บทบาทของงานวิศวกรรมในการต่อสู้กับโควิด–19 บทเรียนจากโรงพยาบาล

The role of the engineering in fighting COVID–19: A lesson from hospitals

นายชาลี กริ่มใจ[1], ณัฏฐณิชา คุณาบุตร[2], นายเฉลิมพงศ์ ไขโพธิ์[2], ไกรชาติ ตันตระการอาภา[3] และ เสวก ชมมิ่ง[2]*

Chalee Krimjai[1], Nattanicha Kunarbutr[2], Chalermphong Kaipho[3], Kraichat Tantrakarnapa[3] and Sawake Chomming[2]*

[1]โรงพยาบาลเวชศาสตร์เขตร้อน คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล

[2]สำนักงานคณบดี คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล

[3]ภาควิชาเวชศาสตร์สังคมและสิ่งแวดล้อม คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล

*Correspondence to: E-mail: sawake.cho@mahidol.ac.th

(Article submitted: December 6, 2020; final version accepted: May 12, 2021)

บทคัดย่อ

โรคโควิด-19 เกิดจากเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธ์ใหม่ 2019 (SARS-CoV-2) พบครั้งแรกปลายปี พ.ศ. 2562 ณ ประเทศจีน และมีการตรวจพบผู้ติดเชื้อในประเทศไทยรายแรกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 เป็น ผู้เดินทางจากประเทศจีนเข้ามาประเทศไทย และทำให้เกิดการแพร่กระจายไปเป็นวงกว้างและในหลายพื้นที่ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมงานด้านวิศวกรรม และกายภาพที่สำคัญในการรับมือการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 และการป้องกันแพร่กระจายโดยการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในประเด็นทางวิศวกรรมศาสตร์ และการจัดการงานด้านกายภาพ ผลการศึกษา แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการระบาดของโรคที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง หากไม่มีมาตรการรองรับที่ดี โดยเฉพาะสถานพยาบาลและมาตรการป้องกันการแพร่กระจายของโรคในสถานพยาบาล บทความนี้จึงได้รวมรวมประเด็นที่เกี่ยวข้อง ในการรับมือกับการระบาดของโรค และการป้องกันการแพร่กระจายในกลุ่มบุคลากรที่ทำงานด้านสุขภาพ โดยเฉพาะการ คัดกรองโรค อย่างไรก็ตามบุคลากรทางการแพทย์เพียงลำพังไม่สามารถดำเนินงานป้องกันการแพร่ระบาดของโรคได้ ต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วน หนึ่งในนั้นคือ งานด้านกายภาพ และวิศวกรรมในการช่วยคัดกรองผู้ติดเชื้อ การติดต่อสื่อสารผู้ติดเชื้อ การจัดทำห้องพิเศษเพื่อการตรวจวัด และให้ผู้ติดเชื้อเข้าพักเพื่อรับการรักษา บทความนี้ได้รวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องด้านวิศวกรรมและงานกายภาพเพื่อช่วยเหลือ ทีมแพทย์และบุคลากรด้านสาธารณสุขเพื่อลดความเสี่ยงในการรับสัมผัสกับเชื้อ SARS-CoV-2 โดยการใช้ศาสตร์ทางวิศวกรรมควบคู่ไปกับศาสตร์ทางการแพทย์

คำสำคัญ: โรคโควิด-19, งานวิศวกรรม, การบริหารทรัพยากรและสิ่งอำนวยความสะดวก, การให้บริการสุขภาพ

Abstract

COVID-19 caused by new novel Coronavirus 2019, so called SARS-CoV-2 Virus, originated in China at the end of 2019. The first case in Thailand was found in January 2020, and was found to be an imported case from China. It has then spread to other areas of the country. The aims of the study were to demonstrate the role of physical facilities and engineering in controlling the outbreak and transmission of the disease while also reducing risk for health personnel. The data of the study were collected by reviewing the literature that related to facilities supporting the disease control. The results indicated that without mitigation measures and prevention control, the increasing rate of COVID-19 infected cases would become exponential. It is necessary to respond to the outbreak of this disease and prevent transmission among health personnel especially by screening and investigation processes. However, they cannot work alone, as the requirement of other supporting departments are equally as important, namely; the

supporting of physical facilities, engineering works, communication with the infected, confirmed cases, separate room allocation and more.

Keywords: COVID-19, Engineering task, Facilities and resources management, Health services

บทนำ

ไวรัสโคโรนา 2019 หรือเป็นที่รู้จักกันดีในนาม โควิด-19 (COVID-19) เป็นเชื้อไวรัสที่สามารถก่อให้เกิดโรคทางเดินหายใจ หลังติดเชื้ออาจไม่มีอาการ หรืออาจมีอาการตั้งแต่ไม่รุนแรง คือ คล้ายกับไข้หวัดธรรมดา หรืออาจก่อให้เกิดอาการรุนแรงเป็นปอดอักเสบและเสียชีวิตได้[1] โรคระบาด COVID-19 มีลักษณะคล้ายโรคซาร์ได้รับการประกาศให้เป็นโรคระบาดโดยองค์การอนามัยโลก เมื่อวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2563 เนื่องจากมีการแพร่กระจายไปเป็นวงกว้าง พบผู้ป่วยรายแรกที่เมืองหวูฮั่น (Wuhan) มณฑลหูเป่ย (Hubei) ประเทศจีน เมื่อวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2562 หรือ ค.ศ. 2019 [2] จึงได้ชื่อว่า โคโรน่าไวรัส 2019 [3] ข้อมูลการระบาดของโรคในประเทศ จากช่วงเวลาเริ่มต้นการระบาด (ต้นปี 2563) มาถึงเมษายน 2564 พบว่าจำนวนผู้ติดเชื้อยังคงเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาระยะเวลาที่เปลี่ยนไปของประเทศไทยที่มีการระบาดเป็น 3 ระลอกได้แก่ ช่วงแรกตั้งแต่มกราคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2563 ช่วงที่สอง ธันวาคม ถึง มีนาคม พ.ศ. 2564 และระลอกที่สาม เมษายน ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2564 ที่มีความรุนแรง โดยมีจำนวนผู้ติดเชื้อและผู้เสียชีวิตมากกว่า 2 ระลอกแรก โดยข้อมูลล่าสุด ณ วันที่ 6 พฤษภาคม พบว่า มีจำนวนผู้ติดเชื้อสะสมในประเทศไทย 76,811 ราย เสียชีวิต 336 ราย รักษาหายแล้ว 46,795 ราย ในขณะที่สถานการณ์ทั่วโลกการระบาดยังคงมีจำนวนมาก และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในบางประเทศของทวีปเอเชียหรืออเมริกาใต้ ได้แก่ อินเดีย บราซิล เป็นต้น ยอดรวมของผู้ติดเชื้อทั่วโลก ณ วันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2564 มีจำนวนทั้งสิ้น 155,840,157 ราย เสียชีวิต 3,255,494 ราย รักษาหายแล้ว 133,295,626 ราย สถานการณ์ของโรคนี้ยังคงน่าวิตก และแนวโน้มยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การให้บริการดูแลผู้ติดเชื้อจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการต่อสู้กับโรคนี้ โรคนี้ไม่เพียงแค่เป็นการระบาดและส่งผลกระทบต่อวงการแพทย์ ระบบงานสาธารณสุขเท่านั้น แต่ส่งผลกระทบเป็น วงกว้างไปทั่วทุกประเทศ และทุกทวีป ส่งผลต่อระบบเศรษฐกิจ-สังคม เกิดการเคลื่อนย้ายแรงงานที่เคยทำในเมืองใหญ่ ออกสู่พื้นที่ชนบทเนื่องจากการปิดตัวของสถานประกอบการจำนวนมาก คนส่วนใหญ่มักจะกล่าวถึงกลุ่มบุคคลที่เผชิญกับผู้ป่วย หรือคนที่คัดกรองการติดเชื้อเพื่อทำการรักษา ซึ่งจะเป็นคนที่อยู่ในวงการด้านการแพทย์และสาธารณสุข อย่างไรก็ตาม ทีมแพทย์ พยาบาล และสาธารณสุข จะต้องทำงานหนักอย่างมากในการเผชิญกับโรคระบาดนี้ หากทำเพียงลำพังในกลุ่มงานด้านนี้ เนื่องจากยังต้องอาศัยศาสตร์ ด้านอื่น เพื่อเข้ามาเสริมเพิ่มความแข็งแกร่ง เพื่อแบ่งเบาภาระงานให้กับแพทย์ พยาบาลได้ คือ กลุ่มงานที่คอยจัดหาอุปกรณ์ การอำนวยความสะดวกให้การทำงานได้ง่ายขึ้น ลดระยะเวลาการทำงาน ลดความเสี่ยงที่ต้องสัมผัสกับผู้ป่วยที่ติดเชื้อโดยตรงได้ เพื่อให้ทีมงานสามารถดูแลผู้ป่วยที่อาจเกิดขึ้นมาเป็นจำนวนมากในอนาคต ซึ่งช่วงแรกของการระบาดพบแพทย์ พยาบาลติดเชื้อเนื่องจากปฏิบัติหน้าที่ดูแลผู้ป่วยจำนวนมากในหลาย ๆ ประเทศ เช่น จีน อิตาลี สหรัฐอเมริกา รวมทั้งประเทศไทย บางรายต้องเสียชีวิต บางรายสามารถรักษาเยียวยาได้ทัน[4] ดังนั้น การรับมือกับการระบาดของโรคโควิด -19 จำเป็นที่จะต้องได้รับความร่วมมือจากทุกฝ่าย เพื่อต่อสู้กับโรคร้ายนี้งานกายภาพและสิ่งแวดล้อมจึงเป็นหนึ่งในงานที่มีบทบาทอย่างมากในการเตรียมการรับมือกับโรคนี้ บทความวิชาการฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมงานในด้านนี้ที่ช่วยให้การต่อสู้กับโรคร้ายนี้ไปได้ รวมทั้งการนำเสนอกรณีศึกษาของโรงพยาบาลในช่วงการเกิดวิกฤติของโรค

วิธีการศึกษา

บทความวิชาการฉบับนี้ คณะผู้เขียนได้ใช้วิธีการวิจัยเอกสาร (Documentary research) จากการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ โดยเฉพาะข้อมูลทุติยภูมิ จากรายงาน เอกสาร งานวิจัย วารสาร บทความวิชาการ หนังสือพิมพ์ เว็บไซต์ ทั้งจากในประเทศต่างประเทศ และสรุปเพิ่มเติม กรณีศึกษาของโรงพยาบาลที่ทีมผู้เขียนได้มีประสบการณ์ในการเตรียมพื้นที่เพื่อตอบโต้กับโรคโควิด-19

ผลการศึกษา และการอภิปรายผล

ข้อมูลจำเพาะของโรค โรคโควิด-19 เกิดจากเชื้อไวรัสที่มีหลายสายพันธ์ ส่วนสายพันธุ์ที่กำลังแพร่ระบาด ทั่วโลกตอนนี้เป็นสายพันธุ์ที่ยังไม่เคยพบมาก่อน คือ สายพันธุ์ที่ 7 จึงถูกเรียกว่าเป็น “ไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่” และภายหลังถูกตั้งชื่ออย่างเป็นทางการว่า “โควิด-19” [5] เชื้ออาจมีอาการรุนแรงต่อระบบ ทางเดินหายใจได้ [6,7]

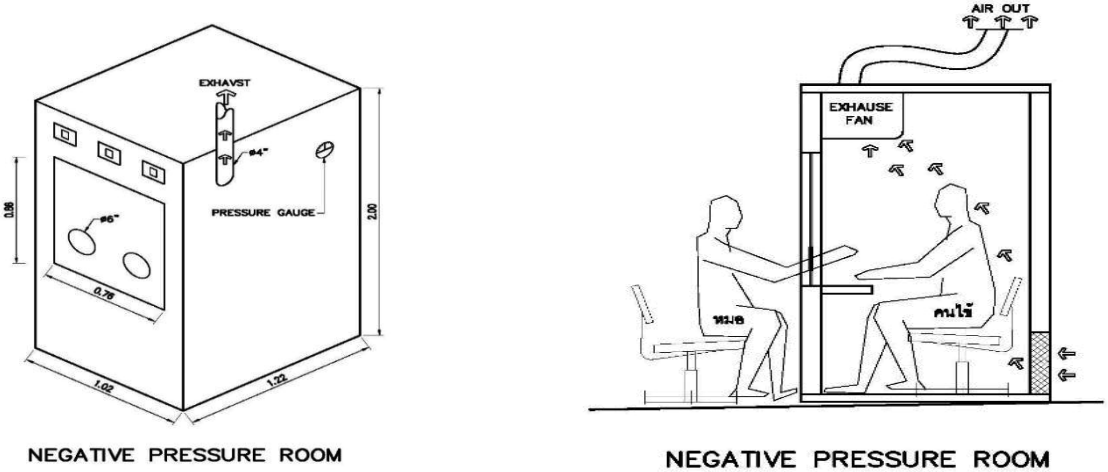
การระบาดของโรค ปริมาณ/สถิติ จากสถิติการระบาดของโรคทั่วโลกล่าสุด ณ วันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2564 มีจำนวนผู้ติดเชื้อทั้งสิ้น 155,840,157 ราย เสียชีวิต 3,255,494 ราย รักษาหายแล้ว 133,295,626 ราย [8] สำหรับประเทศไทย มีจำนวนผู้ติดเชื้อสะสมในประเทศไทย 76,811 ราย เสียชีวิต 336 ราย รักษาหายแล้ว 46,795 ราย [9,10] ในช่วงการระบาดระลอกแรกประเทศไทยได้รับการกล่าวขานถึงเรื่องการควบคุมดูแลการระบาดของโรคโควิด-19 ได้ดีอยู่ในอันดับต้น ๆ ของโลก ด้วยมาตรการต่าง ๆ ที่ภาครัฐประกาศใช้ใน เชิงกฎหมายและการควบคุมด้วยการอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วน ตามคำแนะนำของกระทรวงสาธารณสุข องค์การอนามัยโลกทั้งมาตรการโดยรวม เช่น การมีระยะห่างทางสังคม การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เป็นต้น [11,12] ซึ่งถือว่าได้รับความร่วมมือด้วยดีระดับหนึ่งตลอดช่วงที่ผ่านมา ผลกระทบของการระบาดต่อปัญหาสุขภาพ เศรษฐกิจ-สังคม สิ่งแวดล้อมทำให้หลาย ๆ คนต้องเปลี่ยนแปลงวิธีการดำเนินชีวิตที่เรียกว่า วิถีชีวิตแนวใหม่ (New Normal) กันในแทบทุกวงการและทุกพื้นที่ สำหรับงานด้านวิศวกรรมถือเป็นงานที่อยู่เบื้องหลังบุคลากรทางการแพทย์ในการต่อสู้กับโรคโควิด-19 มาด้วยกันตลอด อย่างไรก็ตามมีการเกิดระลอกที่สอง และระลอกที่สามในประเทศไทย ที่เป็นโจทย์ท้าทายให้กับรัฐบาลและภาคส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการควบคุมการแพร่ระบาดในระลอกนี้ให้มีจำนวนผู้ติดเชื้อและเสียชีวิตลดลงโดยเร็วที่สุด บทความนี้จึงขอกล่าวถึงส่วนที่เกี่ยวข้องในบางส่วนดังนี้

หลักการบริหารความเสี่ยงและการควบคุมโรคโควิด-19 ตามหลักการของการบริหารความเสี่ยงในรูปของ SHE (Safety, Health and Environment) เพื่อให้สถานพยาบาลที่ต้องรองรับผู้เข้ามาตรวจ คนป่วย บุคคลากรทางการแพทย์ปลอดภัยนั้นมีหลักการบริหารจัดการและการควบคุมตามลำดับชั้น [13] ได้แก่ 1) การกำจัดออกไปหรือไม่ให้เกิดขึ้น (Elimination) ซึ่งในทางปฏิบัติโรงพยาบาลหรือสถานพยาบาลจำเป็นต้องตรวจและรักษาผู้ติดเชื้อ จึงยากที่จะกำจัดออกไป แต่จะต้องมีหลักเกณฑ์ในการคัดกรองคนเข้ามาในพื้นที่ โดยเฉพาะกลุ่มเสี่ยงที่จะเข้ามาตรวจ สามารถจัดการให้ตรวจที่โรงพยาบาลสนามหรือพื้นที่ภายนอกเพื่อลดการปนเปื้อนในอาคารได้ 2) การทดแทน (Substitution) ลดความเสี่ยงการตรวจบุคคลที่มีความเสี่ยงจากห้องตรวจเดิมไปยังพื้นที่อื่น ดังเช่นที่กล่าวไว้ในข้อแรก คือ จัดให้มีการตรวจหรือเก็บตัวอย่างภายนอกเพื่อลดการแพร่กระจายไปยังผู้อื่น 3) การควบคุมด้วยหลักวิศวกรรม (Engineering control) พบว่า จำเป็นจะต้องตรวจหรือรับผู้ป่วยเข้ามาดูแลรักษา จำเป็นต้องจัดให้มีห้องที่ปลอดเชื้อเพื่อลดการแพร่กระจายเชื้อไปยังภายนอกหรือบุคลากร อาทิการจัดห้องความดันบวก ความดันลบ หรือการจัดให้มีหุ่นยนต์สำหรับการติดต่อกับผู้ป่วย 4) หลักการบริหาร (Administrative controls) ลดความเสี่ยงของบุคลากร จากการรับสัมผัสและการลดการแพร่กระจายไปยังผู้ใกล้ชิด หรือสมาชิกในครอบครัว เช่น การจัดพื้นที่หรือที่พักให้บุคลากรเป็นพิเศษ และสิ่งที่สำคัญยิ่งของบุคลากร คือ การลดความเสี่ยงการรับสัมผัสกับผู้ป่วยด้วยการใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเอง (PPE: Personal Protective Equipment) [14] อย่างไร

ก็ตาม การบริหารจัดการและการใช้หลักการวิศวกรรมในการควบคุมการแพร่กระจายของโรคโควิด-19 เพียงลำพังนั้นไม่สามารถดำเนินการได้ จำเป็นต้องอาศัยศาสตร์หลาย ๆ ด้านเข้ามาร่วมกัน เนื่องจากปัญหาภายในโรงพยาบาลมีความซับซ้อน สถาบัน Royal Academy of Engineering ได้ให้คำแนะนำที่โรงพยาบาลหรือสถานพยาบาลจำเป็นต้องวาง กลยุทธ์ในการรับมือกับการแพร่กระจายของโรคนี้ รวมถึงการดูแลพื้นที่การรับสัมผัส สุขอนามัยส่วนบุคคลของเจ้าหน้าที่ และผู้ที่มาติดต่อกับโรงพยาบาล[15] ทั้งนี้ OSHA ที่เป็นสถาบันด้านความปลอดภัย ได้ให้คำแนะนำในการเตรียมสถานที่สำหรับการป้องกันการแพร่กระจายของโรคโควิด-19 โดยใช้หลักการการบริหารความเสี่ยง ซึ่งรวมถึงการควบคุมด้วยหลักการทางวิศวกรรมด้วยเช่นกัน [16]

อุปกรณ์ทางการแพทย์ ที่ต้องใช้โดยอาศัยหลักการของวิศวกรรม เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของโรคไปยังผู้อื่นให้มีประสิทธิภาพ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดหาระบบการคัดกรองผู้ต้องสงสัยที่มีความเสี่ยงและเข้ามาตรวจ ณ สถานพยาบาลต่าง ๆ การคัดแยกผู้ต้องสงสัยและการเตรียมความพร้อมของบุคลากรด่านหน้า ทั้งเจ้าหน้าที่ พยาบาลและแพทย์ จำเป็นต้องแยกห้องตรวจหรือพื้นที่ตรวจออกมา ไม่อยู่ปะปนกับห้องอื่น ๆ โดยเฉพาะห้องที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบส่วนกลาง ที่อาจส่งผลต่อการแพร่เชื้อไปยังพื้นที่อื่น ๆ ได้ การจัดทำห้องพิเศษเพื่อการเก็บตัวอย่างและการตรวจนั้น โดยหลักการทางวิศวกรรมจะมีลักษณะของห้องเป็น 2 รูปแบบ คือ ห้องความดันลบ และห้องความดันบวก รายละเอียดดังนี้

ห้องความดันลบ (Negative Pressure Room) ส่วนใหญ่นำมาใช้ในอาคารที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ในการใช้งานผู้สงสัยติดเชื้อจะอยู่ในห้อง เจ้าหน้าที่หรือแพทย์จะอยู่ด้านนอกและยื่นมือเข้าทำการเก็บตัวอย่างและมีการฆ่าเชื้อหลังจากที่ผู้ป่วยหรือต้องสงสัยในการติดเชื้อออกจากห้องไปแล้ว โดยมีหลักการทำงานดังนี้ (ลักษณะของห้องดังภาพที่ 1)

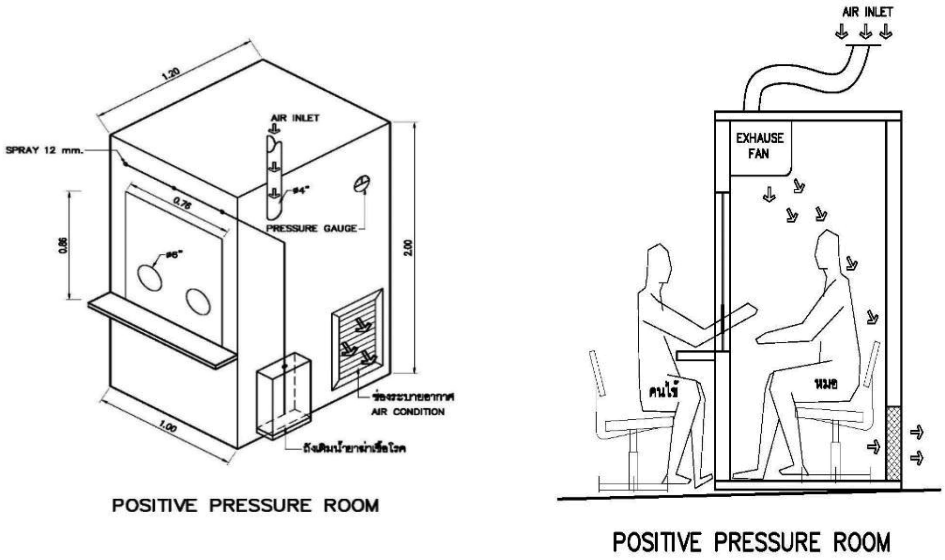


ภาพที่ 1 ลักษณะการทำงานของห้องความดันลบ (Negative Pressure Room)

หลักการทำงานของห้องความดันลบ หรือ ห้อง “Negative Pressure Room“ ในทางฟิสิกส์ “ความดัน” หมายถึง ขนาดของแรงที่กระทำต่อพื้นที่ 1 หน่วยในแนวตั้งฉาก ซึ่งความดันมีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือปาสคาลในระบบเอสไอ (SI) ความดันเป็นปริมาณสเกลาร์นั้น หมายความว่ามันไม่มีคุณสมบัติทางทิศทาง โดยมีสมการของความดัน คือ $P = F/A$ (P = ความดันมีหน่วยเป็น N/m^2 หรือ $kg.m^{-1}.s^{-2}$,F = แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นที่ผิวมีหน่วยเป็น

N, A = พื้นที่หน้าตัดที่ถูกแรงกระทำมีหน่วยเป็น m2) โดยหลักการของพื้นที่ของมวลอากาศจะเคลื่อนที่ที่มีความดันอากาศสูงกว่าไปยังที่ที่มีความดันอากาศต่ำกว่า ด้วยหลักการนี้เองจึงเป็นที่มาของห้องความดันบวก ห้องความดันลบ ปกติอากาศจะไหลจากที่ที่มีความดันสูงไปสู่ที่ที่มีความดันต่ำ ความดันภายในห้องความดันลบสำหรับตู้สิ่งตรวจ COVID-19 จะมีความดันลมภายในห้องไม่น้อยกว่าความดันลบ 5 pascal ขึ้นไป (≥-5 pascal) [17] ส่วนอัตราการระบายอากาศตามทฤษฎีอ้างอิงจากมาตรฐานศูนย์ป้องกันและควบคุมโรคแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา Centers for Disease Control[16] อัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 6-12 รอบต่อชั่วโมง (Air Change Per Hour)[18]

ห้องความดันบวก (Positive Pressure Room) หลักการทำงานจะตรงกันข้ามกับ ห้องความดันลบ กล่าวคือ ผู้ทำหน้าที่ตรวจหรือเก็บสิ่งส่งตรวจจะอยู่ภายในห้อง มีการติดตั้งเครื่องทำความเย็นอยู่ภายใน และการเก็บตัวอย่างแพทย์ผู้ตรวจจะยื่นมือและอุปกรณ์ออกมาเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้มักจะมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม อาทิ อินเตอร์คอม เพื่อการสนทนาระหว่างผู้ตรวจและผู้ถูกตรวจ โดยส่วนใหญ่เหมาะกับการติดตั้งไว้ภายนอกอาคารหรือโรงพยาบาลสนาม เพื่อความสะดวกในการตรวจและป้องกันการแพร่กระจายเชื้อได้ หลักการทำงานดัง**ภาพที่ 2**



ภาพที่ 2 ลักษณะของห้องความดันบวก (Positive Pressure Room)

หลักการทำงานของห้องความดันบวก หรือห้อง “Positive Pressure Room” จะทำงานตรงกันข้ามกับห้อง Negative Pressure Room คือ ภายในห้องดังกล่าวจะเป็นพื้นที่ทำงานของแพทย์และบุคลากรการแพทย์ ส่วนห้อง Negative Pressure Room ภายในห้องจะเป็นพื้นที่สำหรับให้ผู้ป่วยนั่งคอยตรวจ ส่วนแพทย์ พยาบาลจะตรวจและทำหัตถการอยู่ภายนอกห้อง ลักษณะของห้องนี้เหมาะสำหรับให้แพทย์หรือบุคลากรทางการแพทย์ใช้ปฏิบัติงานเพื่อป้องกันเชื้อไวรัสไม่ให้เข้ามาในส่วนของพื้นที่ปฏิบัติงานได้โดยแพทย์หรือบุคลากรทางการแพทย์ที่ต้องทำการเก็บตัวอย่างส่งตรวจจากผู้ป่วยเข้าไปภายในห้องความดันลบ โดยหลักการทำงานของห้องจะมีพัดลมดูดอากาศจากภายนอกห้องผ่านแผ่นกรองอากาศแบบหยาบไหลผ่านหลอด UV ชนิด C เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคแล้วจึงไหลผ่าน HEPA กรองอากาศอีกครั้ง ก่อนปล่อยอากาศเข้าภายในห้อง เมื่ออากาศเข้ามาภายในห้องที่มีลักษณะปิดทำให้ความดันอากาศในห้องมากกว่าความดันอากาศภายนอกอากาศจะไหลออกตามช่องเปิดหรือรอยรั่วของห้อง ส่งผลให้เชื้อโรคไม่สามารถเข้ามาภายในห้องได้ และในส่วนของห้องความดันบวก (Positive Pressure Room) จะต้องมีความดันภายในไม่น้อยกว่าบวก 5 (≥+5 pascal) โดยอากาศภายใน

ห้องจะหมุนเวียนด้วยอัตราไม่น้อยกว่า 12 เท่าของปริมาตรห้อง [17] ส่วนอากาศที่ไหลออกจะถูกดูดโดยพัดลมดูดอากาศและผ่านการกรองด้วยแผ่นกรองอากาศคุณภาพสูง เรียกว่า HEPA (High Efficiency Particulate Arrestance) ที่สามารถดักจับอนุภาคขนาดเล็กทำให้อากาศที่นำออกไปภายนอกอาคารมีความสะอาดเพียงพอ บางห้องสามารถเพิ่มการฆ่าเชื้อโรคโดยการใช้แสง UV ชนิด C ในการฆ่าเชื้อโรคในอากาศก่อนปล่อยออกสู่ชั้นอากาศโดยทั่วไป และภายในห้องจะต้องมีระบบปรับอากาศเพื่อให้อุณหภูมิห้องอยู่ที่ 21–24 °C ทั้งนี้การก่อสร้างห้องจะต้องคำนึงถึงการออกแบบและการก่อสร้างให้ได้มาตรฐาน หรือกรณีการใช้ตู้สำเร็จรูปจำเป็นต้องให้ได้มาตรฐานด้วยเช่นกัน

รายการ	ห้องความดันบวก (Positive pressure room)	ห้องความดันลบ (Negative pressure room)
ลักษณะการทำงาน	ความดันอากาศภายในห้องมีค่ามากกว่าความดันภายนอก โดยการสูบอากาศที่ผ่านการกรองเข้าไปในห้อง เป็นการป้องกันเชื้อโรคหรือสิ่งปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นจากห้อง ในกรณีที่มีการรั่วไหลหรือประตูเปิดออกอากาศที่สะอาดจะถูกบังคับให้ออกจากห้อง	ห้องความดันอากาศติดลบ คือ ความดันอากาศในห้องจะต่ำกว่าความดันภายนอกห้อง โดยทั่วไปสามารถทำได้โดยการกรองอากาศออกจากห้อง ในสถานการณ์ส่วนใหญ่อากาศจะเข้าสู่ตัวกรองที่อยู่ใกล้พื้นจากนั้นจะมีระบบดูดออกผ่านตัวกรองบนเพดานห้อง ห้องความดันอากาศลบมักจะนำมาใช้ในห้องปลอดเชื้อซึ่งเป้าหมายคือเพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งปนเปื้อนที่เป็นไปได้หลุดออกจากห้องปลอดเชื้อหน้าต่างและประตูจะต้องปิดสนิท
ผู้เก็บตัวอย่าง/สิ่งส่งตรวจ	ปฏิบัติหน้าที่อยู่ภายในห้อง สามารถปฏิบัติหน้าที่ได้นาน หากมีระบบปรับอากาศ หากตั้งอยู่ในสนามหรือภายนอกอาคาร	ปฏิบัติหน้าที่อยู่ภายนอกห้อง หากตั้งอยู่ในโรงพยาบาลสนามหรือกลางแจ้งจะได้รับสัมผัสอากาศภายนอกที่ร้อน ระยะเวลาการทำงานน้อยลง
บุคคลทั่วไป	ป้องกันการรับสัมผัสเชื้อของแพทย์และบุคลากรจากคนไข้ได้	สามารถป้องกันการแพร่เชื้อไปยังบุคคลอื่นได้หากมีผู้ที่มาใกล้ชิดในพื้นที่
ระบบควบคุมคุณภาพอากาศ	มีระบบควบคุมคุณภาพอากาศ ภายในห้องเพื่อป้องกันเชื้อจากภายนอกเข้ามา เช่น การติดตั้งแผ่นกรอง ระบบฆ่าเชื้อ การควบคุมด้วยเวลาสำหรับการปฏิบัติหน้าที่ของบุคลากรสามารถเปิดระบบฆ่าเชื้อได้หลังจากที่บุคลากรปฏิบัติงานแล้วเสร็จ จึงสามารถให้บริการได้ต่อเนื่องโดยเว้นระยะจากรายต่อไปไม่นาน	จำเป็นต้องมีระบบการบำบัดอากาศที่ปนเปื้อนก่อนออกสู่ภายนอก เช่น การฆ่าเชื้อ การติดตั้งตัวกรองก่อนปล่อยสู่ภายนอก เมื่อมีผู้ป่วยหรือผู้เข้ามารับการตรวจก่อนที่จะให้บริการรายต่อไป
ระยะเวลาการใช้งาน	สามารถตรวจหรือเก็บตัวอย่าง คนป่วยหรือผู้มีโอกาสรับเชื้อได้โดยมีระยะเวลารอคอยไม่นาน เนื่องจากผู้ป่วยหรือผู้เข้ามารับการตรวจอยู่ภายนอกในพื้นที่เปิดโล่ง	ต้องบำบัดอากาศภายในห้องก่อนที่จะรับผู้ป่วยหรือบุคคลอื่นเข้ามาในห้อง มีระยะเวลาในการรอคอย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบบำบัดและฆ่าเชื้อภายในห้องตลอดจนระบบการระบายอากาศออกไป

การทำความสะอาด ห้องตรวจ การใช้งานห้องตรวจจำเป็นที่จะต้องมีการทำความสะอาดอย่างต่อเนื่อง วัสดุที่ใช้จำเป็นต้องมีความแข็งแรง หากต้องตั้งอยู่กลางแจ้งหรือภายนอก จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติที่ดี มีความทนทานต่อแสงแดดและอุณหภูมิภายนอกที่สูงของประเทศไทย ห้องตรวจทั้งสองห้องโครงสร้างทำจากแผ่น PU Polyurethane Panel หนา 2นิ้ว และสามารถทนต่อแรงดันติดลบได้ถึง -30 Pa ผิวของวัสดุของตู้ทั้งภายในและภายนอกจะมีความเรียบ และผิวลื่นสามารถเช็ดทำความสะอาดได้ง่าย ทนต่อการใช้งานจำนวนมาก ๆ ภายในตู้มีชุดสเปรย์น้ำยาฆ่าเชื้อเพื่อทำความสะอาดห้องก่อน-หลังทำหัตถการเก็บสิ่งส่งตรวจ หลังจากนั้นจะเปิดระบบระบายอากาศเพื่อให้ระบบดูดอากาศออกจากห้องความดันลบ-ห้องความดันบวก โดยอากาศที่ดูดจะผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแสง UV และผ่าน HEPA Filter ก่อนจะถูกปล่อยออกภายนอกของ ตัวตู้ดังกล่าว

การใช้เทคโนโลยีหุ่นยนต์ การใช้หุ่นยนต์ทางการแพทย์รองรับสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อ หรือเรียกชื่อว่า Happy Bot เป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัจฉริยะ ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยแพทย์ เดินเร็วเทียบเท่ามนุษย์ไม่ต้องมีคนควบคุม Happy Bot ถูกสร้างขึ้นมาในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือ COVID-19 รวมทั้งการสร้างความร่วมมือกับทั้งภาครัฐและเอกชนในการต่อยอดผลงานวิจัย ต่าง ๆ เพื่อช่วยบรรเทาปัญหา ในขณะที่บุคลากรทางการแพทย์มีงานล้นมือ ต้องปฏิบัติหน้าที่ควบคุมสถานการณ์ตลอด 24 ชั่วโมง เทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมหุ่นยนต์มีส่วนช่วยบุคลากรทางการแพทย์ได้อย่างมาก จึงถูกนำมาใช้ในโรงพยาบาลเพื่อทำงานร่วมกับมนุษย์ และช่วยลดการสัมผัสผู้ป่วยติดเชื้อ สามารถใช้ในการติดตามคนไข้บนหอผู้ป่วย ใช้ในการดูแล และการพยาบาล ใช้ขนส่งอาหาร อุปกรณ์ทางการแพทย์และเวชภัณฑ์ยา สิ่งเหล่านี้ คือ เหตุผลความสำคัญและความจำเป็นเร่งด่วนของการที่ต้องนำหุ่นยนต์เข้ามาช่วยงานมากขึ้น เพื่อลดความเสี่ยง และช่วยแบ่งเบาภารกิจของบุคลากร และเพื่อลดการสิ้นเปลืองของอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (Personal Protective, PPE) และความเสี่ยงการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส โควิด -19 ในบุคลากรทางการแพทย์ที่ดูแลผู้ป่วย โดยได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ในการทดสอบระบบอิเล็กทรอนิกส์ ความปลอดภัย และมาตรฐานของหุ่นยนต์ ซึ่งหุ่นยนต์ Happy Bot มีความสามารถใน 4 ด้าน ประกอบด้วย การขนส่ง (Transport) การนำทาง (Guide) การแนะนำ-บรรยาย (Cruise) และการสนทนาแบบเห็นหน้า (Tele Conference) โดยสามารถเคลื่อนที่อิสระได้ด้วยตัวเอง ด้วยความเร็ว 2.5-3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พร้อมช่องเก็บแบบ ปิด-เปิด และล็อคด้วยไฟฟ้า มีความจุ 17 ลิตร สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้ 10-15 กิโลกรัม ตัวเครื่องมีหน้าจอสำหรับสื่อสารกับผู้ป่วย ซึ่งสามารถพูดคุยสนทนาแบบเห็นหน้าได้โดยไม่ต้องเชื่อมต่อกับระบบเน็ตเวิร์คของโรงพยาบาล สำหรับคุณสมบัติพิเศษของ Happy Bot ใช้ระบบ AI เข้ามาช่วยสร้างแผนการเดินทางได้อัตโนมัติ กำหนดพื้นที่ที่ต้องการหลีกเลี่ยงการเดินเมื่อมีอุปสรรคหรือสิ่งกีดขวาง ตลอดจนสามารถเปลี่ยนเส้นทางได้โดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบลิฟต์สั่งเปิด-ปิดกับประตูอัตโนมัติได้ รวมทั้งมีระบบ Access Control ที่สามารถตั้งรหัสผ่านเพื่อป้องกันการใช้งานจากผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาต และป้องกันการสูญหายของยา อีกทั้งสามารถตรวจสอบและรายงาน วัน-เวลา ที่ รับ-ส่ง ยา และระยะทางจากจุดเริ่มต้นถึงปลายทาง รวมถึงระบุผู้ส่ง-รับของได้

การใช้ระบบ การแพทย์ระยะไกล (Telemedicine) Telemedicine คือ การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยให้ผู้ป่วยและบุคลากรทางการแพทย์สามารถสนทนาตอบโต้กันได้แบบ Real-time เช่นเดียวกับการสื่อสารผ่านระบบ Video Conference ที่คู่สนทนาสามารถมองเห็นหน้าและสนทนากันได้ทั้ง 2 ฝ่าย อย่างไร้ข้อจำกัดในเรื่องเวลาและสถานที่ (บางคนใช้คำว่าโทรเวชกรรม หรือทับศัพท์ด้วยคำว่าเทเลเมดิซีน) ส่วนประเภทของ Telemedicine จะมีด้วยกันหลายประเภท ได้แก่ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารต่าง ๆ หรืออุปกรณ์มัลติมีเดีย มาช่วยเสริมด้านการรักษาทางการแพทย์

ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับระบบสารสนเทศของฝ่าย ผู้ให้บริการและผู้รับบริการที่ควรจะมีความเสถียร สามารถส่งข้อมูลและการปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคลที่เกี่ยวข้องกันได้ทันท่วงที ไม่สะดุด สามารถจัดเก็บ/การส่งต่อข้อมูลทางการแพทย์ได้ อย่างไรก็ตามหากประสบปัญหาสามารถใช้ระบบ off line ได้ เช่น ระบบการแพทย์ทางไกลที่เกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนข้อมูล ที่บันทึกไว้ล่วงหน้าในช่วงเวลาที่ต่างกัน ด้วยการส่งจดหมายอิเลคทรอนิคส์ หรืออีเมล์ไปยังปลายทางข้อจำกัดของระบบนี้ แพทย์ที่รับข้อมูลไม่สามารถซักประวัติหรือตรวจสอบร่างกายผู้ป่วยได้โดยตรง ระบบที่นิยมและมีประสิทธิภาพกว่า คือ การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ป่วยกับแพทย์ผู้เชี่ยวชาญหรือแพทย์ผู้ดูแลสามารถโต้ตอบได้ทันที เช่น สนทนาทางโทรศัพท์ การประชุมทางไกล (Video Conferencing) วิธีนี้ช่วยให้แพทย์ผู้เชี่ยวชาญที่อยู่อีกสถานที่ สามารถซักประวัติผู้ป่วย สั่งตรวจร่างกาย และประเมินสภาวะทางจิตใจ จากโรงพยาบาลที่ขอคำปรึกษาได้ ส่งผลให้การรักษาทางด้านการแพทย์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สะดวกรวดเร็ว

นอกจากนี้ยังมีการพัฒนารูปแบบของ Telemedicine อย่างต่อเนื่องควบคู่ไปกับการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคม ทำให้ลักษณะและรูปแบบการบริการในอนาคตอาจเปลี่ยนแปลงไป และมีรูปแบบใหม่ ๆ เกิดขึ้นตลอดเวลา ระบบให้คำปรึกษา ผู้เชี่ยวชาญจะให้คำปรึกษาหรือวินิจฉัยสุขภาพโดยการสอบถามอาการผู้ป่วยผ่านกล้องวิดีโอเพื่อใช้ประกอบการวินิจฉัย ระบบเฝ้าระวัง ตัวอย่างที่มีการใช้งานจริงในช่วงวิกฤติการระบาดของโรคโควิด คือการเฝ้าระวังสุขภาพที่บ้าน โดยการนำอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ ไปติดตั้งที่บ้าน โดยข้อมูลสัญญาณชีพถ้าสัญญาณชีพที่ส่งมามีความผิดปกติก็จะแจ้งให้ผู้ป่วยเข้ารับการรักษาโดยทันที ระบบให้ข้อมูลสุขภาพเป็นระบบที่ให้บริการสอบถามความรู้เรื่องสุขภาพ หรือให้คำปรึกษาโรค โดยผู้ใช้สามารถสืบค้นข้อมูลโดยผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ หรือปรึกษาออนไลน์กับผู้เชี่ยวชาญ ระบบเรียนรู้ทางการแพทย์ เป็นแหล่งเรียนรู้และเผยแพร่ความรู้ให้กับแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญ โดยระบบจะทำหน้าที่รวบรวมความรู้ ผู้ใช้สามารถสืบค้นข้อมูลหรือเผยแพร่ข้อมูลความรู้เพื่อประโยชน์ด้านการศึกษา

บทเรียนจากโรงพยาบาล ในช่วงแรกที่โรคโควิด-19 เริ่มระบาดเข้าสู่ประเทศไทยประมาณ เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 นั้น โรงพยาบาลได้วางแผนการรับมือโรคโควิด-19 แต่ในด้านกายภาพพื้นที่ของโรงพยาบาลไม่ได้เตรียมความพร้อมรับมือโรคนี้ ในการตรวจครั้งแรกโรงพยาบาลใช้ห้องตรวจคลินิกไข้ปกติเป็นห้องตรวจรักษาแต่พื้นที่ดังกล่าวไม่ได้เตรียมระบบป้องกันที่ดี และปลอดภัยเพียงพอสำหรับการตรวจโรค โควิด-19 โรงพยาบาลได้หารือกับงานวิศวกรรมว่าจะดำเนินการอย่างไรกับการเก็บตัวอย่าง สิ่งส่งตรวจ (ห้อง Swab) ที่ทางแพทย์ พยาบาล บุคลากรทางการแพทย์มีความปลอดภัยในการทำงาน และประมาณเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 งานวิศวกรรมได้ออกแบบและใช้พื้นที่ของป้อมยามของโรงพยาบาล ขนาด 1.30 x 1.50 เมตร มาปรับปรุงให้สามารถใช้งานกับห้องเก็บสิ่งส่งตรวจได้ และปลอดภัยโดยทำการรื้อบานหน้าต่างบานเลื่อนออก แล้วใช้แผ่นอะคริลิคใสความหนา 6 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 4 นิ้ว จำนวน 2 รู และติดอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่จะใช้กับงานนี้เสร็จแล้วประกอบแผ่นอะคริลิคเข้าไปในช่องว่างที่จัดเตรียมไว้ นอกจากนั้นยังเพิ่มระบบดูดอากาศภายในป้อมที่ดัดแปลง เพื่อให้อากาศภายในห้องไม่สามารถย้อนออกมาภายนอกตู้ได้ และได้ดำเนินการปิดช่องต่าง ๆ ที่คาดว่าอากาศจะลอดออกมาได้ จากนั้นก็เพิ่มความสว่างภายในห้องดังกล่าว และทาสีภายในเพื่อให้สะอาดเหมาะกับการใช้งาน จากการดำเนินการจัดทำห้องเก็บตัวอย่างสิ่งส่งตรวจแล้วนั้น โรงพยาบาลได้ดำเนินการตรวจและเก็บตัวอย่างของผู้ป่วยในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 เป็นจำนวน 59 คน จากเดือนที่ผ่านมาเห็นได้ว่าจำนวนของผู้ป่วยที่มารักษามีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทางโรงพยาบาลและงานวิศวกรรมได้ประสานงานกับทางภาครัฐและเอกชน ที่มีความประสงค์จะบริจาคห้องตรวจ (Negative Pressure และ Positive Pressure) จำนวน 2 ชุด และมีบริษัทเอกชนติดต่อกลับมาเพื่อขอบริจาค ตู้ตรวจดังกล่าวจำนวน 2 ชุด คือ ห้องตรวจแบบความดันบวกใช้ในพื้นที่ภายนอกอาคาร และห้องความดันลบใช้ภายในอาคารเมื่อ

จำเป็นต้องเก็บสิ่งส่งตรวจจากผู้ป่วย ทั้งนี้ การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยต้องดำเนินการด้วยความระมัดระวัง และดำเนินการภายใต้มาตรการอย่างเข้มข้น ห้องตรวจทั้งสองรูปแบบได้ช่วยให้โรงพยาบาลสามารถทำงานได้สะดวกและคล่องตัวขึ้น โดยเฉพาะเรื่องความปลอดภัยต่อบุคคลากรและผู้มารับบริการ

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

โรคระบาดโควิด-19 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตของคนเปลี่ยนไปจากเดิมทำให้เกิดการปรับตัวเป็นสังคมรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า New normal การระบาดของโรคทำให้เกิดการเสียชีวิตมากกว่า สิบล้านคนทั่วโลก ในระยะเวลาเพียง 1 ปีครึ่ง การเจ็บป่วยมากกว่า 100 ล้านคน ครอบคลุมทุกทวีป จากวิกฤตินำไปสู่โอกาส ทำให้เกิดนวัตกรรมต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมายในการควบคุมการระบาดของโรคโดยตรง และการสร้างนวัตกรรมอื่น ๆ เพื่อให้การดำรงชีวิตอยู่ได้ต่อไปในการรับมือกับการระบาดของโลก ซึ่งถือเป็นนวัตกรรมทางอ้อมเป็นจำนวนมากเช่นกัน บทความนี้มีข้อเสนอแนะให้คงรักษาระบบและมาตรการที่เกี่ยวข้องจากกระทรวงสาธารณสุขอย่างเข้มงวดเพื่อควบคุมการระบาดของโรคที่อาจอุบัติซ้ำได้ นอกจากนี้แล้วประสบการณ์ของหลาย ๆ โรงพยาบาล พบว่า ความร่วมมือของทุกภาคส่วนเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งในการควบคุมการระบาดของโรค โรงพยาบาล คือ พื้นที่ที่ต้องรักษาผู้ติดเชื้อและต้องควบคุมการแพร่เชื้อของโรคไปยังผู้อื่น โดยเฉพาะบุคลากรทางการแพทย์ พยาบาลและบุคลากรที่ต้องปฏิบัติงานในโรงพยาบาล ซึ่งเป็นกำลังหลักในการดูแลรักษาผู้ป่วยโควิด หากบุคลากรกลุ่มนี้ติดเชื้อ จะทำให้การรักษาผู้ป่วยมีข้อจำกัด สัดส่วนของผู้ป่วยต่อบุคลากรจะมากขึ้น ซึ่งถือเป็นภาระหนักในการบริหาร เนื่องจากการผลิตบุคคลากรจำเป็นต้องใช้ระยะเวลา ความรู้ ทักษะ และประสบการณ์ในการทำงาน การผลิตบุคคลากรเพื่อปฏิบัติหน้าที่ภายในระยะเวลาสั้น ๆ นั้น ไม่สามารถจะทำได้ มาตรการอีกอย่างที่จะควบคุมการแพร่ระบาดของโรค คือการจัดหาวัคซีนที่มีประสิทธิภาพและเหมาะกับลักษณะของประชากร อาทิ อายุ ความเสี่ยงด้านต่าง ๆ เช่น โรคประจำตัว หรืออื่น ๆ ให้กับประชาชนให้ได้มากที่สุด และการทำความเข้าใจถึงข้อดีของการฉีดวัคซีน การดำเนินการตามมาตรการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กระทรวงสาธารณสุข และมาตรการอื่น ๆ ของภาครัฐอย่างเข้มข้น โดยทุกคนสามารถปฏิบัติตามหลักการของ DMHTT ได้ (D: Distancing คือ การเว้นระยะห่าง M: Mask wearing การใส่หน้ากากอนามัยตลอดเวลาที่ต้องพบปะพูดคุยกับผู้อื่นในระยะที่ใกล้กัน H: Hand washing การล้างมือให้บ่อยเมื่อจับต้องหรือสัมผัสสิ่งของที่อาจมีการปนเปื้อนของเชื้อ T: Testing หมั่นตรวจสอบอุณหภูมิร่างกายของตนเอง T: Thai Cha Na การระบุตำแหน่งสถานที่โดยการใช้แอพพลิเคชั่นมือถือป้อนข้อมูลตนเองเพื่อตรวจสอบช่วงเวลา กิจกรรมของตนเอง หากมีการติดเชื้อสามารถที่จะควบคุมด้วยหลักการระบาดวิทยาต่อไปได้ เพื่อควบคุมพื้นที่และบุคคลที่ใกล้ชิดต่อไป ทั้งนี้ หากไม่มีโทรศัพท์แบบสมาร์ทโฟน หากไปที่แห่งใดสามารถลงทะเบียน ระบุตัวตน ที่อยู่ หรือเบอร์โทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. โควิด-19 ไปด้วยกัน คู่มือดูแลตัวเองสำหรับประชาชน. 2020 [เข้าถึงเมื่อ 2 ธันวาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก http://dmsic.moph.go.th/index/detail/81.
2. Ducharme, J. World Health Organization Declares COVID-19 a 'Pandemic.' Here's What That Means' 2020 [cited 2020 December 2]. Available from: https://time.com/5791661/who-coronavirus-pandemic-declaration/.
3. Ducharme, J. World Health Organization Declares COVID-19 a "Pandemic." Here's What That Means. 2020 [cited 2020 March 11]. Available from: https://time.com/5791661/who-coronavirus-pandemic-declaration/.

4. NEWS, B. ไวรัสโคโรนา: สธ. แถลงผู้ป่วยโควิด-19 เพิ่มอีก 107 คน มีแพทย์ติดเชื้อเพิ่ม. 2020 [เข้าถึงเมื่อ 2020 March 25]. เข้าถึงได้จาก https://www.bbc.com/thai/thailand-52029549.
5. WHO. Coronavirus.2021 [cited 2021 May 6]. Retrieved from https://www.who.int/health-. topics/coronavirus#tab=tab_1/.
6. Shereen, M. A., Khan, S., Kazmi, A., Bashir, N., & Siddique, R. COVID-19 infection: Origin, transmission and characteristics of human coronaviruses. Journal of Advanced Research 2020; 24: 91-98.
7. Waleed, M. S., Sadiq, W., & Azmat, M. Understanding the Mosaic of COVID-19: A Review of the Ongoing Crisis. Cureus 2020; 12(COMPANY): e7366-e7366.
8. Worldometer. COVID-19 CORONAVIRUS PANDEMIC 2020 [cited 2021 May 6]. Available from: https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries.
9. Worldometer. COVID-19 CORONAVIRUS PANDEMIC. 2020 [cited 2021 May 6]. Available from: https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries.
10. Department of Disease Control, T. โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19). 2020 [cited 2020 March 11]. Available from: https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/situation.php
11. Tantrakarnapa, K. and Bhopdhornangkul, B. Challenging the spread of COVID-19 in Thailand, One Health. 2020. https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2020.100173
12. Tantrakarnapa, K., Bhopdhornangkul, B., & Nakhaapakorn, K. (2020). Influencing factors of COVID-19 spreading: a case study of Thailand. Zeitschrift Fur Gesundheitswissenschaften, 1-7. 2020
13. Cornell University Foundation COVID-19 Hierarchy of Controls. 2020 [cited 2020 May 5] Available from: https://ehs.cornell.edu/campus-health-safety/occupational-health/covid-19/covid-19-hierarchy-controls.
14. AIHA. Reducing the Risk of COVID-19 Using Engineering Controls. Guidance Document 2020 [cited 2020 May 5] Available from: https://aiha-assets.sfo2.digitaloceanspaces.com/AIHA/ resources/Guidance-Documents/Reducing-the-Risk-of-COVID-19-using-Engineering-Controls-Guidance-Document.pdf.
15. Royal Academy of Engineering. Engineering controls play a critical role in limiting the transmission of COVID-19, says Academy.2020[cited 2021 May 5] Available from: https:// www.raeng.org. uk/ news/news-releases/2020/june/engineering-controls-play-a-critical-role-in-limit.
16. OSHA. Guide dance on Preparing Workplaces for COVID-19: OSHA 3990-03-2020. [Internet] 2020 [cited 2020 May 5] Available from: https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/ OSHA3990.pdf.
17. คณะอนุกรรมการมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศในคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมเครื่องกล. มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ, พิมพ์ครั้งที่ 4. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์; 2561.
18. ศูนย์ป้องกันและควบคุมโรคแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา Centers for Disease Control (CDC). 2563 [เข้าถึงเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2563] เข้าถึงได้จาก: https://www.cdc.gov.
19. ทวี เวชพฤติ. (2562). การระบายอากาศของห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยว. บทความวิชาการ ชุดที่ 11 สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย 2562; 11(08): 102-109.