การประเมินปริมาณและชนิดของแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล

รจฤดี โชติกาวินทร์ (ปร.ด.)[1], นริศรา จันทรประเทศ (สด.)[2] ภารดี อาษา (ปร.ด.)[1]
และทิษฏยา เสมาเงิน (ปร.ด.)[3]

[1]คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี
[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครสวรรค์
[3]คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

บทคัดย่อ

บทนำ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล มีผู้เข้าใช้บริการจำนวนมาก ระบบปรับอากาศภายในอาคารหากบำรุงรักษาไม่ได้มาตรฐานเพียงพอ อาจก่อให้เกิดปัญหาการแพร่กระจายของแบคทีเรียในอากาศภายในอาคารและก่อให้เกิดโรคกับผู้เข้ารับบริการได้

วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินปริมาณและชนิดของแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล

วิธีการศึกษา การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง (cross-sectional descriptive study) โดยเก็บตัวอย่างอากาศช่วงฤดูฝนในห้องตรวจรักษา จังหวัดนครสวรรค์ จำนวน 30 แห่ง รวม 630 ตัวอย่าง ทำการเก็บตัวอย่างแบคทีเรียด้วยเครื่องแอนเดอร์เซน อิมแพคเตอร์ ชนิดชั้นเดียว คุณภาพอากาศด้านกายภาพและเคมีตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือชนิดอ่านค่าได้ทันที วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน

ผลการศึกษา ชนิดของแบคทีเรียที่พบมากในการศึกษาครั้งนี้มี 3 ชนิด ได้แก่ *Staphylococcus*, *Corynebacterium*, *Streptococcus* และปริมาณแบคทีเรียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 583.19±304.36 CFU/m^3 ซึ่งเกินค่าแนะนำของสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย (ไม่เกิน 500 CFU/m^3) และองค์การอนามัยโลก (ไม่เกิน 100 CFU/m^3) โดยปริมาณแบคทีเรียขณะให้บริการ (828.86±375.01 CFU/m^3) มีปริมาณแบคทีเรียสูงกว่าก่อนให้บริการ (409.61±122.20 CFU/m^3) และหลังให้บริการ (511.09±164.78 CFU/m^3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในห้องตรวจรักษาที่มีอุณหภูมิ (>26°C) การเคลื่อนที่อากาศ (>0.30 m/s) และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (>1,000 ppm) เกินข้อแนะนำของสำนักอนามัย จะมีปริมาณแบคทีเรียสูงกว่าที่ได้ตามข้อแนะนำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และค่าสัดส่วนของ I/O มีค่าสูงถึง 16 เท่า แสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลมาจากแหล่งกำเนิดภายในอาคาร

สรุป พบปริมาณแบคทีเรียภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จังหวัดนครสวรรค์ เกินค่าแนะนำของสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย (ไม่เกิน 500 CFU/m^3) และองค์การอนามัยโลก (ไม่เกิน 100 CFU/m^3) และแหล่งกำเนิดแบคทีเรียมาจากภายในอาคาร

คำสำคัญ แบคทีเรียในอากาศ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล คุณภาพอากาศในอาคาร

ผู้นิพนธ์ที่รับผิดชอบ ทิษฏยา เสมาเงิน
คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย
E-mail: tistaya@go.buu.ac.th

วันที่รับบทความ : สิงหาคม 2562 **วันที่ตอบรับบทความ : พฤศจิกายน 2562**

Assessment of airborne bacteria concentration and type in health promoting hospitals

Rotruedee Chotigawin (Ph.D.)[1]. Narissara Chantaraprathet (Dr.PH.) [2], Paradee Asa (Ph.D.)[1], Tistaya Semangoen, (Ph.D.)[3]

[1]Faculty of Public Health, Burapha University, Chonburi
[2]Faculty of Science and Technolgy, Nakorn Sawan Rajabhat University, Nakorn Sawan
[3]Faculty of Allied Health Sciences, Burapha University, Chonburi

Abstract

Introduction A lot of people come to the health promoting hospitals. Inadequate of indoor air conditioner maintenance can also spread air-borne bacteria and cause diseases.

Objective To assess air quality in Health Promoting Hospitals – i.e., the physical and chemical concentration of bacteria.

Methods This cross-sectional descriptive study and data collection was conducted during the rainy season in the examining wards of 30 health promoting hospitals located in Nakhonsawan province, Thailand. In total 630 samples were assessed. The airborne bacteria were collected using a single-stage Andersen impactor. The physical and chemical air quality was assessed by direct readings of assessment equipment. The collected data was analyzed by descriptive and inferential statistical analysis.

Results The findings revealed that the three top types of bacteria were *Staphylococcus*, *Corynebacterium*, *and Streptococcus,* respectively, and the average bacteria concentration were 583.19±304.36 CFU/m^3 – which exceeds the standard suggested by both the Office of Health, Department of Health (<500 CFU/m^3) and WHO (<100 CFU/m^3). The amount of bacteria was assessed before, during and after service. During service was 409.61±122.20 CFU/m^3, which was higher than the prior service (409.61±122.20 CFU/m^3). After service (511.09±164.78 CFU/m^3) showed a statistically significant difference ($p<0.05$). In addition, the bacteria quantity at room temperature (>26°C), air movement (>0.30 m/s), and carbon dioxide (>1000 ppm) levels were found to exceed the conventional standard established by the Office of Health, Department of Health, with a statistically significant difference ($p<0.05$). Finally, the I/O ratio rose as high as 16 times, indicating that the substantial source of bacteria of the subjects hospitals were reportedly indoor.

Conclusion The average bacteria concentration in health promoting hospitals located in Nakhonsawan province exceeds the standards suggested by both the Office of Health,

Department of Health (<500 CFU/m^3) and WHO (<100 CFU/m^3). The substantial source of bacteria was derived from indoors.

Keywords Airborne bacteria, Health Promoting Hospitals, Indoor air quality

Corresponding author Tistaya Semangoen
Faculty of Allied Health Sciences,
Burapha University, Chonburi, Thailand
E-mail: tistaya@go.buu.ac.th

Revised Date : August 2019 **Accepted Date : November 2019**

การอ้างอิง
รจฤดี โชติกาวินทร์, นริศรา จันทรประเทศ, ภารดี อาษา, ทิษฎยา เสมาเงิน. การประเมินปริมาณและชนิดของแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล. บูรพาเวชสาร. 2563; 7(1): 47-62.

Citation
Chotigawin R, Chantaraprathet N, Asa P, Semangoen T. Assessment of airborne bacteria concentration and type in health promoting hospitals. BJM. 2020; 7(1): 47-62.

บทนำ

โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเป็นสถานพยาบาลที่เป็นที่พึ่งของประชาชนในชุมชน แต่ละแห่งรับผิดชอบประชาชนไม่น้อยกว่า 3,000 คน ซึ่งในแต่ละวัน จะมีประชาชนไปใช้บริการที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จำนวนไม่น้อยกว่า 30 คนต่อวัน กลุ่มผู้ไปใช้บริการมีทั้งผู้ที่เจ็บป่วยและผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อได้ง่าย เช่น หญิงตั้งครรภ์ เด็กก่อนวัยเรียนเป็นต้น โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลได้รับการยกฐานะจากสถานีอนามัย หรือศูนย์สุขภาพชุมชนให้เป็นโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ในปี 2552[6] จากการยกระดับจากสถานีอนามัยมาเป็นโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลนี้เอง ทำให้ประชาชนเข้ามารับบริการเพิ่มมากขึ้น การไปโรงพยาบาลแต่ละครั้งเป็นการเพิ่มโอกาสเสี่ยงต่อการรับเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยของต่างประเทศและภายในประเทศ พบว่ากลุ่มของแบคทีเรียที่พบมากในโรงพยาบาล คือ *Staphylococcus spp., Micrococcus spp*., *Corynebacterium spp.* และ *Bacillus spp*[1-4] และพบปริมาณมากถึง 720 CFU/m^3 [5] ผนวกกับประเทศไทยมีภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น ทำให้โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล มีการติดตั้งระบบปรับอากาศมากขึ้น หากการใช้งานและบำรุงรักษาระบบปรับอากาศในอาคารไม่ได้มาตรฐานหรือไม่ถูกต้อง อาจก่อให้เกิดปัญหาการแพร่กระจายของแบคทีเรียในอากาศภายในอาคารได้[7-8] โดยแบคทีเรียในอากาศจะอาศัยอยู่กับฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ล่องลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน 3-4 วันหรืออาจอยู่ได้นานเป็นเดือน ด้วยการกระจายในลักษณะเป็นละอองเล็ก ๆ ลอยไปในอากาศ ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้มาจากผู้ป่วยและสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ

สำหรับการติดเชื้อจากแบคทีเรียสามารถติดต่อได้ทั้งจากการสัมผัสโดยตรงจากแหล่งที่ติดเชื้อหรือจากการหายใจสูดอากาศที่มีแบคทีเรียเข้าสู่ร่างกาย เมื่อผู้ป่วยสูดหายใจเอาแบคทีเรียเข้าไปหรือแบคทีเรียตกในบาดแผลก็จะทำให้เกิดโรคแทรกซ้อนเพิ่มเติมจากโรคเดิมของผู้ป่วย ผู้ป่วยที่ติดเชื้อแทรกซ้อนหลายโรคจะมีอัตราการเสียชีวิตมากขึ้น และมีผลทำให้โรคเดิมของผู้ป่วยหายช้าลงหรือทำให้ผลการรักษาไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้ยังเพิ่มโอกาสเสี่ยงต่อผู้ให้บริการในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลด้วย[9-11]

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจประเมินปริมาณและชนิดของแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล และคุณภาพอากาศด้านกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การเคลื่อนที่อากาศ และด้านเคมี ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลที่ได้เป็นข้อมูลในการหาแนวทางในการควบคุมป้องกัน เฝ้าระวังและลดความเสี่ยงในการได้รับแบคทีเรียในอากาศ อันนำไปสู่คุณภาพชีวิตที่ดีและปลอดภัยของผู้ใช้บริการและเจ้าหน้าที่ที่ทำงานในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินปริมาณและชนิดของแบคทีเรียในอากาศภายใน และภายนอกโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล
2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จำแนกตามช่วงเวลาที่ให้บริการและตามคุณภาพอากาศด้านกายภาพและด้านเคมี

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง (cross-sectional descriptive study) โดยเก็บตัวอย่างอากาศจากโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลขนาดกลาง และขนาดใหญ่ในจังหวัดนครสวรรค์ที่มีห้องตรวจรักษา ซึ่งเป็นห้องระบบปิดมีการเปิดเครื่องปรับอากาศ โดยใช้การสุ่มอย่างง่ายได้ทั้งหมดรวม 30 แห่ง ทำการเก็บตัวอย่างอากาศภายในอาคารโรงพยาบาลละ 18 ตัวอย่าง (มาจากการเก็บ

ตัวอย่างห้องตรวจรักษา 1 ห้อง ภายในห้องทำการเก็บตัวอย่าง จำนวน 2 จุด ต่อห้อง จุดละ 3 ซ้ำ และทำการเก็บตัวอย่าง 3 ช่วงเวลา) ตัวอย่างและภายนอกอาคารโรงพยาบาลละ 3 ตัวอย่าง รวม 90 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 630 ตัวอย่าง ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝน คือ ช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนมิถุนายน 2560 เพราะเป็นช่วงที่มีผู้มาใช้บริการโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลค่อนข้างมากกว่าฤดูกาลอื่น และมีการเจ็บป่วยและเป็นไข้หวัด มีการไอ จาม ซึ่งสามารถส่งผลให้ปริมาณแบคทีเรียในอากาศ

เก็บตัวอย่างแบคทีเรียในอากาศ ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างแบคทีเรียในอากาศ แอนเดอร์เซน อิมแพคเตอร์ ชนิดชั้นเดียวซึ่งใช้หลักการเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศตามวิธีมาตรฐานของ National Institute for Occupational Safety and Health (สถาบันอาชีวอนามัย และความปลอดภัยแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา) ตามวิธี NIOSH method 0800[12] ที่อัตราการดูดอากาศ 28.3 ลิตรต่อนาที (ยี่ห้อ SKC รุ่น Quick30 ซึ่งปั๊มเก็บตัวอย่างทำการปรับเทียบอัตราการดูดอากาศกับเครื่องมือชนิด primary standard ทุกครั้งก่อนนำมาใช้งาน) เป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาที จำนวน 1 ห้อง ได้แก่ ห้องตรวจรักษา โดยทำการเก็บตัวอย่าง จำนวน 2 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 เป็นตัวแทนของกิจกรรมการตรวจรักษา และจุดที่ 2 เป็นตัวแทนของกิจกรรมการทำแผล โดยแต่ละจุดเก็บตัวอย่างสูงจากพื้น 1.5 เมตร และมีระยะห่างจากมุมห้อง หน้าต่าง กำแพง ฉากกั้นห้อง ตู้เอกสาร อย่างน้อย 0.5 เมตร และมีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแบคทีเรียอย่างน้อย 1 เมตร[13] เก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ ในเวลาต่อเนื่องกันพร้อมทั้งตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide (CO_2) Meter, Testo รุ่น 535) ตรวจวัดการเคลื่อนที่อากาศและอุณหภูมิ (anemometer, Taste รุ่น 425) และตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ (Thermohygrometer, Rotronic HygroPalm รุ่น HP21) โดยเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างทางกายภาพและเคมี ได้มีการปรับเทียบก่อนนำมาใช้งานแล้ว ขณะที่เก็บตัวอย่างแบคทีเรียในอากาศแต่ละครั้งทำการเก็บตัวอย่าง 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงที่ 1 เวลาก่อนการให้บริการ (08.00-09.00 น.) ช่วงที่ 2 เวลาขณะให้บริการซึ่งเป็นช่วงที่มีผู้มาใช้บริการ (10.00-11.00 น.) ช่วงที่ 3 เวลาหลังการให้บริการ (12.00-13.00 น.) และทำการเก็บตัวอย่างแบคทีเรียในอากาศภายนอกอาคารด้วยวิธีการเดียวกับภายในอาคาร โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศสูงจากพื้น 1.5 เมตร และห่างจากกันสาดหรือสิ่งกีดขวางของตัวอาคารโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล 10 เมตร[13] จำนวน 1 จุด 3 ซ้ำ

การเก็บตัวอย่างแบคทีเรียใช้อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Tryptic soy agar (TSA) และนำอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการเก็บตัวอย่างแล้ว เข้าตู้บ่มที่อุณหภูมิ 35-37°C นาน 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียทั้งหมดและแยกพิสูจน์เชื้อตามวิธีของ American Society for Microbiology และ Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology[14] ที่ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม และบันทึกผลในแบบบันทึกที่นักวิจัยสร้างขึ้นเอง จากนั้นนำแบคทีเรียไปทำลาย โดยการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 ปอนด์/ ตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที[15]

การวิเคราะห์ผล ปริมาณแบคทีเรียในอากาศ ค่าสถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน รายงานผลเป็น Colony Forming Unit per cubic meter (CFU/m^3) อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การเคลื่อนที่อากาศ และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าสถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ เปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียจำแนกตามช่วงเวลา ความชื้นสัมพัทธ์ และการเคลื่อนที่อากาศ โดยใช้สถิติ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และทดสอบความแตกต่างรายคู่ ด้วยวิธีการของ Least Significant Difference (LSD) และการเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียในอากาศจำแนกตาม

อุณหภูมิ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยการทดสอบค่าที (Independent Simples t-test)

ผลการวิจัย

1. ปริมาณและชนิดของแบคทีเรียในอากาศภายในอาคารและภายนอกอาคาร

ปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ในจังหวัดนครสวรรค์ จำนวน 30 แห่ง พบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 583.19±304.36 CFU/m^3 โดยปริมาณแบคทีเรียช่วงเวลา ให้บริการ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 828.86±375.01 CFU/m^3) มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า ช่วงเวลาหลังให้บริการ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 511.09±164.78 CFU/m^3) และช่วงเวลาก่อนให้บริการ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 409.61±122.20 CFU/m^3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 1 และตารางที่ 2)

เมื่อจำแนกปริมาณแบคทีเรียตามแต่ละโรงพยาบาล พบว่า ส่วนใหญ่ปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลในช่วงเวลาขณะให้บริการมีค่าสูงเกินกว่าค่าแนะนำของสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม ถึงร้อยละ 76.67 (23 จาก 30 แห่ง) แต่เมื่อพิจารณาตามข้อแนะนำขององค์การอนามัยโลก พบว่า ทุกช่วงเวลาและทุกโรงพยาบาลมีค่าเฉลี่ยแบคทีเรียเกินค่าแนะนำ (รูปที่ 1)

ชนิดของแบคทีเรียในภาพรวมส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียแกรมบวกสูงถึง ร้อยละ 99.87 (รูปที่ 2) โดยชนิดที่พบมากที่สุด ได้แก่ *Staphylococcus* (ร้อยละ 87.67) (รูปที่ 3)

สำหรับปริมาณแบคทีเรียภายนอกอาคาร พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.31±23.03 CFU/m^3 (ตารางที่ 1) เมื่อนำมาคิดสัดส่วนปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในอาคารต่อภายนอกอาคาร (I/O) พบว่ามีค่ามากกว่า 1 อย่างมาก โดยค่า I/O มีค่าสูงถึง 16.06 แสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดของแบคทีเรียส่วนใหญ่มาจากภายในอาคาร ซึ่งองค์กรนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมภาครัฐแห่งประเทศอเมริกา (American Conference of Governmental Industrial Hygienists :ACGIH)[16] ได้แนะนำว่า ค่าปกติ ควรจะอยู่ที่ 0.3-0.8

2. คุณภาพอากาศด้านกายภาพและเคมีภายในอาคารและภายนอกอาคาร

ในขณะเก็บตัวอย่างแบคทีเรียได้ดำเนินการตรวจวัดคุณภาพอากาศด้านกายภาพภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ พบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 27.34±1.49°C ซึ่งสูงกว่าค่าแนะนำของสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม (24-26°C) การเคลื่อนที่อากาศมีค่าเฉลี่ย 0.43±0.25 m/s ซึ่งสูงกว่าค่าแนะนำของสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม (0.10–0.30 m/s) ส่วนความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 56.91+9.08 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าแนะนำของสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม (ร้อยละ 50-65) และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกช่วงเวลา ค่าเฉลี่ยคุณภาพอากาศด้านกายภาพเหล่านี้ ภายนอกอาคารมีค่าสูงกว่าภายในอาคารอย่างชัดเจน สำหรับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กลับพบผลการตรวจวัดตรงกันข้ามนั่นคือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารมีค่าสูงกว่าภายนอกอาคาร เมื่อพิจารณาจำแนกตามช่วงเวลา พบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงขณะให้บริการมีค่าสูงกว่าช่วงอื่น ๆ ดังตารางที่ 1

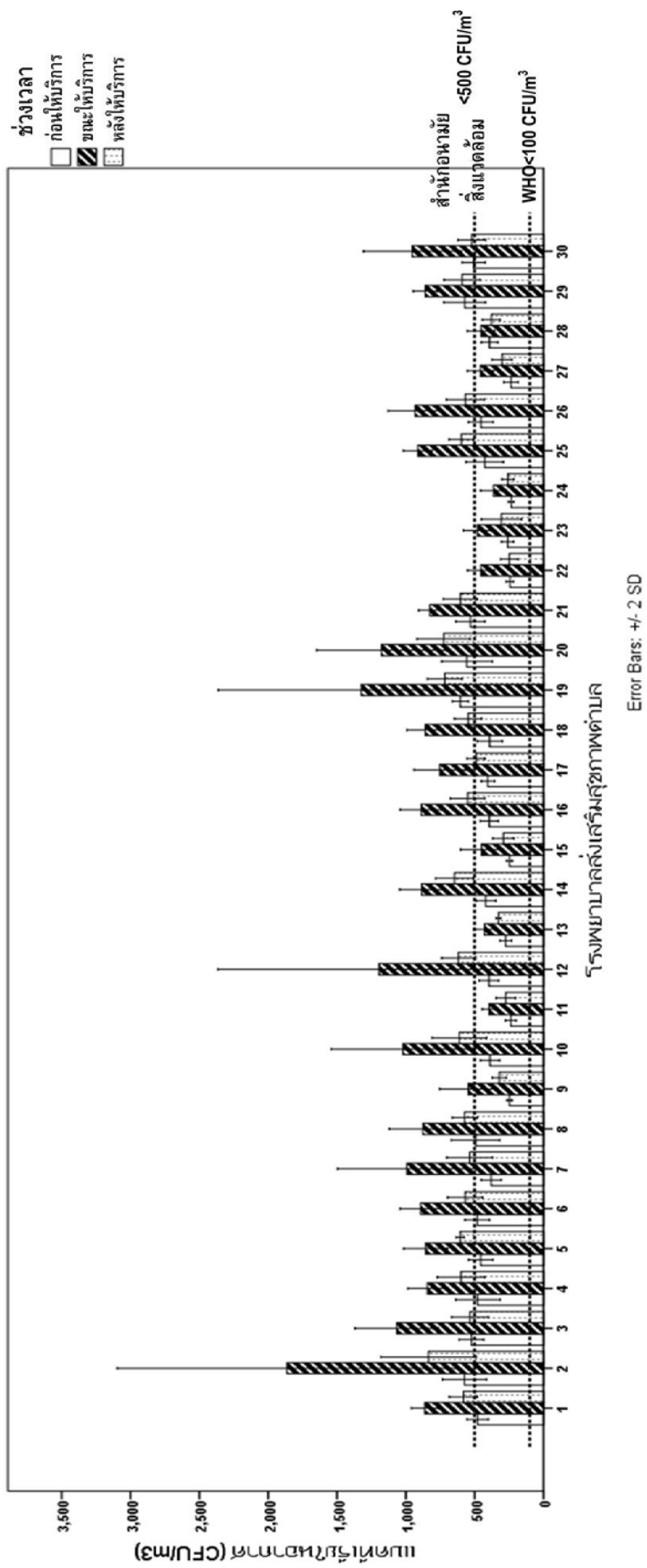
ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณแบคทีเรียในอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การเคลื่อนที่อากาศ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในและภายนอกโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ ตำบลในจังหวัดนครสวรรค์ จำแนกตามช่วงเวลา

พารามิเตอร์	ภายนอกอาคาร(n=90)	ภายในอาคาร(n=540)	ช่วงเวลา			ค่าแนะนำ*
			ก่อนให้บริการ	ขณะให้บริการ	หลังให้บริการ	
ปริมาณแบคทีเรีย (CFU/m^3)	36.31±23.03	583.19±304.36	409.61±122.20	828.86±375.01	511.09±164.78	<500
อุณหภูมิ (°C)	34.38±1.83	27.34±1.49	26.26±0.73	28.61±1.51	27.14±1.01	24-26
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	61.01±8.83	56.91±9.08	58.41±8.26	56.27±9.88	56.07±8.89	50-65
การเคลื่อนที่อากาศ (m/s)	0.91±0.28	0.43±0.25	0.36±0.24	0.56±0.26	0.39±0.20	0.10–0.30
คาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	359.60±39.04	543.79±236.67	437.12±113.33	637.84±301.99	556.41±210.05	<1,000

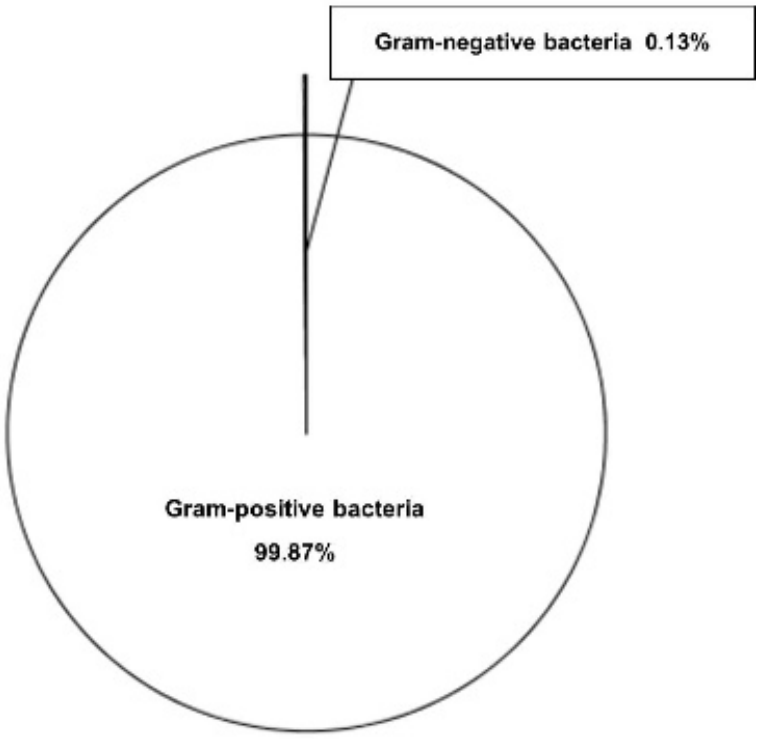
*สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม (2556)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลจำแนกตามความช่วง

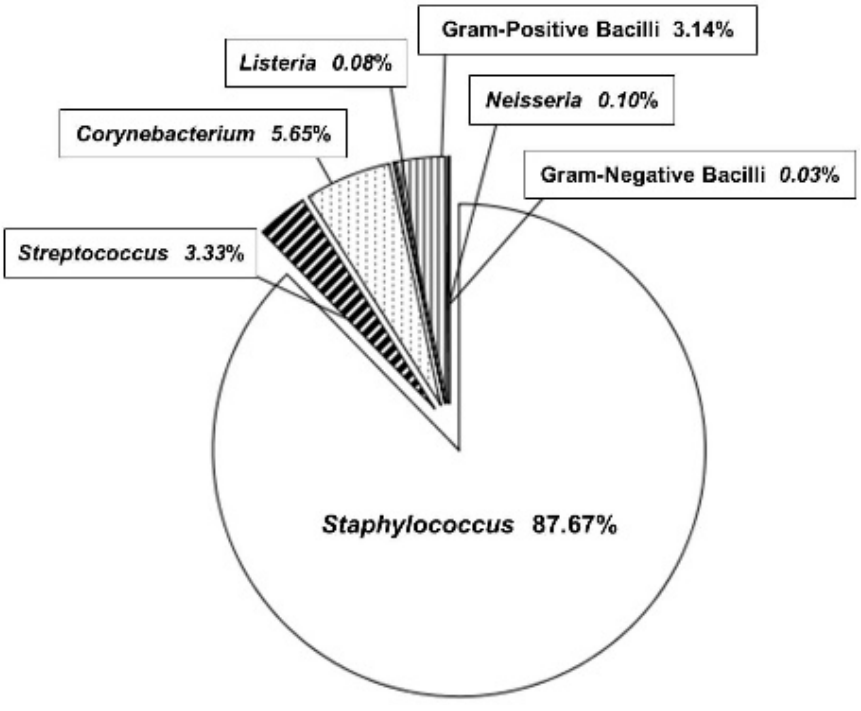
ช่วงเวลา	n	แบคทีเรีย (CFU/m^3) $\bar{X}$ ± SD	F	*p*-value	การทดสอบรายคู่: *p*-value
ค่าเฉลี่ย	540	583.19+304.36			
ก่อนให้บริการ (A)	180	409.61±122.20	141.387	0.001	A-B : 0.001
ขณะให้บริการ (B)	180	828.86±375.01			A-C : 0.001
หลังให้บริการ (C)	180	511.09±164.78			B-C : 0.001



รูปที่ 1 ปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จำแนกตามช่วงเวลา



รูปที่ 3 ร้อยละของแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบที่พบภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล



รูปที่ 4 ร้อยละของชนิดแบคทีเรียที่พบภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล

3. การเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลจำแนกตามคุณภาพอากาศด้านกายภาพและเคมี

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลจำแนกตามคุณภาพอากาศด้านกายภาพและเคมี พบว่า ที่อุณหภูมิสูงกว่า 26°C ค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียมีค่าสูงกว่าช่วงที่อุณหภูมิระหว่าง 24 - 26°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.001) และพบว่า ในช่วงที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า 1,000 ppm ค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียมีค่าสูงกว่าช่วงที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า 1,000 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.001) เช่นกัน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จำแนกตามอุณหภูมิ และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

พารามิเตอร์	*n*	*X*	S.D.	t	F	*p-value*
อุณหภูมิ						
24 - 26°C	136	467.28	179.125	-6.922	25.135	0.001
> 26°C	404	622.21	327.240			
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์						
≤ 1,000 ppm	507	557.17	259.61	-4.30	41.71	0.001
> 1,000 ppm	33	982.98	564.83			

p-value <0.05

สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า ที่ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า ร้อยละ 50 ค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรีย มีค่าสูงกว่าช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 65 และระหว่างร้อยละ 50-65 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.001) ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 50-60 และ ที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 65 ค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4 ส่วนการเคลื่อนที่อากาศ พบว่า การเคลื่อนที่อากาศต่างกันค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จำแนกตามความชื้นสัมพัทธ์และการเคลื่อนที่อากาศ

พารามิเตอร์	n	แบคทีเรีย (CFU/m^3) $\bar{X}$ + SD	F	*p-value*	การทดสอบรายคู่: *p-value*
ความชื้นสัมพัทธ์					
ค่าเฉลี่ย	540	583.19+304.36			
<50% (A)	104	715.42±324.46	13.412	0.001	A-B : 0.001
50-65% (B)	356	543.68±307.12			A-C : 0.004
>65% (C)	80	587.10±202.07			B-C :0.239
การเคลื่อนที่อากาศ					
ค่าเฉลี่ย	540	583.19±304.36			
<0.10 m/s	3	503.00±42.58	2.168	0.115	
0.10-0.30 m/s	183	546.61±282.85			
>0.30 m/s	354	602.78±314.73			

p-value <0.05

วิจารณ์

จากการตรวจวัดปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายห้องตรวจรักษาภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล พบว่า ค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียเท่ากับ 583.19 CFU/m^3 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าแนะนำขององค์การอนามัยโลก[17] (<100 CFU/m^3) ถึง 5 เท่า แต่หากพิจารณาตามค่าแนะนำของประเทศไทยและประเทศสิงคโปร์ (กำหนดให้ < 500 CFU/m^3) พบว่าในภาพรวมมีค่าสูงเกินค่าแนะนำ แต่เมื่อจำแนกตามแต่ละโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล มีจำนวนโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลถึง 21 แห่งใน 30 แห่ง (ร้อยละ 70) มีค่าเฉลี่ยแบคทีเรียสูงกว่าค่าแนะนำ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของห้องตรวจรักษาภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทั้งหมดเป็นระบบปิด มีการเปิดเครื่องปรับอากาศอย่างต่อเนื่อง บางแห่งไม่มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศจึงทำให้มีการระบายอากาศได้น้อย ประกอบกับภายในห้องตรวจรักษาแบคทีเรียมาจากสภาพแวดล้อมและกิจกรรมภายในห้อง ได้แก่ การแพร่กระจายผ่านเครื่องปรับอากาศ ขยะติดเชื้อ กิจกรรมการรักษา ทำแผล การพูดคุย ไอ จาม จากผู้มาใช้บริการและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน[18-19]

เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของแบคทีเรียในอากาศที่พบในอาคารและนอกอาคาร พบว่า ปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคารถึง 16 เท่า เนื่องมาจากแหล่งกำเนิดของแบคทีเรียในอากาศมาจากภายในอาคาร ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างเป็นฤดูฝนจึงทำให้พบปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายนอกอาคารมีปริมาณน้อย แบคทีเรียจะอาศัยอยู่ในฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ล่องลอยอยู่ในอากาศ เมื่อฝนตกทำให้น้ำฝนชะล้างฝุ่นละอองที่แขวนลอย/ ล่องลอยอยู่ในอากาศเหล่านี้ตกลงสู่พื้นดิน ทำให้อากาศสะอาด[11]

ช่วงเวลาขณะให้บริการเป็นช่วงเวลาที่มีปริมาณแบคทีเรียสูงกว่าช่วงอื่น ๆ เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีผู้มาใช้บริการจำนวนมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Obbard และ Fang ปี 2003[20] ที่พบว่าจำนวนคนมีความสัมพันธ์กับปริมาณแบคทีเรีย (R^2 = 0.714) อีกทั้งช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นช่วงฤดูฝน จึงมีผู้มาใช้บริการมากขึ้น เนื่องจากบางคนมีการเจ็บป่วยและเป็นไข้หวัด มีการไอ จาม ซึ่งสามารถส่งผลให้ปริมาณแบคทีเรียในอากาศเพิ่มขึ้นได้[5, 21] เพราะการจามของผู้ป่วยหนึ่งครั้งสามารถปล่อยอนุภาคออกมาได้มากกว่า 100,000 อนุภาค มีขนาด 10-100 ไมครอน ซึ่งจะพุ่งออกมาด้วยความเร็ว 100 m/s และแห้งได้อย่างรวดเร็วจนมีขนาดเพียง 1-4 ไมครอน ซึ่งเป็นขนาดที่สามารถเข้าถึงปอดได้ ขณะที่การไอแต่ละครั้งจะเกิดการแพร่กระจายของอนุภาคได้มากกว่า 1,000 อนุภาค แม้ว่าการไอจะก่อให้เกิดอนุภาคน้อยกว่าการจามก็ตาม แต่ความถี่ของการไอก็สูงกว่าการจามถึง 10 เท่า โดยในหนึ่งชั่วโมง ผู้ป่วยวัณโรคสามารถแพร่กระจายเชื้อได้ 1-249 อนุภาค โดยเชื้อวัณโรคจำนวน 1-10 อนุภาค อาจก่อให้เกิดการติดเชื้อได้ ผู้ป่วยโรคหวัดแพร่กระจายเชื้อได้ 6,200 อนุภาค และผู้ป่วยโรคหัดแพร่กระจายเชื้อได้ 5,480 อนุภาค ขณะที่เชื้อ Rhinovirus 200 อนุภาค อาจทำให้เกิดโรคหวัดขึ้นได้[9] นอกจากปริมาณแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นจากจำนวนคนแล้ว อีกสาเหตุหนึ่งยังมาจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงเพิ่มขึ้นกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ ซึ่งก๊าซชนิดนี้เป็นแหล่งคาร์บอนที่แบคทีเรียใช้เป็นสารอาหารในการมีชีวิต และการเจริญเติบโต[22]

ชนิดของแบคทีเรียที่พบส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียแกรมบวก สอดคล้องกับการศึกษาของ Sandra และคณะ[23] ที่พบแบคทีเรียแกรมบวกรูปกลมมากภายในอาคาร ซึ่งแบคทีเรียชนิดแกรมบวกมักทำให้เกิดโรคติดเชื้อเป็นหนองที่ผิวหนัง โรคทางเดินหายใจส่วนต้น ได้แก่ จมูก และลำคอ และปอดบวม ซึ่งชนิดของแบคทีเรีย แกรมบวกที่พบมากที่สุดในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ชนิด *Staphylococcus spp.* รองลงมาคือ *Corynebacterium spp* สอดคล้องกับการศึกษาของ Chuaybamroong et al., 2008 และกฤษณียา

ศังขจันทรานนท์ และคณะ, 2549[3,8] ที่พบแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus spp*. และ *Corynebacterium spp*. มากที่สุดในโรงพยาบาล โดยแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus spp.* พบได้ทั่วไปในบริเวณทางเดินหายใจส่วนต้น โพรงจมูก คอ ผิวหนัง และเล็บในมนุษย์[24] หรือตามเสื้อผ้าสิ่งของต่าง ๆ เป็นเชื้อที่สามารถปนเปื้อนจากบุคคลหนึ่งไปยังบุคคลหนึ่งได้โดยการสัมผัสโดยตรงหรือทางอากาศ โรคที่เกิดจากการติดเชื้อ *Staphylococcus spp.* เช่น การเกิดฝีหนอง การติดเชื้อที่บาดแผล แผลพุพอง ติดเชื้อที่ระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น[25] แหล่งของ *Staphylococcus* ในอาคารมาจากผู้ป่วย บุคลากรทางการแพทย์ ญาติผู้ป่วย และผู้มาเยี่ยม[26] ขณะที่ *Corynebacterium spp*. เป็นแบคทีเรียประจำถิ่นบริเวณผิวหนังและเยื่อเมือกของคน[22] นอกจากนี้แบคทีเรียชนิดนี้ยังสามารถพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ เช่น ในดิน น้ำ[1-2]

การตรวจวัดคุณภาพอากาศด้านกายภาพภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการเคลื่อนที่อากาศ พบว่า อุณหภูมิในภาพรวมมีค่าเฉลี่ยเกินค่าแนะนำของสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม 2556[27] เนื่องมาจากห้องตรวจรักษามีผู้มาใช้บริการอย่างต่อเนื่องทำให้มีการเปิดประตูเข้า-ออก ส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นได้ การที่อุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนแบคทีเรีย โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มมีโซไฟล์ที่เป็นแบคทีเรียก่อโรค[22] การที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นนอกจากจะทำให้จำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้นแล้วยังทำให้คนที่อยู่บริเวณนั้นรู้สึกอึดอัด มีอาการปวดศีรษะและเมื่อยล้า[28-29] ดังนั้น ผู้ปฏิบัติงานจึงมักนิยมทำการเปิดพัดลมเพดานและพัดลมติดผนังร่วมด้วยเพื่อช่วยให้ภายในห้องรู้สึกเย็นสบายขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการกระทำดังกล่าวแม้จะเป็นการช่วยลดอุณหภูมิลงได้ แต่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่อากาศภายในห้อง ทำให้มีค่าเฉลี่ยเกินค่าแนะนำของสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม 2556 ส่วนความชื้นสัมพัทธ์มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรียเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการสูญเสียน้ำในเซลล์ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแบคทีเรีย[25] สอดคล้องกับผลการวิจัยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียในอากาศ พบว่าช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 50 มีปริมาณแบคทีเรียในอากาศสูงกว่าช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 50-65

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดจากการหายใจของสิ่งมีชีวิต หรือการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของสารประกอบอินทรีย์[30] ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่พบภายในห้องตรวจรักษาในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล สูงที่สุดคือช่วงขณะให้บริการเนื่องมาจากช่วงเวลาที่มีการให้บริการมีผู้มาใช้บริการทั้งผู้ป่วย ญาติผู้ป่วย รวมทั้งบุคลากรทางการแพทย์ด้วย ผนวกกับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ส่วนใหญ่ที่ทำการศึกษาไม่มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ จำนวนคนจึงเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องตรวจรักษาโดยตรง[31] การที่ปริมาณแบคทีเรียสูงสามารถมาจากการที่แบคทีเรียใช้ก๊าซนี้เป็นแหล่งสารอาหารในการมีชีวิตและการเจริญเติบโต[22] ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัย เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียในอากาศ พบว่าช่วงที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณมากกว่า 1,000 ppm มีปริมาณแบคทีเรียในอากาศสูงกว่าช่วงที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณน้อยกว่า/ เท่ากับ 1,000 ppm

สรุป

จากการศึกษาครั้งนี้ปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลยังมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 583.19 CFU/m^3) เกินข้อแนะนำของประเทศไทยและประเทศสิงคโปร์ (แบคทีเรีย <500 CFU/m^3) โดยเฉพาะช่วงเวลาให้บริการเป็นช่วงที่ปริมาณแบคทีเรียสูงที่สุด และเมื่อพิจารณาค่า I/O มีค่า

มากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าปริมาณแบคทีเรียในอากาศมีแหล่งกำเนิดมาจากภายในอาคารมากกว่าภายนอก ดังนั้นการจัดการที่แหล่งกำเนิด จึงเป็นสิ่งที่ควรดำเนินการอย่างต่อเนื่องและจริงจัง เช่น การจัดสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้อต่อการเป็นแหล่งของแบคทีเรีย เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รวมถึงการจัดการให้มีการระบายอากาศที่เพียงพอ ทั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เพื่อนำไปสู่การลดการแพร่กระจายของแบคทีเรียได้ต่อไป

ความปลอดภัยทางชีวภาพ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการความปลอดภัยทางชีวภาพระดับสถาบันมหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ IRB 012/2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความร่วมมือจากเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในจังหวัดนครสวรรค์ทุกท่าน ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภารดี ช่วยบำรุง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ และขอขอบคุณภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่อนุเคราะห์ให้ยืมเครื่องมือและสถานที่ในการวิจัย ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Kim KY, Kim CN. Airborne microbiological characteristics in public buildings of Korea. Building and Environment. 2007; 42: 2188–96.
2. Kim KY, Kim Yoon Shin, Daekeun Kim. Distribution Characteristics of Airborne Bacteria and Fungi in the General Hospitals of Korea. Industrial Health. 2010; 48: 236–43.
3. กฤษณียา ศังขจันทรานนท์, เนสินี ไชยเอียย, พิพัฒน์ ศรีเบญจลักษณ์ และภารดี ช่วยบำรุง. ชนิดและปริมาณของแบคทีเรียและเชื้อราที่ก่อโรคในโรงพยาบาลและการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องมือเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศ. วารสารการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม. 2549; 30: 113-24.
4. ศิริพร ศรีเทวิณ และกาญจนา นาถะพินธุ. การปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในบรรยากาศในโรงพยาบาลขนาดที่แตกต่างกัน. วารสารวิจัย มข. (บศ.). 2555; 12. 92-101
5. Park, D., Jeong-Kwan Yeom, Won Jae Lee, Kyeong-Min Lee. Assessment of the Levels of Airborne Bacteria, Gram-Negative Bacteria, and Fungi in Hospital Lobbies. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2013; 10: 541-55.
6. ชูชัย ศุภวงศ์ และคณะ. คู่มือการให้บริการของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล. กรุงเทพมหานคร: มูลนิธิสาธารณสุขแห่งชาติ; 2552.
7. ศรัญญู คำภาบุตร. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศภายในโรงพยาบาล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2553.
8. Chuaybamroong, P., Choomseer, P., Sribenjalux, P. Comparison between Hospital Single Air Unit and Central Air Unit for Ventilation Performances and Airborne Microbes. Aerosol and Air Quality Research. 2008; 8: 28-36.

9. ภารดี ช่วยบำรุง. เทคโนโลยีการกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศในโรงพยาบาล. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2557.
10. ภูริทัต เมืองบุญ และอนุชา อภิสารธนรักษ์. โรคติดเชื้อในโรงพยาบาล (Nosocomial infection in community hospital) [ออนไลน์]. 2550 (เข้าถึงเมื่อ 18 กพ. 2562). เวปไซต์ http://www.doctor.or.th/ clinic/ detail/7476. 2550
11. สมหวัง ด่านวิจิตร. โรคติดเชื้อในโรงพยาบาล (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร: แอล ที เพรส จำกัด; 2544.
12. Lonon MK. Bioaerosol sampling 0800 NIOSH Manual of Analytical Methods [internet]. 2014 [access Apr 19, 2014]. Available from: http: //www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/0800.pdf.
13. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. คู่มือการตรวจรับรองคุณภาพอากาศในอาคาร. กรุงเทพมหานคร: บมจ. ศิริวัฒนาอินเตอร์พริ้นท์; 2555.
14. Forbes B.A., Sahm D.F., Weissfeld A.S. Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology., editors. 12th ed. Mosby, Elsevier: St. Louis Publishers; 2007.
15. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). คู่มือปฏิบัติด้านความปลอดภัยห้องปฏิบัติการกรมวิทยาศาสตร์บริการ. เวบไซต์ http://www.dss.go.th/images/ohm/lab-safety.pdf
16. ACGIH. "Bioaerosols ; ACGIH Guidelines of assessment and sampling of saprophytic bioaerosols in indoor environment". Applied Industrial Hygiene. 1987; 2: R10-R-16.
17. World Health Organization. Indoor air quality: biological contaminants. Report on a WHO meeting. WHO document. 1990; 31: 1-67.
18. รจฤดี โชติกาวินทร์, ภารดี อาษา, มนัสนันท์ พิบาลวงศ์ และเอกพงษ์ สุดสาว. การประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะ จังหวัดชลบุรี. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช วันที่ 25 พฤศจิกายน 2559.
19. รจฤดี โชติกาวินทร์. คุณภาพอากาศทางจุลินทรีย์ในสถานศึกษาปฐมวัย. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 2559; 19. 84-95.
20. Obbard, J. P., Fang, L. S. Airborne Concentrations of Bacteria in a Hospital Environment in Singapore. Water, Air and Soil Pollution. 2003; 144: 333-41.
21. ศิริลักษณ์ วงษ์วิจิตสุข. "อันตรายและการควบคุมจุลินทรีย์ในอากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรม", วารสาร มฉก วิชาการ. 2553; 13: 65-80.
22. อิสยา จันทร์วิทยานุชิต และวัชรินทร์ รังษีภาณุรัตน์. แบคทีเรียทางการแพทย์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2556.
23. Sandra Cabo Verde, Susana Marta Almeida, Jo~ao Matos, Duarte Guerreiro, Marcia Meneses, Tiago Faria, Daniel Botelho, Mateus Santos and Carla Viegas. Microbiological assessment of indoor air quality at different hospital sites. Research in Microbiology. 2015; 166: 557-63.
24. Ekhaise F.O., Ighosewe O.U. and Ajakpovi O.D. Hospital Indoor Airborne Microflora in Private and Government Owned Hospitals in Benin City, Nigeria. World Journal of Medical Sciences. 2008; 3: 19-23.
25. ธีรวงศ์ มีชื่น. ความแปรปรวนของความเข้มข้นฝุ่นและปริมาณแบคทีเรียในอากาศกับการระบายอากาศและกิจกรรมภายในห้องของโรงพยาบาลกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2553.

26. Nandalal P and Somashekar RK. Prevalence of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* in indoor air flora of a district hospital, Mandya, Karnataka. J Environ Biol. 2007; 28: 197-200.
27. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. คู่มือมาตรฐานอนามัยสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก. 2556.
28. จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ. คุณภาพอากาศภายในอาคาร. ในสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและการประเมิน (หน่วยที่ 15). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2555.
29. Fang, D.P., Wyon, D.P., Clausen, G. and Fanger, P.O. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. Indoor Air. 2004; 14: 74-81.
30. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร. กรุงเทพมหานคร: ศิริวัฒนาอินเตอร์พริ้นท์. 2559.
31. อริสา กาญจนากระจ่าง และภารดี ช่วยบำรุง. การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในห้องเรียน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นวารสารทางวิชาการของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ปีที่ 25 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม 2560. 960-974.