

การปรับเปลี่ยนที่กักตัวแยกส่วนที่เป็นมิตรกับทุกคนโดยประยุกต์ใช้องค์ความรู้ด้านระบบระบายอากาศ

นินนาท ราชประดิษฐ์¹, ประยุทธ์ ภูวรรตนาวิวิธ^{2,3}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

²ภาควิชาเภสัชกรรมปฏิบัติ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

³หน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมการแพทย์และเภสัชศาสตร์

บทคัดย่อ

โรคโควิด-19 จะถูกประกาศให้เป็นโรคประจำถิ่นในระยะเวลาอันใกล้ ดังนั้น การมีแนวทางที่เป็นรูปธรรมและเฉพาะเจาะจงสำหรับการปรับเปลี่ยนที่กักตัวแยกส่วนที่เป็นมิตรกับทุกคนจึงเป็นเรื่องสำคัญ บทความนี้แสดงแนวคิดการบูรณาการด้านศาสตร์ระหว่างองค์ความรู้ทางการแพทย์และองค์ความรู้ด้านระบบระบายอากาศ และแสดงแนวทางที่เป็นรูปธรรมในการปรับเปลี่ยนที่กักตัวแยกส่วนที่เป็นมิตรกับทุกคนทั้งในกรณีบ้านเรือนและพื้นที่ซึ่งต้องมีการรวมกลุ่มกันเป็นหมู่คณะ

คำสำคัญ: การปรับเปลี่ยนที่กักตัว ระบบระบายอากาศ โควิด-19 การควบคุมการติดเชื้อ

Conditioning a Universally Friendly Quarantine Area by Applying Knowledge on Ventilation Systems

Ninnart Rachapradit¹, Prayuth Poowaruttanawiwit^{2,3}

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

²Department of Pharmacy Practice, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Naresuan University

³Medical and Pharmacy Innovation Research and Development Unit

Abstract

COVID-19 will be declared endemic in the near term. Therefore, it is important to have concrete and specific guidelines for conditioning segregated quarantine areas that are friendly to all. This article illustrates the concept of integrating knowledge from medical domain and that from ventilation systems. The article also shows a concrete approach in conditioning quarantine areas that are friendly to all, both in the case of homes and areas for activities with a large number of people.

Keywords: conditioning a quarantine area, ventilation systems, COVID-19, infection control

บทนำ

ในปัจจุบัน ประชากรทั่วโลกได้รับการฉีดวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 ครอบคลุมมากขึ้น (1) จนมีบางประเทศที่ออกนโยบายผ่อนคลายการควบคุมโรคติดต่อ บางประเทศได้ยกเลิกมาตรการการควบคุมต่าง ๆ ให้ประชาชนสามารถกลับมาใช้ชีวิตภายใต้ความปกติใหม่ได้ เช่น ประเทศนอร์เวย์และประเทศสวีเดน เป็นต้น (2) Helsingen และคณะสำรวจตัวอย่างในทั้งสองประเทศและสรุปว่าประชาชนของทั้งสองประเทศมีความเชื่อมั่นสูงในระบบการดูแลสุขภาพและให้ความร่วมมือสูงต่อการปฏิบัติตามมาตรการป้องกันโรค ถึงแม้จะมีความแตกต่างในมาตรการควบคุมการติดเชื้อในแต่ละประเทศก็ตาม

แต่สำหรับประเทศไทย (26 มีนาคม พ.ศ.2565) การแพร่ระบาดของโรคยังคงเพิ่มสูงขึ้น (3-5) โดยมีรายงานการติดเชื้อจากการตรวจด้วยวิธี reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-PCR) และ antigen detection test รวมกันแล้วมากกว่า 20,000 รายต่อวัน

ติดต่อกันมาหลายวัน (ข้อมูลเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565) (6) อย่างไรก็ตาม การระบาดดังกล่าวเกิดจากเชื้อไวรัสสายพันธุ์ใหม่ คือ โอมิครอน ซึ่งติดต่อได้ง่ายขึ้น และทำให้เกิดการติดเชื้อได้ในเด็ก ซึ่งแตกต่างจากสายพันธุ์ก่อนหน้านี้ที่ส่วนใหญ่จะพบการติดเชื้อในผู้ใหญ่ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อติดเชื้อแล้วอาการจะรุนแรงน้อยกว่าสายพันธุ์ก่อนหน้านี้ (7-10) ดังนั้น รัฐบาลจึงสั่งการให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเริ่มวางแผนเกี่ยวกับการผ่อนคลายนโยบายการควบคุมโรคที่จะเกิดขึ้นในอนาคต และการเตรียมพร้อมสำหรับการเปิดประเทศบนความปกติใหม่

จากการทบทวนวรรณกรรมพบบทความปริทัศน์วรรณกรรมของ Jetelina (11) แสดงให้เห็นแนวทางที่น่าสนใจในเชิงนโยบาย เกี่ยวกับการจัดการการแพร่ระบาดของโรคนี้ในอนาคต โดยเน้นที่การออกแบบการป้องกันตามความเสี่ยงเฉพาะของกลุ่มบุคคลต่าง ๆ และได้ให้คำแนะนำที่น่าสนใจเกี่ยวกับการแบ่งระดับความรุนแรงและการจัดการโรคที่ควรเป็นในเชิงสาธารณสุขสุขภาพใหญ่ไว้ได้อย่าง

น่าสนใจ แต่อย่างไรก็ตาม ในทัศนะของผู้นิพนธ์พบว่า มี 2 ประเด็นที่ต้องพิจารณาให้ดี คือ 1) การนำแนวทางนี้ไปใช้ จะต้องเป็นลักษณะของ “การประยุกต์ใช้” เนื่องจากแต่ละสถานที่มีบริบทต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน และ 2) การฉีควัคซีนเป็นการป้องกันไม่ให้โรครุนแรงขึ้นเมื่อเกิดการติดเชื้อแล้วเท่านั้น และยังไม่มีประสิทธิภาพดีครอบคลุมเชื้อไวรัสทุกสายพันธุ์ และขณะนี้ประชากรส่วนใหญ่ที่เพิ่งเริ่มได้รับวัคซีนของประเทศไทย คือ เด็ก ดังนั้น การตัดสินใจใด ๆ เกี่ยวกับโรคโควิด-19 ควรทำบนหลักฐานเชิงประจักษ์ทางการแพทย์ สิ่งที่สำคัญมากที่สุด คือ การสื่อสารให้ประชาชนทราบถึงข้อมูลที่ถูกต้องและการนำไปใช้ในเหมาะสมกับความสามารถ ความพร้อม เช่น ด้านทรัพยากร เงินทุน การเข้าถึงบริการสุขภาพ ลักษณะของสถานที่อยู่อาศัย และข้อจำกัดของประชาชนแต่ละคน

ขณะนี้เป็นที่ชัดเจนแล้วว่า รูปแบบการแพร่เชื้อไวรัส Severe Acute Respiratory Syndrome-Coronavirus-2; SARS-CoV-2 เป็นแบบละอองลอย (aerosol) (12-14) ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า อาจเกิดการติดเชื้อได้หากมีการจัดการด้านการไหลเวียนอากาศที่ไม่เหมาะสม และจะส่งผลทำให้มีจำนวนผู้ติดเชื้อมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผู้ติดเชื้อมีอาการที่ไม่รุนแรง ดังนั้น กระทรวงสาธารณสุข จึงมีนโยบายให้จัดประเภทกลุ่มผู้ป่วยให้เหมาะสมกับความสามารถในการรองรับได้ของเตียงในโรงพยาบาล โดยผู้ติดเชื้อที่ไม่มีอาการหรือมีอาการรุนแรงน้อยที่ไม่จำเป็นต้องเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาล ก็ให้รักษาตัวที่บ้าน (home isolation, HI) (15)

อย่างไรก็ตาม ยังคงมีคำถามมากมายตามมาว่า “มาตรฐานของ HI คืออะไร และ ต้องทำอะไร?” ยกตัวอย่างเช่น อาจเกิดความเข้าใจที่แตกต่างกันเกี่ยวกับนิยามของ HI ว่าคืออะไร เป็นเพียงการแยกอยู่ในห้องส่วนตัวของผู้ป่วย หรือการแยกอยู่คนละชั้นของบ้านกับสมาชิกในครอบครัวในกรณีบ้านมีมากกว่าหรือเท่ากับสองชั้นขึ้นไป หรือการแยกออกไปอยู่ในบ้านหรือห้องเช่าคนละสถานที่กับสมาชิกภายในบ้าน เป็นต้น บทความทบทวนวรรณกรรมนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อตั้งคำถามเกี่ยวกับมาตรฐานของ HI และนำเสนอแนวคิดการจัดการระบบระบายอากาศ เพื่อให้ประชาชนนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหา

คำถามที่ท้าทายต่อการวิจัยและนำ HI ไปปฏิบัติ

ในทัศนะของผู้นิพนธ์ คำถามที่ท้าทายต่อการวิจัยเกี่ยวกับ HI และนำ HI ไปปฏิบัติ คือ “มีวิธีการอย่างเป็น

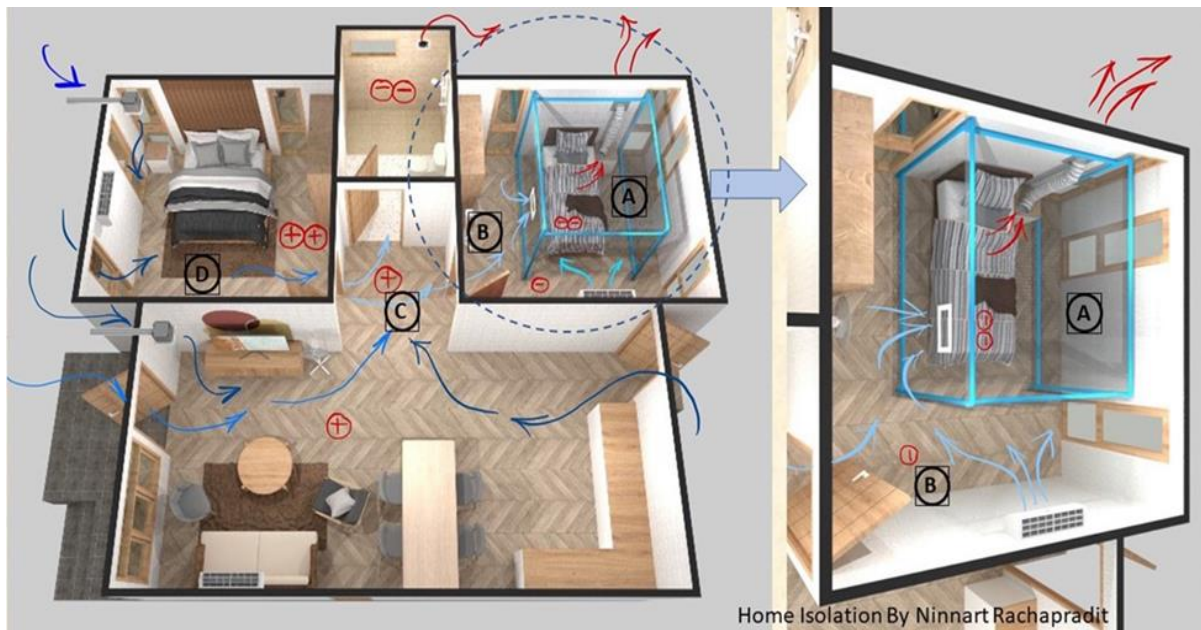
รูปธรรมหรือไม่ในการจัดบ้านให้มีส่วนหนึ่งที่มีลักษณะเหมาะสมสำหรับใช้เพื่อ HI ?” โดยสามารถประกันเรื่องความปลอดภัยต่อการติดเชื้อซึ่งถือเป็นประเด็นที่สำคัญที่สุด หรือสามารถป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อสู่คนในบ้านที่ยังไม่เป็นโรคได้ และ คำถามที่ท้าทายที่สุด คือ “จะเป็นไปได้หรือไม่ที่ผู้ที่อาศัยร่วมกันกับผู้ป่วยจะสามารถเข้ามาเยี่ยมหรือให้ความช่วยเหลือเล็ก ๆ น้อย ๆ เช่น เอาของใช้จำเป็นมาให้โดยที่สามารถเห็นหน้ากันได้ และตัวผู้ป่วยเองสามารถออกนอกห้อง HI ได้เพื่อทำกิจกรรมส่วนตัว เช่น การเข้าห้องน้ำ การออกมาเปลี่ยนบรรยากาศ เป็นต้น?”

การตั้งคำถามดังกล่าว สอดคล้องกับบทความปริทัศน์ของ Burns และคณะ (16) และ Proffit และคณะ (17) ที่ระบุตรงกันว่า การตั้งคำถามที่ดีและสร้างคำตอบขึ้นมาจากวิธีการที่เหมาะสม ย่อมนำมาสู่คำตอบที่มีความเป็นไปได้อย่างสูงในทางทฤษฎีที่จะนำไปปฏิบัติต่อได้ หากแต่การนำไปปฏิบัติจะต้องเป็นการประยุกต์ให้เหมาะสมกับข้อจำกัดของแต่ละสถานการณ์นั้น ๆ

การประยุกต์ความรู้ด้านระบบระบายอากาศเพื่อสร้าง HI ที่เหมาะสม

ผู้นิพนธ์ซึ่งเป็นนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ประสบการณ์การวิจัยด้านระบบระบายอากาศในโรงพยาบาล บ้าน และสถานที่ทำงาน ได้พัฒนานวัตกรรม “หอผู้ป่วยวิกฤตระบบทางเดินหายใจ (respiratory care unit, RCU)” โดยนำหลักการ “ควบคุมการไหลของอากาศผ่านแรงดัน” (18-20) ที่ได้จากบทความปริทัศน์และงานวิจัยต่าง ๆ มาใช้ โดยจากการทบทวนพบว่ามีหลักการบางอย่างร่วมกัน คือ “การทำให้เกิดความแตกต่างของความดันจนทำให้อากาศไหลจากส่วนที่สะอาดที่สุดไปยังส่วนที่สกปรกที่สุด จากนั้นจึงกรองสิ่งสกปรกออกและระบายอากาศออกจากตัวบ้าน” ผู้นิพนธ์นำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์เป็นนวัตกรรมเชิงหลักการของ HI ที่สามารถใช้กับบ้านเรือนทั่วไปและสถานที่ทำงานได้ โดยมีแนวทางแสดงดังรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 บริเวณที่เป็นพื้นที่สำหรับกักตัวของผู้ติดเชื้อหรือ HI สามารถใช้วัสดุที่หาง่าย เช่น พลาสติกใสครอบกันพื้นที่ของห้องผู้ป่วยหรือผู้สงสัยว่าได้รับเชื้อ โดยแยกพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ โซน A (contaminated zone) หรือเขตปนเปื้อนซึ่งจะมีแรงดันอากาศเป็นลบมาก (แทนด้วยสัญลักษณ์ -) ส่วน โซน B (buffer zone) หรือเขตกั้นระหว่างพื้นที่ปนเปื้อนหรือ โซน A กับพื้นที่อื่น ๆ ใน



รูปที่ 1. หลักการ HI ของบทความนี้

หมายเหตุ เครื่องหมาย (+) แสดงถึงบริเวณที่มีแรงดันเป็นบวก ยังมีเครื่องหมาย + มาก (++) หมายถึงมีแรงดันเป็นบวกมาก เครื่องหมาย (-) แสดงถึงบริเวณที่มีแรงดันเป็นลบ ยังมีเครื่องหมาย - มาก (- -) หมายถึงมีแรงดันเป็นลบมาก ลูกศรสีฟ้าและสีน้ำเงิน หมายถึง อากาศสะอาด ลูกศรสีแดง หมายถึง อากาศสกปรก

โซน B มีแรงดันอากาศเป็นลบ (แทนด้วยสัญลักษณ์ -) ส่วนโซน C (service zone) หรือเขตพื้นที่ส่วนกลางที่ผู้ป่วยสามารถใช้ร่วมกับสมาชิกในบ้านได้จะมีแรงดันเป็นบวกอ่อน ๆ (แทนด้วยสัญลักษณ์ +) และโซน D (clean zone) หรือเขตพักอาศัยของสมาชิกคนอื่น ๆ ในบ้านที่ไม่ได้ป่วยซึ่งจะเป็นพื้นที่สะอาดที่สุดโดยมีแรงดันอากาศเป็นบวกมากที่สุด (แทนด้วยสัญลักษณ์ ++)

หลักการนี้จะสามารถ “ลดขนาดของบริเวณพื้นที่ปนเปื้อนลงได้” โดยมีข้อดี คือ 1) สะดวกต่อการทำความสะอาด 2) ช่วยลดขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น พัดลมระบายอากาศได้ จึงช่วยลดการใช้พลังงานที่มากเกินไป เนื่องจากเครื่องปรับอากาศจะคิดในหน่วยจำนวนเท่าของปริมาตรห้อง (air changes per hour, ACH) ดังนั้นการลดขนาดพื้นที่ปนเปื้อนทำให้ลดการสูญเสียอากาศที่ใช้พลังงานในการทำความเย็นได้มาก 3) ไม่ทำให้อากาศในส่วนปนเปื้อนย้อนกลับเข้าไปในเครื่องระบายอากาศ เพราะเป็นควบคุมทิศทางการไหลของอากาศให้เป็นไปในทิศทางที่ต้องการ และ 4) การใช้วัสดุกันพื้นที่ทำให้สมาชิกในครอบครัวสามารถมีปฏิสัมพันธ์กันได้ ซึ่งเป็นจุดเด่นของหลักการนี้ที่แตกต่างจากเดิมซึ่งแยกให้ผู้ป่วยอยู่คนเดียวซึ่งอาจสร้างความเครียด วิตกกังวล ให้กับทั้งตัวผู้ป่วยเองและสมาชิกในครอบครัวได้

สำหรับจุดทั้งอากาศจากพื้นที่อาศัยของผู้ป่วย แนะนำว่า หากเป็นไปได้ ควรทิ้งให้ห่างจากจุดที่อากาศไหลเวียนเข้าสู่บ้านหรือพื้นที่ส่วนกลาง “อย่างน้อย 8 เมตร” (21) เช่นเดียวกับห้องน้ำ ควรมีการระบายอากาศออกเช่นกัน เพราะเป็นพื้นที่สกปรก สำหรับส่วนอื่นภายในบ้านแบ่งออกเป็นอีก 2 โซน ได้แก่ โซน C (service zone) (+) หรือเขตพื้นที่สำหรับส่วนกลาง และโซน D (clean zone) (++) หรือเขตสะอาดซึ่งแนะนำให้มีการเปิดหน้าต่าง หรือดึงอากาศจากภายนอกเข้ามาให้มากที่สุด ในกรณีที่ต้องการใช้เครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นสิ่งที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทยเนื่องจากมีอากาศร้อนชื้น ทำให้เกิดความสบายตัวและลดความเครียดให้กับผู้คนในสถานการณ์ปัจจุบัน ในสถานการณ์การระบาดของโควิด-19 นั้น เบื้องต้นควรมีการระบายอากาศ “อย่างน้อย 3 ACH” โดยมีพัดลมช่วยดึงอากาศเข้ามาในห้องเพื่อทำให้พื้นที่มีแรงดันเป็นบวกเล็กน้อย และเพื่อขับสิ่งสกปรกหรือเชื้อโรคให้ออกไปจากพื้นที่ตามหลักการการกระจายอากาศ วิธีการนี้จะสามารถทำให้พื้นที่ของบ้านเป็นพื้นที่สะอาดได้

การนำองค์ความรู้ไปใช้

จากแนวคิดดังกล่าวพบว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับที่พักอาศัย สำนักงาน ร้านอาหาร และสถาน

ประกอบการต่าง ๆ ได้ โดยต้องมีการประเมินและวิเคราะห์ข้อมูลบางประการก่อน ได้แก่

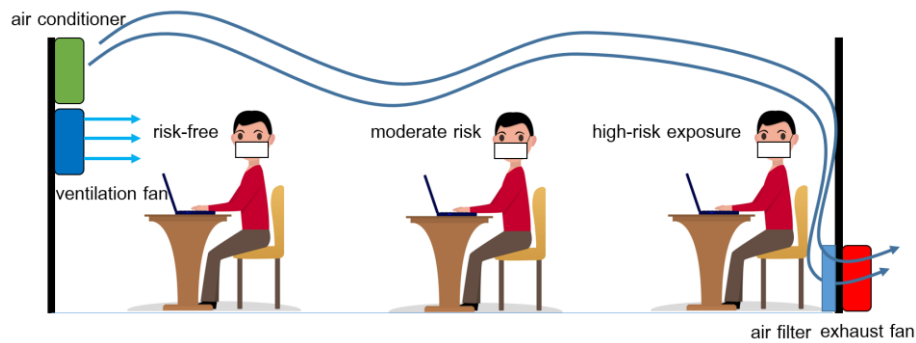
1) การแยกคนเป็นกลุ่ม ๆ ตามความเสี่ยงของการติดเชื้อ เช่น ผู้ที่ไม่ติดเชื้อ ผู้ที่สัมผัสผู้ติดเชื้อโดยมีความเสี่ยงน้อย และผู้สัมผัสผู้ติดเชื้อโดยมีความเสี่ยงปานกลาง สำหรับผู้ป่วยและผู้สัมผัสเสี่ยงสูงควรเข้าสู่ระบบ HI

2) วิเคราะห์โครงสร้างอาคาร สถานที่ และระบบระบายอากาศ ว่ามีลักษณะพื้นฐานเป็นอย่างไรบ้าง ต้องได้รับการปรับปรุงหรือเพิ่มเติมในส่วนใดบ้าง มีวัสดุอุปกรณ์บางอย่างที่สามารถย้ายตำแหน่งเพื่อให้เกิดระบบการหมุนเวียนอากาศและระบายอากาศที่ดีขึ้นได้หรือไม่ ควรแยกโซนการระบายอากาศตามความเสี่ยงของกลุ่มคน โดยพยายามให้อากาศที่หมุนเวียนกลับเข้าเครื่องระบายอากาศ

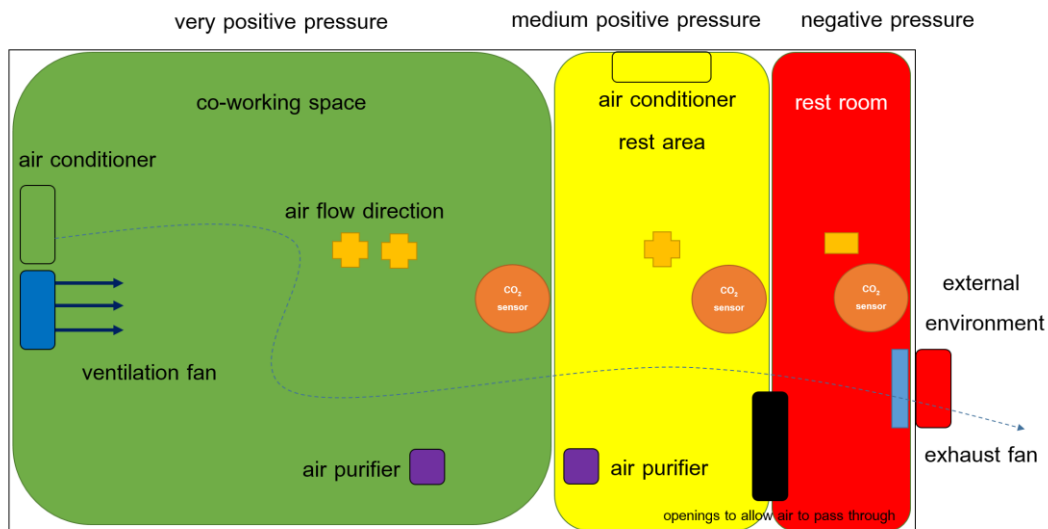
(recirculated air) มีเฉพาะในส่วนของกลุ่มคนที่ไม่ติดเชื้อหรือหมุนเวียนเฉพาะในกลุ่มคนตามความเสี่ยงเท่านั้น

3) พิจารณาเพิ่มอัตราการระบายอากาศจากภายนอก (fresh air) ซึ่งยังเป็นมาตรการหลักที่สำคัญที่ถูกแนะนำโดยงานวิจัยและองค์กรมาตรฐานต่าง ๆ เพื่อเป็นการช่วยลดความเสี่ยงจากการติดเชื้อ รวมถึงมาตรการที่เพิ่มปริมาณการระบายอากาศ เช่น การเปิดหน้าต่าง บางส่วนในอาคารในขณะเปิดเครื่องปรับอากาศจะเป็นการเพิ่มอัตราการระบายอากาศอย่างน้อยร้อยละ 5-10 (22)

4) การออกแบบพื้นที่ใช้สอยให้สอดคล้องกับระบบระบายอากาศและการหมุนเวียนอากาศ ตลอดจนจัดคนเข้าอยู่อาศัยหรือทำงานในพื้นที่นั้น ๆ ตามความเสี่ยงของการติดเชื้อ โดยให้อากาศผ่านจากพื้นที่สะอาด/คนที่ไม่ติดเชื้อ



ก. มุมมองด้านข้าง (ปรับรูป จาก exhaust fan เป็น ventilation fan)



ข. มุมมองด้านบน

รูปที่ 2 ตัวอย่างการออกแบบพื้นที่ใช้สอยให้สอดคล้องกับระบบระบายอากาศ

หมายเหตุ: ตัวอย่างในภาพเป็นกรณีของสำนักงานที่มีเครื่องระบายอากาศ พัดลมดูดอากาศเข้า และพัดลมดูดอากาศออก ซึ่งต้องมีการคำนวณเพื่อเลือกอุปกรณ์ดังกล่าวให้เหมาะสมกับการใช้งาน เครื่องฟอกอากาศที่ใช้ควรมีมาตรฐานอย่างน้อย MERV 13 และมี CO₂ sensor เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพเพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศ นอกจากนี้ อาจมีการปรับอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อื่น ๆ เช่น แบคทีเรีย หรือเชื้อราด้วย

ไปหาพื้นที่ที่สกปรก/คนที่มีความเสี่ยงสูง จากนั้นดูอากาศผ่านเครื่องกรองอากาศและปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกแสดงดังรูปที่ 2 และ

5) มาตรการต่าง ๆ ที่เหมาะสม ที่แนะนำโดยองค์กรและสถาบันที่มีประสบการณ์และความชำนาญ ยังควรนำมาใช้อย่างเคร่งครัด ทั้งเรื่องการใช้หน้ากากอนามัยที่มีมาตรฐาน การรักษาระยะห่าง การล้างมือ รวมถึงพื้นที่การใช้งานอย่างสม่ำเสมอ

สรุป

การดำเนินชีวิตจำเป็นต้องมีการติดต่อ ทำงาน และอาศัยอยู่ร่วมกัน ตลอดจนถึงกันและกัน ถึงแม้ว่าโรคโควิด-19 จะกลายเป็นโรคประจำถิ่นในอนาคตอันใกล้ แต่สิ่งต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปอาจไม่หวนกลับมาเป็นเหมือนเดิมอีกแล้ว และยากที่จะทำนายได้ว่าจะมีเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นอีกหรือไม่ แต่อย่างไรก็ตาม ในวิกฤติย่อมมีโอกาเสมอ แต่โอกาสต้องสร้างจาก “ปัญหาที่ต้อง” ได้แก่ องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะต้องบูรณาการร่วมกันข้ามศาสตร์ บทความฉบับนี้แสดงให้เห็นการนำหลักการทางการแพทย์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับหลักการระบายอากาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดระบบนิเวศน์ปกติใหม่ (new ecosystem)

การนำหลักการลดขนาดพื้นที่ปนเปื้อนร่วมกับหลักการพิจารณาทิศทางการไหลของอากาศโดยรวมในแต่ละพื้นที่มาประยุกต์ใช้ในสถานการณ์นี้ จึงเป็นแนวคิดที่มีแนวโน้มว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง หลักการนี้มีจุดเด่น คือ เป็นไปตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ ไม่จำเป็นต้องลงทุนเพิ่มมากนัก และสามารถทำให้ผู้คนกลับมารวมกลุ่มกันได้อีกครั้ง แต่อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบด้านความปลอดภัยเป็นประเด็นหลักที่จะต้องคำนึงถึงและปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอ เช่น การรั่วของอากาศ ความสะอาดของอากาศ การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้สามารถทำได้ง่ายและมีต้นทุนไม่สูงมากนัก

เอกสารอ้างอิง

1. Mathieu E, Ritchie H, Ortiz-Ospina E, Roser M, Hasell J, Appel C, et al. A global database of COVID-19 vaccinations. *Nat Hum Behav.* 2021; 5: 947-53.

2. Helsing LM, Refsum E, Gjostein DK, Løberg M, Bretthauer M, Kalager M, et al. Clinical effectiveness research group. The COVID-19 pandemic in Norway and Sweden - threats, trust, and impact on daily life: a comparative survey. *BMC Public Health.* 2020; 20: 1597.
3. Triukose S, Nitinawarat S, Satian P, Somboonsavatdee A, Chotikarn P, et al. Effects of public health interventions on the epidemiological spread during the first wave of the COVID-19 outbreak in Thailand. *PLoS One.* 2021; 16: e0246274.
4. Rajatanavin N, Tuangratananon T, Suphanchaimat R, Tangcharoensathien V. Responding to the COVID-19 second wave in Thailand by diversifying and adapting lessons from the first wave. *BMJ Glob Health.* 2021; 6: e006178.
5. Tantrakarnapa K, Bhopdhornangkul B. Challenging the spread of COVID-19 in Thailand. *One Health.* 2020; 11: 100173.
6. Department of Disease Control. Ministry of Public Health. Update of daily Covid-19 infection [online]. 2022 [cited Feb 13, 2022]. Available from: ddc.moph.go.th/covid19-dashboard/
7. Araf Y, Akter F, Tang YD, Fatemi R, Parvez MSA, Zheng C, Hossain MG. Omicron variant of SARS-CoV-2: Genomics, transmissibility, and responses to current COVID-19 vaccines. *J Med Virol* 2022; 94: 1825-32.
8. Ren SY, Wang WB, Gao RD, Zhou AM. Omicron variant (B. 1. 1. 529) of SARS-CoV-2: Mutation, infectivity, transmission, and vaccine resistance. *World J Clin Cases.* 2022; 10: 1-11.
9. Wolter N, Jassat W, Walaza S, Welch R, Moultrie H, Groome M, et al. Early assessment of the clinical severity of the SARS-CoV-2 omicron variant in South Africa: a data linkage study. *Lancet.* 2022;399:437-46.
10. Abdullah F, Myers J, Basu D, Tintinger G, Uecker mann V, Mathebula M, et al. Decreased severity of disease during the first global omicron variant covid-

- 19 outbreak in a large hospital in Tshwane, South Africa. *Int J Infect Dis.* 2021; 116: 38-42.
11. Your Local Epidemiologist. Riding the waves: A framework for the future of SARS-CoV-2 [online]. 2022 [cited Feb 13, 2022]. Available from: yourlocal.epidemiologist.substack.com/p/riding-the-waves-a-framework-for?fbclid=IwAR1D_VJfwDTd3xyLZzP56v_maPt5nIkVVID9TL0MsJI9nSI10UBjJVIFwjQw
12. Wang CC, Prather KA, Sznitman J, Jimenez JL, Lakdawala SS, Tufekci Z, Marr LC. Airborne transmission of respiratory viruses. *Science.* 2021; 373: eabd9149.
13. Samet JM, Prather K, Benjamin G, Lakdawala S, Lowe JM, Reingold A, et al. Airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2): What we know. *Clin Infect Dis.* 2021; 73: 1924-6.
14. Ehsanifar M. Airborne aerosols particles and COVID- 19 transition. *Environ Res.* 2021; 200: 111752.
15. Department of Medical Services, Ministry of Public Health. Providing home isolation services [online]. 2022 [cited Mar 17, 2022]. Available from: covid19.dms.go.th/backend/Content/Content_File/Covid_Health/Attach/25650105180407PM_80%E0%B8%9B%E0%B8%B5HomeIso.pdf
16. Burns PB, Chung KC. Developing good clinical questions and finding the best evidence to answer those questions. *Plast Reconstr Surg.* 2010; 126: 613-8.
17. Proffit WR. Evidence and clinical decisions: Asking the right questions to obtain clinically useful answers. *Semin Orthod.* 2013; 19: 10.
18. HPCi Media. Air flow design: using the cascade approach [online]. 2013 [cited Mar 17, 2022]. Available from: www.cleanroomtechnology.com/news/article_page/Air_flow_design_using_the_cascade_approach/83305
19. Mohamadi F, Fazeli A. A review on applications of CFD modeling in COVID-19 Pandemic. *Arch Comput Methods Eng.* 2022. doi: 10.1007/s11831-021-09706-3.
20. Borro L, Mazzei L, Raponi M, Piscitelli P, Miani A, Secinaro A. The role of air conditioning in the diffusion of Sars-CoV-2 in indoor environments: A first computational fluid dynamic model, based on investigations performed at the Vatican State Children's hospital. *Environ Res.* 2021; 193: 110343.
21. International Health Facility Guidelines. Isolation rooms [online]. 2017 [cited Mar 17, 2022]. Available from: healthfacilityguidelines.com/ViewPDF/ViewIndexPDF/iHFG_part_d_isolation_rooms
22. Pan Y, Du C, Fu Z, Fu M. Re-thinking of engineering operation solutions to HVAC systems under the emerging COVID- 19 pandemic. *Journal of Building Engineering.* 2021; 43: 102889.