ลักษณะคุณภาพอากาศต่างฤดูกาลของแผนกผู้ป่วยนอก ในโรงพยาบาลเขตภาคเหนือตอนล่าง

Seasonal nature of indoor air quality of outpatient department in lower northern Thailand

กอบโชค วุฒิโชติวณิชย์กิจ[1], วินัย ทองชุบ[1], นิภาพร นองเทศ[1]
[1]สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 2 จังหวัดพิษณุโลก

Gobchok Wuthichotwanichgij[1], Winai Thongchub[1], Nipaporn Nongthed[1]
[1]The Office of Disease Prevention and Control 2nd Phitsanulok

Received 2022 Sep 5, Revised 2022 Sep 30, Accepted 2022 Oct 3
DOI:

บทคัดย่อ

แผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลเป็นจุดแรกที่ผู้มารับบริการนั่งรอรับการคัดกรอง การตรวจวินิจฉัยอาการหรือโรคจากแพทย์เพื่อทำการรักษา ดังนั้นหากพื้นที่นี้มีการจัดระบบระบายอากาศไม่เหมาะสมอาจเป็นแหล่งแพร่กระจายเชื้อโรคของผู้ป่วยสู่ผู้ที่มารอรับบริการได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะคุณภาพอากาศในแผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลระหว่าง 2 ฤดูกาล เลือกโรงพยาบาล 6 แห่งใน 5 จังหวัดภาคเหนือตอนล่าง โดยนับจำนวนคนทั้งผู้รับบริการและผู้ให้บริการ ในแผนกผู้ป่วยนอก และตรวจวัดคุณภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ สารอินทรีย์ระเหยง่าย อนุภาค PM 10 PM 2.5 และเก็บตัวอย่างอากาศตรวจเชื้อราและแบคทีเรีย ในฤดูร้อน (พฤษภาคม-มิถุนายน 2559) และ ฤดูฝน (สิงหาคม-กันยายน 2559) ผลการศึกษา พบว่า ระดับอุณหภูมิในช่วงฤดูร้อน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.2 (28.7 - 36.3) °C และฤดูฝนเท่ากับ 31.6 (28.0 - 33.7) °C ($p < 0.001$) ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 55.3 (40.2 - 74.1) % และฤดูฝนเท่ากับ 62.1 (49.2 - 77.3) % คาร์บอนไดออกไซด์ ในช่วงฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 751.1 (488 - 1,528) ppm และฤดูฝนเท่ากับ 814.3 (516 - 1,783) ppm ปริมาณอนุภาค PM 10 ในช่วงฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66. (10.7 - 194.1) µg/m^3 และช่วงฤดูฝนเท่ากับ 94.1 (16.3 - 233.5) µg/m^3 เชื้อแบคทีเรียมีในช่วงฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,549 (307 - 3,087) CFU/m^3 และฤดูฝนเท่ากับ 1,340 (320 - 3,727) CFU/m^3 ($p = 0.11$) ในขณะที่เชื้อราในช่วงฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 364.6 (154 - 634) CFU/m^3 และช่วงฤดูฝน 841.3 (194 - 1,734) CFU/m^3 ($p < 0.001$) ผู้รับบริการ ในช่วงฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 334 (10 - 1,200) คน และช่วงฤดูฝน 310 (50 - 880) คน ($p < 0.001$) ดังนั้น ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ และ

อนุภาคขนาดเล็กจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนคนมารับบริการแต่ละช่วงเวลาของวัน และอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ คาร์บอนไดออกไซด์ อนุภาคขนาดเล็ก เชื้อรา มีความแตกต่างกันใน 2 ฤดูกาล ทั้งนี้อุณหภูมิทั้ง 2 ฤดูกาล ไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามค่าอ้างอิง (ASHRAE 55-1992) ลักษณะของคุณภาพอากาศในแผนกผู้ป่วยนอกขึ้นกับจำนวนคนมารับบริการ ช่วงเวลา 08.00 - 11.00 น. จึงควรจัดการระบายอากาศเพิ่มเติม เพื่อช่วยให้มลพิษในบรรยากาศลดลง โดยเฉพาะช่วงฤดูฝน

คำสำคัญ: คุณภาพอากาศในอาคาร, ฤดูกาล, คาร์บอนไดออกไซด์, แผนกผู้ป่วยนอก

Abstract

A hundred to thousand people who walked in to get the services found uncomfortable and unpleasant odor in the outpatient department of hospital. The ventilation system which is not appropriate may be the source of spreading pathogens to those people. The objective to determine the parameter indoor air quality in the outpatient department of the hospital between two seasons. Six hospitals in five provinces of health region 2 were selected. The numbers of people in the outpatient department were counted every hour from 07.00 AM - 3.00 PM. Such the relative humidity, temperature, carbon dioxide, particle, bacteria, and fungi were measured and recorded for two rounds in summer (May - June) and rainy (August - September). The results showed that the average of temperature in summer 33.2 (28.7 - 36.3) °C and rainy 31.6 (28.0 - 33.7) °C ($p < 0.001$), relative humidity in summer 55.3 (40.2 - 74.1) % and rainy 62.1 (49.2 - 77.3) %, carbon dioxide in summer 751.1 (488 - 1,528) ppm and rainy 814.3 (516 - 1,783) ppm, particle-PM 10 in summer 66.9 (10.7 - 194.1) $\mu g/m^3$ and rainy 94.1 (16.3 - 233.5) $\mu g/m^3$, bacteria in summer 1,549 (307 - 3,087) CFU/m^3 and rainy 1,340 (320 - 3,727) CFU/m^3 ($p = 0.11$), fungi in summer 364.6 (154 - 634) CFU/m^3 and rainy 841.3 (194 - 1,734) CFU/m^3 ($p < 0.001$). And the number of clients in summer 334 (10 - 1,200) was differ from rainy season 310 (50 - 880) ($p < 0.001$). However, some values of measurement every 15 minutes showed not comply with the recommendation such as temperature, relative humidity, carbon dioxide, bacteria, and fungi. The skew of carbon dioxide is related to a number of people increase, from 08.00 to 11.00 AM and decrease in the afternoon. The mechanical ventilation such as a vacuum fan, should also be recommended to control indoor air quality.

Keywords: Indoor air quality, Season, Carbon dioxide, Outpatient department

บทนำ

คุณภาพอากาศในอาคาร (Indoor Air Quality, IAQ) คือ สภาพของอากาศในบริเวณหนึ่ง ๆ ภายในอาคารหรือที่พักอาศัย โดยที่สภาพอากาศที่ดีมีเงื่อนไขการพิจารณา เกี่ยวกับความสุขสบายของคนในการอยู่บริเวณนั้น ๆ เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของลมของอากาศบริเวณนั้น ๆ ที่ยอมรับได้ การหายใจของคนเป็นไปได้อย่างสะดวกสบาย ความเข้มข้นของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซ ไอสารเคมีอนุภาค และสารกัมมันตรังสี มีปริมาณไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพร่างกายคน[1] สารชีวพิษอาจเกิดขึ้นในอาคารและแขวนลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งเมื่อหายใจเข้าไปทำให้เกิดโรคได้ เช่น เอนโดท็อกซิน ท็อกซิโคสิส จากแบคทีเรียแกรมลบ และทริโคทีซีน ท็อกซิโคสิส จาก Stachbotrys สารพิษจากเชื้อราแอสเพอจีรัส ที่ปนเปื้อนอากาศในอาคาร อาจลงไปปนเปื้อนอาหารทำให้ผู้บริโภคเป็นมะเร็งตับได้[2]

โดยทั่วไปแล้วคนอาจเข้าใจว่าอากาศภายในอาคารนั้นมีคุณภาพดีกว่าอากาศภายนอก แต่ในความเป็นจริงแล้วสิ่งตกแต่งและสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่นำมาใช้ภายในอาคารล้วนเป็นแหล่งในการปล่อยสารมลพิษ[3-4] ได้แก่ เฟอร์นิเจอร์ไม้อัด สีทาผนัง พรมปูพื้น วัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในอาคาร อาหาร น้ำหอม สารเคมีที่ใช้ทำความสะอาด เป็นต้น ในแต่ละวันคนที่ทำงานอยู่ภายในอาคารอย่างน้อย 6 - 12 ชั่วโมง อยู่ในที่พักอาศัยอีก 6 - 10 ชั่วโมง นอกนั้นคือเวลาของการเดินทางภายนอกอาคาร คนจะต้องหายใจเอาอากาศที่มีสารพิษ เข้าสู่ร่างกายโดยไม่รู้ตัว ได้แก่ ไอสารเคมี ก๊าซมลพิษ ฟอร์มาลดีไฮด์ และเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ตลอดจนควันรถยนต์ บุหรี่ เป็นต้น ถึงแม้สารปนเปื้อนที่พบในอาคารจะมีปริมาณความเข้มข้นไม่สูงนัก แต่หากอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมนี้นานวันเข้าก็อาจเป็นสาเหตุให้เกิดอาการเจ็บป่วยได้ เรียกว่า อาการอาคารป่วย (Sick Building Syndrome) ลักษณะของอาการที่เกิดขึ้นนี้จะไม่มีความเฉพาะเจาะจง เป็นอาการทั่วไปที่ไม่แตกต่างไปจากอาการของโรคภูมิแพ้หรือไข้หวัด เช่น อาการระคายเคืองตา ระคายเคืองทางเดินหายใจส่วนบน คัดจมูก คอแห้ง แสบตา หายใจลำบาก แน่นหน้าอก ปวดศีรษะ มึนงง เมื่อยล้า และระคายเคืองผิวหนัง แม้ปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร ส่วนใหญ่จะไม่สามารถทำให้ผู้ที่อยู่ในอาคารเจ็บป่วยอย่างรุนแรงหรือเสียชีวิตได้ แต่อาจจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างเรื้อรัง หรือลดประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานได้ คุณภาพของอากาศภายในอาคารแปรผันไปตามสภาพการถ่ายเทอากาศของอาคาร เนื่องจากอากาศจะมีส่วนผสมของก๊าซ หรือสารระเหยต่าง ๆ ที่ถูกปล่อยออกมาทั้งจากคน สัตว์หรือสิ่งของที่อยู่ในอาคารโดยจะเกิดการสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ หากอาคารที่อยู่อาศัยนั้นไม่มีระบบถ่ายเทอากาศที่ดีพอ เมื่ออากาศเสียสะสมจนมากเกินกำหนดตามเกณฑ์มาตรฐานที่ดีที่ร่างกายผู้อยู่อาศัยจะรับได้ ก็จะค่อย ๆ ส่งผลเสียสะสมต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย

แผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาล เป็นพื้นที่ด่านแรกที่ผู้มารับบริการรอรับการคัดกรองเพื่อส่งต่อเข้ารับการวินิจฉัยอาการหรือโรคจากแพทย์เพื่อทำการรักษา ในแต่ละวันจะมีผู้คนมาใช้บริการเป็นจำนวนมาก จึงพบปัญหาอากาศร้อนอบอ้าว อึดอัด กลิ่นอันไม่พึงประสงค์ อย่างไรก็ตามยังมีพื้นที่การทำงานของโรงพยาบาลอีกหลายแห่ง เช่น ห้องพักผู้ป่วย ห้องปฏิบัติการชันสูตรโรค

ห้องฉุกเฉิน ห้องผ่าตัด ห้องแยกโรค และ ห้องครัว ซึ่งมีการปฏิบัติงานเช่นกัน แต่ต่างกันตรงที่ห้องเหล่านี้มีลักษณะการปฏิบัติงานที่จำเพาะ มีการกำหนดระบบการระบายอากาศ มีการควบคุมไว้แล้วชัดเจน แต่แผนกผู้ป่วยนอกเป็นเพียงพื้นที่การรอรับการตรวจ ไม่มีข้อกำหนดเพื่อควบคุมมลพิษ ดังนั้นหากพื้นที่นี้มีการจัดระบบระบายอากาศไม่เหมาะสม อาจเป็นแหล่งแพร่กระจายเชื้อโรคของผู้ป่วยและญาติซึ่งยังไม่ป่วย หรือผู้ที่เป็นพาหะโรคระบบทางเดินหายใจ และรวมไปถึงภาพลักษณ์ของโรงพยาบาลที่มีบรรยากาศแออัดไม่น่าใช้บริการ ปัจจุบันโรงพยาบาลหลายแห่งเริ่มมีการติดตั้งระบบปรับอากาศ เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายของผู้มารับบริการ และเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน หากหน่วยงานไม่ได้ตรวจวัดเฝ้าระวังเพื่อประเมินคุณภาพอากาศในอาคาร การระบายอากาศ จะไม่มีข้อมูลเพื่อการปรับปรุงแก้ไขระบบอากาศของโรงพยาบาล ส่วนโรงพยาบาลที่มีระบบปรับอากาศหากไม่ได้ประเมินคุณภาพอากาศด้วยเครื่องมือตรวจวัดทางวิทยาศาสตร์ จะได้เรื่องอากาศเย็นสบาย จะยังขาดเรื่องการสะสมของก๊าซมลพิษอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานแก่ผู้ปฏิบัติงานในแผนกนี้ รวมถึงการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วย สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 2 จังหวัดพิษณุโลก จึงสนใจทำโครงการวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาชนิด ปริมาณก๊าซ ลักษณะคุณภาพอากาศในแผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลต่างฤดูกาล

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) ตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคาร แผนกผู้ป่วยนอก ในโรงพยาบาลศูนย์ โรงพยาบาลทั่วไป และโรงพยาบาลชุมชน ในพื้นที่รับผิดชอบของสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 2 จังหวัดพิษณุโลก

กลุ่มตัวอย่าง

- แผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลศูนย์/ทั่วไป 4 แห่ง และโรงพยาบาลชุมชน 2 แห่ง รวม 6 แห่ง
- เจาะจงเลือกตัวอย่างตามความสมัครใจ จำนวนตัวอย่างอยู่ในปริมาณที่สามารถดำเนินการได้ในช่วงเวลาและเครื่องมือที่จำกัด

วัสดุและเครื่องมือที่ใช้

1. แบบบันทึกผลการตรวจวัด แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ แผนผังแผนกผู้ป่วยนอก และผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ
2. เครื่อง Aeroqual ใช้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และสารอินทรีย์ระเหยง่าย[4]
3. เครื่องวัดฝุ่น Aerosol mass monitor ใช้สำหรับตรวจวัด อนุภาค PM 10 PM 2.5
4. เครื่องเก็บตัวอย่างชีวภาพในอากาศแบบ 2 หัว (เชื้อราและแบคทีเรีย) ได้รับการสอบเทียบกับบริษัทเอกชน ซึ่งมีใบรับรองการสอบเทียบ

การเก็บตัวอย่าง

1. จัดทำผังกระบวนการทำงานของแต่ละพื้นที่เป้าหมาย ได้แก่ ขนาดของแผนกผู้ป่วยนอก ช่องทางการระบายอากาศสำคัญ ๆ (ประตูเข้า-ออก หน้าต่าง พัดลม) และพื้นที่ข้างเคียง

2. เก็บข้อมูลจำนวนคนในแผนกผู้ป่วยนอก ทั้งผู้รับบริการและผู้ให้บริการ โดยตรวจนับจำนวนทุกชั่วโมง ณ เวลา 07.30, 08.30, 09.30, 10.30, 11.30, 12.30, 13.30 และ 14.30 น.

3. ตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารแผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาล 6 แห่ง ติดตั้งบริเวณกลางห้องแผนกผู้ป่วยนอก (จุดนั่งรอเรียกเข้าพบแพทย์) บันทึกผลการตรวจวัดทุก 15 นาที ได้แก่ เวลา 07.15, 07.30, 07.45, 08.00, ... 14.45 และ 15.00 น. มีรายการตรวจวัด (Real time) ดังนี้ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ สารอินทรีย์ระเหยง่าย อนุภาค PM 10 และ PM 2.5

4. ตรวจวัดโรงพยาบาลละ 2 วัน ระหว่างเวลา 07.00 - 15.00 น. จำนวน 2 ช่วงฤดูกาล ประกอบด้วย ฤดูร้อน (พฤษภาคม - มิถุนายน 2559) ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถยืมเครื่องมือตรวจวัดได้ประกอบกับฝนยังไม่ตกชุก และ ฤดูฝน (สิงหาคม - กันยายน 2559) มีฝนตกชุกแล้ว

5. ตรวจวัดเชื้อราและแบคทีเรียด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างชีวภาพในอากาศ แบบ 2 หัว ดูดอากาศผ่านจานเพาะเชื้อ โดยเก็บตัวอย่างพร้อมกัน หัวละ 1 ชนิด (ยืมเครื่องมือจากสำนักโรคจากการประกอบอาชีพฯ) ช่วงฤดูร้อน (พ.ค.-มิ.ย.) เก็บตัวอย่างโรงพยาบาลละ 1 วัน (ช่วงเวลาที่สามารถยืมเครื่องมือได้) และฤดูฝน (ส.ค-ก.ย.) เก็บตัวอย่างโรงพยาบาลละ 2 วัน โดยเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 นาทีต่อตัวอย่าง ณ เวลา 08.00, 10.00, 12.00 และ 14.00 น. ที่บริเวณที่นั่งจุดรอตรวจ และภายในห้องตรวจโรคของแพทย์ ส่งเพาะเชื้อนับโคโลนีที่ศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา

การวิเคราะห์ข้อมูล

รวบรวมข้อมูล ตรวจสอบความครบถ้วนถูกต้องของข้อมูล บันทึกลงคอมพิวเตอร์ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Double entry) วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) หรือค่ากลาง (Median) ค่าร้อยละของปริมาณคนรับบริการ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ณ ระยะเวลาต่างกัน เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง และพิจารณาลักษณะและแนวโน้มของกราฟ

ผลการศึกษา

การตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณแผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาล ในพื้นที่จังหวัดเขตบริการสุขภาพที่ 2 จำนวน 6 แห่ง เป็นโรงพยาบาลศูนย์ 1 แห่ง โรงพยาบาลทั่วไป 3 แห่ง และโรงพยาบาลชุมชน 2 แห่ง มีข้อมูลผู้รับบริการตั้งแต่ช่วงเช้าถึงบ่าย คือ เวลา 07.00 -15.00 น. นับจำนวนผู้รับบริการและเจ้าหน้าที่ที่อยู่ในบริเวณแผนกผู้ป่วยนอกแต่ละชั่วโมง ของแต่ละวันที่ทำการตรวจวัด โดยทำการตรวจ 2 รอบ ๆ ละ 2 วัน ในฤดูร้อนและฤดูฝน รวมเป็น 4 วัน (ตารางที่ 1-2) ทั้งนี้หากเป็นโรงพยาบาลขนาดใหญ่จะมีผู้มาใช้บริการจำนวนมาก โดยเฉพาะช่วงเช้า และเริ่มลดลงในช่วงเวลาเที่ยง ซึ่งจำนวนผู้มารับบริการเป็นปัจจัยหลักที่จะมีความสัมพันธ์กับระดับมลพิษที่เกิดขึ้นในบรรยากาศการทำงาน ได้แก่ อุณหภูมิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เชื้อแบคทีเรียต่าง ๆ เป็นต้น และการระบายอากาศเป็นปัจจัยสนับสนุนให้เกิดการลดการสะสมของมลพิษ

ตารางที่ 1 จำนวนผู้มารอรับบริการตลอดช่วงเวลา 07.00 - 15.00 น. ของแต่ละโรงพยาบาล ในฤดูร้อน-วันที่หนึ่งและวันที่สอง

ที่	ช่วงเวลา (น.) วันที่หนึ่ง	จำนวน (คน) แต่ละโรงพยาบาล							
		1 500 เตียง	2 500 เตียง	3 500 เตียง	4 300 เตียง	5 60 เตียง	6 90 เตียง	เฉลี่ย	รวม
1	07.00 - 08.00	605	310	680	350	46	40	338	2,031
2	08.00 - 09.00	960	480	950	420	130	105	507	3,045
3	09.00 - 10.00	810	610	1,150	380	138	157	540	3,245
4	10.00 - 11.00	560	590	1,020	360	124	145	466	2,799
5	11.00 - 12.00	280	280	510	210	115	114	251	1,509
6	12.00 - 13.00	130	50	460	180	45	53	153	918
7	13.00 - 14.00	100	30	480	44	112	111	146	877
8	14.00 - 15.00	80	20	280	15	114	115	104	624
ที่	วันที่สอง	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย	รวม
1	07.00 - 08.00	720	297	580	370	47	78	349	2,092
2	08.00 - 09.00	960	382	790	500	47	130	468	2,809
3	09.00 - 10.00	1,200	480	1,120	790	108	133	639	3,831
4	10.00 - 11.00	1,150	250	980	590	99	125	532	3,194
5	11.00 - 12.00	880	200	990	195	67	84	403	2,416
6	12.00 - 13.00	120	20	780	40	48	44	175	1,052
7	13.00 - 14.00	105	20	590	85	79	84	161	963
8	14.00 - 15.00	100	30	410	10	28	89	111	667

ตารางที่ 2 จำนวนผู้มารอรับบริการตลอดช่วงเวลา 07.00 - 15.00 น. ของแต่ละโรงพยาบาล ในฤดูฝน-วันที่หนึ่งและวันที่สอง

ที่	ช่วงเวลา (น.) วันที่หนึ่ง	จำนวน (คน) แต่ละโรงพยาบาล							
		1 500 เตียง	2 500 เตียง	3 500 เตียง	4 300 เตียง	5 60 เตียง	6 90 เตียง	เฉลี่ย	รวม
1	07.00 - 08.00	380	850	250	330	150	108	345	2,068
2	08.00 - 09.00	450	830	430	560	158	180	435	2,608
3	09.00 - 10.00	580	850	450	650	180	280	498	2,990
4	10.00 - 11.00	450	800	200	450	230	340	412	2,470
5	11.00 - 12.00	300	550	120	380	135	380	311	1,865
6	12.00 - 13.00	250	200	135	220	120	120	174	1,045
7	13.00 - 14.00	150	100	115	138	110	420	172	1,033
8	14.00 - 15.00	120	50	80	55	65	350	120	720
ที่	วันที่สอง	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย	รวม
1	07.00 - 08.00	280	750	235	350	85	70	295	1,770
2	08.00 - 09.00	380	850	382	600	130	250	432	2,592
3	09.00 - 10.00	560	880	450	550	153	350	491	2,943
4	10.00 - 11.00	600	820	460	500	165	380	488	2,925
5	11.00 - 12.00	350	550	300	480	129	180	332	1,989
6	12.00 - 13.00	90	250	290	210	68	200	185	1,108
7	13.00 - 14.00	150	120	250	150	85	230	164	985
8	14.00 - 15.00	120	80	185	85	70	150	115	690

ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคาร โดยพิจารณาพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีความแตกต่างกันระหว่าง 2 ฤดูกาล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p <0.001 ได้แก่ อุณหภูมิ มีค่าเฉลี่ย 33.2 °C ในฤดูร้อน และ 31.6 °C ในฤดูฝน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ร้อยละ 55.3 ในฤดูร้อน และ 62.1 ในฤดูฝน รวมถึง ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ สารอินทรีย์ระเหยง่าย อนุภาค PM 10 PM 2.5 และเชื้อรา (ตารางที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่บันทึกไว้ ณ เวลาต่าง ๆ กับค่าอ้างอิงขององค์กรที่แนะนำ พบว่า อุณหภูมิทั้งในฤดูร้อนและฤดูฝน ไม่เหมาะสม ร้อยละ 100 คือมีค่ามากกว่าค่าที่แนะนำไว้ ซึ่งควรอยู่ในช่วง 23 - 26 °C ความชื้นสัมพัทธ์ ในฤดูร้อน ไม่เหมาะสม 76 ค่า จากที่ตรวจวัดทั้งหมด 384 ค่า คิดเป็นร้อยละ 19.8 และในฤดูฝน ไม่เหมาะสม 243 ค่า จากที่ตรวจวัดทั้งหมด 384 ค่า คิดเป็นร้อยละ 63.3 คือมีค่ามากกว่าค่าที่แนะนำไว้ควรอยู่ในช่วง ร้อยละ 30 - 60 รวมถึง คาร์บอนไดออกไซด์ อนุภาค PM 10 แบคทีเรีย และเชื้อรา (ตารางที่ 4) และนำตัวแปรที่ทำเป็นกราฟแล้วมาเทียบกับจำนวนคนที่มารับบริการในแต่ละช่วงเวลา จะเห็นได้ว่า มีคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีลักษณะกราฟที่แปรผันตามจำนวนคนที่อยู่ในแผนกผู้ป่วยนอกในแต่ละเวลา ส่วนอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และเชื้อรา เห็นได้ชัดเจนตามสภาพอากาศของฤดูกาล (ภาพที่ 1)

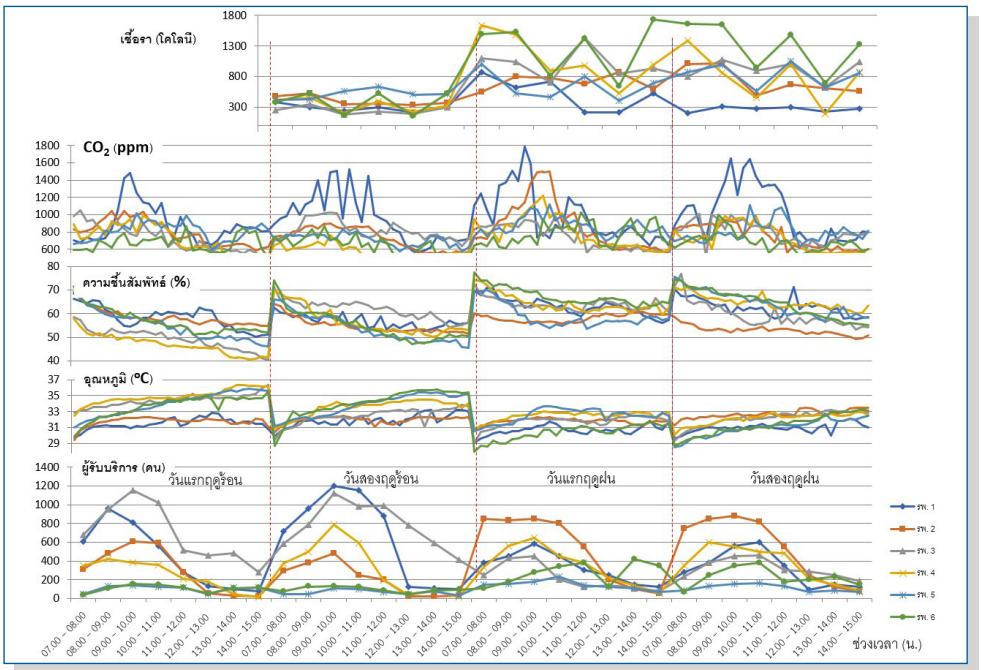
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในช่วงฤดูร้อน และฤดูฝน

พารามิเตอร์	ฤดูร้อน				ฤดูฝน				p*	
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	SD	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	SD	Ztest	ttest
ผู้รับบริการ (คน)	10	1,200	334.1	332.8	50	880	310.4	220.8	<0.001	0.562
อุณหภูมิ (°C)	28.7	36.3	33.2	1.54	28.0	33.7	31.6	1.09	<0.001	<0.001
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	40.2	74.1	55.3	6.08	49.2	77.3	62.1	5.48	0.042	<0.001
คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	0	0.91	0.009	0.06	0	4.42	0.061	0.061	<0.001	0.004
คาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	488	1,528	751	178	516	1,783	814	212.7	<0.001	<0.001
สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ppm)	0	0.85	0.1	0.09	0	8.06	0.12	0.10	<0.001	<0.001
อนุภาค PM 10 ($\mu g/m^3$)	10.7	194.1	66.9	29.3	16.3	233.5	94.1	42.2	<0.001	<0.001
อนุภาค PM 2.5 ($\mu g/m^3$)	0.2	21.0	6.8	3.2	2.2	19.1	7.4	2.8	<0.001	<0.001
แบคทีเรีย (CFU/m^3)	307	3,087	1,549	627.5	320	3,727	1,340	625.3	0.883	0.141

เชื้อรา (CFU/m^3)	154	634	364	132.3	194	1,734	841	394.4	<0.001	<0.001

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ กับค่าอ้างอิง ในช่วงฤดูร้อน และฤดูฝน

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐานที่กำหนด[3-4]	ฤดูร้อน				ฤดูฝน			
		ต่ำสุด	สูงสุด	ไม่เหมาะสม (ค่า)/N	ร้อยละ	ต่ำสุด	สูงสุด	ไม่เหมาะสม (ค่า)/N	ร้อยละ
อุณหภูมิ (°C)	23 - 26 °C	28.7	36.3	384/384	100.0	28.0	33.7	384/384	100.0
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	30 - 60 %	40.2	74.1	76/384	19.8	49.2	77.3	243/384	63.3
คาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	1,000 ppm	488	1,528	23/384	6.0	516	1,783	51/384	13.3
อนุภาค PM 10 (µg/m^3)	$PM\ 10_{24hr}$ 150 µg/m^3	10.7	194.1	12/384	3.1	16.35	233.5	89/384	23.2
อนุภาค PM 2.5 (µg/m^3)	$PM\ 10_{24hr}$ 150 µg/m^3	1.4	21.0	0/384	0	0.2	19.1	0/384	0
แบคทีเรีย (CFU/m^3)	< 500 CFU/m^3	307	3,087	35/36	97.2	320	3,727	32/72	44.4
เชื้อรา (CFU/m^3)	< 500 CFU/m^3	154	634	8/36	22.2	194	1,734	58/72	80.6



ภาพที่ 1 เทียบกราฟปริมาณเชื้อรา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และคาร์บอนไดออกไซด์กับจำนวนคนที่มารับบริการในแผนกผู้ป่วยนอกในช่วงเวลาเดียวกัน ของทั้ง 6 โรงพยาบาล

สรุปและอภิปรายผล

ระดับมลพิษตลอดช่วงวันใน 2 ฤดูกาล การตรวจวัดคุณภาพอากาศในแผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาล จำนวน 9 พารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ สารอินทรีย์ระเหยง่าย อนุภาค PM 10 อนุภาค PM 2.5 เชื้อแบคทีเรีย และ เชื้อรา โดยสามารถอธิบายผลการศึกษา และพบความแตกต่างกันระหว่าง 2 ฤดูกาล ดังนี้

- อุณหภูมิทำการตรวจวัดโรงพยาบาลละ 32 ค่าต่อวัน ในฤดูร้อน มีค่าต่ำสุด - สูงสุด เท่ากับ 28.7 - 36.3 เฉลี่ย 33.2 (SD=1.54) องศาเซลเซียส และฤดูฝน 28.0 - 33.7 เฉลี่ย 31.6 (SD=1.09) องศาเซลเซียส จากกราฟค่าจะเริ่มจากอุณหภูมิต่ำและเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของวัน โดยในฤดูร้อนจะมีอุณหภูมิสูงมากกว่าในฤดูฝนชัดเจนประมาณ 2 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

- ความชื้นสัมพัทธ์ ทำการตรวจวัดโรงพยาบาลละ 32 ค่าต่อวัน ในฤดูร้อน มีค่าต่ำสุด - สูงสุด เท่ากับ 40.2 - 74.1 % เฉลี่ย 55.3 (SD=6.08) % และฤดูฝน 49.2 - 77.3 % เฉลี่ย 62.1 (SD=5.48) % ซึ่งจะเริ่มจากความชื้นสัมพัทธ์สูงและลดลงตลอดจนถึงช่วงบ่ายของวัน โดยในฤดูฝนจะมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากกว่าในฤดูร้อนชัดเจนประมาณ 6 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

- คาร์บอนไดออกไซด์ ทำการตรวจวัดโรงพยาบาลละ 32 ค่าต่อวัน ในฤดูร้อน มีค่าต่ำสุด - สูงสุด เท่ากับ 488 - 1,528 ppm เฉลี่ย 751.1 (SD=178.2) ppm และฤดูฝน 516 - 1,783 เฉลี่ย 814.3 (SD=212.7) ppm ซึ่งจะเริ่มสูงขึ้นช่วงก่อนเที่ยงและลดลงช่วงบ่ายของวัน โดยในฤดูฝนพบมากกว่าฤดูร้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

- อนุภาค PM 10 ทำการตรวจวัดโรงพยาบาลละ 32 ค่าต่อวัน ในฤดูร้อน มีค่าต่ำสุด - สูงสุด เท่ากับ 10.7 - 194.1 เฉลี่ย 66.9 (SD=29.3) $\mu g/m^3$ และฤดูฝน 16.3 - 233.5 เฉลี่ย 94.1 (SD=42.2) $\mu g/m^3$ ซึ่งจะเริ่มจากอุณหภูมิต่ำและเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของวัน ซึ่งจะพบว่าในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูร้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

- อนุภาค PM 2.5 ทำการตรวจวัดโรงพยาบาลละ 32 ค่าต่อวัน ในฤดูร้อน มีค่าต่ำสุด - สูงสุด เท่ากับ 1.4 - 21.0 เฉลี่ย 6.3 (SD=2.7) $\mu g/m^3$ และฤดูฝน 0.2 - 19.1 เฉลี่ย 7.6 (SD=3.3) $\mu g/m^3$ ซึ่งจะเริ่มจากอุณหภูมิต่ำและเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของวัน ซึ่งจะพบว่าในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูร้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

- เชื้อรา ทำการตรวจวัด โรงพยาบาลละ 6 ค่าต่อวัน ในฤดูร้อน มีค่าต่ำสุด - สูงสุด เท่ากับ 154 - 634 เฉลี่ย 364.6 (SD=132.3) CFU/m^3 และฤดูฝน 194 - 1,734 เฉลี่ย 841.3 (SD=394.4) CFU/m^3 ซึ่งจะพบว่าในฤดูฝนจะมีเชื้อราสูงกว่าในฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

- เชื้อแบคทีเรีย ทำการตรวจวัดโรงพยาบาลละ 6 ค่าต่อวัน ในฤดูร้อนตรวจวันเดียว (เนื่องจากข้อจำกัดการยืมเครื่องมือเก็บตัวอย่าง) มีค่าต่ำสุด - สูงสุด เท่ากับ 307 - 3,087 เฉลี่ย 1,549 (SD=627.5) CFU/m^3 และฤดูฝน 320 - 3,727 เฉลี่ย 1,340 (SD=625.3) CFU/m^3 ซึ่งค่าเฉลี่ยในฤดูร้อนสูงกว่าในฤดูฝน แต่ไม่แตกต่างกัน ($p = 0.141$)

ซึ่งทั้งอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ คาร์บอนไดออกไซด์ และเชื้อรา ที่พบว่าแตกต่างกันใน 2 ฤดู แต่กลับไม่พบความแตกต่างกันในการศึกษาของจังหวัดนครศรีธรรมราช[5] อาจเนื่องจากพื้นที่ภาคใต้มีความร้อนชื้นเป็นปกติ ส่วนพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดแล้วพบในปริมาณน้อย อาจไม่เพียงพอต่อการใช้อธิบายคุณภาพอากาศในอาคารได้เท่าที่ควร ได้แก่

- คาร์บอนมอนอกไซด์ ทำการตรวจวัดโรงพยาบาลละ 32 ค่าต่อวัน ในฤดูร้อน มีค่าต่ำสุด - สูงสุด เท่ากับ 0 - 0.91 ppm เฉลี่ย 0.009 (SD=0.06) ppm และฤดูฝน 0 - 4.42 ppm เฉลี่ย 0.061 (SD=0.35) ppm ซึ่งจะพบไม่แน่นอน โดยในฤดูฝนจะมีคาร์บอนมอนอกไซด์สูงมากกว่าในฤดูร้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.004$)
- สารอินทรีย์ระเหยง่าย ทำการตรวจวัด โรงพยาบาลละ 32 ค่าต่อวัน ในฤดูร้อน มีค่าต่ำสุด - สูงสุด เท่ากับ 0 - 0.85 ppm และฤดูฝน 0 - 8.06 ppm ซึ่งจะพบไม่แน่นอน โดยในฤดูฝนจะมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงกว่าในฤดูร้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) การตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยง่ายถือว่ามีปริมาณน้อยมาก ในงานวิจัยจะพบในอาคารหรือห้องที่มีการตกแต่งใหม่[6]

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศในแผนกผู้ป่วยนอก จากการศึกษาลักษณะกราฟ แสดงแนวโน้มตั้งแต่เวลาที่เริ่มตรวจวัดระหว่าง 07.00 - 15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาแห่งการให้บริการของแผนกผู้ป่วยนอก พบลักษณะกราฟที่มีแนวโน้มสัมพันธ์กัน สามารถพิจารณาการแก้ไขปัญหาคุณภาพอากาศที่ไม่เหมาะสมได้ในช่วงเวลาวิกฤติ พบว่า อุณหภูมิ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน ต่างกัน 6 องศาเซลเซียส โดยในช่วงเช้าจะอุณหภูมิต่ำสุด เริ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามเวลาของวัน และคงที่ช่วง 13.00 - 15.00 น. คืออุณหภูมิสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ มีการเปลี่ยนแปลงผกผันกับอุณหภูมิของวัน ต่างกันร้อยละ 30 โดยจะมีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในช่วงเช้า และลดลงเรื่อย ๆ ลงต่ำสุดที่ช่วงเวลาสุดท้ายของการตรวจวัด ทั้งสองตัวนี้มีลักษณะทำนองเดียวกับการตรวจวัดบรรยากาศทั่วไปโดยกรมอุตินิยมวิทยา ฉะนั้นการระบายอากาศที่เพียงพอจึงมีผลต่อการสะสมมลพิษภายในอาคาร(7) คาร์บอนไดออกไซด์ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน โดยมีลักษณะกราฟที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกับจำนวนผู้รับบริการ คือเริ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่เช้า และสูงสุดช่วง 10.00 - 11.00 น. จากนั้นจะเริ่มลดลงและต่ำสุดช่วงเวลาสุดท้ายของวัน สารอินทรีย์ระเหยง่าย อนุภาค PM 10 เชื้อแบคทีเรีย และเชื้อรา มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน โดยไม่มีลักษณะแนวโน้มให้เห็นชัดเจน แต่จะเห็นความแตกต่างจากค่าการตรวจวัด (ค่าเฉลี่ย) ของแต่ละโรงพยาบาล เช่น โรงพยาบาล 6 พบว่ามีค่าเฉลี่ยเชื้อราสูงสุด ขณะที่โรงพยาบาล 1 พบค่าเฉลี่ยเชื้อราต่ำสุด และ โรงพยาบาล 5 กับ 1 พบว่ามีเชื้อแบคทีเรียเฉลี่ยสูงกว่าโรงพยาบาลอื่น ๆ ขณะที่โรงพยาบาล 4 พบค่าเฉลี่ยแบคทีเรียต่ำสุด ที่ชัดเจนในช่วงฤดูฝน

ความเหมาะสมของคุณภาพอากาศในแผนกผู้ป่วยนอก จากผลการตรวจวัด 9 พารามิเตอร์ตลอดทั้งวัน จำนวน 2 วัน ในฤดูร้อนและฤดูฝน มีบางค่าที่ไม่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบกับข้อแนะนำ[8-9] (ASHRAE 55-1992) พบว่า อุณหภูมิไม่อยู่ในช่วงที่แนะนำ 23 - 26 องศาเซลเซียส ทุกค่าทั้ง 2 ฤดู ความชื้นสัมพัทธ์ ไม่อยู่ในช่วงที่แนะนำ 30 - 60 % ในฤดูร้อน จำนวน 76 ค่า คิดเป็นร้อยละ 19.8

ส่วนใหญ่เกิดในฤดูฝน จำนวน 243 ค่า คิดเป็นร้อยละ 63.3 ซึ่งเป็นไปตามธรรมชาติที่ช่วงฤดูฝนมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าฤดูร้อน คาร์บอนไดออกไซด์ไม่อยู่ในช่วงที่แนะนำ 1,000 ppm ในฤดูร้อน จำนวน 23 ค่า คิดเป็นร้อยละ 6.0 ฤดูฝน จำนวน 51 ค่า คิดเป็นร้อยละ 13.3 อนุภาค PM 10 ไม่อยู่ในช่วงที่แนะนำ 120 $\mu g/m^3$ ในฤดูร้อน จำนวน 12 ค่า คิดเป็นร้อยละ 3.1 ฤดูฝน จำนวน 89 ค่า คิดเป็นร้อยละ 23.2 เชื้อแบคทีเรีย ไม่อยู่ในช่วงที่แนะนำ< 500 CFU/m^3 (สถาบันสิ่งแวดล้อมของสิงคโปร์) ในฤดูร้อน จำนวน 35 ค่า คิดเป็นร้อยละ 97.2 ฤดูฝน จำนวน 32 ค่า คิดเป็นร้อยละ 44.4 และเชื้อรา ไม่อยู่ในช่วงที่แนะนำ< 500 CFU/m^3 ในฤดูร้อน จำนวน 8 ค่า คิดเป็นร้อยละ 22.2 ฤดูฝน จำนวน 58 ค่า คิดเป็นร้อยละ 80.6 ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของจังหวัดเชียงใหม่[10] แต่การศึกษาที่จังหวัดนครศรีธรรมราช[11] พบว่า ทั้งค่าแบคทีเรียและเชื้อรา จำนวน 78 ตัวอย่าง ไม่เกินจากค่าที่อ้างอิงเลย สูงสุดที่แผนกผู้ป่วยนอกค่าแบคทีเรียเท่ากับ 238 CFU/m^3 หากมีการจำแนกชนิดของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในการศึกษาโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่กรุงเทพมหานครและอุบลราชธานี[12-13] และการศึกษาในโรงพยาบาลชุมชน[14] พบเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus spp.* และเชื้อรา *Aspergillus spp.* มากที่สุด ข้อมูลการตรวจวัดเหล่านี้จะเป็นหลักฐานสำคัญให้โรงพยาบาลหลาย ๆ แห่งใช้ประกอบการพิจารณาในการปรับปรุงระบบระบายอากาศเพื่อลดการสะสมมลพิษ และเชื้อโรคอันไม่พึงประสงค์[4, 15-16] สำหรับคนทำงานในพื้นที่และผู้ที่มารอรับบริการ สรุปได้ว่า คาร์บอนไดออกไซด์ อนุภาคขนาดเล็กจะเพิ่มขึ้นและลดลงตามจำนวนคนมารับบริการในเวลาของวัน และช่วงเวลาที่มีค่ามลพิษเกินมาตรฐานคือช่วง 08.00 - 11.00 น. และมีความแตกต่างกันของ 2 ฤดูกาล โดยลักษณะของคุณภาพอากาศในแผนกผู้ป่วยนอกขึ้นกับจำนวนคนมารับบริการจากการบันทึกผลตลอดเวลาทำให้เห็นภาพกราฟปริมาณมลพิษที่สัมพันธ์กับเวลาและจำนวนผู้รับบริการ ควรจัดการระบายอากาศเพิ่มเติมเพื่อช่วยให้มลพิษในบรรยากาศลดลง ไม่เกินเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ในช่วงเวลา 08.00 - 11.00 น. โดยเฉพาะฤดูฝน ได้แก่ การติดตั้งระบบดูดอากาศออก (Syphon) จากกลางห้องที่ผู้รับบริการนั่งรอ

แนะนำการอ้างอิงสำหรับบทความนี้

กอบโชค วุฒิโชติวณิชย์กิจ, วินัย ทองชุบ, นิภาพร นองเทศ. ลักษณะคุณภาพอากาศต่างฤดูกาลของแผนกผู้ป่วยนอกในโรงพยาบาลเขตภาคเหนือตอนล่าง. วารสารสถาบันป้องกันควบคุมโรคเขตเมือง 2565; 7(2): หน้า 51-64.

Suggested citation for this article

Wuthichotwanichgij G, Thongchub W, Nongthed N. Seasonal nature of indoor air quality of outpatient department in lower northern Thailand. Institute for Urban Disease Control and Prevention Journal 2022; 7(2): page 51-64.

เอกสารอ้างอิง

1. สมชัย บวรกิตติ, บรรณาธิการ. ตำราเวชศาสตร์สิ่งแวดล้อม =Environmental Medicine. กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์; 2542.
2. นภดนัย อาชาคม. คุณภาพอากาศภายในอาคาร. สไลด์ประกอบการบรรยาย 59 หน้า. [อินเตอร์เน็ต]. [ม.ป.ป.] [เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://www.slideshare.net/ThitipornKlainil/1-7499580
3. สุพจน์ เดชะอำนวยวิทย์. การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคาร บทความวิชาการชุดที่ 14. สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย[อินเตอร์เน็ต]. [ม.ป.ป.] [เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://www.acat.or.th/download/acat_or_th/journal-14/14%20-%2009.pdf
4. กฤษณา กาทอง. คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร สำหรับเจ้าหน้าที่[อินเตอร์เน็ต]. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข; 2559 [เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://ghh.anamai.moph.go.th/storage/app/uploads/public/603/b5b/072/603b5b0720697166916487.pdf
5. Chaivisit P, Fontana A, Galindo S, Strub C, Choosong T, Kantachote D, et al. Airborne bacteria and fungi distribution characteristics in natural ventilation system of a university hospital in Thailand. EnvironmentAsia [Internet]. 2018 [cited 2022 Oct 6];11(2):53-66. Available from: http://tshe.org/ea/pdf/EA11(2)_05.pdf
6. Brown SK, Sim MR, Abramson MJ, Gray CN. Concentration of volatile organic compounds in Indoor air - A review. Indoor Air [Internet]. 1994 Jun [cited 2022 Oct 6];4(2):123-134. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0668.1994.t01-2-00007.x
7. นินนาท ราชประดิษฐ์, จุฑาวัชร สุวรรณภพ, นฤพล สร้อยวัน. การศึกษาผลกระทบของรูปแบบการระบายอากาศที่มีต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในสำนักงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน. Naresuan University Journal. 2013; Special Issue:17-23.
8. United States Environmental Protection Agency [Internet]. US: 2016. Particulate Matter (PM) Standards -Table of Historical PM NAAQS; 2016 [cited 2022 Sep 1]; [about 1 screens]. Available from: http://www3.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/s_pm_history.html
9. Nathanson T. Indoor air quality in office buildings: A technical guide. Canada: Minister of National Health and Welfare; 1995.

10. พรชรัฐ สายยุทธ, กัลยา หาญพิชาญชัย, จินดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย. ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศและคุณภาพอากาศในอาคารของโรงพยาบาล : กรณีศึกษาโรงพยาบาลนครพิงค์ จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิชาการสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดนครราชสีมา [อินเทอร์เน็ต];26(1):14-24. เข้าถึงได้จาก: https://he02.tci-thaijo.org/index.php/ODPC9/article/view/239237
11. ปานทิพย์ ธิโนชัย, มนทิรา เตี้ยเล็ก, จิรา คงปราณ. คุณภาพอากาศภายในอาคารโรงพยาบาล: กรณีศึกษา โรงพยาบาลชุมชนแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารวิชาการสาธารณสุข. 2562;28(2):325-33.
12. สุวัฒน์ ดำนิล. การสำรวจระดับความเข้มข้นและการจำแนกชนิดของแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศภายในอาคารของโรงพยาบาลศิริราช [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล; 2552.
13. ก้องนภา อุทังสังข์, กาญจนา นาถะพินธุ. ชนิดและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ แผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลสรรพสิทธิประสงค์ จังหวัดอุบลราชธานี. วารสารสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 7 ขอนแก่น. 2561;25(2):14-21.
14. ศิริพร ศรีเทวิณ, กาญจนา นาถะพินธุ. การปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในบรรยากาศในโรงพยาบาลขนาดที่แตกต่างกัน. วารสารวิจัย มข.(บศ.). 2555;12(1):92-101.
15. Leung M, Chan AHS. Control and management of hospital indoor air quality. Med Sci Monit. 2006;12(3):SR17-23.
16. บุญพงษ์ กิจวัฒนาชัย. EIT Article: no.010 อาคารสาธารณะ และอาคารทั่วไปควรใช้กับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์หรือแบบแยกส่วน เพื่อความปลอดภัยจาก “การแพร่กระจายทางอากาศ (Airborne)” หรือ การติดเชื้อโควิด 19 [อินเตอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: EIT; 2563 [เข้าถึงเมื่อ 5 กันยายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://eit.or.th/advertise/new/11-8-64airbone.pdf