แนวทางการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสำนักงาน: กรณีศึกษาอาคารที่มีการปรับปรุงพื้นที่ภายในเพื่อเป็นสำนักงาน

Indoor Air Quality Improvement in Office: Case Study of Interior Renovation for Office Use

สมปรารถนา สายสาคเรศ[1*] และ ชนิกานต์ ยิ้มประยูร[2]

[1*] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

e-mail: Somprattana.noina@gmail.com

บทคัดย่อ

คุณภาพอากาศภายในสำนักงานเป็นสิ่งที่ส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานอยู่ภายในสำนักงานโดยตรง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาคุณภาพอากาศภายในสำนักงานที่มีการปรับปรุงพื้นที่ภายในมาจากห้องแถว ตึกแถว หรืออาคารพาณิชย์อื่นมาเพื่อใช้เป็นสำนักงาน และพบปัญหาว่ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินที่เกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงเวลา 07:00-19:00 น. และทดลองแก้ไขปัญหาคุณภาพอากาศด้วยวิธีการเติมอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามายังพื้นที่สำนักงาย โดยวิธีการเติมอากาศแบบธรรมชาติผ่านช่องเปิดที่มีอยู่ภายในพื้นที่ และแบบวิธีกลคือการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์ในปริมาณอากาศที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1 เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในสำนักงาน

ผลการทดลองพบว่าการเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าไปภายในพื้นที่สำนักงานโดยวิธีธรรมชาติมีปริมาณของอากาศไม่เพียงพอที่จะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงลงได้ แต่เมื่อทดลองเติมอากาศในปริมาณที่ได้จากการคำนวนตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1 พบว่าสามารถทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในสำนักงานลดลงจนอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐาน ASHRAE 62.1 กำหนดไว้ โดยมีค่าไม่เกิน 1000 ppm แต่อากาศที่ถูกเติมเข้ามาจะต้องผ่านแผ่นกรองอากาศก่อนเพื่อควบคุมให้ปริมาณของฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน

คำสำคัญ: การปรับปรุงคุณภาพอากาศ, คุณภาพอากาศภายในอาคาร, การเติมอากาศบริสุทธิ์, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Abstract

Indoor air quality in an office has a direct impact to people who are working in the office space. The objective of this research is to study how to improve indoor air quality in a case study of interior renovation for office usage from small in commercial buildings which has the, amount of carbon dioxide exceeds the standard level. Carbon dioxide level during 07:00 - 19:00 hrs. in selected office were collected. Alternative ways of solving high CO_2 problem by introducing fresh air from outside the building were tested and measured. Both methods of bringing outdoor fresh air into the space through openings passively and actively were explored. Outdoor ventilation using active method drawn fresh air by the volume that complied with ASHRAE 62.1 standard.

It has been found that supplying fresh air into office spaces passively could not reduce the CO_2 level below the standard. Using ventilation fan to supply outdoor air into the space could reduce amount of carbon dioxide below the standard level at 1000 ppm. However, air filters should also be used to control the amount of PM 2.5 dust and PM 10 dust to the standard level.

Keywords: Air Quality Improvement, Indoor Air Quality, Fresh Air Ventilation, Carbon Dioxide

1. บทนำ

ในปัจจุบันการนำเอาพื้นที่ภายในห้องแถว ตึกแถว อาคารพาณิชย์มาปรับปรุงเพื่อใช้เป็นสำนักงานเป็นที่นิยมมาก เนื่องจากมีธุรกิจขนาดเล็กเกิดขึ้นและต้องการพื้นที่สำนักงานเพื่อรองรับการปฏิบัติงานของพนักงาน แต่ด้วยข้อจำกัดของรูปแบบอาคาร เช่น อาคารไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้เป็นสำนักงานตั้งแต่แรก การที่มีช่องเปิดน้อยทำให้การหมุนเวียนอากาศไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคารไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นพื้นที่สำนักงาน หากมีการเพิ่มจำนวนของพนักงานก็จะทำให้จำนวนของผู้ใช้งานภายในไม่สัมพันธ์กับพื้นที่ ซึ่งในแต่ละวันนั้นผู้ที่ปฏิบัติงานจะต้องอาศัยอยู่ภายในสำนักงานไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน (วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, 2543) ดังนั้นคุณภาพของอากาศภายในสำนักงานจึงส่งผลโดยตรงต่อผู้ใช้งาน หากในสำนักงานมีสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมอาจจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของผู้ที่ปฏิบัติงานภายในสำนักงานลดลง รวมไปถึงปัญหาสุขภาพที่จะเกิดขึ้นตามมาอีกด้วย หากสำนักงานตั้งอยู่ในอาคารที่ถูกออกแบบมาเพื่อเป็นอาคารสำนักงานตั้งแต่แรกนั้นก็จะมีพื้นที่ที่เพียงพอสำหรับรองรับผู้ที่ปฏิบัติงานภายในอาคารได้ รวมไปถึงระบบปรับอากาศหรือระบายอากาศก็จะถูกออกแบบมาให้เพียงพอที่จะทำให้ผู้ใช้งานภายในมีคุณภาพอากาศที่ดีไม่ส่งผลกระทบต่อพนักงานผู้ปฏิบัติงานภายในสำนักงาน แต่สำนักงานหลายแห่งในปัจจุบันก็ถูกปรับปรุงมาจากพื้นที่แบ่งเช่า อาคารพาณิชย์ ตึกแถวพักอาศัย หรือบ้านพักอาศัยที่นิยมนำมาทำเป็นโฮมออฟฟิต ดังนั้นการวางผังของอาคารหรือพื้นที่ที่จะมารองรับจำนวนของผู้ที่จะต้องปฏิบัติงานภายในสำนักงานจึงไม่เพียงพอที่จะทำให้สภาวะน่าสบายเกิดขึ้นภายในสำนักงาน และมักจะพบปัญหาที่เกี่ยวของกับการระบายอากาศ ทำให้ภายในสำนักงานมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงมากเกินกว่าที่ค่ามาตรฐานกำหนดไว้ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่ปฏิบัติงานอยู่ภายในสำนักงานนั้น อาการที่สามารถพบได้คือ ผู้ที่ปฏิบัติงานอยู่จะมีความรู้สึกอึดอัด เกิดการสะสมของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้วิงเวียนศีรษะ ง่วงนอน และประสิทธิภาพในการทำงานลดลง และอาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ภายในสำนักงานนั้นได้ในระยะยาวหรืออาจเป็นโรค Sick Building Syndrome (นีรวรรณ จันทวงศ์, 2553) ได้อีกด้วย จึงมีการทดลองตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในสำนักงานที่ถูกปรับปรุงพื้นที่ภายในของห้องแถว ตึกแถว อาคารพาณิชย์เพื่อใช้เป็นสำนักงาน เพื่อสำรวจหาปัญหาคุณภาพอากาศที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพอากาศ ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ ในช่วงเวลา 14:00-15:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีพนักงานปฏิบัติงานกันอย่างหนาแน่น ได้ผลการตรวจวัดดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดค่าสารพิษภายในสำนักงานเบื้องต้น

สำนักงาน	รูปแบบของสำนักงาน	ขนาดพื้นที่(m^2)	ช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด	CO_2 (ppm)	PM10 ($\mu g/m^3$)	PM2.5 ($\mu g/m^3$)
สำนักงาน A	อาคารพาณิชย์ 4 ห้อง	160	14:00-15:00	1,200	5	2
สำนักงาน B	อาคารพาณิชย์ 4 ห้อง	220	14:00-15:00	1,341	4	4
สำนักงาน C	ตึกแถว 2 ห้อง	95	14:00-15:00	1,259	3	2
สำนักงาน D	ทาวน์เฮ้าส์ 1 หลัง	72	14:00-15:00	1,012	5	4
สำนักงาน E	ตึกแถว 1 ห้อง	60	14:00-15:00	1,136	4	6

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าผลการสำรวจของสำนักงานที่ได้เข้าไปทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศที่มีรูปแบบของอาคารที่เป็นตึกแถวและ อาคารพาณิชย์ ค่าของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้มีปริมาณที่เกินกว่ามาตรฐาน ASHRAE 62.1 กำหนดไว้ ที่จะต้องมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่สำนักงานไม่เกิน 1000

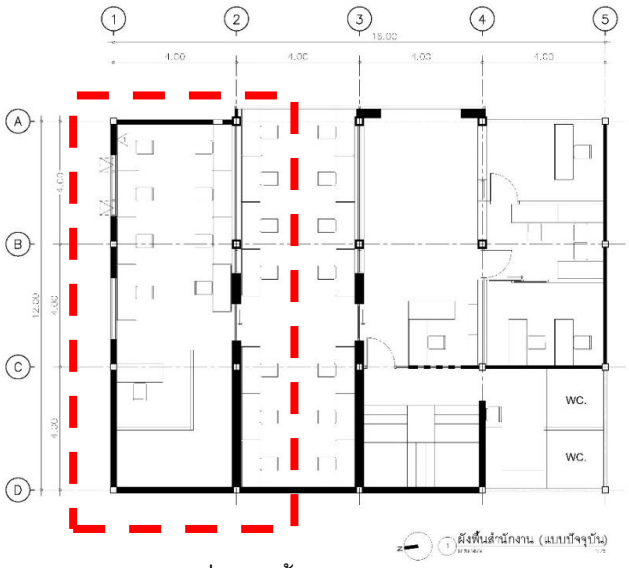
ppm (ANSI/ASHRAEStandard, 2016) ทำให้ภายในสำนักงานมีคุณภาพอากาศที่ไม่ดี มีสาเหตุมาจากรูปแบบของอาคารสำนักงานที่เป็นพื้นที่ปิดทึบ มีจำนวนช่องเปิดน้อยหรือบางอาคารอาจจะไม่มีเลย รวมถึงการที่ไม่มีการออกแบบระบบหมุนเวียนอากาศที่เหมาะสม แต่ยังไม่พบปัญหาที่เกิดจากฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10 อาจเป็นเพราะระบบหมุนเวียนอากาศภายในสำนักงานยังไม่ได้มีการเติมเอาอากาศจากภายนอกเข้ามาจึงไม่มีฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศรั่วซึมเข้ามาในปริมาณที่มากจนเกินกว่าที่ค่ามาตรฐานกำหนด ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสำนักงานในด้านการระบายอากาศ และทำการเลือกใช้สำนักงาน B มาเป็นกรณีศึกษา โดยสำนักงาน B ตั้งอยู่บนชั้น 4 ของอาคารพาณิชย์ที่ถูกนำมาปรับปรุงพื้นที่ภายในเพื่อใช้เป็นสำนักงาน สภาพปัจจุบันของสำนักงานมีพื้นที่ประมาณ 48 ตารางเมตร มีผู้ปฏิบัติงาน จำนวน 9 คน ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 1 เครื่อง มีช่องเปิดขนาดเล็กที่ไม่ได้ถูกใช้งานทำให้พื้นที่ภายในไม่มีการหมุนเวียนของอากาศ ทำให้คุณภาพอากาศภายในไม่เหมาะสมกับผู้ที่ใช้งานภายในพื้นที่ จึงต้องมีการหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในด้วยการทำลองเติมอากาศเข้าไปภายในพื้นที่ทั้งวิธีการใช้การเติมลมแบบธรรมชาติผ่านช่องเปิดและเติมด้วยเครื่องเติมอากาศในปริมาณที่ได้จาการคำนวณตามมาตรฐานของ ASHRAE 62.1 เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในสำนักงานให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และได้อากาศที่มีคุณภาพ อีกทั้งยังสามารถที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการนำไปใช้แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงรูปแบบการระบายอากาศของสำนักงานเพื่อให้คุณภาพอากาศภายในสำนักงานมีความเหมาะสมต่อผู้ที่ปฏิบัติงานภายในพื้นที่ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

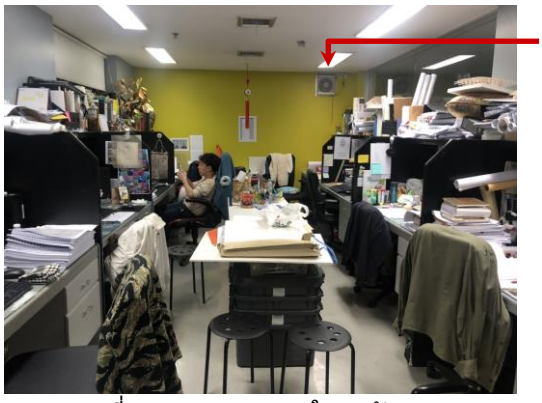
1. ศึกษาถึงปัญหาคุณภาพอากาศที่เกิดขึ้นในพื้นที่สำนักงานที่ถูกปรับปรุงพื้นที่มาจากอาคารห้องแถว ตึกแถว หรืออาคารพาณิชย์ พร้อมทั้งหาแนวทางในหารปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในพื้นที่สำนักงาน
2. ศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพอากาศด้วยวิธีการเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าไปในพื้นที่สำนักงานที่ถูกปรับปรุงพื้นที่มาจากอาคารห้องแถว ตึกแถว หรืออาคารพาณิชย์
3. เพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในพื้นที่สำนักงานที่ถูกปรับปรุงพื้นที่มาจากอาคารห้องแถว ตึกแถว หรืออาคารพาณิชย์

2. ระเบียบวิธีวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการเลือกพื้นที่สำนักงานที่ถูกปรับปรุงมาจากอาคารห้องแถว ตึกแถว หรืออาคารพาณิชย์ที่ถูกปรับปรุงพื้นที่ภายในเพื่อใช้เป็นสำนักงานมาเป็นพื้นที่สำหรับใช้ในทดลองการตรวจวัดและปรับปรุงคุณภาพอากาศ สำหรับสำนักงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษาคือสำนักงาน B เป็นสำนักงานที่ถูกปรับปรุงพื้นที่ภายในมาจากอาคารพาณิชย์ที่ปลูกติดกัน 4 หลัง สภาพอาคารหลังทำการปรับปรุงแล้วพื้นที่ในส่วนสำนักงาน B ตั้งอยู่บนชั้น 4 ของอาคาร ขนาดพื้นที่ปฏิบัติงานประมาณ 48 ตารางเมตร ดังภาพที่ 1 มีผู้ใช้งานพื้นที่ประจำ 9 คน มีช่องเปิดขนาดเล็กเพียง 1 ช่อง ที่ไม่ได้มีการใช้งาน ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ จำนวน 1 เครื่อง และพัดลมดูดอากาศขนาด 6 นิ้ว จำนวน 1 เครื่องอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกที่เข้ามาภายในสำนักงานจึงมีแค่อากาศที่ไหลผ่านมาจากห้องอื่นเท่านั้นซึ่งไม่เพียงพอต่อผู้ที่ปฏิบัติงานอยู่ภายในสำนักงาน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ผังพื้นภายในสำนักงาน B



ภาพที่ 2 บรรยากาศภายในสำนักงาน B

เมื่อได้กำหนดพื้นที่สำหรับใช้เป็นกรณีศึกษาแล้ว จะมีการตรวจวัดค่าของคุณภาพอากาศภายในสำนักงาน เพื่อที่จะได้ทราบผลว่าภายในพื้นที่นั้นมีคุณภาพอากาศที่เหมาะสมหรือไม่ ด้วยเครื่องวัดคุณภาพอากาศ ยี่ห้อ KIMO รุ่น HQ210 สำหรับใช้ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเครื่องวัดคุณภาพอากาศ ยี่ห้อ BLATN รุ่น BR-smart 126s สำหรับตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 จากนั้นทำการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณฝุ่นละอองภายในสำนักงาน B กำหนดพื้นที่สำหรับติดตั้งเครื่องมือการทดลองด้วยการตีแนวเส้นกริด เพื่อให้เกิดจุดที่จะตั้งเครื่องมือวัดคุณภาพอากาศทั้งหมด 12 จุด ดังภาพที่ 3 ช่วงเวลาที่ใช้ในการวัดค่าคือ ทุก 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 07:00น. จนถึงเวลา 19:00น.

ภาพที่ 3 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือและภาพการติดตั้งเครื่องมือในการวัดคุณภาพอากาศ

จากนั้นทำการเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศในกรณีที่1 สภาพแวดล้อมการใช้งานปกติ คือ เปิดเครื่องปรับอากาศ เปิดพัดลมดูดอากาศและไม่มีการเปิดช่องเปิด เพื่อดูค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น พบว่าภายในสำนักงานมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 1237 ppm ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่นละอองในสภาพแวดล้อมการใช้งานปัจจุบัน ช่วงเวลา 07:00-19:00 น.

เวลา	ข้อมูล	CO_2 (ppm)												PM 2.5 (µg/m^3)	PM 10 (µg/m^3)
	จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
7:00-8:00		1044	1072	1023	1019	1021	1077	1019	1007	1011	1001	1055	1032	2	3
8:00-9:00		1011	1022	1001	1007	1015	1052	1075	1088	1123	1141	1175	1155	4	4
9:00-10.00		1221	1247	1195	1186	1175	1223	1224	1123	1142	1132	1142	1123	4	4
10:00-11:00		1172	1201	1142	1135	1120	1195	1185	1045	1096	1154	1188	1174	3	2
11:00-12:00		1149	1157	1088	1080	1088	1142	1010	998	1064	1121	1157	1006	5	3
12:00-13:00		1011	1111	1010	1111	1111	1010	1111	1010	1111	1111	1010	1010	2	4

	5	00	21	01	00	99	03	64	41	00	10	19		
13:00-14:00	1162	1211	1148	1106	1121	1173	1142	1035	1132	1142	1166	1177	4	4
14:00-15:00	1154	1144	1123	1114	1133	1165	1189	1115	1146	1134	1178	1165	4	4
15:00-16:00	1205	1298	1235	1237	1245	1228	1211	1021	1211	1189	1203	1200	2	3
16:00-17:00	1176	1134	1163	1154	1177	1201	1165	1127	1145	1177	1201	1132	3	3
17:00-18:00	1113	1121	1101	1125	1155	1152	1198	1005	1132	1126	1135	1118	2	5
18:00-19:00	1100	1156	1097	1136	1177	1124	1142	995	1125	1133	1144	1099	5	4

เมื่อพบว่า ในสภาพแวดล้อมปกติภายในสำนักงานจะมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด จึงทำการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสำนักงานโดยเริ่มจากการใช้วิธีการทางธรรมชาติในการแก้ปัญหาคุณภาพอากาศด้วยการเปิดช่องเปิดที่มีอยู่ภายในบริเวณสำนักงานเพื่อให้ลมจากภายนอกเข้ามาภายในเป็นกรณีที่ 2 และทำการตรวจวัดปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่นละอองอีกครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 3

เวลา	ข้อมูล	CO_2 (ppm)												PM 2.5 ($\mu g/m^3$)	PM 10 ($\mu g/m^3$)
	จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
7:00-8:00		1098	1095	1100	1078	1062	1065	1090	1105	1099	1101	1098	1102	4	4
8:00-9:00		1220	1101	1142	1206	1206	1195	1172	1200	1190	1211	1175	1192	2	3
9:00-10.00		1221	1190	1211	1210	1205	1200	1195	1211	1200	1197	1200	1215	3	3
10:00-11:00		1121	1022	1200	1099	1102	1201	1190	1098	1072	1011	1023	1047	2	5
11:00-12:00		1096	1099	1085	1129	1011	1098	1100	1023	1105	1102	1026	1123	5	3
12:00-13:00		1021	1023	1100	1099	1026	1022	1011	1105	1107	1162	1126	1107	2	4
13:00-14:00		1088	1003	1100	1022	1200	1100	1011	1026	1078	1082	1095	1162	4	4
14:00-15:00		117	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	4	4

	5	44	23	14	33	65	89	15	46	34	78	65		
15:00-16:00	1180	1126	1133	1034	1098	1172	1025	1107	1096	1078	1022	1089	2	3
16:00-17:00	1195	1102	1200	1192	1099	1135	1022	1201	1165	1098	1102	1201	3	3
17:00-18:00	1122	1201	1166	1097	1085	1082	1102	1207	1200	1011	1105	1152	2	4
18:00-19:00	1126	1200	1120	1099	1135	1142	1200	1126	1200	1100	1047	1099	4	4

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และค่าฝุ่นละออง ในกรณีที่2 คือ เปิดช่องเปิดภายในสำนักงานและปิดพัดลมดูด

เมื่อได้ทำการเติมอากาศจากภายนอกเข้ามาภายในแล้วค่าของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในพื้นที่สำนักงานมีปริมาณที่น้อยลง แต่ก็ยังวัดค่าได้เกินกว่า 1000 ppm ทำให้เห็นว่าปริมาณอากาศที่เติมเข้ามานั้นยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจนอยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ จึงได้ทดลองทำการเปิดพัดลมดูดอากาศที่มีอยู่เพิ่มเติม เป็นกรณีที่ 3 เพื่อจะดูว่าหากภายในห้องมีการไหลเวียนของอากาศจะสามารถทำให้คุณภาพอากาศภายในสำนักงานดีขึ้นได้หรือไม่ และทำการตรวจวัดอีกครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และค่าฝุ่นละออง ในกรณีที่3 คือ เปิดช่องเปิดที่มีภายในสำนักงานเพื่อเติมอากาศจากภายนอกและเปิดพัดลมดูดอากาศเพื่อให้อากาศจากภายในถ่ายเทออกไป

เวลา	ข้อมูล	CO_2 (ppm)												PM 2.5 ($\mu g/m^3$)	PM 10 ($\mu g/m^3$)
	จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
7:00-8:00		1047	1011	1100	1012	1101	1000	1102	1007	1101	1142	1100	1002	3	2
8:00-9:00		1201	1200	1230	1195	1200	1245	1230	1200	1185	1207	1209	1220	5	3
9:00-10.00		1177	1288	1254	1211	1196	1200	1201	1175	1232	1211	1200	1235	2	4
10:00-11:00		1300	1295	1232	1277	1299	1257	1285	1277	1298	1255	1302	1277	4	4
11:00-12:00		1197	1265	1246	1235	1200	1274	1295	1296	1275	1198	1230	1265	4	4
12:00-13:00		1121	1235	1278	1286	1109	1165	1197	1208	1209	1265	1287	1266	2	4
13:00-14:00		1200	1235	1217	1250	1250	1248	1235	1277	1286	1275	1285	1233	4	4
14:00-15:00		131	13	13	13	13	13	13	13	13	12	12	12	4	4

	5	28	40	30	39	42	50	70	21	95	88	76		
15:00-16:00	1296	1288	1271	1226	1275	1282	1236	1271	1300	1292	1274	1265	2	4
16:00-17:00	1321	1300	1297	1332	1345	1233	1324	1335	1400	1397	1397	1306	4	4
17:00-18:00	1296	1274	1282	1300	1265	1271	1230	1265	1275	1250	1300	1302	4	4
18:00-19:00	1192	1125	1199	1200	1202	1199	1178	1102	1122	1200	1092	1099	2	4

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า การที่ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในห้องนั้นก็ยังไม่สามารถทำให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ได้ ค่าที่ตรวจวัดได้ในทุกจุดและทุกช่วงเวลายังมีค่าที่เกินกว่า 1000 ppm ดังนั้นจึงทำการทดลองหาวิธีในการปรับปรุงคุณภาพอากาศอีกครั้งด้วยวิธีการเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าไปภายในพื้นที่ในปริมาณที่ได้จากการคำนวนค่า Breathing Zone Outdoor Air Flow ตามมาตรฐานการระบายอากาศของ ASHRAE 62.1 ดังนี้

$$V_{bz} = R_p \times P_z + R_a \times A_z V_{bz} \quad (1)$$

$$= \text{cfm/คน} \times 9 \text{ คน} + 0.06 \text{ cfm/ft}^2 \times 451.92 \text{ ft}^2 \; 5$$

$$= 72.115 \text{ cfm}$$

เมื่อ V_{bz} = Breathing Zone Outdoor Air Flow (cfm)

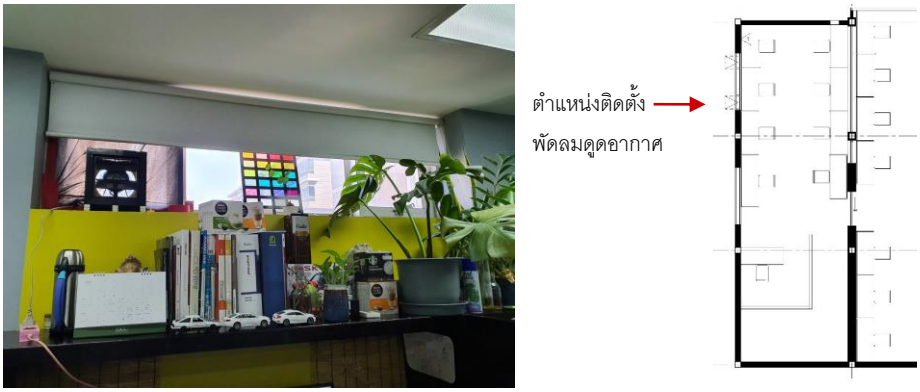
R_p = พื้นที่ห้อง (ft^2)

P_z = จำนวนผู้อาศัยภายในห้อง

R_a = Outdoor Air Flow Rate ต่อคน (cfm/คน)

A_z = Outdoor Air Flow Rate ต่อพื้นที่ห้อง (cfm/ft^2)

เมื่อทราบปริมาณของอากาศบริสุทธิที่จะต้องเติมเข้าไปภายในสำนักงานแล้ว จึงได้ทำการทดลองเติมอากาศเข้ามาด้วยพัดลมดูดอากาศขนาด 6 นิ้ว แรงลมเท่ากับ 147 cfm ติดตั้งกับช่องเปิดภายในสำนักงาน ดังภาพที่ 4 และทำการวัดปริมาณค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 5

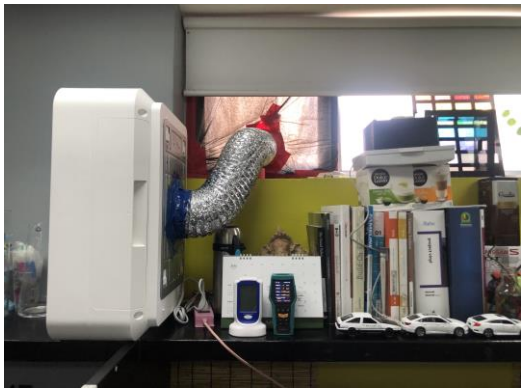


ภาพที่ 4 ตำแหน่งการติดตั้งพัดลมดูดอากาศในการทดลองเติมอากาศ

ตารางที่ 5 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และค่าฝุ่นละอองเมื่อทำการทดลองเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าไปภายในสำนักงาน

เวลา	ข้อมูล / จุดที่	CO_2 (ppm)												PM 2.5 (µg/m^3)	PM 10 (µg/m^3)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
7:00-8:00		623	617	620	605	614	621	613	603	604	600	625	628	15	29
8:00-9:00		614	608	612	604	600	603	617	625	632	612	630	607	17	27
9:00-10.00		610	615	617	602	616	621	612	610	611	610	621	608	17	25
10:00-11:00		621	620	620	624	621	646	630	627	611	623	614	623	15	27
11:00-12:00		630	616	630	642	616	610	625	624	627	631	636	631	16	25
12:00-13:00		572	598	597	563	575	600	580	594	571	575	583	560	18	25
13:00-14:00		650	661	647	628	635	635	642	622	631	634	625	626	17	22
14:00-15:00		647	652	650	658	645	662	646	661	680	675	624	668	20	26
15:00-16:00		720	780	750	741	680	700	721	723	731	738	710	706	22	25
16:00-17:00		663	654	653	660	655	657	661	621	634	670	632	641	17	24
17:00-18:00		600	622	630	621	628	645	632	621	630	600	621	633	17	22
18:00-19:00		600	520	551	542	563	510	542	547	561	572	520	523	16	27

เมื่อทำการเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าไปภายในสำนักงานในปริมาณที่มากกว่า Breathing Zone Outdoor Air Flow ที่คำนวณได้แล้ว ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดค่าได้ลดลงอย่างเห็นได้ชัด จนมีปริมาณไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่จะเห็นว่าค่าของปริมาณฝุ่นละออง เกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด คือค่า PM 2.5 จะต้องไม่เกิน 15 µg/m^3 และค่า PM 10 จะต้องไม่เกิน 50 µg/ จึงได้ทดลองทำการเติมอากาศอีกครั้งด้วยเครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์ที่มีแรงลมเท่ากับ 130 cfm พร้อม แผ่นกรองอากาศ Merv12 และ HEPA13 ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องเติมอากาศและแผ่นกรองอากาศ MERV12และ HEPA13

และติดตั้งกับช่องเปิดภายในสำนักงานตำแหน่งเดียวกันกับการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ จากนั้นทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณของฝุ่นละอองอีกครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่นละอองเมื่อทำการเติมอากาศบริสุทธิ์โดยผ่านแผ่นกรองอากาศ

เวลา	ข้อมูล	CO_2 (ppm)												PM 2.5 (µg/m^3)	PM 10 (µg/m^3)
	จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
7:00-8:00		793	784	782	790	775	789	787	792	790	764	771	782	6	4
8:00-9:00		735	738	740	738	747	732	734	738	751	763	772	738	6	6
9:00-10.00		750	750	755	762	765	749	751	753	762	754	740	750	7	4
10:00-11:00		774	770	785	765	786	780	771	769	780	780	781	785	6	5
11:00-12:00		810	793	820	822	799	802	835	821	823	807	812	818	5	5
12:00-13:00		634	650	622	620	645	615	647	650	635	637	630	642	7	6
13:00-14:00		690	685	680	6820	679	680	692	695	687	690	700	687	8	5
14:00-15:00		734	752	750	747	750	758	753	749	739	742	745	748	6	5
15:00-16:00		821	830	830	833	840	825	817	830	842	828	821	830	9	4
16:00-17:00		700	695	690	705	702	701	700	698	697	690	685	687	6	6

17:00-18:00	700	712	710	707	705	708	700	712	715	720	715	709	6	6
18:00-19:00	618	635	620	676	642	621	638	623	631	675	680	650	5	5

จากการทดลองจะเห็นว่าเมื่อทำการเติมอากาศจากภายนอกเข้ามาภายในสำนักงานโดยอากาศผ่าน แผ่นกรองอากาศก่อน จะทำให้ค่าของปริมาณฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ลดลงอย่างชัดเจน รวมไปถึงค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไม่สูงเกินกว่า 1000 ppm

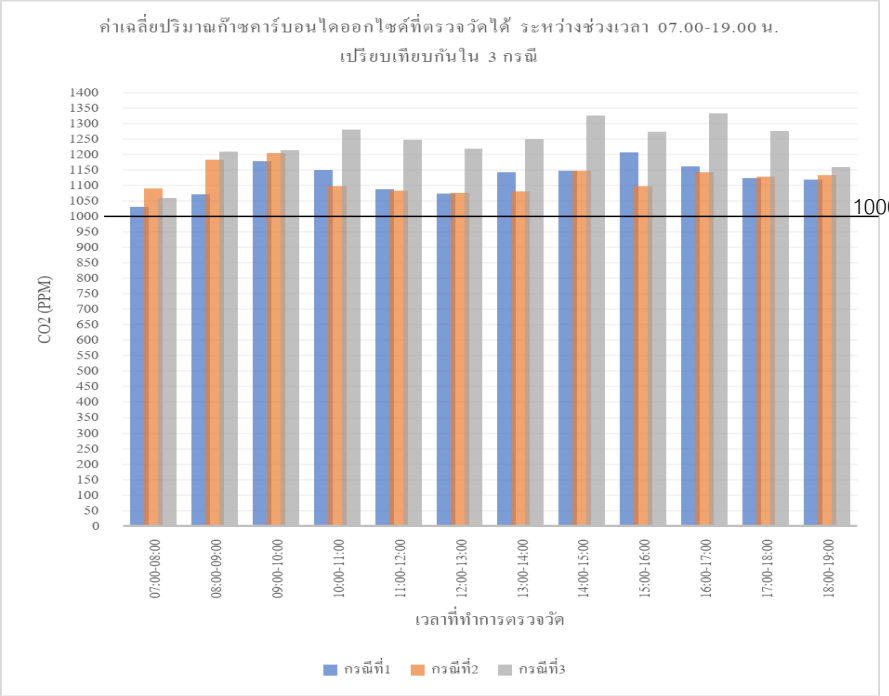
3. ผลการวิจัย

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในสำนักงาน ในกรณีที่ 1 สภาพแวดล้อมการใช้งานปัจจุบันที่มีการปิดช่องเปิดทั้งหมดและเปิดเครื่องปรับอากาศ อากาศจากภายนอกที่เข้ามาในห้องจะเป็นอากาศที่ไหลผ่านมาจากห้องด้านข้างจากการเปิดปิดประตูเท่านั้น ดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 :ผังแสดงทิศทางการไหลของอากาศจากภายนอกเข้าสู่สำนักงาน

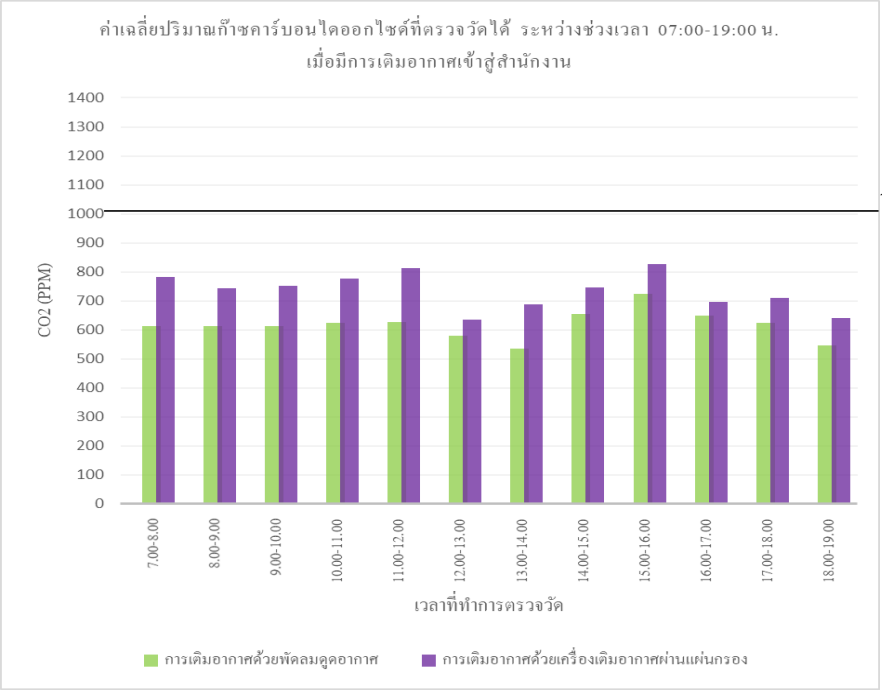
ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ภายในสำนักงานเจือจางลงได้ และสามารถวัดค่าได้สูงถึง 1298 ppm ในช่วงเวลา 15:00-16:00 น. เมื่อพบปัญหาคุณภาพอากาศที่เกิดขึ้นภายในสำนักงานแล้ว จึงทดลองทำการปรับปรุงคุณภาพอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติก่อนในกรณีที่ 2 โดยการเปิดช่องเปิดที่มีอยู่ภายในสำนักงานเพื่อให้มีอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกไหลเข้าสู่ภายในสำนักงาน แต่เมื่อทำการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่หลังจากที่มีการให้อากาศจากภายนอกเข้ามาภายในบริเวณสำนักงานแล้วพบว่าปริมาณของอากาศที่เข้ามานั้นก็ยังไม่สามารถทำให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงได้ โดยค่าที่ตรวจวัดได้ยังสูงถึง 1221 ppm ในช่วงเวลา 9:00-10:00 น. และเมื่อการทดลองทั้งในกรณีที่ 2 ยังไม่สามารถที่จะปรับปรุงคุณภาพ

อากาศภายในสำนักงานจึงได้ทำการทดลองในกรณีที่ 3 คือ การเปิดช่องเปิดที่มีภายในสำนักงานเพื่อเป็นการเติมอากาศจากภายนอกเข้ามาภายในสำนักงานและทำการเปิดพัดลมดูดอากาศร่วมด้วยเพื่อทดลอง ว่าหากภายในบริเวณสำนักงานมีการไหลเวียนของอากาศคือมีการเติมอากาศจากภายนอกเข้ามาและมีการถ่ายเทอากาศจากภายในออกไปจะทำให้ค่าของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงได้หรือไม่ ซึ่งหลังจากที่ทำการทดลองแล้ววัดค่าก็จะเห็นว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้สูงถึง 1400 ppm ในช่วงเวลา 16:00-17:00 แสดงให้เห็นว่าถึงแม้จะเกิดการไหลเวียนของอากาศภายในสำนักงานแล้วก็ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงได้จนไม่เกินกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนดด้วยการให้ลมผ่านช่องเปิดเข้ามาภายในสำนักงานด้วยวิธีธรรมชาติ ดังภาพที่ 7



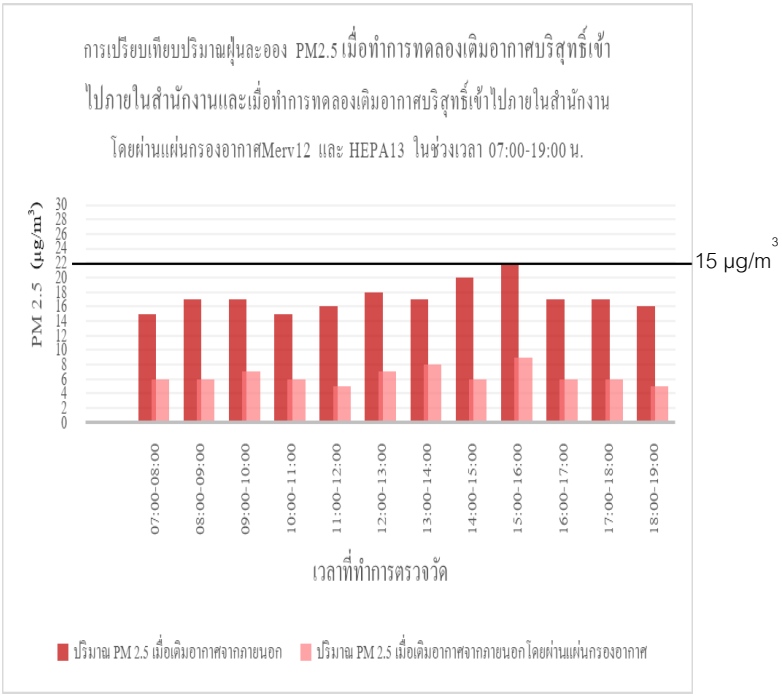
ภาพที่ 7 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ระหว่างช่วงเวลา 07:00-19:00น. ใน 3 กรณี

จากภาพที่ 7 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ในทั้ง 3 กรณี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะเห็นว่าการแก้ไขปัญหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกซ์ที่เกินมาตรฐานในสำนักงานด้วยวิธีการเติมอากาศโดยให้อากาศผ่านเข้ามาอย่างธรรมชาตินั้นไม่สามารถทำได้ จึงได้ทำลองเติมอากาศเข้ามาโดยใช้วิธีกล คือการนำพัดลมดูดอากาศนำอากาศจากภายนอกเข้ามาในปริมาณที่มากกว่าค่า Breathing Zone Outdoor Air Flow ของพื้นที่สำนักงานที่ต้องการ ผลการทดลองพบว่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างชัดเจน จนวัดค่าได้สูงสุดเพียง 780 ppm เท่านั้น แต่ปัญหาที่พบตามมาคือปริมาณของฝุ่นละอองที่ติดมากับอากาศที่เติมเข้ามาทำให้ค่าของปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ที่วัดได้เกิน 15 $\mu g/m^3$ เกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด ทำให้ต้องหาวิธีที่จะเติมอากาศเข้ามาภายโดยที่ไม่นำพาเอาฝุ่นละอองจากภายนอกเข้ามาด้วย จึงทดลองเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์ที่ติดตั้ง Filter กรองอากาศ Merv12 และ Hepa13 ผลจากการทดลองด้วยวิธีนี้พบว่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง และปริมาณของฝุ่นละอองก็ลดลงเช่นกัน

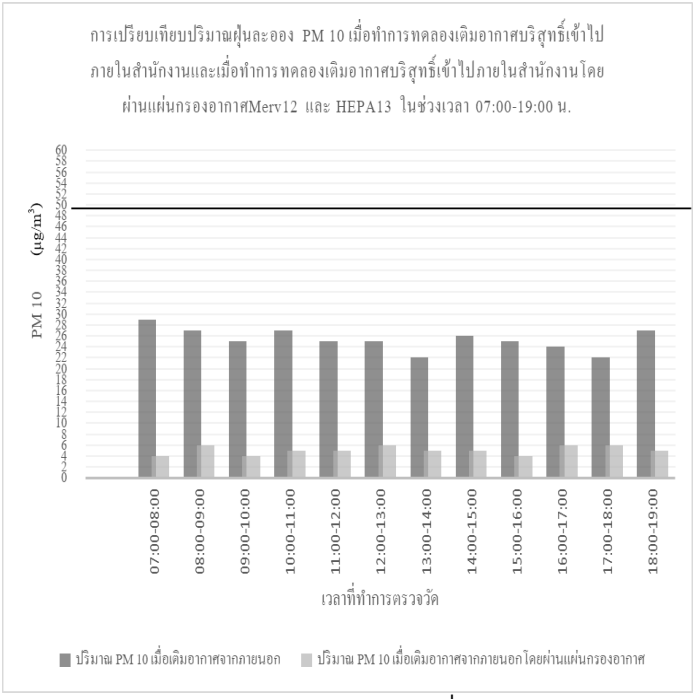


ภาพที่ 8 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ ระหว่างช่วงเวลา 07:00-19:00น. เมื่อมีการเติมอากาศเข้าสู่สำนักงาน

จากภาพที่ 8 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้เมื่อมีการเติมอากาศเข้าสู่สำนักงานจะเห็นว่าการเติมอากาศเข้าสู่ภายในสำนักงานทั้งสองวิธีสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ แต่ที่ไม่เหมือนกันคือปริมาณของฝุ่นละอองที่ตามเข้ามาด้วย ดังนั้นอากาศที่จะเติมเข้าภายในนั้นจะต้องมีการทำความสะอาดด้วยการผ่าน Filter กรองอากาศก่อนด้วย ดังที่แสดงให้เห็นในภาพที่ 9 และภาพที่ 10

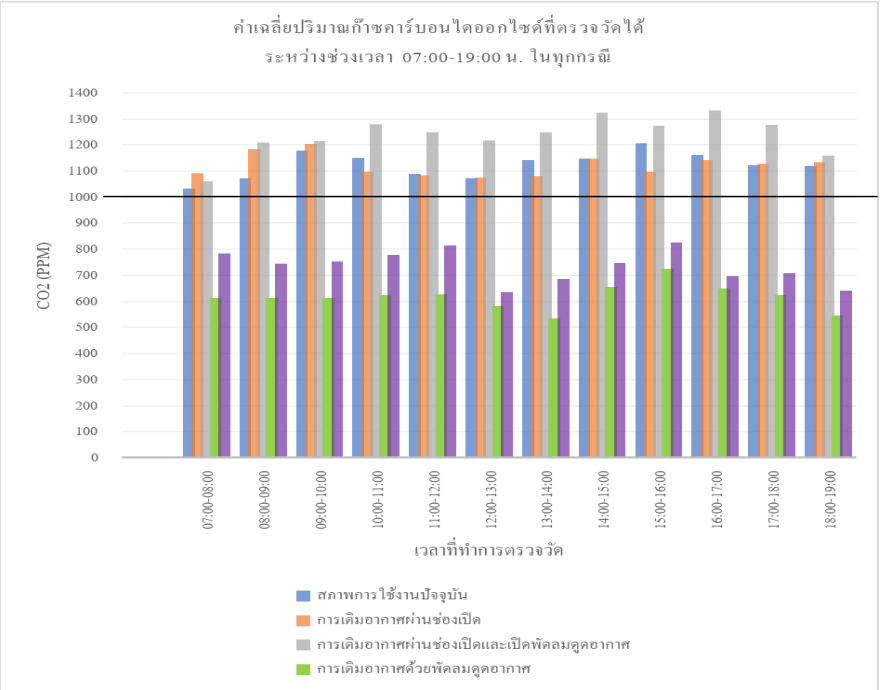


ภาพที่ 9 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 เมื่อทำการทดลองเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าไปภายในสำนักงานแบบปกติและแบบที่มีการผ่านแผ่นกรองอากาศ Merv12 และ HEPA13 ในช่วงเวลา 07:00-19:00น.



ภาพที่ 10 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละออง PM10 เมื่อทำการทดลองเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าไปภายในสำนักงานแบบปกติและแบบที่มีการผ่านแผ่นกรองอากาศMerv12 และ HEPA13 ในช่วงเวลา 07:00-19:00 น.

เมื่อนำผลการทดลองทั้งหมดที่ได้มาเปรียบเทียบกันก็จะสามารถสรุปได้ว่าการเติมอากาศเข้าสู่ภายในสำนักงานในปริมาณอากาศที่มากกว่าค่า Breathing Zone Outdoor Air Flow ของพื้นที่สำนักงานที่ต้องการสามารถทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ภายในลดลงได้ ดังที่แสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ระหว่างช่วงเวลา 07:00-19:00น. เมื่อมีการเติมอากาศเข้าสู่สำนักงานในทุกกรณี

4. สรุปผลและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพอากาศภายในสำนักงานที่ถูกปรับปรุงพื้นที่อาคารห้องแถว ตึกแถว หรืออาคารพาณิชย์มาเพื่อใช้เป็นสำนักงาน และตรวจพบว่ามีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ 1000 ppm แสดงให้เห็นว่าคุณภาพอากาศภายในสำนักงานนั้นเป็นอากาศที่ไม่ดีและก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้ที่ปฏิบัติงานอยู่ภายในสำนักงาน จึงได้ทำการแก้ปัญหาคุณภาพอากาศที่เกิดขึ้น ด้วยการทดลองเติมอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้าไปสู่ภายในสำนักงานเพื่อที่จะทำให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง โดยใช้วิธีการคำนวณหาปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่ต้องเติมเข้าไปตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1-2019 หลังจากทำการทดลองแล้ววัดค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อีกครั้งพบว่าการเติมอากาศบริสุทธิ์เข้ามาภายในพื้นที่สำนักงานในปริมาตรที่เหมาะสมสามารถทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในอาคารลดลงได้จริงแต่อากาศที่เติมเข้ามานั้นจะต้องผ่าน Filter กรองอากาศที่ได้มาตรฐานก่อนอีกชั้นหนึ่งเพื่ออากาศที่มีคุณภาพและไม่มีฝุ่นละอองปะปนเข้ามา และจะทำให้คุณภาพอากาศภายในสำนักงานนั้นเป็นอากาศที่ดี โดยงานวิจัยที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสำนักงานอื่นๆ ที่ถูกปรับปรุงพื้นที่ภายในของห้องแถว ตึกแถว หรืออาคารพาณิชย์มาเพื่อใช้เป็นสำนักงาน ซึ่งรูปแบบของอาคารไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรองรับกับผู้ใช้อาคารจำนวนมาก รวมไปถึงการที่ตัวอาคารมีลักษณะติดกันหลายหลังทำให้ช่องเปิดมีจำนวนน้อยไม่เพียงพอสำหรับการหมุนเวียนอากาศให้สัมพันธ์กับจำนวนของผู้ที่ใช้งานอาคาร ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจึงมีมากเกินที่ค่ามตรฐาน ASHRAE 62.1-2019 กำหนดไว้ ดังนั้นการเติมอากาศเข้าสู่สำนักงานด้วยการคำนวณปริมาตรอากาศตามสูตรการหาค่า Breathing Zone Outdoor Air Flow ตามแต่ละขนาดของพื้นที่นั้น จะทำให้เราสามารถเติมอากาศเข้า

มาได้อย่างเหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐาน และยังสามารถเติมอากาศเข้าไปเพิ่มเติมได้หากมีจำนวนผู้ที่ปฏิบัติงานในพื้นที่เพิ่มขึ้นในอนาคต

ในการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะตรวจสอบคุณภาพของอากาศภายในอาคารเพียงอย่างเดียว ไม่ได้คำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่อยู่ภายนอกอาคาร ดังนั้นหากมีการทำวิจัยในครั้งต่อไปควรมีการประเมินสภาพแวดล้อมที่อยู่ภายนอกอาคารด้วย เช่น ความเร็วลม ปริมาณของฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 ที่อยู่ภายนอกอาคาร รวมถึงปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์หากอาคารที่ทำการศึกษตั้งอยู่ติดกับถนนที่มีรถยนต์สัญจรผ่านตลอดเวลา เพราะตัวแปรเหล่านี้อาจส่งผลต่อตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์เติมอากาศ และความละเอียดของแผ่นกรองอากาศ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์สำหรับอุปกรณ์ในการทดลองวิจัย ขอขอบคุณคุณไพรัช เล้าประเสริฐที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการทดลองในงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ANSI/ASHRAEStandard62.1-2019. (2019). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. *American Society of Heating*. Retrieved from ashrae.iwrapper.com

ANSI/ASHRAEStandard. (2016). HVAC Systems and Equipment. *2016 ASHRAE Handbook*. Retrieved from http://www.ashrae.org

[1] Janis J. (2011). Theories and Knowlage About Sick Building Syndrome. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 25-58.

[2] Rich Prill. (2002). Why Measure Carbondioxide in Building? *[Online], Washington State University Extension Energy Program*. Retrieved from http://energy.wsu.edu/documents/co2inbuildings.pdf

[3] WorldHealthOrganization. (2010). WHO Guidelines for Indoor Air Quality. *[Online]*. Retrieved from http://euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf

[4] นภดนัย อาชวาคม. (2554). คุณภาพอากาศภายในอาคาร. [ออนไลน์]. Retrieved from http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_knowledge/phy_5_2559_indoor_air_quality.pdf

[5] นีรวรรณ จันทวงศ์. (2553). ความหมายความสำคัญของงานสำนักงาน. [ออนไลน์]. Retrieved from http://www.l3nr.org/posts/383930

[6] ป๋วยอึ้งภากรณ์เวิร์ดเพลส. (2558). การระบายอากาศ. [ออนไลน์]. Retrieved from http://pueyunphakorn.files.wordpress.com

[7] ลภดล โมกขะสมิต. (2553). การจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร. [ออนไลน์]. Retrieved from http://www.arch.ku.ac.th/2010/attachments/sheet/IAQ.pdf

[8] วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์. (2543). คู่มือปฏิบัติการมลพิษภายในอาคาร. กองอนามัยและสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย.

[9] สถาบันอาคารเขียวไทย. (2556). เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทยสำหรับอาคารระหว่างใช้งาน. [ออนไลน์]. Retrieved from http://tgbi.or.th/uploads/trees/เกณฑ์%20TREES-EB_160921.pdf

[10] สร้อยสุดา เกสรทอง. (2549). SBS Sick Building Syndrome โรคจากการทำงานในตึก. สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณะสุข.

[11] สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2552). กฎกระทรวงฉบับที่ 55 พ.ศ.2543. คู่มือกฎหมายควบคุมอาคาร.
[12] สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณะสุข. (2559). คู่มือปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร.
[13] สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์. (2551). การตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร. บทความวิชาการสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, *14*.