4 เป็นการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเปิดให้บริการในช่วงเช้า เวลา 7.08-7.22 น. พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 626–666 ppm ซึ่งไม่เกินเกณฑ์ค่ามาตรฐานของ ASHRAE Standard 62.1 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในครั้งที่ 1, 2 และ 3 มาจากผู้ใช้บริการทั้งสิ้น

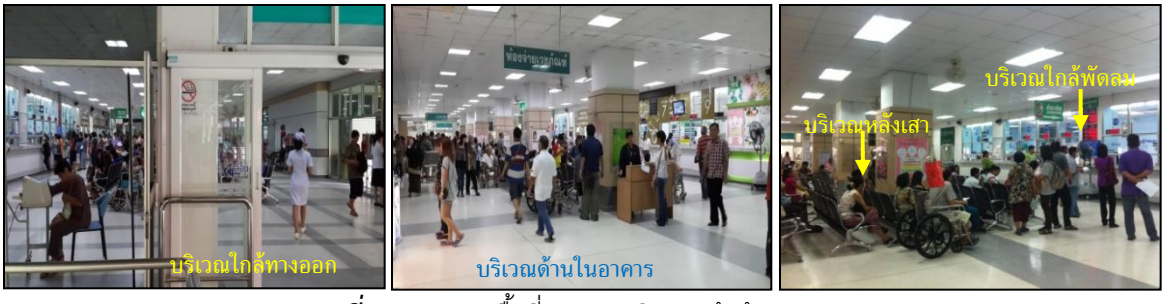
บริเวณหน้าห้องจ่ายยา 1

การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณหน้าห้องจ่ายยา 1 ในครั้งที่ 1 และ 2 เป็นการเปรียบเทียบบริเวณพื้นที่นั่งรอรับยาฝั่งด้านที่อยู่ภายในอาคารกับฝั่งใกล้ประตูทางออก ส่วนครั้งที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบพื้นที่ที่อยู่ใกล้พัดลมกับพื้นที่อับอากาศ (หลังเสา) ได้ผลดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนคนบริเวณหน้าห้องจ่ายยา 1 (ครั้งที่ 1, 2 และ 3)

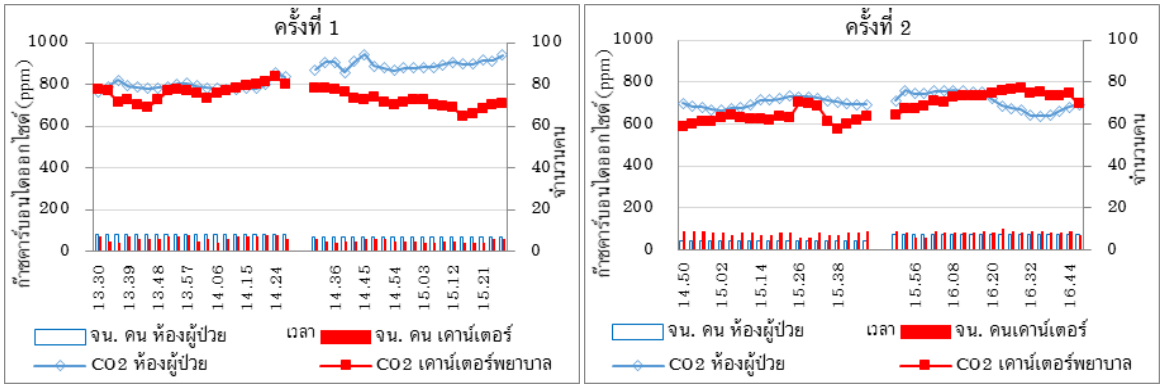
จากภาพที่ 11 พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่สูงกว่าค่ามาตรฐานการระบายอากาศที่ดีของ ASHRAE Standard 62.1 ตลอดระยะเวลาที่ตรวจวัด โดยครั้งที่ 1 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณด้านในอาคารและบริเวณใกล้ทางออกมีความสอดคล้องกันและมีความผันผวนตลอดเวลาโดยไม่สัมพันธ์กับจำนวนคนในบริเวณตรวจวัด (42-104 คน) ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากกระแสลมที่พัดเข้าสู่ภายในอาคารจากประตูทางออก (ภาพที่ 12) โดยช่วงที่มีการลดลงของระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า บริเวณใกล้ทางออกจะมีการลดลงที่ชัดเจนกว่าบริเวณด้านในอาคาร แต่เมื่อไม่มีกระแสลมพัดจะพบการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่วนในการตรวจวัดครั้งที่ 2 พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการตรวจวัดตั้งแต่เวลา 9.40-10.55 น. ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 2 บริเวณใกล้เคียงกันและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแม้ว่าระยะห่างของจุดตรวจวัดทั้งสองจะมากกว่าในครั้งที่ 1 โดยในช่วงแรกจำนวนคนในบริเวณด้านในอาคาร (7-40 คน) มีมากกว่าบริเวณใกล้ทางออก (7-22 คน) แต่ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมีความเข้มข้นใกล้เคียงกัน แสดงว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการแพร่กระจายไปทั่วบริเวณหน้าห้องจ่ายยา 1 หลังจากเวลา 11.35 น. เป็นต้นไป บริเวณด้านในอาคารมีการเปิดพัดลม ส่งผลให้ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความผันผวนเนื่องมาจากพัดลม และความเข้มข้นของก๊าซที่ตรวจวัดได้ต่ำกว่าบริเวณใกล้ทางออกทั้งที่จำนวนคนบริเวณจุดตรวจวัดมีความใกล้เคียงกัน ครั้งที่ 3 ได้เปลี่ยนตำแหน่งตรวจวัดเป็นบริเวณหลังเสาและบริเวณใกล้พัดลม (ภาพที่ 12) พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณหลังเสาสูงกว่าบริเวณใกล้พัดลมตลอดการตรวจวัดแม้ว่าจำนวนคนในบริเวณทั้งสองใกล้เคียงกัน และช่วงเวลาที่พบการลดลงของก๊าซนั้นสัมพันธ์กับการพัดของลมจากภายนอกที่เข้ามาภายในอาคาร



ภาพที่ 12 ลักษณะพื้นที่ตรวจวัดบริเวณหน้าห้องจ่ายยา 1

ห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมชาย (พิเศษ)

การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้ง ในห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมชาย (พิเศษ) ซึ่งมีระบบปรับอากาศ เป็นการเปรียบเทียบระหว่างบริเวณเคาน์เตอร์พยาบาลกับบริเวณเตียงผู้ป่วยในห้องพิเศษรวม ผลการศึกษาแสดงได้ดังภาพที่ 13 โดยในครึ่งแรกของแต่ละภาพ เป็นผลของห้องพิเศษ 2 ส่วนครึ่งหลังเป็นของห้องพิเศษ 1 ทั้ง 2 ครั้ง



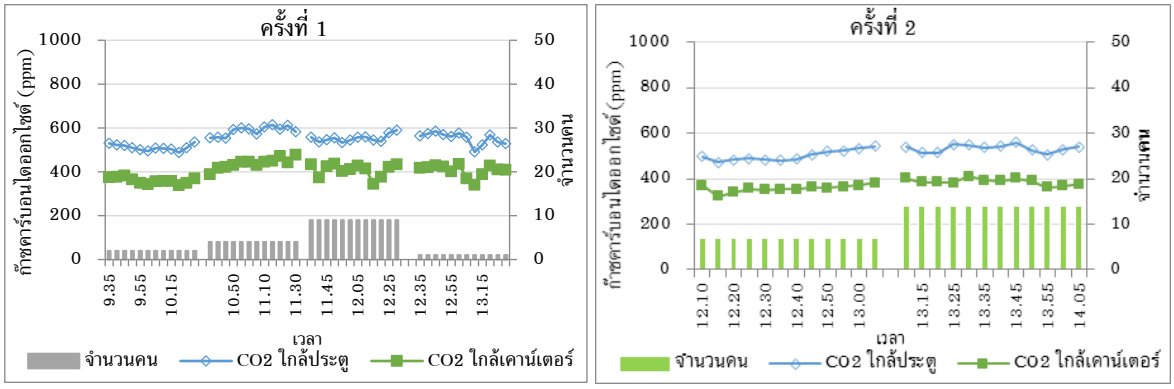
ภาพที่ 13 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนคนบริเวณห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมชาย (พิเศษ) (ครั้งที่ 1 และ 2)

จากภาพที่ 13 พบว่า ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 2 ครั้ง อยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานการระบายอากาศที่ดีของ ASHRAE Standard 62.1 โดยในครั้งที่ 1 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ภายในห้องพิเศษ 2 (ครึ่งแรกของรูปซ้ายมือ) อยู่ในช่วง 765-858 ppm ซึ่งสูงกว่าบริเวณเคาน์เตอร์พยาบาลเล็กน้อย สาเหตุมาจากจำนวนคนในบริเวณห้องพิเศษ 2 (8 คน) มีมากกว่าบริเวณเคาน์เตอร์พยาบาล (4-8 คน) นอกจากนี้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณเคาน์เตอร์พยาบาลยังมีความผันผวนตามจำนวนพยาบาลที่เดินเข้าออกอยู่ตลอดเวลา เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งการตรวจวัดไปเป็นห้องพิเศษ 1 (ครึ่งหลังของรูปซ้ายมือ) จำนวนคนในห้องพิเศษ 1 (7 คน) ใกล้เคียงกับในห้องพิเศษ 2 (8 คน) แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้กลับสูงกว่าเล็กน้อย คืออยู่ในช่วง 857-944 ppm และสูงกว่าบริเวณเคาน์เตอร์พยาบาลอย่างชัดเจน เนื่องจากขณะตรวจวัดในห้องพิเศษ 1 มีการถ่ายทอดสดกีฬาจากโทรทัศน์ ญาติผู้ป่วยที่รับชมกีฬาภายในห้องมีการเคลื่อนไหวร่างกายมาก ส่งผลให้อัตราการหายใจสูง ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องพิเศษ 1 จึงสูงกว่าในห้องพิเศษ 2 ส่วนการตรวจวัดครั้งที่ 2 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องพิเศษ 1 และ 2 อยู่ในช่วง 638-761

ppm (มีคน 4-7 คน) ซึ่งสูงกว่าในบริเวณเคาน์เตอร์พยาบาล (577-770 ppm) เพียงเล็กน้อย (มีคน 6-10 คน) โดยในห้องผู้ป่วยศัลยกรรมชาย (พิเศษ) นี้แม้ว่าจะมีระบบปรับอากาศแบบรวมเช่นเดียวกับบริเวณผู้ป่วยนอก แต่เนื่องจากจำนวนคนที่มีน้อยกว่ามาก การสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงไม่มากและไม่เกินค่ามาตรฐานการระบายอากาศ

ห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง (สามัญ)

การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง (สามัญ) เป็นการเปรียบเทียบเฉพาะส่วนของเตียงผู้ป่วยที่อยู่ใกล้กับเคาน์เตอร์พยาบาลและส่วนที่อยู่ใกล้ประตูริมระเบียง (ภาพที่ 14) โดยในครั้งที่ 1 จำนวนคน (กราฟแท่ง) เป็นจำนวนผู้ป่วยในแต่ละพื้นที่ที่ตรวจวัด เรียงจากพื้นที่ 1, 2, 3 และ 4 จากซ้ายไปขวาของภาพ ส่วนในครั้งที่ 2 เป็นผลของ 2 พื้นที่เท่านั้น คือพื้นที่ 1 ซึ่งเป็นตัวแทนของบริเวณที่มีคนน้อย (ครึ่งแรกของภาพ) และพื้นที่ 3 ซึ่งเป็นตัวแทนของบริเวณที่มีคนมาก (ครึ่งหลังของภาพ)



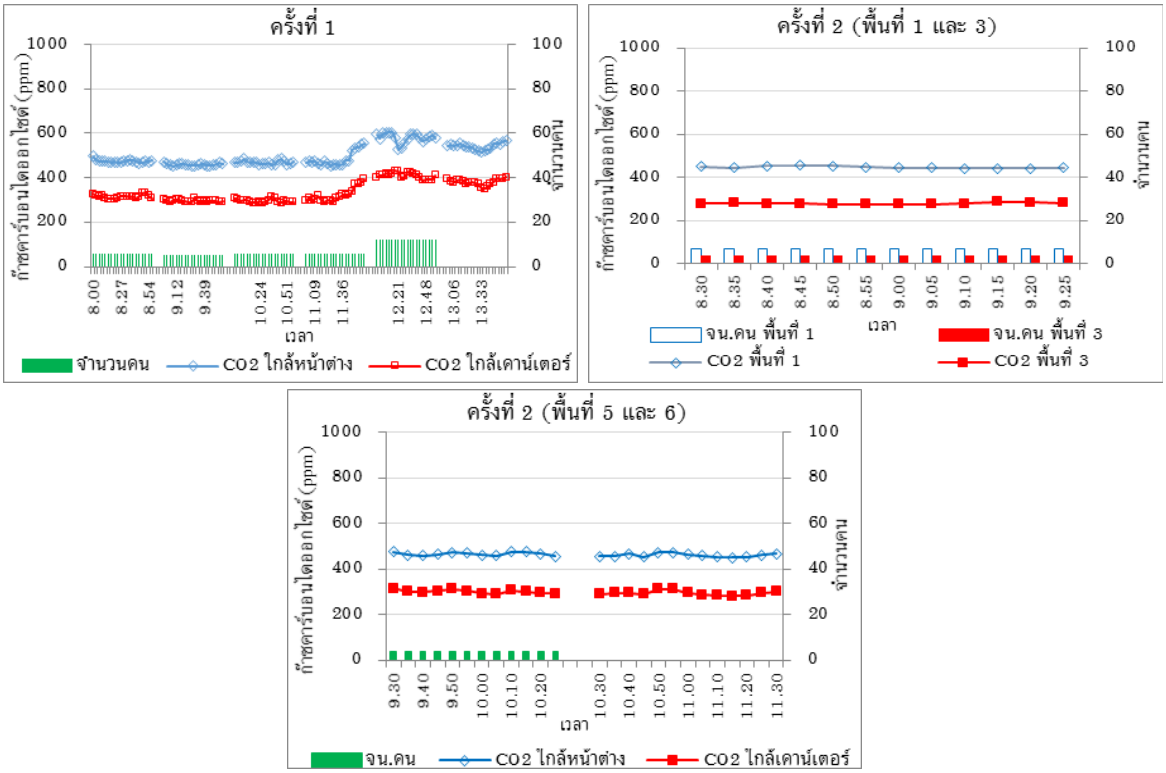
ภาพที่ 14 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนคนในห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง (สามัญ) (ครั้งที่ 1 และ 2)

จากภาพที่ 14 พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 2 ครั้ง ไม่เกิน 1,000 ppm ตามมาตรฐานการระบายอากาศของ ASHRAE Standard 62.2 ตลอดระยะเวลาที่ตรวจวัด เนื่องจากในบริเวณห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง (สามัญ) มีการเปิดประตู หน้าต่าง และพัดลมตลอดเวลา จึงมีการระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี โดยในครั้งที่ 1 ความเข้มข้นของก๊าซบริเวณใกล้ประตูริมระเบียงอยู่ในช่วง 488-614 ppm ส่วนที่อยู่ใกล้เคาน์เตอร์พยาบาลอยู่ในช่วง 339-477 ppm นอกจากนี้ยังพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 432-442 ppm (ไม่ได้แสดงรูป) ซึ่งบริเวณริมระเบียงนั้นน่าจะได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภายนอกอาคารมากกว่าบริเวณด้านใน เมื่อเทียบจำนวนคนแล้ว ในพื้นที่ 3 มีจำนวนคนมากที่สุด (9 คน) แต่ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้เพิ่มมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ (1-4 คน) เช่นเดียวกับการตรวจวัดในครั้งที่ 2 ในบริเวณพื้นที่ 1 มีจำนวนคน 7 คน ขณะที่พื้นที่ 3 มีจำนวนคน 14 คน แต่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณใกล้เคาน์เตอร์พยาบาลอยู่ในช่วง 322-409 ppm ขณะที่บริเวณใกล้ประตูริมระเบียงวัดได้ 417-561 ppm

ห้องพักผู้ป่วยอายุรกรรมชาย (สามัญ)

การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องพักผู้ป่วยอายุรกรรมชาย (สามัญ) ได้ผลดังภาพที่ 15 โดยครั้งที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณเตียงผู้ป่วยที่อยู่ใกล้หน้าต่าง กับบริเวณที่อยู่ใกล้เคาน์เตอร์พยาบาล รวม 6 พื้นที่ ซึ่งในภาพซ้ายมือเป็นผลของพื้นที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา ส่วนในครั้งที่ 2

แบ่งเป็นการตรวจวัดพื้นที่ 1 เปรียบเทียบกับพื้นที่ 3 ที่จุดเดียวกลางห้อง (ภาพขวา) และการตรวจวัดพื้นที่ 5 และพื้นที่ 6 เปรียบเทียบระหว่างบริเวณเตียงผู้ป่วยที่อยู่ใกล้หน้าต่างกับที่อยู่ใกล้เคาน์เตอร์พยาบาลอีกครั้งหนึ่ง (ภาพล่าง) โดยพื้นที่ 6 เป็นพื้นที่เก็บอุปกรณ์ จึงไม่มีจำนวนคนปรากฏ



ภาพที่ 15 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนคนบริเวณห้องพักผู้ป่วยอายุรกรรมชาย (สามัญ) (ครั้งที่ 1 และ 2)

จากภาพที่ 15 พบว่า ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยรวมอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานการระบายอากาศที่ดีของ ASHRAE Standard 62.2 เนื่องจากห้องพักผู้ป่วยอายุรกรรมชาย (สามัญ) เป็นพื้นที่ที่มีการเปิดหน้าต่างและพัดลมอยู่ตลอดเวลา โดยครั้งที่ 1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ 1, 2, 3 และ 4 ค่อนข้างคงที่ (จำนวนคน 4-6 คน) กล่าวคือ บริเวณใกล้เคาน์เตอร์พยาบาลและใกล้หน้าต่างหลังห้องมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 286-394 ppm และ 452-555 ppm ตามลำดับ แต่ในพื้นที่ 5 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนทั้งบริเวณใกล้เคาน์เตอร์พยาบาลและใกล้หน้าต่างหลังห้อง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 387-432 ppm และ 527-605 ppm ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากจำนวนคนในพื้นที่ 5 (12 คน) มีมากกว่าในพื้นที่อื่น ส่วนในพื้นที่ 6 ซึ่งเป็นบริเวณเก็บอุปกรณ์การแพทย์และไม่มีคนในบริเวณนี้ พบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงใกล้เคียงกับในพื้นที่ 5 โดยเป็นไปได้ว่าพื้นที่ 6 นั้นอยู่ติดกับอาคารสูงข้างเคียง ซึ่งอาจจะบดบังทิศทางลมทำให้เกิดการอับอากาศและเกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคารวัดได้ 263-291 ppm ขณะที่การตรวจวัดในครั้งที่ 2 พื้นที่ตรวจวัดเหลือ 4 พื้นที่ คือ พื้นที่ 1 และพื้นที่ 3 ตรวจวัดพื้นที่ละ 1 จุด ส่วนพื้นที่ 5 และพื้นที่ 6 ยังคงตรวจวัดพื้นที่ละ 2 จุดเช่นเดิม ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณพื้นที่ 1 อยู่ในช่วง 441-457 ppm (7 คน) และพื้นที่ 3

พบอยู่ในช่วง 275-287 ppm (4 คน) ส่วนในบริเวณพื้นที่ 5 (4 คน) พบว่าบริเวณใกล้เคาน์เตอร์พยาบาลและใกล้หน้าต่างมีความเข้มข้นเฉลี่ย 301 ppm และ 466 ppm ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ 6 (ไม่มีคน) พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการแพร่กระจายไปทั่วบริเวณแม้ว่าพื้นที่นั้นจะไม่มีคนอยู่ โดยบริเวณใกล้เคาน์เตอร์พยาบาลและใกล้หน้าต่างพบความเข้มข้นเฉลี่ย 294 ppm และ 460 ppm ตามลำดับ ในภาพรวมแล้วการระบายอากาศภายในห้องพักผู้ป่วยอายุรกรรมชายอยู่ในเกณฑ์การระบายอากาศที่ดี (ไม่เกิน 1,000 ppm)

ทั้งนี้ ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Escombe *et al.* (2007) ที่พบว่าการระบายอากาศตามธรรมชาติด้วยการเปิดประตู หน้าต่างนั้น ให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงกว่าการระบายอากาศแบบเชิงกลที่ควบคุมความดันลบ (negative pressure) ของห้องในโรงพยาบาลมากกว่า 2 เท่า (28 ACH เทียบกับ 12 ACH) และจากการใช้โมเดล Wells-Riley airborne infection model คณะผู้ศึกษาพบว่า การติดเชื้อวัณโรคจากผู้ป่วยที่สามารถแพร่เชื้อได้หลังการสัมผัสนาน 24 ชั่วโมงในโรงพยาบาลที่ใช้ระบบระบายอากาศแบบเชิงกลคือ 39% ขณะที่การติดเชื้อในโรงพยาบาลที่ใช้การระบายอากาศตามธรรมชาติโดยเป็นอาคารสมัยใหม่ที่สร้างในช่วงปี ค.ศ. 1970-1990 (พ.ศ. 2513-2533) ซึ่งมีเพดานเตี้ยและหน้าต่างน้อย คือ 33% ส่วนการติดเชื้อวัณโรคในอาคารสมัยเก่าที่สร้างก่อนปี ค.ศ. 1950 (พ.ศ. 2493) ซึ่งมีเพดานสูงและหน้าต่างบานใหญ่นั้นมีเพียง 11% ขณะที่การศึกษาในประเทศแคนาดา Menzies *et al.* (2000) พบว่าการติดเชื้อวัณโรคในโรงพยาบาลนั้นสัมพันธ์กับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในพื้นที่ที่ไม่มีการแยกบริเวณที่มีค่าน้อยกว่า 2 ACH โดยปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการติดเชื้อคือ 1) อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ไม่เพียงพอ 2) ทิศทางการไหลของอากาศที่ไม่ถูกต้อง และ 3) การหมุนวนอากาศกลับมาใช้ใหม่ อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้ไม่สามารถศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้ เนื่องจากหากใช้วิธี tracer gas technic ที่ต้องใช้การพ่นก๊าซเฉื่อยหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ตรวจวัดและวัดการลดลงของก๊าซนั้นไปเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ผ่านไปนั้น ทางโรงพยาบาลไม่อนุญาตให้กระทำเนื่องจากเป็นการกีดขวางการทำงานของเจ้าหน้าที่

ในกรณีของการศึกษาในประเทศไทยที่ใกล้เคียง ได้แก่ การศึกษาของ Kunthason (2013) ที่ศึกษาคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่นั่งรอตรวจด้านหน้าแผนกอายุรกรรม OPD MED และ OPD MED9 ของโรงพยาบาลพญาไทศรีราชาที่มีระบบปรับอากาศแบบรวมเช่นกัน พบความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 1,120 ppm และ 1,050 ppm ตามลำดับ โดยผู้วิจัยให้เหตุผลว่าระบบ AHU ที่ใช้นั้นมีอายุการใช้งานนาน 13 ปี ไม่มีการซ่อมบำรุงครั้งใหญ่เลย มีเพียงการบำรุงย่อยทุก 3 เดือน ทำให้ระบบไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะระบายอากาศให้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการได้ ขณะที่บริเวณพื้นที่นั่งรอจ่ายเงินและรับยาที่มีระบบปรับอากาศเช่นกัน มีค่าเฉลี่ยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 886 ppm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การระบายอากาศที่ดี เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีการเปิดปิดประตูบ่อยครั้ง ทำให้มีการถ่ายเทอากาศตามธรรมชาติเข้ามาช่วย ส่วนการศึกษาของ Leartkankasuk *et al.* (2011) ที่ตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารโดยสารสาธารณะในเขตจุตจักรกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีระบบปรับอากาศและมีการประกอบอาหารภายในอาคาร พบว่าภายในอาคารโดยสารมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 398-1,229 ppm มากกว่าภายนอกอาคารที่วัดได้ 356-556 ppm แม้ว่าภายนอกอาคารจะมีรถโดยสารและการจราจรที่หนาแน่น แสดงว่าการระบายอากาศตามธรรมชาติมีส่วนช่วยในการเจือจางมลพิษได้เป็นอย่างมาก นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาของ Turanjanin *et al.* (2014) ที่ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโรงเรียนประถมศึกษาจำนวน 5 แห่งในประเทศเซอร์เบีย ช่วงฤดูร้อนทั้งภายในและภายนอกห้องเรียน พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องเรียนของโรงเรียนทั้ง 5 แห่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,490, 1,381, 1,140, 1,172 และ 1,132 ppm ขณะที่ค่าที่ตรวจวัดได้ภายนอกอาคารคือ 522, 460, 424, 408 และ 420 ppm ตามลำดับ โดยโรงเรียนเหล่านี้ใช้ระบบระบายอากาศแบบปิดและมีอายุการใช้

งานอาคารมากกว่า 40 ปี ทำให้ไม่สามารถระบายอากาศได้อย่างเพียงพอ ซึ่งผลการศึกษาที่กล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ระบบปรับอากาศภายในอาคารสามารถช่วยสร้างความเย็นสบายให้กับผู้อยู่อาศัย แต่ไม่ได้ช่วยในการเจือจางสารมลพิษต่าง ๆ รวมทั้งเชื้อก่อโรคที่สามารถสะสมอยู่ภายในอาคารนั้นได้ การถ่ายเทอากาศจากภายนอกที่เพียงพอจึงเป็นเรื่องที่สำคัญในการสร้างเสริมความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งานอาคาร

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้พบว่าอาคารผู้ป่วยนอกที่มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบรวม (HVAC) ในคลินิกจักษุ คลินิกกุมารเวช และบริเวณหน้าห้องจ่ายยา 1 ล้วนแต่พบความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิน 1,000 ppm ทั้งสิ้น แสดงให้เห็นว่าในบริเวณดังกล่าวมีการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอตามข้อกำหนดของ ASHRAE Standard 62.2 มีโอกาสในการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการแพร่กระจายของเชื้อก่อโรคอื่น ๆ อันจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้งานอาคารได้ เมื่อเปรียบเทียบกับห้องพักผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง (สามัญ) และอายุรกรรมชาย (สามัญ) ที่ใช้การระบายอากาศตามธรรมชาติ พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นต่ำกว่า 1,000 ppm ตลอดเวลา

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.นพ. สุภชัย ฐิติอาชากุล ผู้อำนวยการโรงพยาบาลและหัวหน้าพยาบาลในทุกแผนกที่อำนวยความสะดวกตลอดการศึกษา ตลอดจนคุณบุษกร บัวทอง ผู้ปฏิบัติบริหารงานสารบัญและธุรการ ที่ช่วยติดต่อประสานงานให้การศึกษาลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณ รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือตรวจวัด Q-TRAK Indoor Air Quality Meter Model 7565

เอกสารอ้างอิง

Escombe, A.R., Oeser, C.C., Gilman, R.H., Navincopa, M., Ticona, E., Pan, W. *et al*. (2007). Natural ventilation for the prevention of airborne contagion. *PLOS Medicine, 4*(2), 309-317.

Godish, T. (2001). *Indoor Environmental Quality*. Florida: CRC Press LLC, Lewis Publishers.

Kunthason, W. (2013). *Indoor Air Quality Study, A Case Study: Phayathai Sriracha Hospital*. Retrieved November 20, 2016, from http://dspace.spu.ac.th/handle/123456789/4367?mode=full (in Thai)

Leartkankasuk, N., Nankongnap, N., Luksamijaralkul, P., & Singhacacheng, W. (2011). Relationship between indoor air quality and sick building syndrome of ticketing officers in a public transportation building at Chatuchak District, Bangkok. *Journal of Public Health*, *Special issue on the 84th birthday celebration of King Bhumibol Adulyadej,* 87-98. (in Thai)

Menzies, D., Fanning, A., Yuan, L., & FitzGerald, M. (2000). Hospital ventilation and risk for Tuberculosis infection in Canadian health care workers. *Annals of Internal Medicine, 133*(10), 779-789.

Turanjanin, V., Vučićević, B., Jovanović, M., Mirkov, N., & Lazović, I. (2014). Indoor CO_2 measurements in Serbian schools and ventilation rate calculation. *Energy, 77*, 290-296.

US. EPA. (1991). *Indoor Air Facts No. 4 (revised) Sick Building Syndrome*. Retrieved November 20, 2016, from https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/sick_building_factsheet.pdf