การประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในห้องสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว

Assessment of Ventilation Efficiency in Library Room Burapha University Sa Kaeo Campus

ลิขิต น้อยจ่ายสิน* และ สุวพิชชา พิษณุพงควิชชา

Likhit Noichaisin* and Suwapitcha Pirsanupongkawitcha

สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว

Natural Resources and Environment Program, Faculty of Science and Social Sciences, Burapha University Sa Kaeo Campus

Received : 30 January 2019

Revised : 3 May 2019

Accepted : 20 June 2019

บทคัดย่อ

การระบายอากาศในอาคารเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอากาศ และการสะสมของสารมลพิษทางอากาศซึ่งอาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ภายในอาคาร การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องสมุดมหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว โดยการใช้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในแต่ละช่วงเวลาเป็นตัวบ่งชี้ และคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของอากาศต่อชั่วโมง (ACH) พื้นที่ศึกษาแบ่งเป็น 4 โซน 1) พื้นที่ของเคาน์เตอร์จำหน่ายหนังสือและห้องพนักงาน 2) พื้นที่มี 7 ชั้นหนังสือทำด้วยไม้ 3) พื้นที่มีตู้หนังสืออลูมิเนียม 8 ชั้นและชั้นวางหนังสือ 15 ชั้น 4) ห้องคอมพิวเตอร์ตั้งอยู่ตรงกลางของห้องสมุดมีทางเข้า – ออก เพียงทางเดียว ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยที่พบมากที่สุดในโซนที่ 4 (1,905 ppm) รองลงมาคือโซนที่ 1 (1,882 ppm), โซนที่ 2 (1,005 ppm) และโซนที่ 3 (812 ppm) ตามลำดับ ค่า ACH ที่คำนวณได้อยู่ในช่วง 0.04 - 0.18 ACH บ่งชี้ว่ามีการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอและได้รับการยืนยันโดยการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในทุกโซนที่ทำการศึกษา

คำสำคัญ : คุณภาพอากาศภายในอาคาร, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, การระบายอากาศ

*Corresponding author. E-mail : likhit@buu.ac.th

Abstract

Indoor-air ventilation is a factor influencing air quality and accumulation of air pollutants which can pose health risk on human living in the building. This research aimed to study the efficiency of air ventilation in the Library of Burapha University, Sakaeo campus by applying carbon dioxide concentration accumulated in each period as an indicator. Air change rate per hour (ACH) was also calculated. The studied area was divided as 4 zones; 1) area of book circulation counter and staff room, 2) area with 7 wooden bookshelves, 3) area with 8 aluminum bookshelves and 15 wooden bookshelves and 4) computer room located in the middle of the library with only one entrance. The results showed that the highest average carbon dioxide concentration found in zone 4 (1,905 ppm) followed by zone 1 (1,882 ppm), zone 2 (1,005 ppm), and zone 3 (812 ppm) respectively. The calculated ACH was in the range of 0.04 – 0.18 ACH indicating an inadequate ventilation and hence being confirmed by elevated carbon dioxide accumulation in all studied zones.

Keywords : indoor air quality, carbon dioxide, ventilation

บทนำ

ปัจจุบันการดำเนินชีวิตของผู้คนส่วนใหญ่อาศัยอยู่ภายในอาคารมากถึงร้อยละ 90 ของเวลาทั้งหมดในแต่ละวัน ไม่ว่าจะเป็นการอยู่ภายในที่พักอาศัย สำนักงาน สถาบันการศึกษา โรงแรมห้างสรรพสินค้า สถานที่ออกกำลังกาย และโรงพยาบาล เป็นต้น องค์การอนามัยโลก (World Health Organization) คาดว่าร้อยละ 30 ของอาคารต่างๆ ทั่วโลกมีปัญหาด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor air quality) ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการออกแบบอาคารให้เป็นระบบปิดเพื่อให้ประหยัดพลังงานจากเครื่องปรับอากาศ ทำให้การถ่ายเทของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้น้อย เมื่อปริมาณการถ่ายเทอากาศและการระบายอากาศที่จะหมุนเวียนภายในอาคารไม่เพียงพอแก่ความต้องการจะส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษสะสมในอาคาร (Sawatmongkhonkul, 2014) ที่เป็นได้ทั้งฝุ่น ก๊าซต่างๆ ไอระเหยของสารเคมี รวมถึงอนุภาคทางชีวภาพ ที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร เช่น เกิดอาการเจ็บป่วย ไม่สบายตัว วิงเวียนศีรษะ อ่อนล้า ระคายเคืองที่ตาและผิวหนัง เป็นต้น (US.EPA, 1991) นอกจากนี้การระบายอากาศที่ไม่เพียงพอจะทำให้เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นหนึ่งในก๊าซมลพิษภายในอาคารที่ถูกปล่อยออกมาจากลมหายใจของผู้อยู่ในอาคาร แม้ว่าอันตรายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อาจมีไม่มากเท่าสารมลพิษชนิดอื่นๆ แต่หากอาคารนั้นมีการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอจะสามารถพบการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้โดยง่าย สะท้อนให้เห็นถึงโอกาสการได้รับสารมลพิษชนิดอื่นๆ ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้งานภายในอาคารได้ด้วยเช่นกัน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของการระบายอากาศ (Kanjanakrajang and Chuaybamroog, 2017) มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว เป็นหน่วยงานที่ให้บริการในด้านการจัดการเรียนการสอน และการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ซึ่งจำเป็นต้องมีห้องสมุดที่เป็นแหล่งการเรียนรู้ที่สำคัญที่มีนิสิต เจ้าหน้าที่ และบุคลากรต่างๆมาใช้บริการอยู่เป็นประจำ ทำให้ผู้คนเหล่านี้มีความเสี่ยงที่อาจเกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากการได้รับสารมลพิษภายในอาคาร เนื่องจากภายในพื้นที่ห้องสมุดไม่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศ รวมถึงไม่มีการเปิดกระจกหน้าต่างเพื่อถ่ายเทอากาศภายในห้องกับอากาศภายนอก ดังนั้นการศึกษานี้จึงสนใจที่จะตรวจวัดคุณภาพอากาศในห้องสมุดมหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว เพื่อประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในห้องสมุดด้วยการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลของการศึกษาจะสามารถ

เป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในห้องสมุดให้มีประสิทธิภาพและลดโอกาสในการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้มาใช้บริการภายในห้องสมุดมหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว

วิธีดำเนินการวิจัย

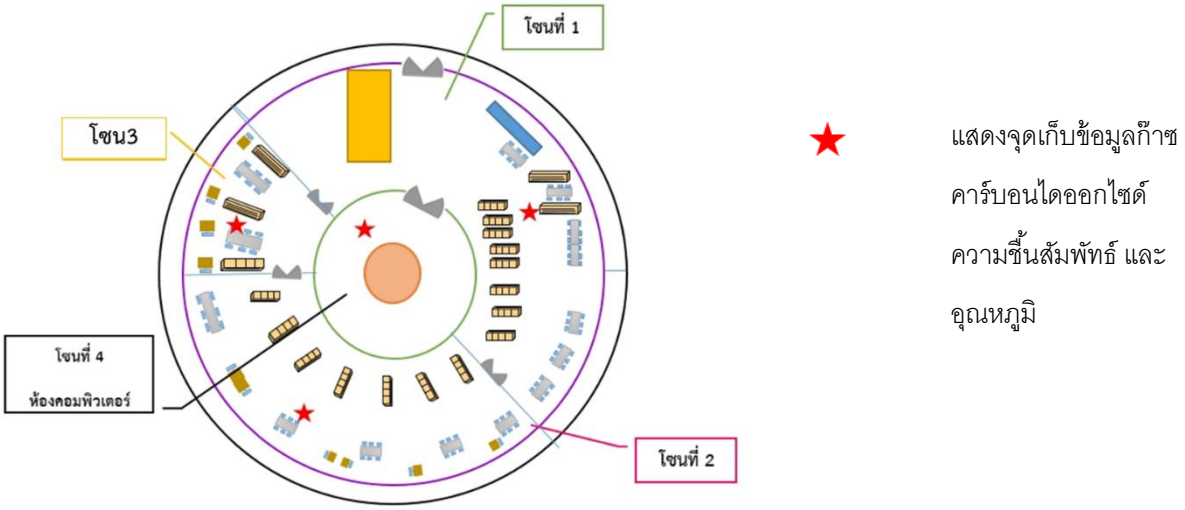
เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาคือเครื่อง ST-501 CO2/Temp/RH Indoor Air Quality Meter ซึ่งสามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ได้ในเวลาเดียวกัน ซึ่งขั้นตอนการศึกษาเป็นดังนี้

1. สำรวจพื้นที่ของห้องสมุด และหาขนาดของพื้นที่ ซึ่งพื้นที่ของห้องสมุดถูกจัดแบ่งออกเป็น 4 โซน โดยแต่ละโซนจะมีประตูกระจกบานเลื่อนทำหน้าที่แบ่งพื้นที่ใช้สอย โดย โซนที่1เป็น พื้นที่ของเคาน์เตอร์จำหน่ายหนังสือและห้องพนักงาน โซนที่ 2 เป็นพื้นที่มี 7 ชั้นหนังสือทำด้วยไม้ โซนที่ 3 พื้นที่มีตู้หนังสืออลูมิเนียม 8 ชั้นและชั้นวางหนังสือ 15 ชั้น และโซนที่ 4 เป็นห้องคอมพิวเตอร์ตั้งอยู่ตรงกลางของห้องสมุดมีทางเข้า – ออก เพียงทางเดียว

2. ศึกษาและคัดเลือกมาตรฐานการตรวจวัดคุณภาพอากาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ทางผู้วิจัยได้เลือกมาตรฐานการตรวจวัดค่าคุณภาพอากาศภายใน โดยอ้างอิงมาตรฐานการตรวจวัดค่าคุณภาพอากาศภายในตามคู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร สำหรับเจ้าหน้าที่โดยสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

3. กำหนดพื้นที่และช่วงเวลาที่จะดำเนินการเก็บข้อมูล การตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ทำการตรวจวัดค่าและบันทึกผลทุกๆ 5 นาที ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลคือ ช่วงเวลาการเปิดทำการของห้องสมุดตั้งแต่เวลา 9.00–16.30 น. กำหนดจุดที่จะทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละโซน ดังภาพที่ 1



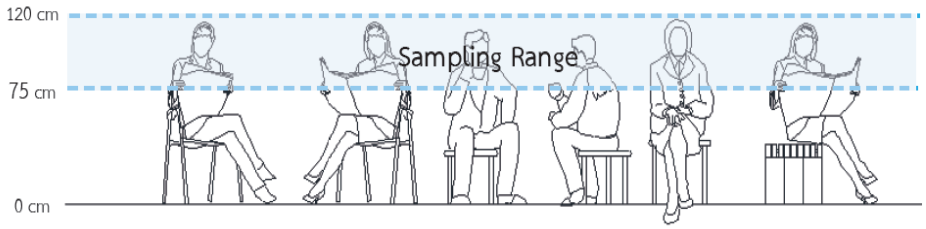
ภาพที่ 1 แสดงจุดเก็บข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ในห้องสมุด

การวางตำแหน่งเครื่องมือนั้นกำหนดให้อยู่ในระดับความสูง 75-120 เซนติเมตรในตำแหน่งที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของห้องหรือส่วนที่มีผู้ใช้อาคารหนาแน่น อยู่ในระดับหายใจ (Breathing zone) ของผู้ใช้งานอาคารมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้แสดงดังภาพที่ 2 และมีการนับจำนวนคนภายในห้องไปพร้อมๆ กัน ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้นำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้อาคารที่มีผู้ใช้งานควรมีระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ไม่เกิน 1,000 ppm ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่แสดงถึงการระบายอากาศที่พอเพียงกับจำนวนคนภายในห้อง ส่วนอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Change Per Hour : ACH) คำนวณจากสมการที่ 1

$$ACH = [\ \ln(\frac{C_o}{C_t})\ ]\ /t \qquad (1)$$

โดย C_o คือความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นาทีสุดท้ายที่ยังคงมีผู้เรียนอยู่ภายในห้อง; C_t คือ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาใด ๆ หลังผู้เรียนออกไปจากห้อง; t คือ จำนวนชั่วโมงหลังผู้เรียนออกไปจากห้อง (Kanjanakrajang and Chuaybamroog, 2017) ค่า ACH ที่คำนวณได้นำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 39 พ.ศ. 2537 ที่กำหนดให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงสำหรับห้องเรียนไม่ควรน้อยกว่า 4 ACH แต่เนื่องจากไม่มีค่าอัตราการระบายอากาศภายในอาคารประเภทห้องสมุดจึงใช้ลักษณะของกิจกรรมที่มีความคล้ายคลึงกันในการศึกษา



ภาพที่ 2 ระดับความสูงการสุ่มเก็บตัวอย่าง

(Bureau of Environmental Health. Department of Health, 2016)

ผลการวิจัย

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

พื้นที่ห้องสมุดโซนที่ 1 ทำการตรวจวันในวันที่ 25 เมษายน 2561 เริ่มการเก็บข้อมูลเวลา 9.00 น. ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 27.3 •C , 45.9% และ 775 ppm ตามลำดับ และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาและจำนวนผู้ใช้บริการจนมีค่าเกินมาตรฐานที่เวลา 12.25 น. มีค่า 1,001 ppm นอกจากนี้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 1) ภาพที่ 3

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และจำนวนผู้ใช้บริการในโซนที่ 1

เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความเข้มข้นของ CO_2(ppm)	จำนวนผู้ใช้บริการ
09.00 - 09.30	27.1	44.2	776.7	2
09.30 – 10.00	27.1	44.9	798.2	2
10.00 - 10.30	27	43.75	821	19
10.30 – 11.00	27	42.3	827	19
11.00 - 11.30	26.9	41.4	840	19
11.30 -12.00	27	42.8	901	19
12.00 – 12.30	27	42.6	966	22
12.30 - 13.00	27.1	41.8	1,070	22
13.00 – 13.30	27.1	41.8	1,170	22
13.30 - 14.00	27.1	41.1	1,372	22
14.00 – 14.30	27.2	42.4	1,351	22
14.30 - 15.00	27.3	41.4	1,372	22
15.00 - 15.30	27.3	40.9	1,370	22
15.30 – 16.00	27.2	40.6	1,360	19
16.00 - 16.30	27.2	40.1	1,335	2

หมายเหตุ : ค่าอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าความเข้มข้นของ CO_2 คือ ค่าเฉลี่ยของแต่ละชั่วโมงซึ่งทำการตรวจวัดในทุก ๆ 5 นาที

สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กำหนดให้ค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมของอุณหภูมิเป็นค่าที่อยู่ระหว่าง 24-26 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ระหว่าง 60 - 65% และระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ควรจะน้อยกว่า 1,000 ppm แต่จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อเวลาผ่านไป จำนวนผู้เข้าใช้บริการเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ในขณะที่ใกล้เวลาห้องสมุดปิดทำการผู้ใช้บริการเริ่มทยอยออกจากห้องทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มลดลง (ภาพที่ 3)

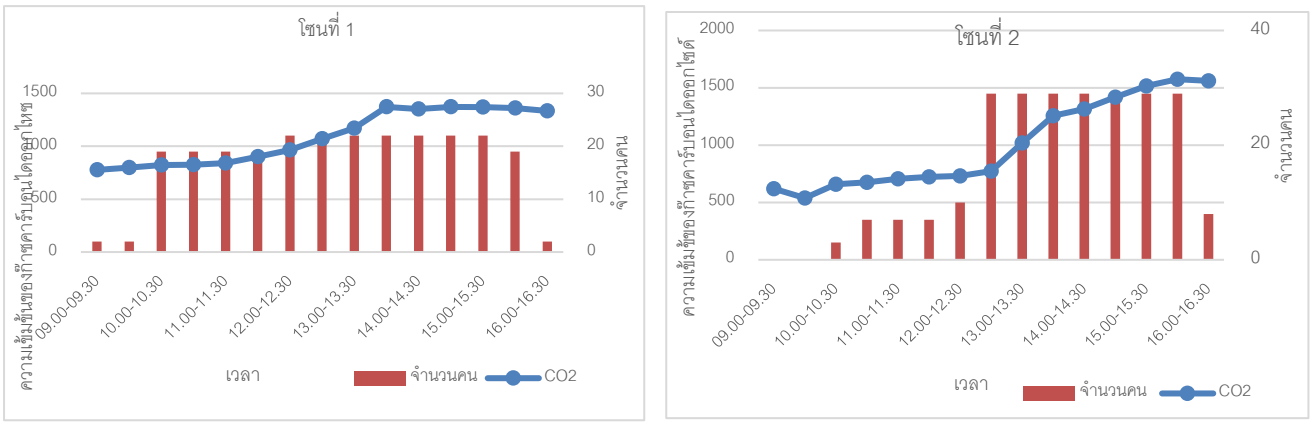
เมื่อทำการคำนวณอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) โดยใช้สมการที่ 1 ผลที่ได้ คือ 0.04 ACH ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 พ.ศ. 2537 ที่กำหนดให้อัตราแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงไม่ควรน้อยกว่า 4 ACH แสดงให้เห็นว่าการระบายอากาศของห้องสมุดโซนที่ 1 ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ และเมื่อนำผลการทดสอบทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ เวลา อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของโซนที่ 1 พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ เวลา อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ โซนที่ 1

ตัวแปร	ค่าสถิติทดสอบ Correlations			
	Sig. (2-tailed)			
CO_2	เวลา	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์	จำนวนผู้ใช้บริการ
	.000*	.000*	.000*	.000*

*p < 0.01

พื้นที่ห้องสมุดโซนที่ 2 ทำการตรวจวัดในวันที่ 23 เมษายน 2561 เริ่มการเก็บข้อมูลเวลา 9.00 น. ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 27.3 •C, 42% และ 610 ppm ตามลำดับ และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาและจำนวนผู้ใช้บริการจนมีค่าเกินมาตรฐานที่เวลา 13.15 น. มีค่า 1,004 ppm นอกจากนี้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 3 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จำนวนคนใช้บริการในแต่ละช่วงเวลาของห้องสมุดโซนที่ 1 และ 2

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และจำนวนผู้ใช้บริการในโซนที่ 2

เวลา	อุณหภูมิ (C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความเข้มข้นของ CO_2(ppm)	จำนวนผู้ใช้บริการ
09.00 - 09.30	27.3	42.4	619	0
09.30 – 10.00	27	45.8	539	0
10.00 - 10.30	26.8	47.4	659	3
10.30 – 11.00	26.8	46	677	7
11.00 - 11.30	26.7	45.9	707	7
11.30 -12.00	26.6	46.2	724	7
12.00 – 12.30	26.5	47.2	731	10
12.30 - 13.00	26.7	46	773	29
13.00 – 13.30	26.7	43	1,018	29
13.30 - 14.00	26.5	39.8	1,256	29
14.00 – 14.30	26.8	40.2	1,316	29
14.30 - 15.00	26.9	40.8	1,418	29
15.00 - 15.30	26.9	40.3	1,517	29
15.30 – 16.00	26.9	40.2	1,575	29
16.00 - 16.30	26.6	40.4	1,561	8

หมายเหตุ : ค่าอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าความเข้มข้นของ CO_2 คือ ค่าเฉลี่ยของแต่ละชั่วโมงซึ่งทำการตรวจวัดในทุก ๆ 5 นาที

จากตารางที่ 3 พบว่า อุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อเวลาผ่านไปจำนวนผู้เข้าใช้บริการที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ในขณะที่ใกล้เวลาห้องสมุดปิดทำการผู้ใช้บริการเริ่มทยอยออกจากห้องทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มลดลง ดังภาพที่ 3

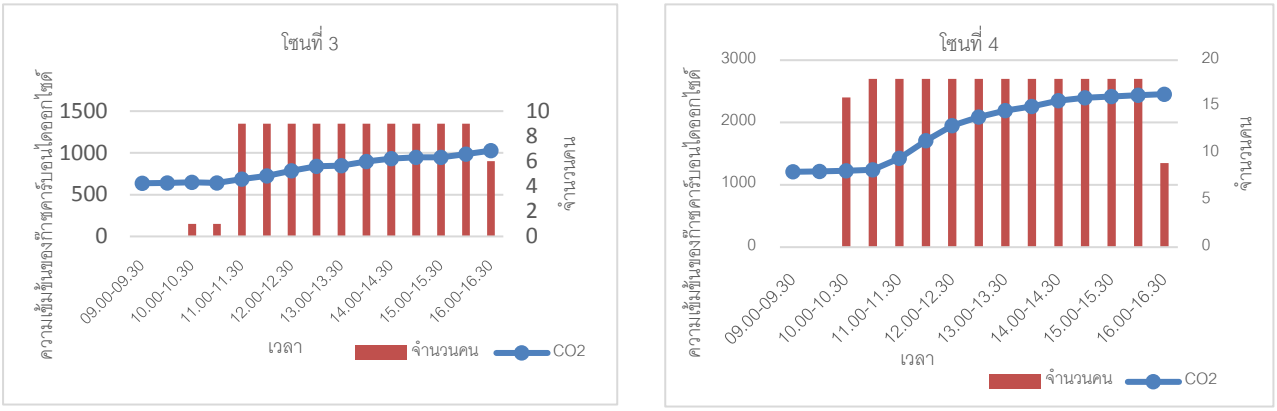
เมื่อคำนวณอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) จากสมการที่1 ผลที่ได้คือ 0.07 ACH ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าการระบายอากาศของห้องสมุดโซนที่ 2 ยังไม่มีประสิทธิภาพการระบายอากาศเพียงพอ และเมื่อนำผลการทดสอบทางสถิติมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ เวลา อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของโซนที่ 2 พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ เวลา อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ โซนที่ 2

ตัวแปร	ค่าสถิติทดสอบ Correlations			
	Sig. (2-tailed)			
CO_2	เวลา	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์	จำนวนผู้ใช้บริการ
	.000*	.000*	.000*	.000*

*$p < 0.01$

พื้นที่ห้องสมุดโซนที่ 3 ทำการตรวจวันในวันที่ ที่ 22 เมษายน 2561เริ่มการเก็บข้อมูลเวลา 9.00 น. ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 29.9 •C, 45.1% และ 635 ppm ตามลำดับ และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาและจำนวนผู้ใช้บริการจนมีค่าเกินมาตรฐานที่เวลา 15.55 น. มีค่า 1,010 ppm นอกจากนี้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 5) ภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จำนวนคนใช้บริการในแต่ละช่วงเวลาของห้องสมุดโซนที่ 3 และ 4

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และจำนวนผู้ใช้บริการในโซนที่ 3

เวลา	อุณหภูมิ (C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความเข้มข้นของ CO_2(ppm)	จำนวนผู้ใช้บริการ
09.00 - 09.30	29.5	42.4	637	0
09.30 – 10.00	29	45.8	642	0
10.00 - 10.30	28.4	47.4	648	1
10.30 – 11.00	28.2	46	640	1
11.00 - 11.30	27.8	45.9	687	9
11.30 -12.00	27.6	46.2	724	9
12.00 – 12.30	27.6	47.2	787	9
12.30 - 13.00	27.7	46	841	9
13.00 – 13.30	27.8	43	846	9
13.30 - 14.00	28	39.8	896	9
14.00 – 14.30	28.1	40.2	933	9
14.30 - 15.00	28.1	40.8	947	9
15.00 - 15.30	28	40.3	949	9
15.30 – 16.00	27.8	40.2	985	9
16.00 - 16.30	27.9	40.4	1,027	6

หมายเหตุ : ค่าอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าความเข้มข้นของ CO_2 คือ ค่าเฉลี่ยของแต่ละชั่วโมงซึ่งทำการตรวจวัดในทุก ๆ 5 นาที

จากตารางที่ 5 พบว่า อุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อเวลาผ่านไปจำนวนผู้เข้าใช้บริการที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ในขณะที่ใกล้เวลาห้องสมุดปิดทำการผู้ใช้บริการเริ่มทยอยออกจากห้องทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มลดลง ดังภาพที่ 4

เมื่อคำนวณอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) จากสมการที่ 1 ผลที่ได้คือ 0.05 ACH ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าการระบายอากาศของห้องสมุดโซนที่ 3 ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ และผลการทดสอบทางสถิติมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ เวลา อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของโซนที่ 3 พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ เวลา อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ โซนที่ 3

ตัวแปร	ค่าสถิติทดสอบ Correlations			
	Sig. (2-tailed)			
CO_2	เวลา	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์	จำนวนผู้ใช้บริการ
	.000*	.000*	.000*	.000*

*$p < 0.01$

พื้นที่ห้องสมุดโซนที่ 4 ทำการตรวจวัดในวันที่ 21 เมษายน 2561 เริ่มการเก็บข้อมูลเวลา 9.00 น. ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 26.7 °C และ 48.8% ในขณะที่เข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้มีค่าอยู่ที่ 1,208 ppm ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดทั้งที่ภายในเวลาที่ทำการตรวจวัดเริ่มแรกไม่มีผู้มาใช้บริการภายในห้อง นอกจากนี้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 7)

จากตารางที่ 7 พบว่า อุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อเวลาผ่านไป จำนวนผู้เข้าใช้บริการเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น และความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ในขณะที่ใกล้เวลาห้องสมุดปิดทำการผู้ใช้บริการเริ่มทยอยออกจากห้องทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มลดลง ดังภาพที่ 4

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยของ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และจำนวนผู้ใช้บริการในโซนที่ 4

เวลา	อุณหภูมิ (•C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความเข้มข้นของ CO_2(ppm)	จำนวนผู้ใช้บริการ
09.00 - 09.30	26.5	47.2	1,209	0
09.30 – 10.00	26.1	45	1,215	0
10.00 - 10.30	26.1	45.6	1,224	16
10.30 – 11.00	26.2	45.3	1,239	18
11.00 - 11.30	26	46.8	1,428	18
11.30 -12.00	26.1	48.1	1,710	18
12.00 – 12.30	26	49.1	1,951	18
12.30 - 13.00	26	48.3	2,090	18
13.00 – 13.30	26.1	48.5	2,193	18
13.30 - 14.00	26.1	47.9	2,257	18
14.00 – 14.30	26.1	47	2,352	18
14.30 - 15.00	26.3	48.8	2,396	18
15.00 - 15.30	26.1	48.4	2,419	18
15.30 – 16.00	26.1	46.2	2,439	18
16.00 - 16.30	26	45.5	2,455	9

หมายเหตุ : ค่าอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าความเข้มข้นของ CO_2 คือ ค่าเฉลี่ยของแต่ละชั่วโมงซึ่งทำการตรวจวัดในทุก ๆ 5 นาที

จากนั้นคำนวณอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) จากสมการที่1 ผลที่ได้คือ 0.18 ACH ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าการระบายอากาศของห้องสมุดโซนที่ 4 ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอและผลการทดสอบทางสถิติมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ เวลา อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของโซนที่ 4 พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ เวลา อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

ตัวแปร	ค่าสถิติทดสอบ Correlations			
	Sig. (2-tailed)			
CO_2	เวลา	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์	จำนวนผู้ใช้บริการ
	.000*	.000*	.000*	.000*

*$p < 0.01$

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 4 โซนจะเห็นว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบมากที่สุดในโซนที่ 4 (1,905 ppm) รองลงมาคือ โซนที่ 1 (1,882 ppm) โซนที่ 2 (1,005 ppm) และโซนที่ 3 (812 ppm) ตามลำดับ และค่า ACH ที่คำนวณได้ในแต่ละโซน มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยโซนที่มีอัตราการระบายอากาศมากที่สุดคือ โซนที่ 4 (0.18 ACH) รองลงมาคือโซนที่ 2 (0.07 ACH) โซนที่ 3 (0.05 ACH) และโซนที่ 1 (0.04 ACH) ตามลำดับ

ความแตกต่างของตัวแปรในแต่ละโซน

ผลการทดสอบทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ จำนวนผู้เข้าใช้บริการ และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละโซน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ความแตกต่างของตัวแปรในแต่ละโซน

ตัวแปร	ค่าสถิติทดสอบ One-Way ANOVA Sig. (2-tailed)
อุณหภูมิ	.000*
ความชื้นสัมพัทธ์	.000*
คาร์บอนไดออกไซด์	.000*
จำนวนผู้ใช้บริการ	.000*

*$p < 0.01$

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องสมุดในทุกพื้นที่ พบว่าความเข้มข้นก๊าซที่ตรวจวัดมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับเวลา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และจำนวนผู้ใช้บริการ โดยจำนวนผู้เข้าใช้บริการที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาส่งผลให้ปริมาณ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการหายใจของมนุษย์เพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องเพิ่มขึ้นจนเกินค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (1,000 ppm) ซึ่งบ่งชี้ว่าพื้นที่ภายในห้องสมุดมีประสิทธิภาพการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอที่จะหมุนเวียนอากาศเสียออกนอกอาคารได้ ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ที่มีค่า 0.04 – 0.18 ซึ่งต่ำว่าเกณฑ์มาตรฐานตามกฎกระทรวงที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 4 ACH สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kanjanakrajang and Chuaybamroog (2017) ที่พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องเรียนที่ทำการตรวจวัดมีการสะสมตัวมากขึ้น ตามเวลาที่ผ่านไปแม้ว่าจำนวนผู้เรียนภายในห้องจะคงที่ แสดงให้เห็นว่าไม่มีการนำอากาศใหม่เข้ามาเจือจางความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือไม่ได้มีการระบายอากาศออกไปจากห้องจึงไม่สามารถควบคุมความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ให้เกินมาตรฐาน ASHRAE ที่ 1,000 ppm และผลการศึกษาในครั้งนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Turanjanin *et al.* (2014) ซึ่งศึกษาความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องเรียน และภายนอกห้องเรียน ของโรงเรียนประถมศึกษา 5 แห่งในประเทศเซอร์เบียในฤดูร้อน โดยที่ห้องเรียนเหล่านี้ใช้ระบบปรับอากาศเป็นตัวสร้างสภาวะความสบาย ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องเรียนของโรงเรียนทั้ง 5 แห่งมีค่าสูงกว่าภายนอกห้องเรียน บ่งชี้ว่าการระบายอากาศภายในห้องเรียนไม่เพียงพอ แสดงให้เห็นว่าระบบปรับอากาศไม่ช่วยในการระบายอากาศเสียออกไปจากห้อง

จากการสำรวจลักษณะโซนต่างๆภายในห้องสมุดพบว่ามีลักษณะเป็นระบบปิดเพื่อประหยัดพลังงานจากการใช้เครื่องปรับอากาศ ไม่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศ ทำให้ไม่มีการระบายอากาศออกไปภายนอกส่งผลให้มีการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sawatmongkhonkul (2014) ที่พบว่าห้องเรียนมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าค่ามาตรฐาน และประกอบกับการเป็นห้องปิด จึงมีการรั่วซึมของอากาศได้น้อย ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีภายในห้องจึงระบายออกได้น้อยเช่นกัน

นอกจากนนี้ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิภายในทุกพื้นที่สูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง อาจเป็นเพราะอุณหภูมิของอากาศภายนอกเพิ่มสูงขึ้น สามารถอธิบายได้โดยทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ที่ระบุว่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างอาคารและสิ่งแวดล้อม มาจากการรับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าตัวอาคาร ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้น โดยข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา จังหวัดสระแก้วชี้ว่าในสัปดาห์ที่ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 36 – 39 องศาเซลเซียส และประกอบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีคุณสมบัติในการกักเก็บพลังงานความร้อนไว้ทำให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้น ส่งผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ให้มีค่าลดลงตามเวลาที่ผ่านไป เนื่องมาจากอุณหภูมิภายในห้องที่สูงขึ้นทำให้ก๊าซขยายตัวตามกฎของชาร์ล (Charles' law) ที่ว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและปริมาตรของก๊าซ ทำให้อากาศภายในห้องสามารถรองรับปริมาณไอน้ำได้มากขึ้นความชื้นสัมพัทธ์จึงลดลง และผลการทดสอบทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ จำนวนผู้เข้าใช้บริการ และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละโซน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจำนวนผู้เข้าใช้บริการที่แตกต่างกันในแต่ละโซนมีผลทำให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์มีความแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ruangkasa *et al.* (2017) ที่ทำการศึกษาการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ต่างๆ ของโรงพยาบาลเพื่อประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศ พบว่า จำนวนคนและการถ่ายเทของอากาศภายในอาคารกับอากาศภายนอกอาคารเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ผลการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกันในแต่ละพื้นที่ศึกษา

สรุปผลการวิจัย

1. ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องสมุดทั้ง 4 โซน ที่ทำการตรวจวัดมีการสะสมตัวขึ้น ตามเวลาที่ผ่านไป และจำนวนผู้ใช้บริการ ชี้ให้เห็นว่าไม่มีการระบายอากาศเสียออกไปจากห้อง จึงทำให้ความเข้มข้นของก๊าซเกินค่ามาตรฐาน 1,000 ppm ตามมาตรฐานของสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

2. การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีความสัมพันธ์กันกับจำนวนผู้เข้าใช้บริการ และเวลา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

3. การสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดอออกไซด์ที่เกินค่ามาตรฐานอาจสะท้อนถึงความเป็นไปได้ที่สารมลพิษอื่นๆ ภายในอาคาร จะมีการสะสมตัวอยู่ภายในห้องจนก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของเจ้าหน้าที่ และผู้ใช้บริการห้องสมุดได้

4. อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของห้องสมุดโซนที่ 1,2,3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 0.04, 0.07, 0.05 และ 0.18 ACH ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดของกฎกระทรวง ฉบับที่ 39 พ.ศ. 2537 คือต้องไม่น้อยกว่า 4 ACH แสดงให้เห็นว่าการระบายอากาศในทุกโซนยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ให้เกินค่ามาตรฐาน

ข้อเสนอแนะ

ห้องสมุดมหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้วควรติดตั้งระบบระบายอากาศหรือทำการเปิดหน้าต่างบางช่วงเวลาเพื่อให้อากาศสามารถถ่ายเทระหว่างภายนอกและภายในห้องสมุดได้ ส่งผลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมอยู่ภายในห้องมีปริมาณลดลง หากไม่ดำเนินการแก้ไขปริมาณการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้นอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของนิสิตและบุคลากร ซึ่งในระยะสั้นนั้นจะทำให้ขาดสมาธิในการทำงานหรือการอ่านหนังสือและในระยะยาวอาจเกิดการสะสมอาการเจ็บป่วยจากอาคารได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ และห้องสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Bureau of Environmental Health. Department of Health. (2016). *Handbook of Mesurement Indoor Air Quality for the Authorities*. Bangkok : Bureau of Environmental Health. (in Thai)

Kanjanakrajang, A., & Chuaybamroog., P.(2017). Measurements of Carbon Dioxide to Determine the Ventilation Effectiveness in the Classroom. *Journal of Science and Technology*, *25*(6), 960-974. (in Thai)

RuangKasa, S., Ua-Arunchot, S., & Chuaybamroog., P. (2017). Assessment of Ventilation Efficiency in a Hospital using Carbon Dioxide Measurement. *Burapha Science Journal*, *22*(2), 74-91. (in Thai)

Sawatmongkhunkul, N. (2014*). Perception of Interior Air Quality in Public Building*. M.A, Interior Design Management, Bangkok University. (in Thai)

Turanjanin, V., Vucicevic, B., Jovanovic, M., Mirkov, N., & Lazovic, 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 December 15, 2017, from https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/sick_building_factsheet.pdf