คู่มือ

การปรับปรุงคุณภาพอากาศ
ภายในอาคารสถานพยาบาล

สถาบันบำราศนราดูร
กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข
BAMRASNARADURA INFECTIOUS DISEASES INSTITUTE

ชื่อหนังสือ คู่มือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารสถานพยาบาล

บรรณาธิการ พ.ญ.จริยา แสงสัจจา

ผู้เขียน จริยา แสงสัจจา
ทรงยศ ภารดี

จำนวนหน้า 100 หน้า

จำนวนพิมพ์ 1,000 เล่ม

พิมพ์ครั้งที่ 1 กันยายน 2550

ISBN : รอก่อน [redacted]

คณะผู้จัดทำ

พญ.อัจฉรา	เชาวะวณิช
พญ.ศิริวรรณ	สิริกวิน
นพ.ปรีชา	ตันธนาธิป
พญ.นภา	จิระคุณ
นางประอร	น้อยตั้ง
นางศิริพร	ชาตะปัทมะ
นางวราภรณ์	เทียนทอง
นางทิพาภรณ์	สายนุ้ย
นางธนีพร	รอดหิรัญ

พิมพ์ที่ โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ
โทร. 02-2233351 โทรสาร 02-6212910

คำนำ

ในช่วงที่มีการระบาดของโรค SARS ทางสถาบันบำราศนราดูรได้มีการดัดแปลงห้องและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เหมาะกับการดูแลผู้ป่วยโรคติดต่อทางเดินหายใจและมีการปรับปรุงใช้ในการแยกโรคต่างๆ เช่น วัณโรค, โรคหัด, โรคไข้สุกใส ฯลฯ โดยปรับปรุงห้องที่มีอยู่ตามงบประมาณที่มีอย่างจำกัด ต่อมาได้มีการสร้างห้อง Negative Pressure เต็มรูปแบบ และได้เป็นแบบอย่างให้โรงพยาบาลต่าง ๆ ทั่วประเทศมาเรียนรู้

ดิฉันขอขอบคุณ แพทย์หญิงจริยา แสงสัจจา และทีมงานของกลุ่มการพยาบาลที่ได้พยายามถ่ายทอดความรู้ออกมาเพื่อให้ผู้ที่สนใจได้เรียนรู้ และขอเป็นกำลังใจแก่บุคลากรสาธารณสุขทุกท่านที่ต้องดูแลผู้ป่วย เพื่อให้ผู้ป่วยปลอดภัยและบุคลากรก็ไม่ติดโรค คิดว่าหนังสือเล่มนี้คงเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจนำไปปรับใช้ต่อไป

นางอัจฉรา เชาวะวณิช
ผู้อำนวยการสถาบันบำราศนราดูร

คำนำ

การป้องกันการติดเชื้อและแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ นับเป็นภารกิจสำคัญประการหนึ่งของสถานพยาบาล ปัจจัยที่ส่งเสริมให้ปัญหาการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศในสถานพยาบาลมีมากขึ้น ได้แก่ การมีโรคอุบัติใหม่อุบัติซ้ำระบบทางเดินหายใจซึ่งแพร่กระจายทางอากาศได้ โครงสร้างอาคารสถานพยาบาลที่ไม่เอื้อต่อการระบายอากาศได้อย่างเพียงพอ การใช้เครื่องปรับอากาศในพื้นที่สำหรับดูแลผู้ป่วย โดยไม่มีการกรองหรือระบายอากาศตามเกณฑ์มาตรฐานอย่างเหมาะสม สถาบันบำราศนราดูร กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุขได้เล็งเห็นความสำคัญของการปรับปรุงคุณภาพอากาศในอาคาร (Indoor air Quality) ของสถานพยาบาล จึงได้ดำเนินการในเรื่องนี้ โดยรวบรวมองค์ความรู้ทั้งทางด้านการแพทย์ วิศวกรรม และสถาปัตยกรรมจากผู้เชี่ยวชาญหลายสาขาวิชา ทั้งนี้ได้รับความสนับสนุนการดำเนินงานจากกรมควบคุมโรค รวมทั้งหน่วยงานอื่นๆ ทั้งในและนอกกระทรวงสาธารณสุข ในหนังสือเล่มนี้นอกจากเนื้อหาเรื่องการปรับปรุงคุณภาพอากาศในสถานพยาบาลแล้ว ยังได้รับความอนุเคราะห์บทความเรื่องปัญหาความชื้นกับการติดเชื้อทางอากาศจาก คุณทรงยศ ภารดี ซึ่งเป็นวิศวกรเครื่องกลที่มีความเชี่ยวชาญการออกแบบระบบปรับอากาศ และแก้ไขปัญหาความชื้นในสถานพยาบาลมาเพิ่มความสมบูรณ์ของสาระในหนังสือเล่มนี้ด้วย ผู้จัดทำจึงหวังว่าบุคลากรทางการแพทย์และบุคลากรสาขาอื่นที่ เกี่ยวข้องจะสามารถนำแนวคิดจากหนังสือนี้ไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศในสถานพยาบาลต่าง ๆ ต่อไป

คณะผู้จัดทำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ แพทย์หญิงอัจฉรา เชาวะวณิช ผู้อำนวยการสถาบันบำราศนราดูร ผู้เสนอและบริหารโครงการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารของสถาบันบำราศนราดูร วิศวกรและสถาปนิกที่ปรึกษา ผู้ออกแบบและจัดสร้าง ประกอบด้วย ผศ.ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา คุณจักรพันธ์ ภวังคะรัตน์ คุณสาธิต อัศวาณิชย์ คุณสินี อมรทัต คุณภัทร วัฒนธรรม คุณทรงยศ ภารดี คุณฉัตรโสภา ธรรมศักดิ์ แพทย์และพยาบาล ตลอดจนบุคลากรของสถาบันบำราศนราดูรที่มีส่วนในการดำเนินโครงการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

การปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารของสถาบันบำราศนราดูร

จริยา แสงสัจจา

ประวัติและกลไกการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ	1
การป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศในสถานพยาบาล	4
คุณภาพอากาศในอาคารพยาบาล และมาตรฐานการออกแบบ ระบบปรับอากาศ และระบายอากาศในสถานพยาบาล	9
ข้อกำหนดพื้นฐานของระบบปรับอากาศ และระบายอากาศในสถานพยาบาล	10
การปรับปรุงคุณภาพอากาศในอาคารของสถาบันบำราศนราดูร	18
หอผู้ป่วยแยกโรคที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศ	19
ห้องแยกโรคที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศแบบประยุกต์	41
หอผู้ป่วยวิกฤต	46
หอผู้ป่วยฉุกเฉิน	51
ห้องตรวจส่องกล้อง	55
ห้องปฏิบัติการตรวจและเพาะเชื้อวัณโรคและเชื้ออันตราย	59
ห้องให้คำปรึกษาแก่ผู้ป่วย	62

หน้า

ห้องตรวจอัลตราซาวน์ 64

ห้องผู้ป่วยพิเศษรวม 64

ห้องพ่นยา แผนกผู้ป่วยนอกกุมารเวชกรรม 66

โถงรอตรวจผู้ป่วยนอกอายุรกรรม 68

สรุป 71

เอกสารอ้างอิง 73

ปัญหาความชื้นกับการติดเชื้อทางอากาศ

ทรงยศ ภารดี

ไรฝุ่น 77

รา 80

แบคทีเรีย 84

การควบคุมความชื้นเพื่อแก้ปัญหาที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ 87

เอกสารอ้างอิง 91

การปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร
ของสถาบันบำราศนราดูร

จริยา แสงสัจจา
วท.บ., พบ., วว. (กุมารเวชศาสตร์)

การแพร่กระจายเชื้อทางอากาศในสถานพยาบาลเป็นปัญหาสำคัญทางการแพทย์และสาธารณสุขทั่วโลก สำหรับประเทศไทย เชื้อวัณโรคซึ่งเป็นเชื้อที่แพร่กระจายทางอากาศกำลังเป็นปัญหาสำคัญ เนื่องจากอุบัติการณ์ของวัณโรคเพิ่มขึ้น และพบเชื้อวัณโรคที่ดื้อยาหลายขนานด้วย นอกจากนี้โรคอุบัติใหม่ระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ โรค SARS, Avian Influenza A H5N1 อาจแพร่ทางอากาศหรือทางฝอยละอองขนาดเล็ก (aerosol) ได้ในบางสภาวการณ์ การป้องกันการแพร่การกระจายเชื้อทางอากาศในสถานพยาบาลจึงเป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการ

ประวัติและกลไกการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ

ในปี ค.ศ. 1930 William F.Wells[1] ซึ่งเป็นวิศวกรด้านสุขาภิบาล จากมหาวิทยาลัย Harvard ได้ทำการศึกษาร่วมกับนักศึกษาแพทย์ Richard Reiley และรายงานว่าแก่นของฝอยละออง (droplet nuclei) ซึ่งมีจุลชีพอยู่เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ เนื่องจากอานุภาค ซึ่งมีขนาด ≤ 5 ไมครอน สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นาน โดยไม่ตกลงสู่พื้น และจะล่องลอยอยู่ในอากาศไปได้ไกลมาก จากจุดกำเนิด ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ใช้คำนวณความเร็วที่อนุภาคขนาด 1-100 ไมครอน จะตกลงสู่พื้นซึ่งเสนอโดย Lewis Strokes[2] จากสมการดังกล่าว พบว่า อนุภาคขนาด 1-5 ไมครอนที่อยู่

ในกระแสอากาศนิ่ง จะมีอัตราการตกสู่พื้น 1 หลา ต่อชั่วโมง ทั้งนี้ หากมีกระแสลมแรงการแขวนลอยในอากาศของอนุภาคดังกล่าวก็จะนานขึ้น เมื่อถูกหายใจเข้าไปอนุภาคขนาด 1-5 ไมครอน จะสามารถผ่าน cilia และ mucosal defences ในบริเวณทางเดินหายใจส่วนบน ลงไปสะสมในถุงลมปอด (alveoli) หากเชื้อโรคนั้นยังคงมีชีวิตอยู่บน droplet nuclei ได้ก็จะก่อให้เกิดโรค การศึกษาเรื่องการแพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศมีอย่างกว้างขวางหลังจากอุบัติการณ์ของวัณโรคเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งการอุบัติของโรคทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรงจากเชื้อ SARS Corona virus ซึ่งมีหลักฐานว่าเป็นโรคที่แพร่กระจายทางอากาศในบางสภาวการณ์ [3] ทำให้ปัจจุบันมีการแบ่งเชื้อโรคที่แพร่กระจายทางอากาศออกแบบ 3 กลุ่ม คือ[4]

1. Obligated airborne transmission เชื้อโรคใช้วิธีการแพร่กระจายทางอากาศเป็นวิธีหลัก โรคที่มีหลักฐานว่าแพร่กระจายแบบนี้ คือ วัณโรค โดยเฉพาะวัณโรคปอดและกล่องเสียง นอกจากนี้ Measles, เชื้อรากลุ่ม Aspergillus spp และ Rhizopus spp.. อาจจัดอยู่ในกลุ่มนี้เนื่องจากมีหลักฐานชัดเจนว่ามีการแพร่กระจายทางอากาศเป็นช่องทางหลัก[5]

2. Preferential airborne transmission เชื้อโรคในกลุ่มนี้สามารถแพร่กระจายได้หลายวิธี แต่หากแพร่กระจายทางอากาศหรืออยู่ในรูป aerosol และเข้าไปสะสมในส่วนปลายของปอดแล้ว จะทำให้เชื้อโรคแพร่กระจายไปทั่วร่างกายและมีการดำเนินโรคเต็มรูปแบบ (full-blown disease) เชื้อโรคในกลุ่มนี้ได้แก่ Varicella-Zoster, Smallpox, เชื้อรากลุ่ม Acremonium spp. สำหรับไข้หวัดใหญ่ และไข้หวัดนก (Influenza A H5N1) ก็มีหลักฐานว่าน่าจะอยู่ในกลุ่มนี้โดยเฉพาะไข้หวัดนก Influenza A H5N1 นั้น พบว่ามีตัวรับเชื้อ (receptor) อยู่ที่ส่วนปลายของปอด และมีการแบ่งตัวของไวรัสในตำแหน่งนั้นด้วย[6] เชื้อโรคในกลุ่มนี้หากแพร่กระจายโดยวิธีอื่น ความรุนแรงของโรคจะลดลง

3. Opportunistically airborne transmission เชื้อโรคในกลุ่มนี้ตามธรรมชาติจะแพร่กระจายโดยวิธีอื่น แต่ในบางสภาวการณ์ เช่นการทำให้เชื้อโรคอยู่ในรูปของ aerosol และถูกสูดดมเข้าไปในส่วนปลายของปอดก็จะก่อให้เกิดโรคได้ เชื้อโรคที่น่าจะอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ SARS Corona Virus และกลุ่มของ Viral hemorrhagic fever ได้แก่ Ebola, Lassa, Marburg, Hanta

นอกจากนี้อาจแบ่งโรคที่แพร่กระจายทางอากาศออกเป็น 2 กลุ่ม ตามความเสี่ยงของผู้สัมผัสกล่าวคือ

- กลุ่มแรก เป็นกลุ่มของโรคซึ่งคนปกติที่ไม่มีภูมิต้านทานต่อโรคนั้นๆ มีความเสี่ยงต่อการติดโรค ได้แก่ เชื้อวัณโรค Measles virus, Varicella-Zoster virus, Smallpox, SARS corona virus, Influenza A H5N1 และกลุ่ม Viral hemorrhagic fever การป้องกันการแพร่กระจายของโรคเหล่านี้ ต้องใช้การป้องกันที่แหล่งโรค (ผู้ป่วย) กล่าวคือ ต้องให้ผู้ป่วยอยู่ในห้องแยกสำหรับการป้องกันการแพร่เชื้อทางอากาศ และผู้ที่จะต้องเข้าไปอยู่ห้องเดียวกับผู้ป่วย ต้องสวมหน้ากากที่ป้องกันอานุภาคขนาด < 5 ไมครอนได้ ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นที่รู้จักกันดีในนาม Airborne precautions ซึ่งมีวิธีการหลัก คือ การใช้ administrative control, environmental control และ respiratory protection control ซึ่งจะกล่าวสาระโดยละเอียดต่อไป
- กลุ่มที่สอง เป็นกลุ่มของโรคที่มักทำให้เกิดโรคเฉพาะผู้ที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่องเท่านั้น ได้แก่ เชื้อราต่างๆ เช่น Aspergillus spp., Rlizopuss spp., Acremonium spp., Fusarium spp. การป้องกันโรคเหล่านี้มีความจำเป็นเฉพาะกลุ่มเสี่ยงซึ่งได้แก่ ผู้ป่วยที่ได้รับการเปลี่ยนถ่ายอวัยวะ โดยจะต้องทำให้อากาศในห้องแยกของผู้ป่วยเหล่านี้มีการปนเปื้อนเชื้อโรคนี้ให้น้อยที่สุด โดยมีการกรองอากาศที่จะจ่ายเข้ามาในห้องผู้ป่วยด้วยแผงกรองอากาศระดับ HEPA filter และต้องสร้างความดันอากาศในห้องผู้ป่วยให้เป็นบวก

(positive air pressure) เมื่อเทียบกับอากาศภายนอกโดยรอบ เพื่อป้องกันอากาศจากภายนอก ซึ่งอาจปนเปื้อนเชื้อโรค มิให้เข้ามาในห้องผู้ป่วยทางรูรั่วต่างๆ ของห้อง

อย่างไรก็ตาม นอกจากผู้ป่วย 2 กลุ่มดังกล่าวซึ่งสามารถระบุได้ และสามารถใช้มาตรการในการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อ หรือลดการติดเชื้อแล้วยังมีผู้ป่วยอีกจำนวนหนึ่งที่เรายังไม่ทราบว่าสามารถแพร่กระจายเชื้อทางอากาศได้ หรือเสี่ยงต่อการติดเชื้อที่แพร่กระจายทางอากาศหรือไม่ ได้แก่ ผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัด การพ่นยา การส่องตรวจอวัยวะภายใน ผู้ป่วยวิกฤต หรือแม้กระทั่งผู้ป่วยที่นั่งรอตรวจ หากมีอาการไอก็สามารถแพร่กระจายเชื้อทางอากาศไปยังบุคคลอื่นรวมทั้งบุคลากรได้ การควบคุมการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ ในสถานพยาบาลตามมาตรฐานจึงเป็นสิ่งจำเป็น

การป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศในสถานพยาบาล

หลักการสำคัญในการป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโรคในสถานพยาบาลซึ่งโดยทั่วไปใช้หลักการเดียวกับการควบคุมวัณโรคในสถานพยาบาล[7] ซึ่งมี 3 ประการ ดังนี้

1. Administrative Controls
2. Environmental Controls
3. Respiratory-Protection Controls

Administrative Controls

เป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก และเป็นสิ่งที่สถานพยาบาลทุกแห่งจะต้องถือปฏิบัติ มีองค์ประกอบดังนี้

1. สถานพยาบาลเห็นความสำคัญและมีนโยบายตลอดจนแนวทางปฏิบัติ เพื่อการป้องกัน และควบคุมโรคที่แพร่กระจายทางอากาศ

2. มีผู้รับผิดชอบได้แก่คณะกรรมการควบคุมโรคติดเชื้อในสถานพยาบาลเป็นผู้วางแนวทางปฏิบัติ ให้ความรู้แก่บุคลากรและผู้ป่วยรวมถึงผู้เกี่ยวข้อง ตลอดจนควบคุมประเมินแนวทางปฏิบัติ ทั้งนี้องค์ประกอบของคณะกรรมการนี้ ควรมีผู้ที่เกี่ยวข้องทั้ง แพทย์ พยาบาล ควบคุมโรคติดเชื้อ นักจุลชีววิทยา นักระบาดวิทยา วิศวกรและสถาปนิก ที่ปรึกษา

3. ประเมินความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อหรือติดเชื้อทางอากาศของพื้นที่ต่างๆ ในสถานพยาบาล รวมถึงการจำแนกบุคลากรตามความเสี่ยงเพื่อวางแนวปฏิบัติตามความเหมาะสม ตารางที่ 1 แสดงการจำแนกพื้นที่ในสถานพยาบาลตามความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ

ตารางที่ 1 แสดงการจำแนกพื้นที่ต่างๆ ในสถานพยาบาลตามความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ[8]

Low risk	Medium risk	High risk	Highest risk
• Office areas	• Cardiology • Echocardiography • Endoscopy • Nuclear medicine • Physical therapy • Radiology/MRI • Respiratory therapy	• Critical-care unit • Emergency room • Labor and delivery • Laboratories (specimen) • Newborn nursery • Outpatient surgery • Pediatrics • Pharmacy • Post-anesthesia-care unit • Surgical units	• Any area caring for immunocompromised patients • Burn unit • Cardiac-catheterization lab • Central sterile supply • Intensive-care units • Medical unit • Airborne infection isolation rooms • Oncology • Operating rooms

4. มีแนวทางการคัดกรองวินิจฉัย ผู้ป่วยที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศได้อย่างรวดเร็ว เพื่อประโยชน์ในการควบคุมโรค ตลอดจนมีแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนเกี่ยวกับการดูแลรักษา การแยกผู้ป่วย

5. ให้ความสำคัญและปฏิบัติตามหลักการของ Respiratory hygiene and cough etiquette ซึ่งมีสาระสำคัญเกี่ยวกับแยกผู้ป่วยที่สงสัยออกจากบุคคลอื่นตั้งแต่แรกเข้ามาในสถานพยาบาล การควบคุมที่แหล่งแพร่โรคคือผู้ป่วย โดยการใช้หน้ากากอนามัย การล้างมือ การใช้ droplet precautions กับผู้ป่วยที่มีอาการทางระบบทางเดินหายใจทุกคน โดยเฉพาะเมื่อต้องทำกิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝอยละออง (ตารางที่ 2) รวมถึงมาตรการเกี่ยวกับขยะติดเชื้อ

ตารางที่ 2 กิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝอยละออง (Aerosol producing procedures)

Aerosol-generating procedures produce large & small particle aerosols
• Diagnostic sputum induction
• Nasopharyngeal aspiration/airway suction
• Aerosolized medication
• ET intubation
• Chest PT
• Bronchoscopy
• Positive pressure ventilation
• High-frequency ventilation
• CPR
• Postmortem excision of lung tissue
• Inoculating culture media and susceptibility test for airborne transmitted microorganisms

6. ให้ความรู้ ฝึกอบรมบุคลากรทางการแพทย์เกี่ยวกับโรคที่แพร่กระจายทางอากาศที่เป็นปัญหาสำคัญ

7. มีคำแนะนำผู้ป่วยและญาติ เพื่อป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายโรค

Environmental controls

เป็นขั้นตอนที่ 2 ของการป้องกันและการควบคุมโรคที่มีการแพร่กระจายทางอากาศ โดยมีจุดประสงค์ที่จะลดความเข้มข้นของเชื้อที่อยู่ในรูปของ droplet nuclei ในอากาศ โดยใช้หลักการทางวิศวกรรม และสถาปัตยกรรม การควบคุมนี้แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ

- Primary environmental controls คือการควบคุมที่แหล่งแพร่เชื้อซึ่งอาจจะเป็นผู้ป่วยหรือ laboratory specimens โดยใช้การระบายอากาศเฉพาะที่ (local exhaust ventilation) จาก hoods ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ หรือ ห้องเก็บเสมหะของผู้ป่วยผ่านการเจือจาง และขจัดเชื้อโรค โดยระบบการระบายอากาศปกติของอาคาร (General ventilation)

- Secondary environmental controls คือการควบคุมมิให้อากาศโดยรอบบริเวณแหล่งโรค เช่น บริเวณโดยรอบห้องแยกผู้ป่วยที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศปนเปื้อนเชื้อโรค โดยการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ การกรองด้วยแผงกรองอากาศ หรือการใช้ UVGI (Ultraviolet germicidal irradiation) รายละเอียดเรื่อง environmental controls นี้จะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อคุณภาพอากาศในสถานพยาบาล และมาตรฐานการออกแบบระบบปรับอากาศ และระบายอากาศในสถานพยาบาล

Respiratory-Protection controls

เมื่อมีการควบคุมโดยวิธีการทั้ง 2 อย่างข้างต้นแล้ว สิ่งแวดล้อมในสถานพยาบาลก็จะปนเปื้อนด้วยเชื้อโรคที่แพร่กระจายทางอากาศน้อยลง อย่างไรก็ตามบุคคลที่อยู่ในห้องเดียวกันหรือใกล้ชิดกับผู้ป่วยก็ยังอาจได้รับเชื้อโรคจากผู้ป่วยได้ บุคคลดังกล่าวจึงต้องใช้เครื่องป้องกันร่างกายคือ Respirator หรือ mask ระดับ N95 ขึ้นไป (ตารางที่ 3 แสดงชนิดและประสิทธิภาพของหน้ากากที่ใช้เพื่อป้องกันเชื้อที่แพร่กระจายทางอากาศ) ทั้งนี้สถานพยาบาลจะต้องจัดให้มีหน้ากากดังกล่าวในจำนวนเพียงพอ มีข้อบ่งชี้ในการใช้ มีการฝึกอบรมการใช้หน้ากากและเครื่องป้องกันอื่นที่จำเป็น เช่น แว่นป้องกันตา นอกจากนี้ยังต้องให้ความรู้และฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับการใช้หน้ากากอนามัย การล้างมือ การป้องกันการแพร่กระจายเชื้อแก่ผู้ป่วยรวมทั้งญาติและผู้ดูแลด้วย

ตารางที่ 3 แสดงชนิดและประสิทธิภาพของหน้ากากที่ใช้เพื่อป้องกันเชื้อที่แพร่กระจายทางอากาศ[7]

Resistance to efficiency fitter degradation	Filter efficiencies*		
	95 (95%)	99 (99%	100 (99.7%)
N (Not resistant to oil)	N95	N99	N100
R (Resistant to oil)	R95	R 99	R100
P (Oil proof)	P95	P99	P100

* The percentages in parenthesis indicate minimum allowable laboratory filter efficiency value when challenged with 0.3 μ particles

คุณภาพอากาศในอาคารสถานพยาบาล และมาตรฐานการออกแบบระบบปรับอากาศ และระบายอากาศในสถานพยาบาล

เป็นที่ทราบกันดีว่าอากาศในอาคารโดยเฉพาะอาคารสถานพยาบาล มีโอกาสปนเปื้อนเชื้อโรคต่างๆ มากกว่า อากาศนอกตัวอาคารเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ มีผู้ป่วยซึ่งเป็นแหล่งแพร่เชื้ออยู่ในอาคาร แสง ความอับทึบของโครงสร้างอาคาร ซึ่งอาจมีตั้งแต่แรกสร้างหรือเกิดจากการต่อเติมอาคารที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการกีดขวางทิศทางลมที่จะทำให้ลดการระบายของอากาศ นอกจากนี้การติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งไม่มีการเติมอากาศเข้ามาเจือจางอากาศในห้องอย่างเพียงพอ และไม่สามารถติดตั้งแผงกรองอากาศได้ ก็มักจะทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคารสถานพยาบาลด้อยลงไป จึงต้องมีมาตรฐานของการออกแบบระบบปรับอากาศและระบายอากาศในสถานพยาบาล เพื่อให้ได้คุณภาพอากาศในอาคารสถานพยาบาลที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์การออกแบบระบบปรับอากาศและระบายอากาศในสถานพยาบาล มีดังนี้ [9]

1. ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในอาคารสถานพยาบาลให้พอเหมาะแก่สภาวะร่างกายของผู้ป่วย ผู้ปฏิบัติงานรวมทั้งญาติ ผู้ป่วย
2. มีการควบคุมกลิ่น
3. มีการขจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ
4. สามารถปกป้องผู้ป่วย ผู้ปฏิบัติงาน จากการติดเชื้อโรคที่แพร่กระจายทางอากาศได้ในระดับหนึ่ง
5. ลดการแพร่กระจายเชื้อจากผู้ป่วยที่มีโรคที่แพร่กระจายทางอากาศไปสู่ผู้ป่วยอื่น

ทั้งนี้การออกแบบระบบปรับอากาศและระบายอากาศในอาคารสถานพยาบาลมีความแตกต่างจากอาคารอื่นๆ ดังนี้ [9,10,11]

1. มีการกำหนดขอบเขตของการใช้ระบบปรับอากาศ และระบายอากาศในแต่ละพื้นที่ รวมทั้งทิศทางการไหลของอากาศด้วย

2. มีการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะในแต่ละพื้นที่ ได้แก่ อัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (Airchange per hour : ACH) อัตราการเติมอากาศเข้ามาในพื้นที่นั้น ความดันของอากาศในพื้นที่นั้น เมื่อเทียบกับพื้นที่ข้างเคียง ระดับความต้องการกรองอานุภาค สารเคมี สารกัมมันตรังสี, จุลชีพในพื้นที่นั้น

3. มีการกำหนดระดับอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

4. มีระบบการควบคุมที่ละเอียด แม่นยำเพื่อให้ได้คุณภาพอากาศที่ต้องการ

ข้อกำหนดพื้นฐานของระบบปรับอากาศและระบายอากาศในสถานพยาบาล

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย ได้มีข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบระบบปรับอากาศและระบายอากาศไว้เมื่อ พ.ศ.2548[11] ซึ่งมีสาระที่สำคัญที่บุคลกรทางการแพทย์ควรทราบ ดังนี้

1. การเติมอากาศ

มีการเติมอากาศเข้ามาในห้อง หรือพื้นที่เพื่อเจือจางสิ่งปนเปื้อนในอากาศ ทั้งนี้อัตราการเติมอากาศของแต่ละพื้นที่มีรายละเอียดตาม ตารางที่ 4 นอกจากนี้สิ่งสำคัญอื่นประการหนึ่งคือ อากาศที่จะเติมเข้ามา ควรมีสิ่งปนเปื้อนน้อยที่สุด ดังนั้นจุดที่นำอากาศเข้า จะต้องห่างจากบริเวณเหล่านี้

อย่างน้อย 10 เมตร ได้แก่ ท่อไอเสียของอุปกรณ์ที่มีการเผาไหม้ จุดปล่อยอากาศเสียของโรงพยาบาลและอาคารข้างเคียง ระบบดูดของเสียทางการแพทย์ จุดที่มีควันไอเสียรถยนต์ หอระบายความร้อน จุดนำอากาศเข้าดังกล่าว ควรอยู่เหนือพื้นดินอย่างน้อย 3 ฟุต อากาศที่เติมเข้ามาในห้องจะต้องผ่านการกรอง การปรับอุณหภูมิและความชื้นตามมาตรฐานที่กำหนด

ตารางที่ 4 อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายใน และความดันสัมพันธ์

ลำดับ	สถานที่	อัตราการนำเข้าอากาศภายนอกไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง	อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง	ความดันสัมพันธ์กับพื้นที่ข้างเคียง
1	ห้องผ่าตัด	5	25	สูงกว่า
2	ห้องคลอด	5	25	สูงกว่า
3	ห้อง Nursery	5	12	สูงกว่า
4	หออภิบาลผู้ป่วยหนัก(ICU)	2	6	สูงกว่า
5	ห้องตรวจรักษาผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
6	ห้องฉุกเฉิน (Trauma Room)	5	12	สูงกว่า
7	บริเวณพักคอยสำหรับแผนกผู้ป่วยนอกและห้องฉุกเฉิน	2	12	ต่ำกว่า
8	ห้องพักผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
9	ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ	2	12	ต่ำกว่า
10	ห้องแยกผู้ป่วยปลอดเชื้อ	2	12	สูงกว่า
11	ห้องปฏิบัติการ (Laboratory)	2	6	ต่ำกว่า
12	ห้องชันสูตรศพ	2	12	ต่ำกว่า

2. การกรองอากาศ

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในสถานพยาบาลจะต้องมีความสามารถในการกรองอากาศที่เติมและหมุนเวียนภายในห้องด้วยแผงกรองอากาศเพื่อลดสิ่งปนเปื้อน/เชื้อโรคที่มีอยู่ในอากาศซึ่งอาจมาจากผู้ป่วย ศพ บุคลากร Laboratory specimens หรือพื้นผิว/สิ่งแวดล้อมภายในห้อง ทั้งนี้มีข้อกำหนดจำนวนชั้นและประเภทแผงกรองอากาศสำหรับสถานที่ต่างๆ ในโรงพยาบาลตามตารางที่ 5 สำหรับประเภทของแผงกรองอากาศ ปัจจุบันใช้ตัวเลขกำกับ เช่น ประเภทที่ 1 หรือ MERV 17 คือ HEPA filter ซึ่งมีประสิทธิภาพ การกรองไม่ต่ำกว่า 99.97% รายละเอียดประเภท และประสิทธิภาพแผงกรองอากาศแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพ แผงกรองอากาศสำหรับสถานที่ต่างๆ ในสถานพยาบาล

ลำดับ	สถานที่	จำนวนชั้นขั้นต่ำ	ประเภทแผงกรองอากาศชั้นที่ 1	ประเภทแผงกรองอากาศชั้นที่ 2
1	ห้องผ่าตัดออโธปิดิก ห้องผ่าตัดปลูกถ่ายไขกระดูก ห้องผ่าตัดปลูกถ่ายอวัยวะ	2	4	1 ติดตั้งที่ช่องจ่ายลม
2	ห้องผ่าตัดทั่วไป (General Procedure Operating Rooms) ห้องคลอด (Delivery Rooms ห้องเด็กแรกคลอด (Nurseries) หอผู้ป่วยหนัก (ICU) ห้องรักษาผู้ป่วย ห้องตรวจวินิจฉัย บริเวณพักคอยสำหรับแผนกผู้ป่วยนอกและห้องฉุกเฉิน	2	4	2
3	ห้องปฏิบัติการ ห้องเก็บอุปกรณ์ปลอดเชื้อ	1	3	-
4	พื้นที่เตรียมอาหาร ห้องซักรีด ห้องพักผู้ป่วย ทางเดินหน้าห้องพักผู้ป่วย	1	4	-

ตารางที่ 6 ประเภทแผงกรองอากาศและประสิทธิภาพ

ประเภท	ประสิทธิภาพขั้นต่ำ	มาตรฐานการทดสอบ
1	99.97% MERV 17	HEPA 99.97% efficiency on 0.3 μ particles, IEST Type A ASHRAE Standard 52.
2	90 - 95% MERV 14	ASHRAE Standard 52.1 (Dust Spot) ASHRAE Standard 52.2
3	80 - 90% MERV 13	ASHRAE Standard 52.1 (Dust Spot) ASHRAE Standard
4	25 - 30% MERV 7	ASHRAE Standard 52.1 (Dust Spot) ASHRAE Standard

MERV = Minimum Efficiency Reporting Value ตามมาตรฐาน ASHRAE 52.2

3. ทิศทางการไหลของอากาศ

มีการกำหนดทิศทางการไหลของอากาศ ภายในห้องแต่ละประเภท เช่น ห้องแยกโรคสำหรับผู้ป่วยที่แพร่เชื้อโรคทางอากาศ ลมที่จ่ายเข้ามาจะต้องผ่านบุคลากรก่อน แล้วจึงจะผ่านผู้ป่วย ส่วนห้องประเภท protective environment เช่น ห้องผ่าตัดและห้องแยกสำหรับผู้ป่วยภูมิคุ้มกันต่ำ จะต้องออกแบบให้ลมสะอาด ผ่านผู้ป่วยเป็นลำดับแรก ทั้งนี้ตำแหน่งของหัวจ่ายลม หน้ากากลมกลับ ความเร็วลมที่จ่ายและความสามารถของพัดลมดูดลมกลับจะเป็นตัวกำหนดให้ทิศทางการไหลของอากาศ เป็นไปตามมาตรฐาน

4. ความดันของอากาศภายในห้อง

มีการกำหนดความดันของอากาศภายในห้องเมื่อเทียบกับบริเวณภายนอกโดยรอบ ทั้งนี้ เพื่อควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโรคมิให้เข้ามาหรือออก

จากห้อง ตามประเภทของห้องนั้น เช่น ห้องแยกโรคสำหรับผู้ป่วยที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศจะต้องมีความดันเป็นลบเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณโดยรอบไม่น้อยกว่า - 2.5 ปาสคาล เพื่อมิให้เชื้อโรคแพร่กระจายออกมาสู่บริเวณอื่น ส่วนห้องแยกสำหรับผู้ป่วยภูมิคุ้มกันต่ำ และห้องผ่าตัด ต้องมีความดันอากาศเป็นบวกเมื่อเทียบกับบริเวณโดยรอบ เพื่อมิให้เชื้อโรคที่แพร่กระจายทางอากาศเข้าไปในห้อง รายละเอียดของความดันของอากาศสัมพันธ์กับพื้นที่ข้างเคียง แสดงในตารางที่ 4 อย่างไรก็ตามข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยมีความแตกต่างจากของสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศของสหรัฐอเมริกา (ASHRAE) ในบางพื้นที่เช่นห้องพักผู้ป่วย ห้องตรวจรักษาผู้ป่วย ASHRAE มิได้กำหนดว่าต้องเป็นบวก หรือ ลบ ในเรื่องการควบคุมความดันของอากาศภายในห้องนี้ปัจจัยสำคัญนอกจากปริมาณลมเข้าและออกจากห้องแล้ว การปิดรูรั่ว (seal) ของห้องโดยเฉพาะขอบประตู หน้าต่าง ฝ้าเพดานนับเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้หากห้องมีรูรั่วมากเกินไป ก็จะทำให้ควบคุมความดันอากาศภายในห้องไม่เป็นไปตามความต้องการ ทั้งนี้ขนาดของรูรั่วทั้งหมด ในห้องจะต้องรวมกันแล้วไม่มากกว่า 40 ตารางนิ้ว[7]

5. การหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่

ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศทั่วไป อากาศที่จ่ายออกไปจากเครื่องปรับอากาศจะถูกหมุนเวียนกลับเข้ามาในเครื่องและจ่ายออกไปอีก แต่สำหรับระบบปรับอากาศที่เหมาะสมสำหรับสถานพยาบาล จะมีข้อกำหนดของการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ (recirculation) ในแต่ละพื้นที่ของสถานพยาบาลว่าจะทำได้หรือไม่ หรือมีข้อแม้อย่างไร เช่นในห้องแยกโรคสำหรับผู้ป่วยที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศ จะสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ต่อเมื่ออากาศที่หมุนเวียนนั้นผ่านการกรองด้วย HEPA filter ตารางที่ 7 แสดงคุณลักษณะทางวิศวกรรมของบางพื้นที่ในสถานพยาบาล

ตารางที่ 7 แสดงคุณลักษณะทางวิศวกรรมของบางพื้นที่ที่สำคัญในสถานพยาบาล[5]

Specifications	All room	PE room	Critical care room	Isolation anteroom	Operating room
Air pressure	Negative	Positive	Positive, negative, or neutral	Positive or negative	Positive
Room air changes	≥6 ACH (for existing rooms); ≥12 ACH (for renovation or new construction)	≥ 12 ACH	≥ 6 ACH	≥ 10 ACH	≥ 15 ACH
Sealed	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Filtration supply	90% (dust-spot ASHRAE 52.1 1992)	99.97% (HEPA filter)	≥ 90% Yes	≥ 90% No	≥ 90% Yes
Recirculation	No**	Yes			

* ในห้องผ่าตัดบางประเภทเช่น ห้องผ่าตัดทาง ออโธปิดิกส์ ต้องใช้ HEPA filter

** สามารถ Recirculate ได้โดยผ่าน HEPA filter ก่อนที่อากาศจะหมุนเวียนกลับมาในห้อง

6. อากาศที่ระบายทิ้ง

มีการกำหนดว่าการระบายทิ้งอากาศที่ปนเปื้อนเชื้อโรคหรือสารกัมมันตรังสี ที่แพร่กระจายทางอากาศได้ ว่าจะต้องระบายออกในตำแหน่งที่ไม่เสี่ยงต่อการไปสัมผัสผู้คน เข้าไปยังอาคารอื่น หรือย้อนกลับเข้าสู่อาคาร หากมีความเสี่ยงดังกล่าว อากาศที่จะระบายทิ้งจะต้องผ่านแผงกรองอากาศระดับ HEPA filter ก่อนปล่อยทิ้ง และจุดระบายอากาศต้องอยู่ห่างจุดนำอากาศเข้ามากกว่า 25 ฟุต นอกจากนี้อาจมีข้อกำหนดเฉพาะสำหรับบางบริเวณ เช่น ห้ามต่อท่อลมระบายอากาศทิ้งจากห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ (AIIR) กับท่อลมอื่นๆ ของอาคาร

7. อุณหภูมิและความชื้น

มีข้อกำหนด ช่วงอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม กับบุคคลและกิจกรรมในแต่ละบริเวณ เช่นห้องผ่าตัด ควรมีอุณหภูมิ อยู่ในช่วง 17 - 27 ° C และความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ระหว่าง 45 - 55% rh ขณะที่ห้องผู้ป่วยวิกฤต (ICU) ควรมีอุณหภูมิในช่วง 21-27 ° C และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 60% rh

นอกจากนี้ยังมีรายละเอียด คุณสมบัติเฉพาะของบางบริเวณในสถานพยาบาล ซึ่งบุคลากรทางการแพทย์ควรศึกษาจากมาตรฐานระบบปรับอากาศ และระบายอากาศของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย เพื่อทำความเข้าใจกับวิศวกรและสถาปนิกผู้ออกแบบต่อไป ประเด็นที่สำคัญนอกเหนือจากการออกแบบ ระบบยังมีประเด็นสำคัญที่ต้องคำนึงถึงอีก 4 ประการ ดังนี้

1. ระบบการควบคุม ที่สำคัญคือการควบคุมความดันอากาศให้เป็นไปตามข้อกำหนด จะต้องมีเครื่องวัดความดันอากาศติดตั้งไว้หน้าห้องแยกผู้ป่วยที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศหรือห้องแยกสำหรับผู้ป่วยภูมิคุ้มกันต่ำในตำแหน่งที่อ่านได้ชัดเจน

2. การตรวจสอบสภาพแผงกรองอากาศ จะต้องมีวิธีการตรวจวัดว่าแผงกรองอากาศ ยังมีประสิทธิภาพอยู่และต้องมีการเปลี่ยนแผงกรองอากาศตามข้อบ่งชี้

3. มีระบบไฟฟ้าสำรอง โดยเฉพาะบริเวณสำคัญ เช่น ห้องแยกผู้ป่วยที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศ

4. มีการทดสอบระบบก่อนการใช้งาน ว่าได้มาตรฐานตามที่กำหนดหรือไม่ ได้แก่ ความดันภายในห้อง ปริมาณลมหมุนเวียน ประสิทธิภาพของแผงกรองอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น การทดสอบดังกล่าวควรกระทำโดยบุคคลที่สามที่เป็นวิศวกรผู้เชี่ยวชาญ ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ

การปรับปรุงคุณภาพอากาศในอาคารของสถาบันบำราศนราดูร

สถาบันบำราศนราดูรเป็นหน่วยงานสังกัด กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข มีภารกิจในการค้นคว้าวิจัย สร้างองค์ความรู้ ดูแลรักษาผู้ป่วย และควบคุมการแพร่กระจายโรคติดเชื้อ โดยเฉพาะโรคอุบัติใหม่ อุบัติซ้ำ และโรคติดเชื้อที่เป็นปัญหาทางสาธารณสุข โรคที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศ (airborne transmission) นับว่าเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญ แต่การดำเนินการเพื่อควบคุมโรคที่แพร่กระจายทางอากาศโดยใช้หลักการทางวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม ยังไม่ชัดเจนในสถานพยาบาลในประเทศไทย โดยเฉพาะก่อนที่จะมีอุบัติการณ์ของโรคทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรงจากเชื้อ SARS Corona Virus สถาบันบำราศนราดูร จึงมีภารกิจที่จะต้องดำเนินการเรื่องการปรับปรุงคุณภาพอากาศในสถานพยาบาลเพื่อเป็นต้นแบบ แก่สถานพยาบาลอื่นๆ ต่อไป โดยสถาบันได้ปรับปรุงคุณภาพอากาศในพื้นที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อและแพร่กระจายเชื้อทางอากาศดังต่อไปนี้

- ห้องแยกผู้ป่วยที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศ (Airborne Infection Isolation Room AIIR)
- ห้องผู้ป่วยฉุกเฉิน (Emergency room, ER)
- หอผู้ป่วยวิกฤต (Intensive care unit, ICU)
- ห้องตรวจส่องกล้อง (Bronchoscope unit)
- ห้องปฏิบัติการเชื้อวัณโรคและเชื้อรา
- หอผู้ป่วยพิเศษรวม
- ห้องให้คำปรึกษาผู้ป่วย
- ห้องตรวจอัลตราซาวน์
- ห้องพ่นยาผู้ป่วยเด็ก
- โถงรอตรวจผู้ป่วยนอกอายุรกรรม

หอผู้ป่วยแยกโรคที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศ (Airborne Infection Isolation Room, AIIR)

สถาบันบำราศนราดูรได้ปรับปรุงพื้นที่ชั้น 2 ของอาคาร 3 ให้เป็นหอผู้ป่วยแยกโรคที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศ โดยพื้นที่ดังกล่าวประกอบด้วย

- ห้องแยกโรคที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศ จำนวน 5 ห้อง พร้อมห้องน้ำ และห้องก่อนห้องแยก (anteroom) สำหรับแต่ละห้อง
- โถงทางเดินหน้าห้อง
- ห้องพยาบาล (Nurse station)
- ห้องเตรียมสิ่งส่งตรวจ
- ห้องพักขยะ และ anteroom
- ลิฟท์แยกสำหรับหอผู้ป่วยแยกโรค

คุณลักษณะที่ต้องการของห้องแยกโรคที่จัดสร้างขึ้นมีดังนี้

1. ป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรคไปสู่บริเวณโดยรอบ

2. มีการเจือจางและกำจัดเชื้อที่อยู่ในห้องในรูปของ droplet nuclei เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อบุคคลอื่นที่อยู่ในห้องเดียวกับผู้ป่วย

3. มีทิศทางการไหลของอากาศภายในห้อง จากบริเวณสะอาดไปยังบริเวณปนเปื้อน (จากบุคคลากร สู่ผู้ป่วย)

4. มีอุณหภูมิและความชื้นที่ให้ความสบายแก่บุคคลในห้องและไม่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้อโรคภายในห้อง ตามมาตรฐานสากล

5. สามารถจำกัดการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกนอกห้องได้โดยมีสิ่งอำนวยความต้องการพื้นฐาน และเอื้อต่อสภาพจิตใจของผู้ป่วย ได้แก่การมีห้องน้ำในตัว เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่สามารถเข้ามาในห้องได้, มีโทรศัพท์,

มีnurse call, มีเครื่องรับโทรทัศน์, มีช่องหน้าต่างเพื่อให้ผู้ป่วยมองเห็นภายนอกได้

6. มีองค์ประกอบของห้องที่สอดคล้องกับความต้องการสำหรับการดูแลผู้ป่วยในภาวะวิกฤตได้ ได้แก่มีพื้นที่ใช้สอยเพียงพอ ติดตั้งเครื่องมือทางการแพทย์ที่จำเป็นได้ ได้แก่ เครื่องช่วยหายใจ ออกซิเจน เครื่องดูดเสมหะ เครื่องตรวจวัดสัญญาณชีพ นอกจากนี้ควรมีวิธีการที่จะทำให้ลดการเข้ามาสัมผัสกับผู้ป่วยโดยตรง ได้แก่ การต่อสัญญาณเครื่องวัดสัญญาณชีพไปยัง nurse station และการติดตั้งโทรทัศน์วงจรปิด เพื่อสังเกตอาการผู้ป่วยจาก nurse station ได้

7. มีองค์ประกอบของห้องที่เอื้อต่อการลด การแพร่กระจายเชื้อทางสัมผัสและฝอยละออง ได้แก่ การมีพื้นผิวเรียบ ทำความสะอาดได้ง่าย มีอ่างล้างมือ จำกัดเฟอร์นิเจอร์เท่าที่จำเป็น มีถังขยะติดเชื้อ

การออกแบบและการจัดสร้างห้องแยกโรคติดเชื้อทางอากาศของสถาบันบำราศนราดูร เป็นไปตามมาตรฐานของสมาคมสถาปนิก สหรัฐอเมริกา (AIA)[9] สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศสหรัฐอเมริกา (ASHRAE)[10] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยและสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย[11] ดังนี้

- ระบบลม ระบบปรับอากาศ และระบายอากาศของห้องแยกแต่ละห้องแยกจากกัน และแยกจากระบบของพื้นที่อื่นโดยเด็ดขาด
- ความดันของห้องผู้ป่วย และห้องก่อนห้องผู้ป่วยเป็นลบ เมื่อเทียบกับบริเวณโดยรอบ โดยความดันอากาศของห้องก่อนห้องผู้ป่วย ไม่น้อยกว่า - 2.5 ปาสคาล และความดันอากาศของห้องผู้ป่วยไม่น้อยกว่า - 5 ปาสคาล

โดยมีแผงแสดงความดันของทั้งสองส่วนอยู่หน้าห้องผู้ป่วยมองเห็นได้ชัดเจนในระดับสายตา

- จำกัดรูรั่วของห้องโดยก่อผนังห้องจากพื้นจรดพื้นชั้นถัดไป เปลี่ยนฝ้าเพดานเป็นฝ้าฉาบเรียบ มียางขอบประตู เพื่อให้อากาศออกจากห้องตามท่อระบายอากาศทิ้งเท่านั้น

- มีการเติมอากาศจากภายนอกเข้ามาไม่น้อยกว่า 2 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (2ACH) โดยอากาศที่เติมเข้ามามีการปรับอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 24 - 25˚ C ความชื้นสัมพัทธ์ < 60% และมีการกรองอากาศที่เติมเข้ามาด้วยแผงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพ 25% และ 90%

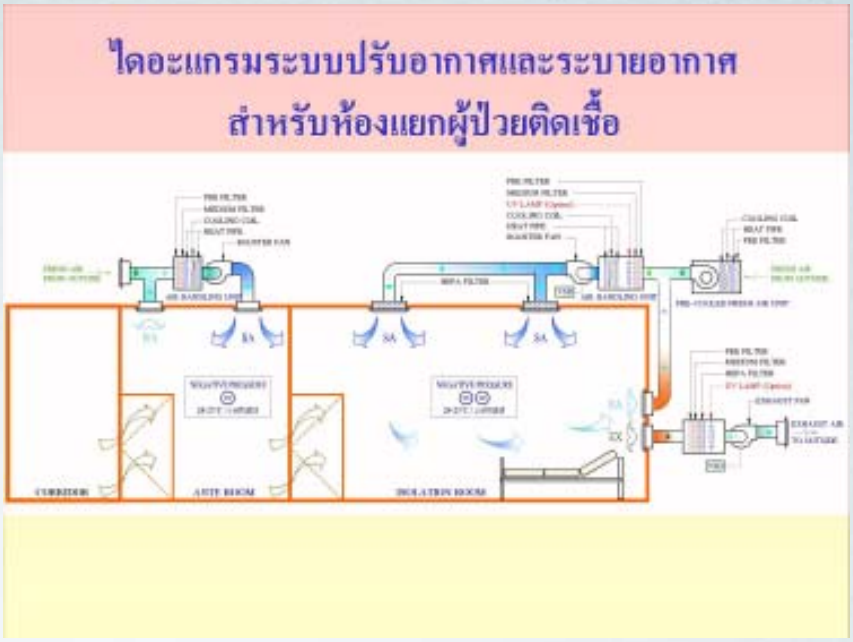
- อัตราลมหมุนเวียนในห้องไม่น้อยกว่า 12 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (12 ACH) ซึ่งอัตราลมหมุนเวียนสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 Air changes per hours (ACH) and time in minutes required for removal efficiencies of 90%, 99% and 99.9% of airborne contaminants

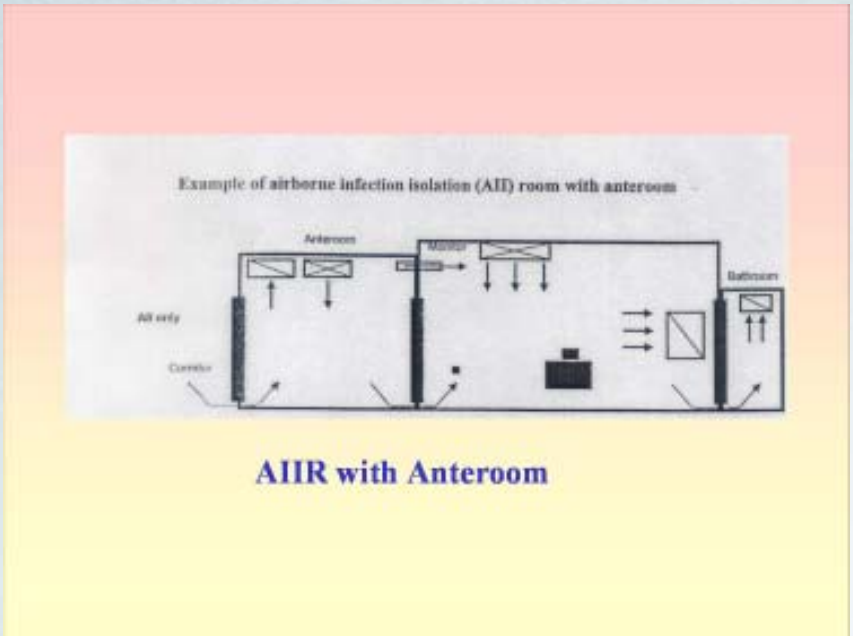
ACH	Minutes required for a removal efficiency of :		
	90%	99%	99.9%
1	138	276	414
2	69	138	207
3	46	92	138
4	35	69	104
5	28	55	83
6	23	46	69
7	20	39	59
8	17	35	52
9	15	31	46
10	14	28	41
11	13	25	38
12	12	23	35
13	11	21	32
14	10	20	30
15	9	18	28
16	9	17	26
17	8	16	24
18	8	15	23
19	7	15	22
20	7	14	21
25	6	11	17
30	5	9	14
40	3	7	10
45	3	6	9
50	3	6	8

- อัตราลมระบายทิ้ง 5 เท่าของปริมาตร ห้องต่อชั่วโมง (5ACH)
- ทิศทางการไหลของอากาศภายในห้อง จากบุคลากรสู่ผู้ป่วยซึ่งกำหนดโดยตำแหน่งของหัวจ่ายลม ที่อยู่ใกล้ประตูทางเข้าของบุคลากร และแผงรับลมกลับที่บริเวณหัวเตียงของผู้ป่วยในระดับใกล้พื้น โดยขอบล่างของแผงลมกลับสูงจากพื้นประมาณ 10 เซนติเมตร
- มีการหมุนเวียนอากาศในห้องกลับมาใช้ใหม่ (recirculation) ทั้งนี้อากาศที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ต้องผ่านแผงกรองอากาศประเภทที่ 1 (HEPA filter) และ UVGI ก่อน
- อากาศที่ปล่อยทิ้งมีการกรองด้วยแผงกรองอากาศประสิทธิภาพ 25% 90% และ 99.97% (HEPA filter) รวมทั้ง UVGI ก่อนปล่อยออกสู่ภายนอกโดยต่อท่อระบายอากาศทิ้งเหนืออาคาร
- มีมาโนมิเตอร์ แสดงอายุการใช้งานของแผงกรองอากาศทุกชั้น
- ห้องก่อนห้องแยก (anteroom) มีการออกแบบจัดสร้าง ให้ระบบปรับอากาศแยกจากระบบของห้องผู้ป่วยมีความดันเป็นลมไม่น้อยกว่า - 2.5 ปาสคาล มีการกรองอากาศด้วยแผงกรองอากาศประสิทธิภาพ 25% และ 90% มีอัตราเติมอากาศ 2 ACH และอัตราลมหมุนเวียน 10 ACH มีอ่างล้างมือ มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการใส่ และถอดเครื่องป้องกันร่างกาย (Personal protective equipments, PPE) สำหรับห้องโถงทางเดินหน้าห้องผู้ป่วย มีการออกแบบให้มีพื้นที่เพียงพอแก่การใช้สอย มีพื้นผิวเรียบ ความดันของอากาศเท่ากับบรรยากาศภายนอก มีเครื่องปรับอากาศ แยกจากห้องผู้ป่วย และห้องก่อนห้องผู้ป่วย มีแผงกรองอากาศประสิทธิภาพ 25% และ 90% อุณหภูมิ 25° C ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 60% อัตราการเติมอากาศจากภายนอกอย่างน้อย 2 ACH อัตราลมหมุนเวียนอย่างน้อย 4 ACH

ภาพที่ 1 แสดงทัศนียภาพของหอผู้ป่วยแยกโรค มีโถงทางเดินกั้นระหว่างห้องผู้ป่วย (ด้านซ้าย) กับห้องพยาบาล (ด้านขวา)



ภาพที่ 2 แสดงระบบปรับอากาศ กรองอากาศ ระบายอากาศ และทิศทางการไหลของอากาศ สำหรับห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อ



ภาพที่ 3 แสดงทิศทางการไหลของอากาศ สำหรับห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อ และห้องก่อนห้องแยก (Anteroom)

ภาพที่ 4 แสดงการก่อสร้างเพื่อจำกัดรูรั่วของห้อง AIIR

ภาพที่ 5 แสดงการก่อสร้างเพื่อจำกัดรูรั่วของห้อง AIIR

ภาพที่ 6 แสดงการปิดรูรั่วของขอบประตู หน้าต่าง เพื่อกันการรั่วไหลของอากาศ

ภาพที่ 7 แสดงแผงวัดความดันอากาศสำหรับห้องผู้ป่วย และ Anteroom ติดตั้งไว้บริเวณหน้าห้อง มองเห็นได้ชัดเจนในระดับสายตา

ภาพที่ 8 แสดงตำแหน่งของหัวจ่ายลมและแผงรับลมกลับ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดทิศทางการไหลของอากาศในห้อง

ภาพที่ 9 แสดงพื้นผิวของห้องที่เน้นความเรียบทำความสะอาดง่าย

ภาพที่ 10 แสดง Anteroom ที่มีอ่างล้างมือ ตู้เก็บเครื่องป้องกันร่างกายสะอาด และมีบริเวณเพียงพอที่จะทิ้งเครื่องป้องกันร่างกายที่ใช้แล้ว

ภาพที่ 11 แสดงห้องผู้ป่วยที่มีอุปกรณ์ทางการแพทย์ เพื่อดูแลผู้ป่วยในภาวะวิกฤต ลดการแพร่กระจายเชื้อ ตลอดจนมีอุปกรณ์สื่อสารสู่ภายนอก

ภาพที่ 12 แสดงจอภาพสัญญาณชีพและโทรทัศน์วงจรปิด ที่ต่อสัญญาณจากห้องผู้ป่วย มายังห้องพยาบาล (Nurse station)

ภาพที่ 13 แสดงห้องน้ำภายในห้องผู้ป่วยพร้อมอุปกรณ์ทำความสะอาดที่แยกจากพื้นที่อื่น

การทดสอบระบบก่อนการใช้งาน

เพื่อให้ห้องแยกโรคสำหรับโรคที่แพร่กระจายทางอากาศที่จัดสร้างขึ้นเป็นไปตามมาตรฐานที่กล่าวมา โดยมีการตรวจสอบระบบโดยบุคคลที่ 3 (Third party) ดังนี้

1. Air Flow Volume Test เป็นการวัดหาปริมาณการไหลของอากาศเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณอากาศหมุนเวียนภายในห้อง (air change per hour, ACH) ซึ่งสำหรับห้องแยกโรคชนิดนี้ควรมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 12 ACH

2. Room Pressurization Test เป็นการวัดหาค่าแรงดันของห้องเมื่อเทียบกับภายนอก ซึ่งสำหรับห้อง anteroom ต้องเป็นลบอย่างน้อย 2.5 ปาสคาล และห้องผู้ป่วยต้องเป็นลบอย่างน้อย 5 ปาสคาล

3. HEPA Filter Installation Test ทดสอบว่าแผงกรองอากาศที่ติดตั้งไว้มีการรั่วหรือไม่ ซึ่งอาจเป็นการรั่วที่เนื้อแผงกรองอากาศเอง หรือรั่วที่ขอบ การทดสอบนี้เดิมใช้ dioctyl-plnthalate (DOP) ซึ่งเรียกว่า DOP test แต่ปัจจุบันพบว่า DOP เป็นสารก่อมะเร็ง จึงใช้สารอื่น ซึ่งมีคุณสมบัติเทียบเคียง คือเป็นอนุภาคไอระเหยขนาด 0.3 ไมครอน เช่น PAO 11 nd

ภาพที่ 14 แสดงการทดสอบระบบกรองอากาศ ความดันอากาศ และปริมาณอากาศหมุนเวียน ของห้องแยกผู้ป่วยก่อนการใช้งาน

การบำรุงรักษา

เนื่องจากอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ กรองอากาศ มีอายุการใช้งาน การบำรุงรักษาห้อง โดยเฉพาะการเปลี่ยนแผงกรองอากาศตามกำหนด จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง สถานพยาบาลจึงต้องมีการจัดจ้างวิศวกรหรือช่างผู้ชำนาญ เพื่อดำเนินการต่อไป

แผงกรองอากาศ (Air Filter)

ภาพที่ 15 แสดงแผงกรองอากาศชนิดต่างๆ

1. แผงกรองอากาศประสิทธิภาพ 25%
2. แผงกรองอากาศประสิทธิภาพ 90%
3. แผงกรองอากาศประสิทธิภาพ 99.97% (HEPA Filter)

ข้อสังเกต

ในการจัดสร้างห้องแยกโรคที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศ มีสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงนอกเหนือจากที่กล่าวมาดังนี้

- ที่ตั้งของห้องควรอยู่ในบริเวณหอผู้ป่วยแยกโรคซึ่งห้องอื่นๆ อาจเป็นห้องแยกเดี่ยวทั่วไป หรืออยู่รวมกับหอผู้ป่วยทั่วไป ทั้งนี้จะดีกว่าการสร้างห้องแยกไว้โดดเดี่ยวซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองบุคลากรและทรัพยากรในการดูแล

- ที่ตั้งของห้องต้องอยู่ในบริเวณที่เข้าถึงง่าย มีลิฟท์หรือทางลาดเพื่อให้รถเข็น หรือเอกซเรย์เคลื่อนที่ ตลอดจนเครื่องมือทางการแพทย์ต่างๆ สามารถเข้าไปในห้องได้โดยง่าย

- พื้นที่สำหรับการใช้สอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในห้องผู้ป่วยต้องเพียงพอสำหรับการดูแลในภาวะวิกฤต

- การจัดวางตำแหน่งหัวจ่ายลม และแผงรับลมกลับต้องถูกต้องตามมาตรฐาน โดยเฉพาะตำแหน่งของแผงรับลมกลับ ต้องอยู่ที่หัวเตียงผู้ป่วย เนื่องจากการวางตำแหน่งแผงรับลมกลับไว้ด้านข้างของผู้ป่วย จะทำให้บุคลากรอยู่ใต้ลมหากบุคลากรไปยืนอยู่หน้าแผงรับลมกลับ (ภาพที่ 8 แสดงตำแหน่งของหัวจ่ายลมและแผงรับลมกลับในห้องผู้ป่วย)

- ควรใช้ระบบการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ (recirculation) โดยผ่าน HEPA filter ก่อน เนื่องจากหากเป็นระบบดูดลมทิ้งหมด (all outdoor air system) แล้วอาจจะทำให้อากาศในห้องผู้ป่วยมีอุณหภูมิและความชื้นสูงเกินไป

ห้องแยกโรคที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศแบบประยุกต์ (Modified AIIR)

สถาบันบำราศนราดูรได้จัดสร้างห้องแยกแบบประยุกต์ที่หอผู้ป่วยกุมาร 5/3 จำนวน 2 ห้อง โดยมีการปรับปรุงจากห้องแยกเดี่ยว ที่มีห้องน้ำในตัวดังนี้

- กั้นส่วนหน้าของห้อง เป็น anteroom ทำให้ห้องมีประตู 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอยในห้องผู้ป่วยเพียงพอแก่การดูแลในภาวะวิกฤต
- ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ ซึ่งมีความสามารถระบายอากาศได้ 12 เท่าของปริมาณห้องต่อชั่วโมงไว้นอกห้อง มีหน้ากากระบายลมอยู่ที่หัวเตียงผู้ป่วย และห้องน้ำ ต่อท่อลม จากหน้ากากระบายลมไปยังพัดลมระบายอากาศซึ่งจะระบายลมออกสู่บริเวณนอกอาคารที่ไม่มีผู้คนพลุกพล่าน
- ห้องแยกนี้ไม่ได้มีการปิดรูรั่วอย่างสนิทเหมือน AIIR แต่ลดรูรั่วของห้องให้มีขนาดไม่เกิน 40 ตารางนิ้ว เพื่อสร้างความดันลบภายในห้อง
- มีออกซิเจน, เครื่องดูดเสมหะภายในห้อง

ห้องแยกประยุกต์ดังกล่าวไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศจึงมีอุณหภูมิและความชื้นเท่ากับอากาศภายนอก ซึ่งอาจจะทำให้ผู้ที่อยู่ในห้องไม่รู้สึกเย็นสบายเหมือนอยู่ในห้อง AIIR ชนิดเต็มรูปแบบ อย่างไรก็ตาม ห้องดังกล่าวใช้ต้นทุนต่ำ และต้องการการบำรุงรักษาน้อย จึงอาจจะเหมาะสมที่จะใช้ในที่ซึ่งมีความขาดแคลนทรัพยากร

ภาพที่ 16 แสดงแนวทางการปรับปรุงการระบายอากาศสำหรับห้องแยกผู้ป่วยแบบประยุกต์ (Modified AIIR)

ภาพที่ 17 แสดงหน้ากากระบายลมที่หัวเตียงผู้ป่วย หัวจ่ายออกซิเจน และที่ดูดเสมหะ ในห้องแยกผู้ป่วยแบบประยุกต์ (Modified AIIR)

ภาพที่ 18 แสดงภาพพัดลมดูดอากาศชนิดที่ใช้สำหรับห้องแยกผู้ป่วย

ภาพที่ 19 แสดงภาพพัดลมดูดอากาศ และปล่องระบายอากาศจากห้องแยกผู้ป่วย แบบประยุกต์ (Modified AIIR)

หอผู้ป่วยวิกฤต

หอผู้ป่วยวิกฤต เป็นพื้นที่เสี่ยงแห่งหนึ่งในโรงพยาบาล สถาบันบำราศนราดูร จึงได้ปรับปรุงโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม และระบบปรับอากาศ สำหรับหอผู้ป่วยวิกฤต ซึ่งเดิมเป็นหอผู้ป่วยรวม ติดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งทำให้ทั้งผู้ป่วยและบุคลากรอยู่ในห้องเดียวกันทั้งหมด (ยกเว้นห้องแยกเดี่ยว 2 ห้อง) ซึ่งทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อและติดเชื้อทั้งทางการสัมผัส (Contact transmission) ทางฝอยละออง (droplet transmission) และทางอากาศ (airborne transmission) ต่อผู้ป่วยและบุคลากร

การปรับปรุงหอผู้ป่วยวิกฤต ทางด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. ป้องกันการแพร่กระจายโรค ระหว่างผู้ป่วย และระหว่างผู้ป่วยกับบุคลากร ทั้งทางการสัมผัส ฝอยละอองและการทางอากาศ ทั้งนี้ผู้ป่วยส่วนใหญ่ในหอผู้ป่วยวิกฤตมีความเสี่ยงสูงทั้งจะติดเชื้อในโรงพยาบาลและจะแพร่เชื้อไปยังบุคคลอื่น

2. ลดสิ่งปนเปื้อน กลิ่น ผง ในอากาศ ในหอผู้ป่วยวิกฤต

3. มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นที่พอเหมาะ สำหรับทั้งบุคลากรและผู้ป่วย ซึ่งอาจมีความแตกต่างกัน รวมทั้งควรเป็นอุณหภูมิและความชื้นที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

การปรับปรุงทางด้านสถาปัตยกรรม และระบบปรับอากาศ กรองอากาศและระบายอากาศ ประกอบด้วย

1. กั้นห้องผู้ป่วยเป็นห้องเดี่ยวทั้งหมด โดยมีห้องทำงานของบุคลากร (nurse station) อยู่ตรงกลาง แยกจากห้องผู้ป่วย ประตูห้องผู้ป่วยเป็นบานกระจกใสเพื่อให้สังเกตอาการได้โดยง่ายตลอดเวลา ภายในห้องทุกห้องมีอ่างล้างมือ มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการดูแลผู้ป่วยในภาวะวิกฤตและการจัดวางเครื่องมือทางการแพทย์ต่างๆ มีห้องผู้ป่วย 1 ห้อง ซึ่งสามารถทำการล้างไต (hemodialysis) ได้

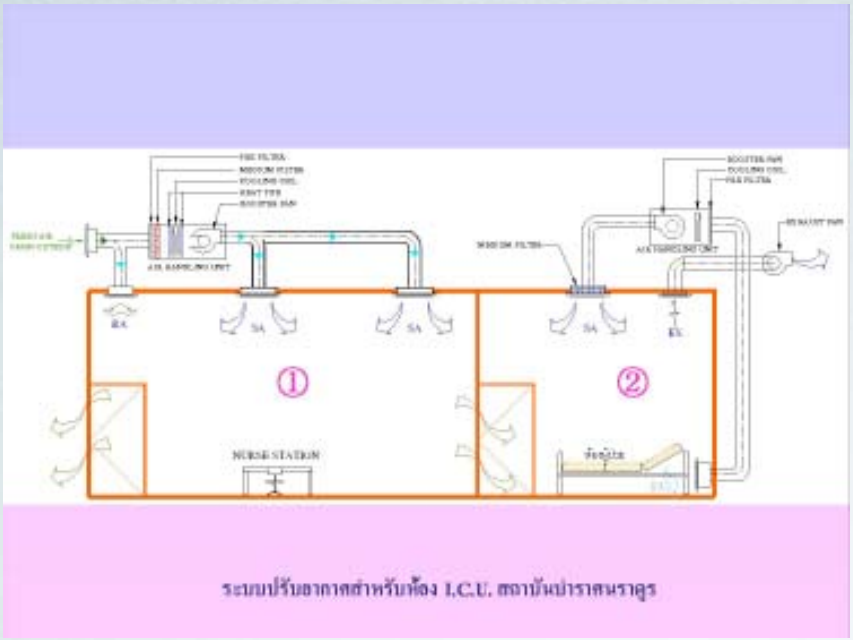
2. เครื่องปรับอากาศ ท่อลม และระบบการระบายอากาศแยกเป็นอิสระจากระบบปรับอากาศและท่อลมของพื้นที่ส่วนอื่น นอกจากนี้เพื่อลดการแพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศในหอผู้ป่วยจึงติดตั้งเครื่องปรับอากาศพร้อมอุปกรณ์ลดความชื้น 1 ชุด ต่อห้องผู้ป่วย 1 ห้อง และแยกจากระบบปรับอากาศกรองอากาศของห้องทำงานบุคลากรด้วย

3. อุณหภูมิในห้องผู้ป่วย 24 - 27° C ความชื้นสัมพันธ์น้อยกว่า 60%

4. มีการเจือจางสิ่งปนเปื้อนภายในห้องโดยมีการเติมอากาศจากภายนอกเข้ามาไม่น้อยกว่า 2 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (2 ACH) อัตราลมหมุนเวียนในห้อง 6 ACH อากาศระบายทิ้ง ไม่น้อยกว่า 1 ACH มีแผงกรองอากาศประเภทที่ 4 (MERV 7, ประสิทธิภาพ 25 %) และ แผงกรองอากาศประเภทที่ 2 (MERV 14, ประสิทธิภาพ 90%) รวมทั้ง มาโนมิเตอร์แสดงอายุการใช้งานของแผงกรองอากาศ ทั้งนี้ติดตั้งแผงกรองอากาศทั้งห้องผู้ป่วยและห้องทำงานบุคลากร

5. มีการระบายอากาศทิ้งจากห้องผู้ป่วยตลอดเวลา

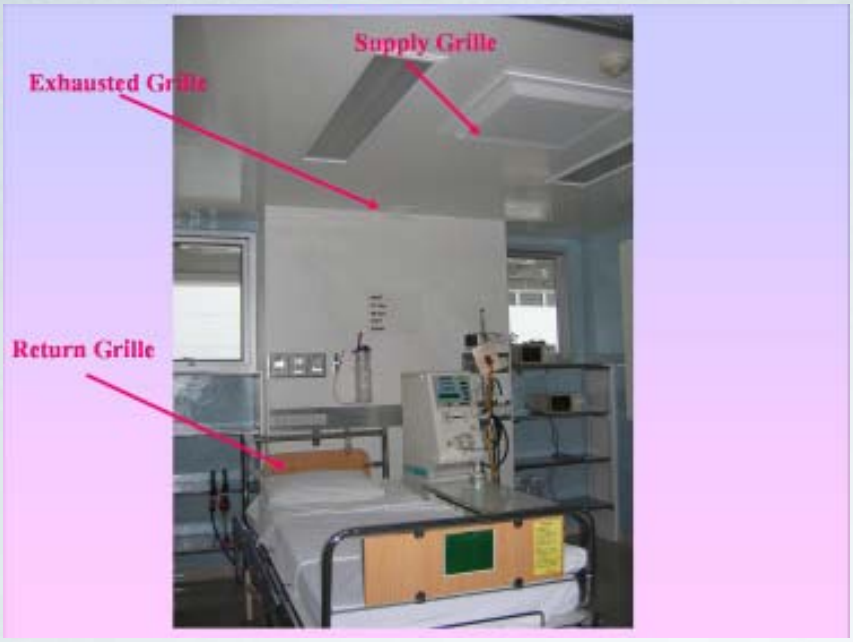
6. ความดันอากาศในห้องผู้ป่วยเป็นลบ เมื่อเทียบกับห้องทำงานบุคลากร จึงเป็นการป้องกันมิให้เชื้อโรคที่แพร่กระจายทางอากาศจากผู้ป่วยมายังบุคลากรได้



ระบบปรับอากาศสำหรับห้อง I.C.U. สถาบันบำราศนราดูร

ภาพที่ 20 แสดงแผนผังระบบปรับอากาศของหอผู้ป่วยวิกฤต (ICU)
1. ห้องทำงานพยาบาล
2. ห้องผู้ป่วย

ภาพที่ 21 แสดงทัศนียภาพในหอผู้ป่วยวิกฤต (ICU) ห้องผู้ป่วยเป็นห้องเดี่ยว และแยกจากห้องทำงานพยาบาล



ภาพที่ 22 ภาพห้องผู้ป่วยวิกฤต (ICU) แสดงตำแหน่งหัวจ่ายลม แผงรับลมกลับ และแผงดูดลมทิ้ง ตลอดจนอุปกรณ์การแพทย์ที่จำเป็น

ผู้ป่วยฉุกเฉิน (Emergency Room, ER)

ห้องฉุกเฉิน เป็นพื้นที่เสี่ยงสูงต่อการแพร่กระจายและติดเชื้อโรคที่แพร่ทางอากาศ ห้องฉุกเฉินเดิมของสถาบันบำราศนราดูร เป็นห้องที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งไม่มีการเจือจาง กรองและระบายอากาศภายในห้อง ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อทั้งผู้ป่วยและบุคลากร จึงมีการปรับปรุงคุณภาพอากาศ ในห้องฉุกเฉิน ดังนี้

- ติดตั้งเครื่องเติมอากาศจากภายนอกเข้ามาในห้อง ในอัตรา 2 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (2 ACH)

- ติดตั้งระบบกรองอากาศในระบบการดูดลมกลับ โดยใช้แผงกรองอากาศประเภทที่ 4 (MERV 7, ประสิทธิภาพ 25%) ประเภทที่ 2 (MERV 14, ประสิทธิภาพ 90%) และ ประเภทที่ 1 (MERV 17, ประสิทธิภาพ 99.97% หรือ HEPA filter) ก่อนที่อากาศจะหมุนเวียนกลับมาในห้อง และมีการระบายอากาศทิ้งสู่ภายนอก ทั้งนี้อัตราลมหมุนเวียนในห้องเป็นไปตามมาตรฐานคือไม่น้อยกว่า 12 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (12 ACH) ตำแหน่งของแผงรับลมกลับอยู่ใกล้ผู้ป่วย ตำแหน่งหัวจ่ายลมอยู่ใกล้บุคลากร

นอกจากการติดตั้งระบบดังกล่าวแล้วทางสถาบันยังมีนโยบายการแยกผู้ป่วยที่สงสัยว่าจะแพร่กระจายเชื้อทางอากาศออกจากผู้ป่วยอื่นโดยเร็วที่สุดด้วย

ภาพที่ 23 ห้องฉุกเฉิน สถาบันบำราศนราดูร

ภาพที่ 24 ผังแสดงระบบปรับปรุงคุณภาพอากาศห้องฉุกเฉิน สถาบันบำราศนราดูร

ภาพที่ 25 ห้องฉุกเฉินแสดงตำแหน่งหัวจ่ายลมที่ผ่านการกรองด้วยแผงกรองอากาศ จ่ายลมในตำแหน่งใกล้บุคลากร

ห้องตรวจส่องกล้อง Bronchoscope และ Gastroscope

ห้องตรวจส่องกล้องนับเป็นพื้นที่เสี่ยงอีกพื้นที่หนึ่งเนื่องจากการตรวจส่องกล้องโดยเฉพาะ bronchoscope ถือเป็นกิจกรรมหนึ่งที่ก่อให้เกิดฝอยละออง (aerosol producing procedure) กล่าวคือมีแหล่งแพร่เชื้ออยู่ในห้องตรวจส่องกล้อง ดังนั้นบุคลากรและผู้ป่วยรายถัดไปจึงอาจติดเชื้อที่แพร่กระจายทางอากาศจากผู้ป่วยที่มีเชื้อโรคได้ สถาบันบำราศนราดูร จึงได้ปรับปรุงคุณภาพอากาศในห้องตรวจส่องกล้องให้มีคุณสมบัติความมาตรฐานสากลซึ่งคล้ายกับ Airborne infection isolation room ดังนี้

- มีการเจือจางเชื้อโรคภายในห้องโดยการเติมอากาศเข้ามาในห้องในอัตราไม่น้อยกว่า 3 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง และอัตราการระบายอากาศทิ้งไม่น้อยกว่า 5 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง

- มีการกรองเชื้อโรคสำหรับอากาศที่หมุนเวียนในห้องและอากาศที่ระบายทิ้งโดยแผงกรองอากาศทั้ง 3 ระดับ คือ MERV 7 (ประสิทธิภาพ 25%), MERV 14 (ประสิทธิภาพ 90%) และ MERV 17 หรือ HEPA filter (ประสิทธิภาพ 99.97%)

- ความดันอากาศภายในห้องเป็นลบ เมื่อเทียบกับบริเวณโดยรอบโดยมีความดันเป็นลบไม่น้อยกว่า 2.5 ปาสคาล ทั้งนี้มีการติดตั้งแผงวัด วามดันอากาศไว้บริเวณหน้าห้องด้วยเพื่อให้ผู้ใช้ได้ตรวจสอบความดันของห้องก่อนใช้งาน

- มีการกำหนดทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องจากบุคลากรสู่ผู้ป่วย ด้วยตำแหน่งของหัวจ่ายลมและหน้ากากลมกลับ

ทั้งนี้เช่นเดียวกับห้องที่ติดตั้งระบบปรับอากาศ กรองอากาศ และระบายอากาศอื่นๆ คือต้องมีการตรวจสอบระบบก่อนการใช้ และบำรุงรักษา

ตามรอบระยะเวลานอกจากนี้ผู้ใช้ยังต้องมีความเข้าใจในการป้องกันการแพร่กระจายโรคทางการสัมผัส และฝอยละออง รวมทั้งการใส่เครื่องป้องกันร่างกายอย่างเหมาะสมขณะปฏิบัติงานด้วย จึงจะสามารถป้องกันการติดเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ภาพที่ 26 หน่วยตรวจส่องกล้อง สถาบันบำราศนราดูร

ภาพที่ 27 แผงวัดความดันอากาศของห้องตรวจส่องกล้อง

ภาพที่ 28 ห้องตรวจส่องกล้อง แสดงตำแหน่งหัวจ่ายลมและแผงรับลมกลับ

ภาพที่ 29 แสดงเครื่องปรับอากาศ /กล่องอุปกรณ์การกรองและระบายอากาศ จากห้องตรวจส่องกล้อง

ห้องปฏิบัติการตรวจและเพาะเชื้อวัณโรคและเชื้ออันตราย

เนื่องจากสถาบันบำราศนราดูรมีผู้ป่วยภูมิคุ้มกันบกพร่องในความดูแลเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นที่ทราบดีว่าผู้ป่วยเหล่านี้มีอัตราการติดเชื้อวัณโรคสูง การตรวจและเพาะเชื้อวัณโรคนับเป็นกิจกรรมที่มีความเสี่ยงสูงต่อการติดเชื้อของบุคลากร มาตรฐานจากคำแนะนำ สำหรับการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานบริการทางการแพทย์ของ CDC สหรัฐอเมริกา ปี 2005 [7] จึงกำหนดว่าห้องปฏิบัติการดังกล่าวต้องมีความปลอดภัยในระดับ Biosafety level (BSL) 2 เป็นอย่างน้อย ทั้งนี้ร่วมกับการใช้ Biosafety carbinet class 2 ในกิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝอยละอองเช่น inoculating culture media, biochemical and antimicrobic susceptibility test และบุคคลากรต้องเคร่งครัดในการปฏิบัติ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อ ซึ่งรวมถึงการสวมใส่หน้ากากระดับ N95 หรือ เทียบเท่าในขณะปฏิบัติการ

สถาบันบำราศนราดูรจึงมีการปรับปรุงห้องปฏิบัติการเชื้อวัณโรค เชื้อรา และเชื้อโรคอันตรายโดยมีห้องปฏิบัติการสำหรับเชื้อวัณโรค 1 ห้อง สำหรับเชื้อรา 1 ห้อง ดังนี้

- มีการปิดรูรั่ว (seal) ของห้องเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อออกสู่ภายนอก นอกเหนือจากช่องทางระบายอากาศที่กำหนด
- เป็นห้องที่มีประตู 2 ชั้น คือ มี anteroom อยู่หน้าห้องปฏิบัติการ
- ความดันในห้องปฏิบัติการและ anteroom เป็นลบเมื่อเทียบกับบริเวณภายนอกโดยความดันในห้องปฏิบัติการเป็นลบมากกว่า anteroom
- มีการเจือจางเชื้อในห้องโดยมีการเติมอากาศภายนอกเข้ามาในอัตรา 3 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (3 ACH) อัตราลมหมุนเวียนในห้อง 15 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (15 ACH) อัตราระบายอากาศทิ้ง 5 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง

- มีแผงกรองอากาศทั้ง 3 ระดับสำหรับอากาศที่หมุนเวียนกลับเข้ามาในห้องและอากาศที่ปล่อยทิ้งสู่ภายนอก ประกอบด้วยแผงกรองอากาศประเภท 4 (MERV 7, ประสิทธิภาพ 25%) ประเภท 2 (MERV 14 ประสิทธิภาพ 90%) และ ประเภท 1 (MERV 17, ประสิทธิภาพ 99.97% หรือ HEPA filter)

ภาพที่ 30 ห้องปฏิบัติการเพาะเชื้อวัณโรค เชื้อรา และเชื้อโรคอันตราย สถาบันบำราศนราดูร

ภาพที่ 31 แผงวัดความดันอากาศในห้องเพาะเชื้อวัณโรค และห้องเพาะเชื้อรา

ภาพที่ 32 แสดงอ่างล้างมือ และห้องอาบน้ำในห้อง Anteroom ของห้องเพาะเชื้อวัณโรค และห้องเพาะเชื้อรา

ห้องให้คำปรึกษาแก่ผู้ป่วย

เนื่องจากการให้คำปรึกษาแก่ผู้ป่วยเป็นกิจกรรมที่บุคลากรต้องอยู่ในห้องเดียวกับผู้ป่วยเป็นเวลานาน แม้จะมีการคัดกรองผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงที่จะแพร่กระจายเชื้อทางอากาศก่อนให้คำปรึกษาแล้ว แต่ก็ยังมีโอกาสเสี่ยง สถาบันบำราศนราดูรจึงได้ปรับปรุงคุณภาพอากาศในห้องให้คำปรึกษาดังกล่าวดังนี้

- อัตราการเติมอากาศเข้ามาในห้อง 2 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง อัตราลมหมุนเวียนในห้องไม่น้อยกว่า 6 ACH
- อุณหภูมิ 24 - 25˚ C ความชื้นสัมพัทธ์ไม่มากกว่า 60%
- มีแผงกรองอากาศ 2 ชั้น คือแผงกรองอากาศประเภท 4 (MERV 7, ประสิทธิภาพ 25%) และแผงกรองอากาศประเภท 2 (MERV 14, ประสิทธิภาพ 90%)

ภาพที่ 33 ห้องให้คำปรึกษาแก่ผู้ป่วย

ภาพที่ 34 แสดงระบบปรับอากาศและกรองอากาศ ภายในห้องให้คำปรึกษาแก่ผู้ป่วย

ห้องตรวจอัลตราซาวน์

สถาบันบำราศนราดูรได้มีการปรับปรุงคุณภาพอากาศในห้องตรวจอัลตราซาวน์ เพื่อลดความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ ดังนี้

- มีความดันอากาศเป็นลบเมื่อเทียบกับบริเวณภายนอก
- มีแผงกรองอากาศ 2 ชั้น คือแผงกรองอากาศ ประเภท 4 (MERV 7 ประสิทธิภาพ 25%) และแผงกรองอากาศ ประเภท 2 (MERV 14 ประสิทธิภาพ 90%)
- อุณหภูมิ 24-25˚ C ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 60%

ห้องผู้ป่วยพิเศษรวม

ห้องผู้ป่วยพิเศษรวมเป็นห้องที่มีการปรับอากาศ ในประเทศไทยห้องพิเศษรวมส่วนใหญ่จะใช้เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน ซึ่งไม่มีการเติมอากาศจากภายนอก ไม่มีแผงกรองอากาศและมักไม่มีการระบายอากาศทิ้ง สถาบันบำราศนราดูรจึงมีการปรับปรุงคุณภาพอากาศของห้องผู้ป่วยพิเศษรวมบริเวณตึก 7 ชั้น 5 ดังนี้

- มีการเติมอากาศเข้าในห้องในอัตรา 2 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (2 ACH)
- อัตราลมหมุนเวียน 12 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (12 ACH) อัตราลมระบายทิ้ง 3 ACH
- ความดันอากาศเป็นลบเมื่อเทียบกับพื้นที่โดยรอบ
- มีแผงกรองอากาศ ประเภท 4 (MERV 7, ประสิทธิภาพ 25%) และแผงกรองอากาศประเภท 2 (MERV 14, ประสิทธิภาพ 90%) สำหรับอากาศที่หมุนเวียนภายในห้อง
- อุณหภูมิ 24 - 25˚ C ความชื้นสัมพันธ์ < 60 %

ภาพที่ 35 ห้องพิเศษรวมที่มีการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายใน

ห้องพ่นยา แผนกผู้ป่วยนอกกุมารเวชกรรม

การพ่นยา (medical nebuliziing) นับเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝอยละออง ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศและฝอยละอองขนาดเล็ก สถาบันบำราศนราดูร จึงจัดทำห้องสำหรับพ่นยาเด็กโดยกั้นผนังห้องซึ่งอยู่ในบริเวณแผนกผู้ป่วยกุมารจนจรดฝ้า ติดตั้ง พัดลมระบายอากาศที่สามารถระบายลมได้ 12 เท่า ของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง หน้ากากดูดลมทิ้งอยู่บริเวณใกล้ผู้ป่วย อากาศที่ถูกดูดทิ้งระบายออกสู่ภายนอกอาคารในบริเวณที่ไม่มีผู้คนเดินผ่าน

ภาพที่ 36 ห้องพ่นยา ภายในแผนกผู้ป่วยนอกกุมารเวชกรรม

ภาพที่ 37 แสดงระบบระบายอากาศภายในห้องพ่นยา

โถงรอตรวจผู้ป่วยนอกอายุรกรรม

บริเวณโถงรอตรวจนับเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการแพร่เชื้อและติดเชื้อแห่งหนึ่งในสถานพยาบาล สถาบันบำราศนราดูรได้มีแนวทางปฏิบัติเพื่อลดความเสี่ยงดังกล่าว โดยมีการคัดกรองผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อมิให้ปะปนกับผู้ป่วยอื่น ส่งเสริมให้ผู้ป่วยที่มีอาการระบบทางเดินหายใจใส่หน้ากากอนามัย จัดอ่างล้างมือ น้ำยาล้างมือแห้งนอกจากนี้เพื่อลดความเสี่ยงของการแพร่เชื้อทางอากาศ จึงได้มีการปรับปรุงคุณภาพอากาศของโถงรอตรวจดังกล่าว โดยการติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่มีแรงลมสูงไว้นอกอาคารแล้วต่อท่อเข้ามาในบริเวณโถงรอตรวจมีแผงดูดลมทิ้งเป็นระยะ เพื่อเป็นการเพิ่มการระบายอากาศในโถงรอตรวจ

ภาพที่ 38 แสดงแผงดูดลมทิ้งของระบบระบายอากาศ ที่บริเวณโถงรอตรวจผู้ป่วยนอก อายุรกรรม

ภาพที่ 39 พัดลมดูดอากาศ จากบริเวณโถงรอตรวจผู้ป่วยนอกอายุรกรรม

ภาพที่ 40 อ่างล้างมือบริเวณโถงรอตรวจผู้ป่วยนอกอายุรกรรม

สรุป

คุณภาพอากาศภายในอาคารพยาบาลเป็นองค์ประกอบสำคัญประการหนึ่งของการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ รูปแบบการปรับปรุงคุณภาพอากาศของสถาบันบำราศนราดูร ซึ่งต้องใช้วิศวกร สถาปนิก ผู้เชี่ยวชาญมาออกแบบจัดสร้าง อาจมีข้อจำกัดในการนำไปปฏิบัติในสถานพยาบาลบางแห่ง อย่างไรก็ตาม มาตรฐานต่างๆ ที่อ้างอิงและข้อคิดเห็นในบทความนี้ คงจะให้แนวคิดที่มีประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้กับสถานพยาบาลระดับต่างๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. William FW Aerodynamics of droplet nuclei. In : Airborne contagion and air hygiene. Cambridge : Harvard University Press, 1955 : 13 - 19
2. Streifel AJ. Design and maintenance of hospital ventilation systems and the prevention of airborne nosocomial infections. In : Mayhall CG, ed. Hospital epidemiology and infection control. Philadelphia : Lippincot Williams and Wilkins Press, 2004 : 1576 - 89
3. Butler JC and Jernigan JA. Severe acute respiratory syndrome. In : Mayhall CG, ed. Hospital epidemiology and infection control. Philadelphia : Lippincot Williams and Wilkins Press, 2004 : 1979 - 89
4. Roy CJ, Milton DK. Airborne transmission of communicable infection - The elusive pathway. NEngl J Med 2004; 350 : 1710 - 12
5. CDC and HICPAC Guidelines for Environmental infection control in health - care facilities 2003. Available from http:// www.cdc.gov/ncidod/hip/enviro/guide.html
6. Uiprasertkul M, Puthavathana P, Sangiriwat K, Pooruk P, Srisook K, Peiris M, et al. Influenza A H5N1 replication sites in humans. Emerg Infect Dis 2005; 11 : Available from http://www.cdc.gov/ ncidod/EID/Vol 11no7 / 04 - 1313 html

7. CDC. Guidelines for preventing the transmission of Mycobacterium tuberculosis in health - care setting. MMWR 2005 ; 54 (RR17) : 1 - 141
8. Strefel AJ. Hendickson C.Assessment of health risks related to construction, minimize the threat of infection from construction - induce air pollution in health-care 2002 Available from www.hpac.com
9. American Institute of Architects. Guideline for design and construction of hospital and health-care facilities In : American Institute of Architects. Washington DC : American Institute of Architects Press; 2001 and available from http : // www.aia.org/aah
10. American Society of Heating, Refrigerating and Air - conditioning Engineers. Chapter 7 Health care facility In : ASHRAE handbook - HVAC application Atlanta : ASHRAE 2003
11. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมป์มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศสำหรับสถานพยาบาล 2548 available from www. EIT.or.th

ปัญหาความชื้นกับการติดเชื้อทางอากาศ

ทรงยศ ภารดี

วศบ. (เครื่องกล) สามัญวิศวกร

ในระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา เราพบการระบาดของเชื้อโรคติดต่อใหม่ๆ เกิดขึ้นหลายชนิดไม่ว่าจะเป็นโรคซาร์ หรือโรคไข้หวัดนก อีกทั้งยังพบโรคใหม่ๆ ที่เราไม่เคยรู้จักมาก่อนในอดีตอีกหลายชนิดค่อยๆ เผยโฉมออกมา ขณะเดียวกันโรคติดต่อบางชนิดเช่น วัณโรค โรคลีเจียนแนร์ และไวรัสไข้หวัดใหญ่ ที่มีแนวโน้มการแพร่กระจายที่ลดลงในอดีต ก็เกิดการกลับมาระบาดใหม่อีกครั้งจนเป็นที่หน้าจับตามอง

ปัจจัยประการหนึ่งที่อาจกล่าวได้ว่าเป็นปัจจัยที่เอื้อ และส่งเสริมให้เกิดการขยายตัว และแพร่กระจายของเชื้อโรคต่างๆ เหล่านี้ก็คือ **ความชื้น** เป็นที่ทราบกันว่าประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อนชื้น และด้วยสภาพภูมิอากาศดังกล่าวซึ่งมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างร้อน ความชื้นสูงจึงเป็นสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการขยายพันธุ์และแพร่กระจายของเชื้อโรคได้อย่างดี เราจึงมักพบปัญหาความชื้นในชีวิตประจำวันอยู่อย่างสม่ำเสมอ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาเชื้อรา, กลิ่นอับ, โรคภูมิแพ้, ไข้หวัด และโรคติดต่อทางอากาศอีกหลายๆ ชนิด ปัจจุบันระบบปรับอากาศมีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของเราเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงเวลาดำรงชีวิตในเวลากลางวันหรือแม้กระทั่งเวลานอน ทำให้ในแต่ละวันเราใช้เวลาส่วนใหญ่ของชีวิตในห้องปรับอากาศซึ่งเป็นห้องปิด และไม่มีการถ่ายเทอากาศที่ดี แสงแดดซึ่งมีรังสี Ultra-Violet ไม่สามารถส่องถึงได้ เมื่อสภาวะแวดล้อมเหล่านี้ผนวกกับสภาวะความชื้นที่พอเหมาะต่อการเจริญ

เติบโตของเชื้อโรค ก็จะส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว

ความชื้นมีผลต่อสุขภาพของเราอย่างไร ?

ผลกระทบของความชื้นที่มีผลโดยตรงต่อร่างกายมนุษย์คือในแง่ของความสบาย ความชื้นต่ำจะทำให้เหงื่อที่ร่างกายระเหยได้ง่ายและอุณหภูมิของร่างกายลดลงทำให้เกิดความรู้สึกสบาย ในทางตรงกันข้ามถ้าความชื้นสูงเหงื่อจะไม่สามารถระเหยได้ดี จะทำให้เกิดความรู้สึกร้อนและอึดอัด เราสามารถสังเกตุปรากฏการณ์นี้ได้ง่ายๆ คือเมื่อเราใช้งานห้องน้ำหลังจากมีผู้ใช้ก่อนหน้าอาบน้ำเสร็จใหม่ๆ เราจะรู้สึกอึดอัดไม่สบายตัว ในทางตรงกันข้าม ถ้าความชื้นน้อยไปก็ไม่ส่งผลดีต่อร่างกายเช่นกัน จะทำให้เกิดอาการผิวแห้ง แสบตา แสบจมูก และมีโอกาสเลือดกำเดาออกได้ง่าย

สภาวะอากาศที่พอเหมาะสำหรับมนุษย์ คืออุณหภูมิประมาณ 24 oC และความชื้นประมาณ 50-60 %rh

นอกจากผลกระทบทางตรงข้างต้นแล้ว ผลกระทบทางอ้อมก็มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะผลกระทบต่อการแพร่กระจายของเชื้อโรคที่มีผลต่อสุขภาพ เราสามารถจำแนกผลกระทบต่อสุขภาพเบื้องต้นอันมีสาเหตุเนื่องมาจากปัญหาความชื้นได้ดังนี้

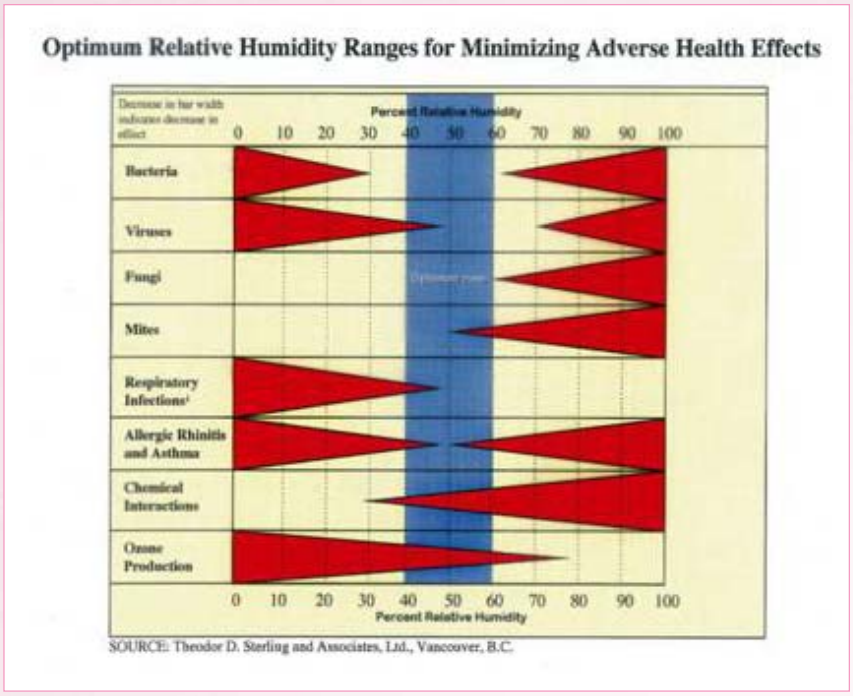
- เชื้อโรคติดต่อ (Infectious Disease)

  เช่น แบคทีเรีย (e.g., Streptococcus, Legionella), ไวรัส (e.g., Influenza Virus), เชื้อรา (e.g., Aspergillus fumigatus)

- ปฏิกิริยาภูมิแพ้ (Allergic Reaction)

  เช่น ไรฝุ่น, รา

- Nonallergic Immunologic Reaction
  เช่น รา, แบคทีเรีย
- พิษจากเชื้อรา (Myctoxicosis)



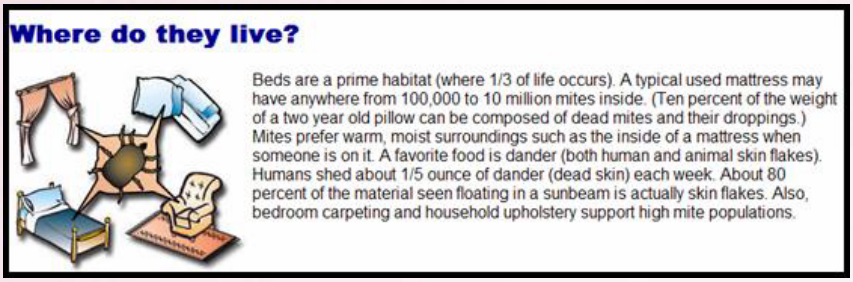
รูปที่ 1 ปัจจัยความชื้นที่มีผลต่อจุลชีวะชนิดต่างๆ

ไรฝุ่น

ไรฝุ่นเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก พบมากในพื้นที่เขตร้อนชื้น ตัวโตเต็มวัยมีขนาดความยาวประมาณ 0.3 มม. ผลกระทบของไรฝุ่นต่อร่างกายมนุษย์คือก่อให้เกิดอาการแพ้ โดยสิ่งที่ก่อให้เกิดโรคภูมิแพ้ไม่ใช่ตัวไรฝุ่นเอง แต่จะเป็นชิ้นส่วนที่แห้งและหลุดล่อนออกจากตัวไรฝุ่น ซึ่งมีขนาดเล็กมาก (ประมาณ 5 ไมครอน) และสามารถล่องลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน

รูปที่ 2 ภาพขยายของไรฝุ่นซึ่งมีขนาดตัวยาวประมาณ 0.3 มม.

ไรฝุ่นหนึ่งตัวจะประกอบด้วยน้ำในตัวประมาณ 70-75% โดยน้ำหนัก ซึ่งในการดำรงชีวิตของมันจะต้องรักษาปริมาณน้ำระดับนี้ไว้เพื่อการดำรงชีวิตและขยายพันธุ์ การดูดซึมน้ำจากไอน้ำที่ล่องลอยอยู่ในอากาศเป็นกระบวนการที่จะรักษาสมดุลย์น้ำในตัวไว้ได้ โดยทั่วไปสภาวะที่พอเหมาะต่อการดำรงชีวิตและการขยายพันธุ์คือความชื้น 70-80% rh ที่อุณหภูมิประมาณ 25˚ C



รูปที่ 3 การดำรงชีวิต และแหล่งที่อาศัยของไรฝุ่น

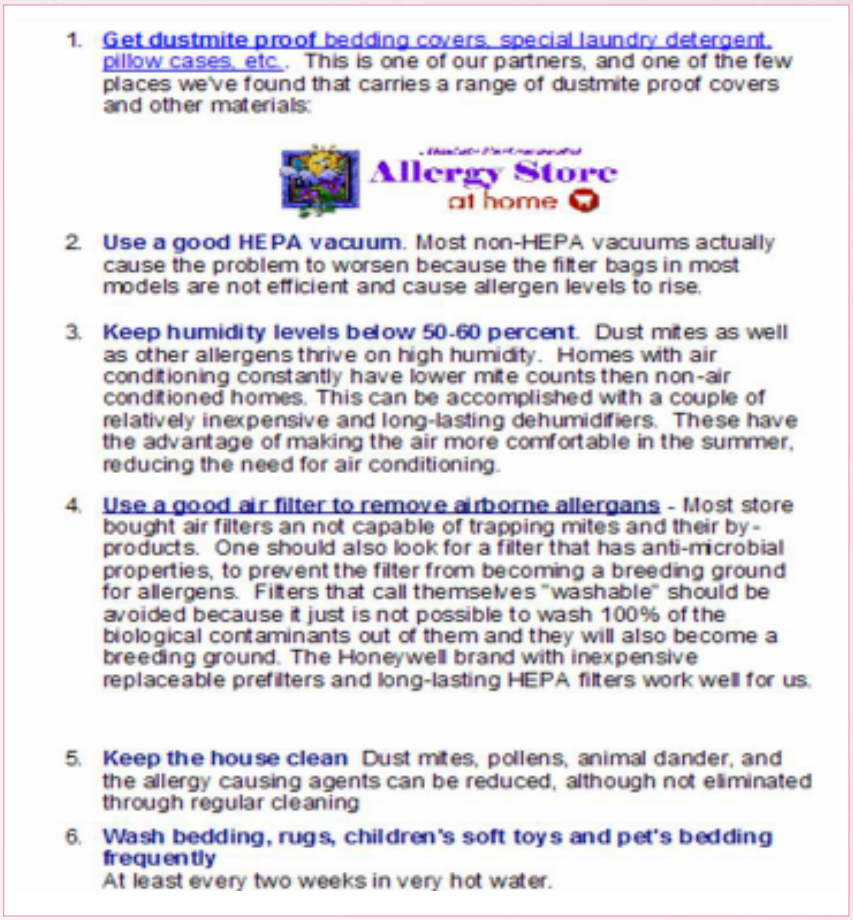
แนวทางการแก้ปัญหาไรฝุ่น

การแก้ปัญหาไรฝุ่นที่ดีที่สุดคือการควบคุมความชื้นไม่ให้เกิน 60 %rh ซึ่งจะทำให้ไรฝุ่นไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ในระดับที่เป็นอันตราย

เครื่องดูดฝุ่นทั่วไปไม่สามารถกำจัดชิ้นส่วนของไรฝุ่นได้เนื่องจากขนาดของชิ้นส่วนของไรฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอนสามารถหลุดลอดผ่านถุงกรองภายในเครื่องได้อย่างง่ายดาย และอาจจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายในอากาศได้มากขึ้น ดังนั้นการกรองไรฝุ่นออกจากอากาศจะจำเป็นต้องใช้ระบบดูดอากาศที่มี HEPA FILTER เพื่อกรองชิ้นส่วนของไรฝุ่นขนาดเล็กดังกล่าว

สำหรับการทำความสะอาดผ้าปูที่นอน ปอกหมอนและพรม ควรใช้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 55˚ C เพื่อกำจัดไรฝุ่น

นอกจากนี้ควรหมั่นทำความสะอาดหรือกำจัดแหล่งที่อาจเป็นอยู่อาศัยของ ไรฝุ่น เช่น พรม, เฟอร์นิเจอร์เก็บฝุ่น เป็นต้น



1. **Get dustmite proof bedding covers, special laundry detergent, pillow cases, etc.** This is one of our partners, and one of the few places we've found that carries a range of dustmite proof covers and other materials:

Allergy Store at home

2. **Use a good HEPA vacuum.** Most non-HEPA vacuums actually cause the problem to worsen because the filter bags in most models are not efficient and cause allergen levels to rise.

3. **Keep humidity levels below 50-60 percent.** Dust mites as well as other allergens thrive on high humidity. Homes with air conditioning constantly have lower mite counts then non-air conditioned homes. This can be accomplished with a couple of relatively inexpensive and long-lasting dehumidifiers. These have the advantage of making the air more comfortable in the summer, reducing the need for air conditioning.

4. **Use a good air filter to remove airborne allergans** - Most store bought air filters an not capable of trapping mites and their by-products. One should also look for a filter that has anti-microbial properties, to prevent the filter from becoming a breeding ground for allergens. Filters that call themselves "washable" should be avoided because it just is not possible to wash 100% of the biological contaminants out of them and they will also become a breeding ground. The Honeywell brand with inexpensive replaceable prefilters and long-lasting HEPA filters work well for us.

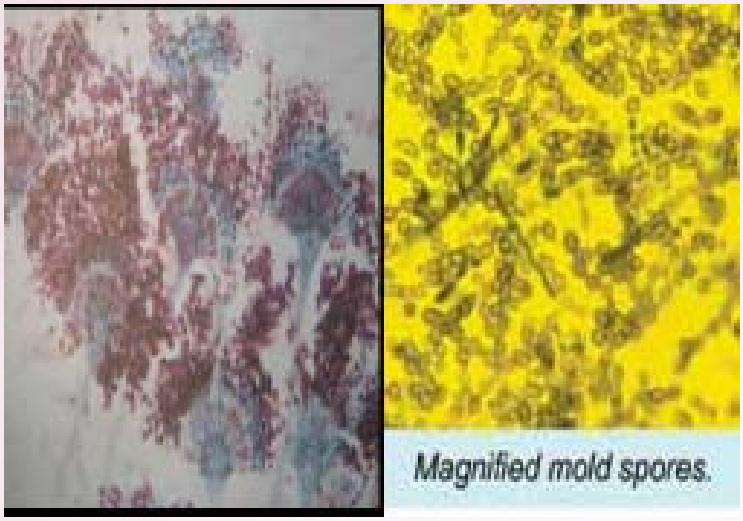
5. **Keep the house clean** Dust mites, pollens, animal dander, and the allergy causing agents can be reduced, although not eliminated through regular cleaning

6. **Wash bedding, rugs, children's soft toys and pet's bedding frequently**
At least every two weeks in very hot water.

รูปที่ 4 ข้อแนะนำในการป้องกันและกำจัดไรฝุ่น

รา

รา เป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลมีขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีโครงสร้างเป็นลักษณะตาข่าย รามีจำนวนสายพันธุ์มากกว่า 100,000 สายพันธุ์ สามารถพบได้หลากหลายสี มีทั้งสีขาว, สีเขียว, สีแดง และสีดำ ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ การดำรงชีวิตของราต้อง อาศัย น้ำ, คาร์บอน, ไนโตรเจน และสารอาหารบางชนิด ในการดำรงชีวิตและเจริญเติบโต



รูปที่ 5 ภาพขยายของสปอร์ของรา

ราขยายพันธุ์โดยอาศัยสปอร์ที่ล่องลอยไปตามอากาศและไปตกในที่ที่สภาวะเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ รวมทั้งมีแหล่งอาหารที่ดี อุณหภูมิประมาณ 20-30° C ความชื้นมากกว่า 60%RH นอกจากนี้ยังพบว่าในที่ที่แสงแดดส่องไม่ถึงและมีการระบายอากาศไม่ดีจะเป็นปัจจัยที่ทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว

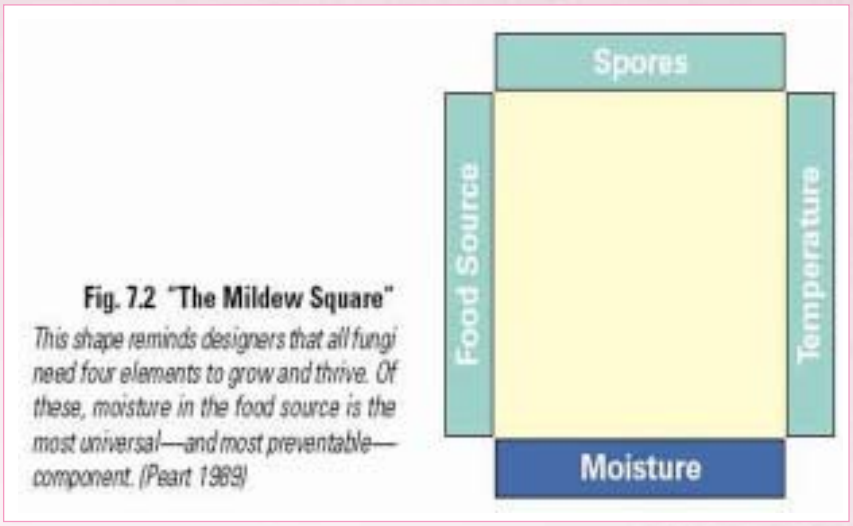


Fig. 7.2 "The Mildew Square"
This shape reminds designers that all fungi need four elements to grow and thrive. Of these, moisture in the food source is the most universal—and most preventable—component. (Peart 1989)

รูปที่ 6 ปัจจัยสี่ประการในการดำรงชีวิตและขยายพันธุ์ของรา

รูปที่ 7 บริเวณที่มีความชื้นสูงและแสงแดดส่องไม่ถึง เชื้อราจะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว

แนวทางแก้ปัญหาเชื้อรา

"There is no practical way to eliminate all mold and spores in the indoor environment; the way to control indoor mold growth is to control Moisture"

การแก้ปัญหาเชื้อราที่ดีที่สุดคือการควบคุมความชื้นไม่ให้เกิน 60 %rh ซึ่งจะทำให้เชื้อราไม่สามารถเติบโตและขยายพันธุ์ได้ในระดับที่เป็นอันตราย นอกจากนี้ควรลดวัสดุที่เป็นแหล่งอาหารของรา เช่น ฝุ่น, ผ้าเปียก, กระดาษ, พรม และวอลล์เปเปอร์ ฯลฯ

ในกรณีที่พบแหล่งความชื้น เช่น น้ำรั่วหรือน้ำขังให้รีบแก้ไข และทำให้พื้นที่ดังกล่าวแห้งสนิท ซึ่งถ้าปัญหาดังกล่าวถูกแก้ไขภายใน 24-48 ชม. เชื้อราจะยังไม่เจริญเติบโต

ลดปัญหาพื้นที่เปียกชื้น โดยการเพิ่มอุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุ หรือติดตั้งฉนวนเพิ่มเติมสำหรับวัสดุที่มีพื้นผิวเย็น และพบน้ำเกาะเช่น ฝ้า, ผนัง, หน้าต่าง และท่อน้ำ

ตรวจสอบและปรับปรุงระบบหมุนเวียนอากาศและระบายให้ได้ตามมาตราฐาน และพยายามลดพื้นที่ที่มีอากาศนิ่งและไม่หมุนเวียน นอกจากนี้การติดตั้งแผงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพในระบบหมุนเวียนอากาศจะช่วยกรองฝุ่น และสปอร์ของราออกจากอากาศ ช่วยลดการแพร่กระจายของราได้อีกทางหนึ่ง

แก้ปัญหาการใช้งานห้องปรับอากาศให้ถูกต้อง เช่น อย่าเปิดประตูห้องเพื่อรับอากาศจากภายนอกภายหลังจากเพิ่งปิดเครื่องปรับอากาศใหม่ๆ เนื่องจากจะทำให้เกิดละอองน้ำขนาดเล็กเกาะที่พื้นผิวที่ยังมีความเย็นอยู่, อย่าเป่าลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศเข้าสู่ผนังโดยตรง เนื่องจากจะทำให้ผนังด้านนั้นเย็นจัดและมีละอองน้ำเกาะ เป็นต้น

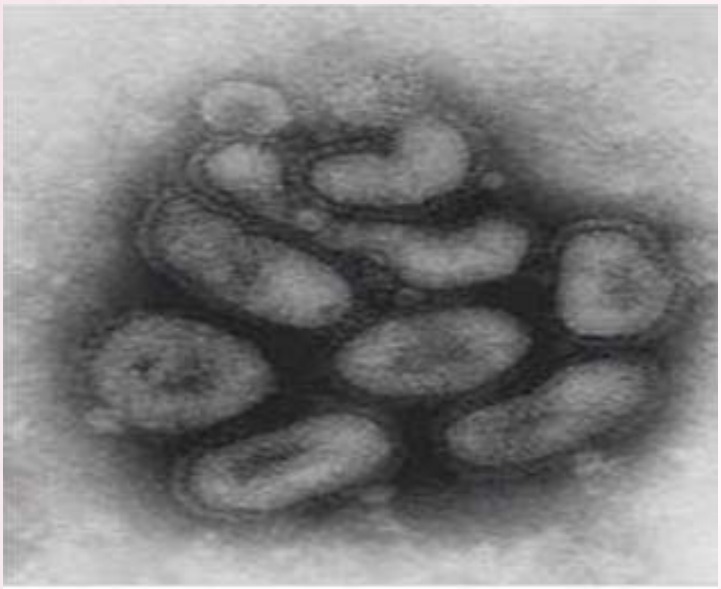
การกำจัดราจากพื้นผิวที่มีราเกิดขึ้นแล้ว สามารถจำแนกการกำจัดได้ตามพื้นผิว 2 ประเภท คือ 1) ในกรณีที่เป็นวัสดุพื้นผิวแข็งให้ทำความสะอาดเชื้อราโดยใช้น้ำและน้ำยาฆ่าเชื้อทำความสะอาด จากนั้นให้ทำให้พื้นผิวดังกล่าวนั้นแห้งสนิท 2) สำหรับพื้นผิวที่เป็นวัสดุที่ลักษณะเป็นโพรงอากาศขนาดเล็ก หรือดูดซับน้ำ เช่นฝ้าเพดาน, พรมที่เกิดรา ไม่สามารถกำจัดเชื้อราโดยวิธีแรกได้ควรจะต้องรื้อพื้นผิวเดิมทิ้งทั้งหมดและเปลี่ยนใหม่

อย่าทาสีทับบริเวณที่เกิดเชื้อรา - ควรกำจัดเชื้อราให้หมดสิ้นเสียก่อน

รูปที่ 8 การทำความสะอาดเชื้อรา
โดยสวมแว่นตา, ถุงมือ และหน้ากาก N-95

แบคทีเรีย และไวรัส

การติดเชื้อจากแบคที่เรีย หรือไวรัสสามารถติดต่อได้ทั้งจากการสัมผัสโดยตรงจากแหล่งที่ติดเชื้อ หรือจากการหายใจสูดอากาศที่มีเชื้อดังกล่าว เข้าสู่ร่างกาย ขนาดของแบคทีเรียโดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 0.5-5.0 ไมครอน ส่วนไวรัสจะมีขนาดระหว่าง 20-300 นาโนเมตร สิ่งมีชีวิตดังกล่าวจะอาศัยอยู่ในละอองขนาดเล็ก (0.5-5 ไมครอน) ที่ล่องลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน ขนาดของละอองในช่วงดังกล่าวจึงมีผลอย่างยิ่งต่อการติดเชื้อทางอากาศ ถ้ามีเชื้อในปริมาณที่เพียงพอ



รูปที่ 9 ภาพขยายของไวรัสไข้หวัดใหญ่ที่มีขนาดประมาณ 100 นาโนเมตร ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน

เมื่อผู้ป่วยจาม หรือไอ จะเกิดละอองจำนวนมากมายมหาศาลล่องลอยสู่อากาศ ละอองที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดประมาณ 10-100 ไมครอน) จะตกสู่พื้นอย่างรวดเร็วโดยมีระยะไม่ไกลจากตัวผู้ป่วย ส่วนละอองที่มีขนาดเล็กจะเกิดการละเหยตัวและมีขนาดเล็กลงอย่างรวดเร็วจนปรับตัวเป็น "Droplet Nuclei" ที่มีขนาดเล็กประมาณ 0.5-5 ไมครอน ซึ่งละอองขนาดดังกล่าวจะสามารถลอยตัวอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานานโดยไม่ตกสู่พื้นและเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการติดเชื้อทางอากาศ

Diameter of Droplet (μm)	Evaporation Time (Seconds)	Distance that droplet will fall Before evaporation (m)
200	5.2	6.51
100	1.3	0.42
50	0.31	0.0255
25	0.08	1.59×10^{-3}
12	0.02	8.4×10^{-4}

รูปที่ 10 ระยะเวลาในการละเหยตัวของละอองขนาดต่างๆ เพื่อก่อตัวเป็น "Droplet Nuclei" ที่ อุณหภูมิ 22° C, 50%rh

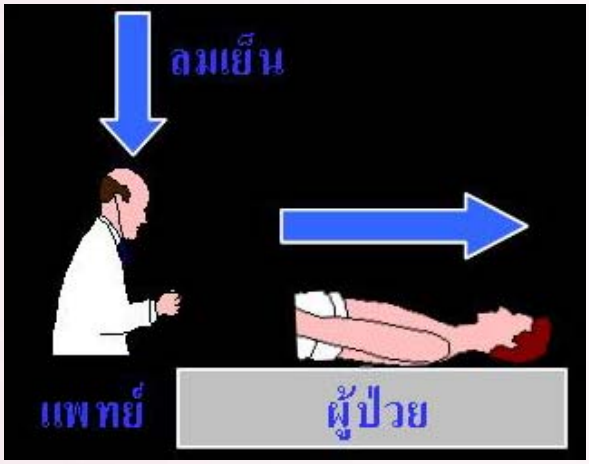
สำหรับสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของไวรัส และแบคทีเรียมีความหลากหลายในแง่อุณหภูมิ และความชื้นขึ้นอยู่กับสายพันธ์ บางสายพันธุ์สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความชื้นต่ำ ในขณะที่บางสายพันธุ์ดำรงชีวิตในช่วงความชื้นสูง โดยทั่วไปสภาวะที่เหมาะสมเพื่อลดการเจริญเติบโตของไวรัสและแบคทีเรีย คือในช่วงความชื้นประมาณ 40-60 %rh (ดูรูปที่ 1 ประกอบ)

แนวทางแก้ปัญหาเชื้อแบคทีเรียและไวรัส

การแก้ปัญหาแบคทีเรีย และไวรัส เบื้องต้นคือการควบคุมความชื้นไม่ให้เกิน 70 %rh สำหรับไวรัส และไม่ให้เกิน 60 %rh สำหรับแบคทีเรีย ซึ่งจะทำให้เชื้อโรคทั้งสองชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี

สำหรับในบริเวณที่มีเชื้อดังกล่าว การติดตั้งระบบกรองอากาศที่มี HEPA FILTER น่าจะเป็นมาตราการที่ช่วยลดปริมาณแบคทีเรียและไวรัสออกจากอากาศที่ได้ผลดีที่สุด โดยที่ความสามารถในการกรองฝุ่นได้ละเอียดถึง 0.3 ไมครอนของ HEPA FILTER จะสามารถกรอง "Droplet Nuclei" ที่มีขนาดเล็กประมาณ 0.5-5 ไมครอน ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของแบคทีเรียและไวรัส ออกจากอากาศได้กว่า 99.97 %

นอกจากนี้การควบคุมทิศทางการไหลของอากาศจากบริเวณที่สะอาด ไปยังบริเวณที่มีเชื้อ แล้วควบคุมให้อากาศดังกล่าวไหลไปผ่านตัวกรอง HEPA FILTER ก็เป็นการลดการแพร่กระจายของเชื้อและช่วยป้องกันการติดเชื้อจากผู้ป่วยไปยังผู้อื่นได้อย่างดี



รูปที่ 11 การควบคุมทิศทางการไหลของอากาศช่วยป้องกันการติดเชื้อจากผู้ป่วยสู่ผู้อื่น

การควบคุมความชื้นเพื่อแก้ปัญหาที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นว่าความชื้นล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นในด้านทางตรง เช่นในเรื่องของความอึดอัดความสบาย หรือทางอ้อม เช่น ในเรื่องของการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก และเชื้อโรคต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ การควบคุมความชื้นให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะ จึงมีส่วนสำคัญต่อการช่วยดูแลรักษาสุขภาพของเราให้มีความแข็งแรง และปลอดภัยจากโรคติดต่อต่างๆ ได้ในระดับหนึ่ง

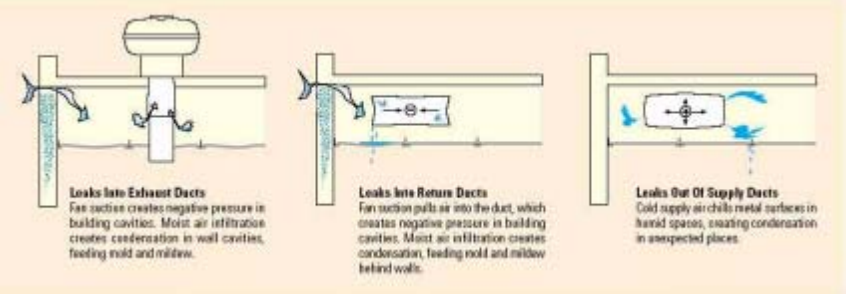
การควบคุมและป้องกันความชื้นต้องทำควบคู่กันไปทั้งในด้านสถาปัตยกรรม เช่นการเลือกวัสดุอาคารที่สามารถป้องกันความชื้นจากภายนอกได้เป็นอย่างดี หรือการออกแบบอาคารให้มีรูรั่วหรือช่องเปิดที่เชื่อมต่อกับภายนอกอาคารให้น้อยที่สุดเป็นต้น

สำหรับในงานด้านวิศวกรรมนั้นเราสามารถควบคุมความชื้นผ่านทางระบบปรับอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปสามารถควบคุมความชื้นในระบบปรับอากาศได้ดังนี้

- เลือกเครื่องปรับอากาศให้มีขนาดทำความเย็นพอดีกับขนาดของห้องที่ปรับอากาศจะช่วยลดความชื้นภายในห้องได้อย่างดี เนื่องจากคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเหมาะสมจะสามารถรีดน้ำออกจากอากาศได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ในกรณีที่เลือกเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศทำงานในระยะเวลาสั้น แล้วหยุดทำงานบ่อยครั้งเนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องลดลงถึงค่าที่ตั้งไว้ การหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ดังกล่าวจะทำให้คอยล์เย็นไม่สามารถรีดน้ำออกจากอากาศได้ในช่วงเวลาดังกล่าว ในขณะเดียวกันลมที่เป่าออกจากคอยล์เย็นจะเป็นตัวเพิ่มความชื้นให้กับห้อง

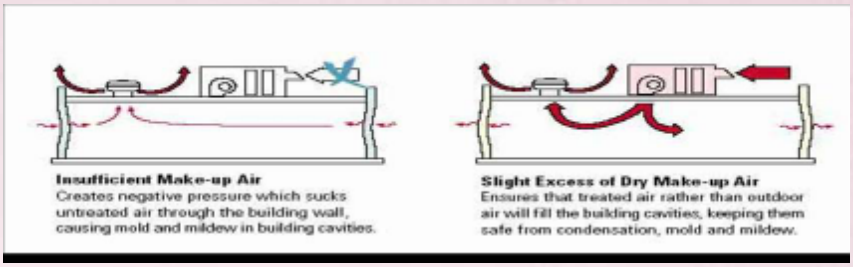
- สำหรับห้องที่มีความชื้นสูงมากๆ อาจมีความจำเป็นต้องเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีลักษณะพิเศษ เพื่อเพิ่มการลดความชื้นออกจากอากาศ เช่น เลือกคอยล์เย็นที่มีความหนามากๆ (เพิ่มจำนวนแถวของคอยล์เย็น) และให้ลมเคลื่อนที่ผ่านคอยล์เย็นในอัตราที่ช้าลง เพื่อให้ความชื้นมีเวลาควบแน่นออกจากอากาศได้เป็นเวลานานขึ้น

- ตรวจสอบและซ่อมแซมระบบปรับอากาศที่ใช้งานอยู่ให้ติดตั้งและใช้งานให้ถูกต้อง เช่น 1) ตรวจสอบซ่อมแซมรูรั่วที่เครื่องปรับอากาศและท่อลมเย็นทั้งด้านส่งและด้านกลับ ช่วยป้องกันความชื้นจากภายนอกไหลเข้าสู่ระบบปรับอากาศ 2) ตรวจสอบการทำงานของระบบควบคุม เช่น เทอร์โมสตัท และวาล์วควบคุมความเย็นว่าทำงานอย่างถูกต้องหรือไม่



รูปที่ 12 การติดตั้งท่อลมไม่ถูกต้องทำให้เกิดน้ำหยดที่ท่อลมและฝ้าเพดาน

- สร้างแรงดันอากาศภายในห้องให้มากกว่าภายนอก (Positive Pressure) เพื่อป้องกันฝุ่น และความชื้นจากภายนอกไหลเข้าสู่ห้องปรับอากาศ



รูปที่ 13 การสร้าง Positive Pressure ป้องกันความชื้นจากภายนอกเข้าสู่ห้องปรับอากาศ

- ปรับปรุงระบบหมุนเวียนอากาศและระบบกรองอากาศให้ได้ตามมาตรฐาน โดยห้องแต่ละประเภทมีการออกแบบระบบหมุนเวียนอากาศและระบบกรองอากาศที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน

Area	ASHRAE Handbook 2003			AIA Guidelines 2001		
	Min. OA, ACH	Min Total Air, ACH	Pressure Relationship	Min. OA, ACH	Min Total Air, ACH	Air Movement Relationship
Infectious Isolation Room	2	12	N	2	12	In
Operating Room	5	25	P	3	15	Out
Recovery Room	2	6	E	2	6	-
ICU	2	6	P	2	6	-
Corridor	2	4	E	-	2	-
Sterile Storage Room	2	4	P	-	4	Out
Admitting & Waiting Room	2	6	N	-	-	-
Examination Room	2	6	±	-	6	-

ACH = air change per hour; P = positive; N = negative; E = equal; +/- = continuous directional control not required

รูปที่ 14 อัตราการหมุนเวียนอากาศและเติมอากาศในห้องประเภทต่างๆ

- ติดตั้งแผงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพ และตรวจสอบการติดตั้งให้ถูกต้องตามมาตราฐาน การติดตั้งแผงกรองที่ไม่มีประสิทธิภาพ และติดตั้งไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นในห้องปรับอากาศ และเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค

นอกจากการแก้ปัญหาความชื้นที่ระบบปรับอากาศแล้วควรมีการตรวจสอบแหล่งความชื้นและแหล่งที่อาจเป็นที่สะสมของเชื้อโรคควบคู่กันไปด้วย เช่น 1) ลดปัญหาน้ำรั่วหรือน้ำขังภายในห้อง, 2) ลดการใช้วัสดุที่เป็นแหล่งอาหาร หรือเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของเชื้อโรค เช่น วัสดุเก็บฝุ่น ผ้าเปียก กระดาษ พรม และวอลล์เปเปอร์ เป็นต้น 3) ไม่ควรเปิดประตูห้องเพื่อรับอากาศจากภายนอกภายหลังจากเพิ่งปิดเครื่องปรับอากาศใหม่ๆ

สำหรับในกรณีที่แก้ปัญหาความชื้นดังกล่าวข้างต้นแล้ว แต่ยังพบปัญหาความชื้นสูงอยู่ อาจมีความจำเป็นจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ลดความชื้นเพิ่มเติมเพื่อควบคุมระดับความชื้นให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อโรคต่างๆ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. Baughman, A. and E. A. Arens. 1996. Indoor Humidity and Human Health-Part I : Literature Review of Health Effects of Humidity-Influenced Indoor Pollutants. Center for the Built Environment (University of California Berkeley)
2. Harriman, L., G. Brundrett, R. Kittler. 2001. Humidity Control Design Guide for Commercial and Institutional Buildings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, Inc.
3. Harriman, L. 1990. The Humidification Handbook. 2nd ed. MA: Munter Cargocaire.
4. Beggs, C.B. 2007. Engineering the Control of Airborne Pathogens. School of Civil Engineering, University of Leeds.
5. ASHRAE Application Handbook 2003. Health Care Facilities, 2003 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, Inc.
6. AIA. 2001 Guidelines for Design and Construction of Hospital of Hospital and Health Care Facilities, 2001. The American Institute of Architects, Washington, D.C.
7. [Online] http://en.wikipedia.org/wiki/Virus
8. [Online] http://en.wikipedia.org/wiki/Bacteria