การออกแบบห้องแรงดันบวกและแรงดันลบ

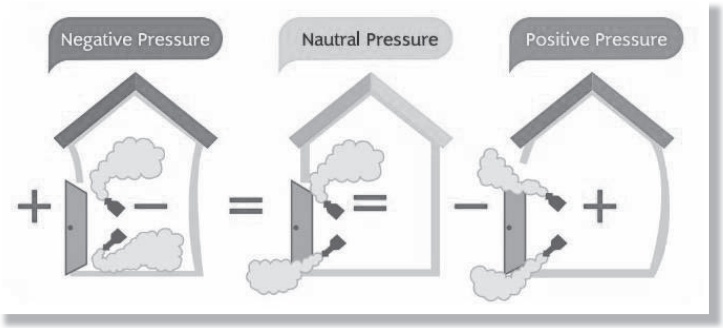
ชัชวาลย์ คุณค้ำชู วก.491 วส.49

ทปษ สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย ACAT

อุปนายก วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมป์ EIT

นายกสมาคมลิฟต์แห่งประเทศไทย LAT

เพื่อลดการกระจายของการติดเชื้อทางอากาศ ห้องในโรงพยาบาลบ้างห้องจะต้องออกแบบให้มีแรงดันลบ (แรงดันน้อยกว่าห้องข้างเคียง) หรือแรงดันบวก (แรงดันมากกว่าปกติเทียบกับห้องข้างเคียง)

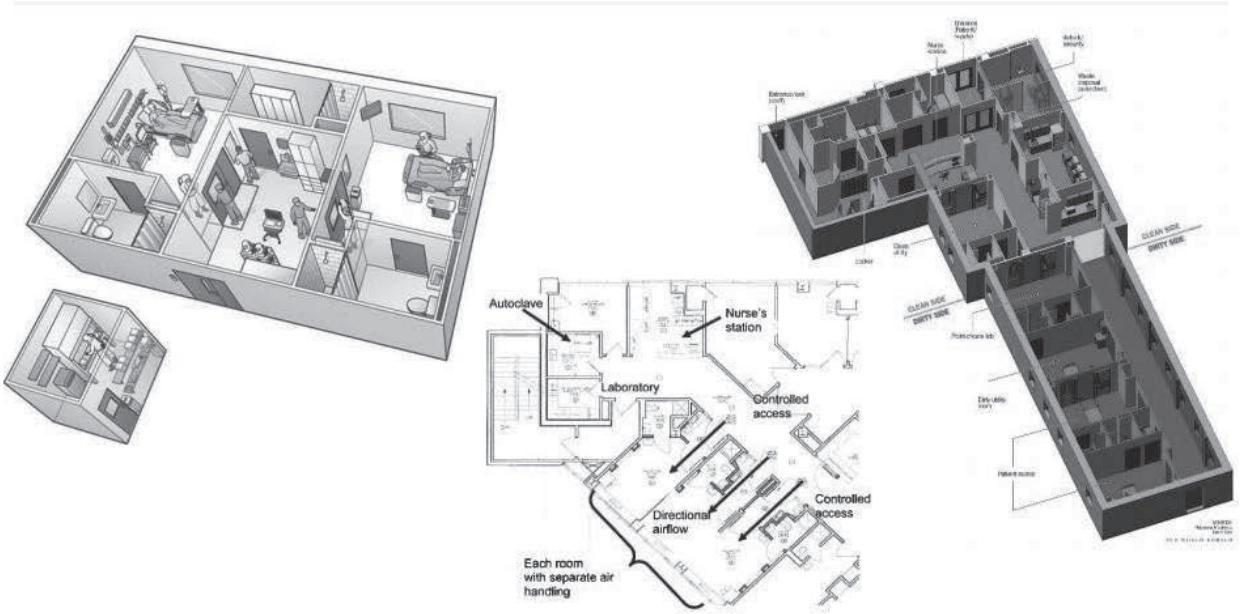


ในโรงพยาบาลหรือสถานที่บริการด้านสุขภาพ โรคที่แพร่กระจายทางอากาศเป็นสิ่งที่เป็นอันตรายต่อคนไข้และผู้คนที่มาใช้บริการ ทีมงานทางการแพทย์และผู้เข้าเยี่ยมผู้ป่วย เพื่อลดการกระจายทางอากาศห้องในโรงพยาบาลหลาย ๆ ห้องถูกออกแบบให้มีแรงดันลบ หรือแรงดันบวกตามสภาพเหตุการณ์ว่าเป็นการป้องกันเชื้อแพร่กระจายออกไป ดังเช่นห้องผู้ป่วยโควิด-19 โรคซาร์ หรือเพื่อป้องกันเชื้อโรคแพร่เข้ามาสู่ห้องนั้น ๆ เช่น ห้องผ่าตัด ห้องผู้ป่วยภูมิคุ้มกันต่ำ ผู้ป่วยอ่อนแอติดเชื้อง่าย

การออกแบบห้องแรงดันลบและบวก ในสถานที่บริการด้านสุขภาพ วิศวกรต้องทำงานร่วมกับสถาปนิกตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ และทำงานร่วมกับเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลเพื่อให้ห้องสามารถใช้งานได้จริงหลังจากการสร้างตามแบบที่ออกไว้

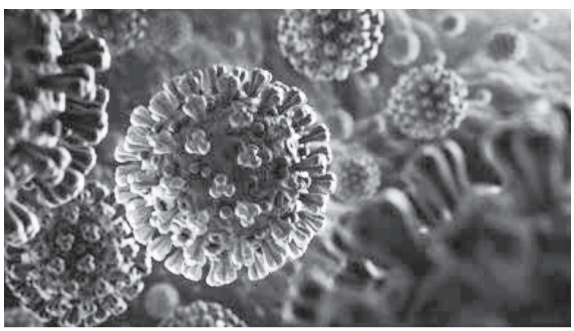
การทำงานร่วมกันตั้งแต่เริ่มต้น จะทำให้สามารถเห็นปัญหาและแก้ไขปัญหาได้ล่วงหน้าทันท่วงที เช่น การเตรียมหาตำแหน่งอากาศสะอาด บริสุทธ์ เพื่อเติมเข้าสู่ห้องเพื่อให้เกิดระบบแรงดันบวก และพื้นที่ที่จะระบายอากาศทิ้งออกไปป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรคสู่บรรยากาศภายนอก

ภาพแสดงการจัดโซนห้องต่าง ๆ เพื่อการ เข้า ออก ห้องแรงดันลบหรือแรงดันบวก



ห้องแรงดันลบ

ห้องแรงดันลบถูกออกแบบเพื่อเป็นการแยกผู้ป่วยที่คาดว่าหรือตรวจพบว่ามีโรคที่สามารถแพร่ทางอากาศได้ โดยห้องแรงดันลบจะทำให้เชื้อโรคไม่แพร่กระจายจากผู้ป่วยไปสู่คนอื่นในโรงพยาบาลได้



ห้องแรงดันลบต้องมีอัตราการระบายอากาศ (Air Change) ขั้นต่ำอยู่ที่อย่างน้อย 12 Air Change และต้องมีระดับต่างของแรงดันลบอยู่ที่ระดับอย่างน้อย - 2.5 Pa (- 0.01 Inches Water Column) และขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ขนาดห้อง พื้นที่ตั้ง และจำนวนหน้าต่าง อาจจะต้องมี Air Change สูงขึ้นกว่า 12 Air Change

ตารางแสดงข้อกำหนดการระบายอากาศสำหรับพื้นที่เฉพาะในโรงพยาบาลและสถานที่บริการสุขภาพ

Table 10. Summary of ventilation specifications in selected areas of health-care facilities*

Specifications	AII room (includes bronchoscopy suites)	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% (Fungal spore filter at point of use (HEPA at 99.97% of 0.3 µm particles))	>90%	>90%	90%
Recirculation	No (Recirculated air may be used if the exhaust air is first processed through a HEPA filter.)	Yes	Yes	No	Yes

ตาราง กำหนดคุณลักษณะเฉพาะของพื้นที่ต่าง ๆ ในโรงพยาบาล โดยมีค่าตัวเลขขั้นต่ำกำหนดไว้เพื่อการนำใช้ในการออกแบบ

ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017

Table 7.1 Design Parameters—Hospital Spaces

Function of Space	Pressure Relationship to Adjacent Areas (n)	Minimum Outdoor ach	Minimum Total ach	All Room Air Exhausted Directly to Outdoors (j)	Air Recirculated by Means of Room Units (a)	Design Relative Humidity (k), %	Design Temperature (l), °F/°C
SURGERY AND CRITICAL CARE							
Critical and intensive care	NR	2	6	NR	No	30–60	70–75/21–24
Delivery room (Caesarean) (m), (o)	Positive	4	20	NR	No	20–60	68–75/20–24
Emergency department decontamination	Negative	2	12	Yes	No	NR	NR
Emergency department exam/treatment room (p)	NR	2	6	NR	NR	Max 60	70–75/21–24
Emergency department public waiting area	Negative	2	12	Yes (q)	NR	Max 65	70–75/21–24
Intermediate care (s)	NR	2	6	NR	NR	Max 60	70–75/21–24
Laser eye room	Positive	3	15	NR	No	20–60	70–75/21–24
Medical/anesthesia gas storage (r)	Negative	NR	8	Yes	NR	NR	NR
Newborn intensive care	Positive	2	6	NR	No	30–60	72–78/22–26
Operating room (m), (o)	Positive	4	20	NR	No	20–60	68–75/20–24
Operating/surgical cystoscopic rooms (m), (o)	Positive	4	20	NR	No	20–60	68–75/20–24
Procedure room (o), (d)	Positive	3	15	NR	No	20–60	70–75/21–24
Radiology waiting rooms	Negative	2	12	Yes (q), (w)	NR	Max 60	70–75/21–24
Recovery room	NR	2	6	NR	No	20–60	70–75/21–24
Substerile service area	NR	2	6	NR	No	NR	NR
Trauma room (crisis or shock) (c)	Positive	3	15	NR	No	20–60	70–75/21–24
Treatment room (p)	NR	2	6	NR	NR	20–60	70–75/21–24
Triage	Negative	2	12	Yes (q)	NR	Max 60	70–75/21–24
Wound intensive care (burn unit)	NR	2	6	NR	No	40–60	70–75/21–24
INPATIENT NURSING							
AII anteroom (u)	(e)	NR	10	Yes	No	NR	NR
AII room (u)	Negative	2	12	Yes	No	Max 60	70–75/21–24
Combination AII/PE anteroom	(e)	NR	10	Yes	No	NR	NR
Combination AII/PE room	Positive	2	12	Yes	No	Max 60	70–75/21–24

Note: NR = no requirement

ASHRAE Standard 170-2017

โดย ตารางได้กำหนดข้อมูลไว้ ดังนี้

ประเภท ชนิด ห้องต่าง ๆ ที่ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขนี้

แรงดันที่จำเป็นสำหรับห้อง....

อัตราการระบายอากาศบริสุทธ์ขั้นต่ำ....

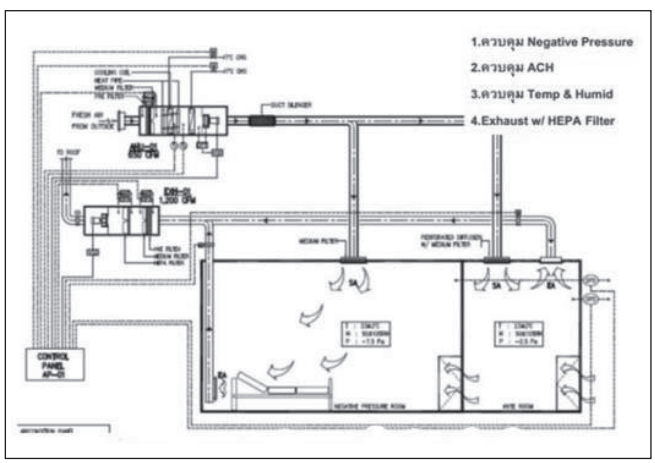
อัตราการระบายอากาศขั้นต่ำรวม....

ความต้องการ การระบายอากาศจากห้อง AIIR โดยตรงสู่ภายนอก

ความต้องการให้เกิดการหมุนเวียนอากาศภายในห้อง

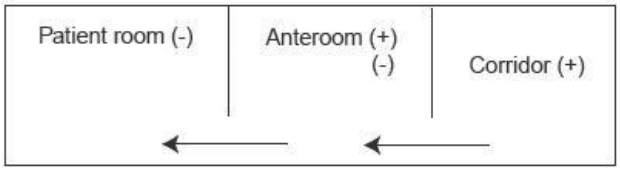
เปอเซนต์ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องที่ใช้ออกแบบอุณหภูมิภายในห้องที่ใช้ออกแบบ

ภาพแสดงห้องที่ออกแบบไว้เพื่อป้องกันการติดเชื้อ

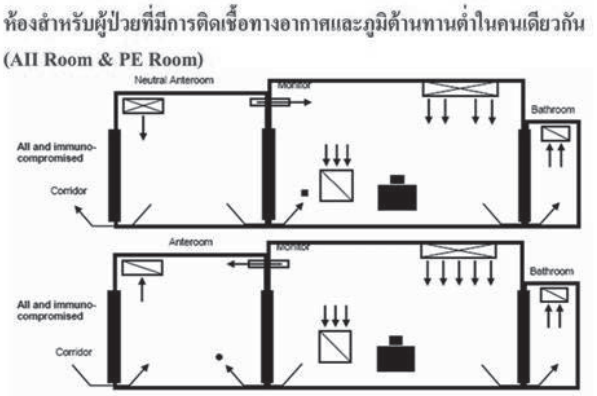


โดยปกติ ห้องแรงดันลบจะมีพัดลมระบายอากาศในห้องตัวเอง และบางสถานบริการด้านสุขภาพจะใช้แสง UVC เพื่อทำการฆ่าเชื้อภายในห้องเพิ่มเติมและใช้ฆ่าเชื้อเมื่อผู้ป่วยย้ายออกจากห้องแล้ว

และมี Anteroom เป็นห้องแบ่งแยกไว้เพื่อรองรับการทำงาน การผ่านเข้าออกห้องความดันลบ เป็นห้องแยกก่อนจะทำให้อากาศสามารถแพร่ไปสู่ห้องข้างเคียง โดย Anteroom จะมีความดันสูงกว่าห้อง Negative Room แต่ยังมีความดันต่ำกว่าห้องของหมอและพยาบาล



Anteroom ยังถูกใช้ในวัตถุประสงค์อื่น เช่น การเปลี่ยนชุดก่อนผ่านเข้าไปในห้องและเปลี่ยนชุดทิ้งก่อนออกจากห้องได้ด้วย ในกรณีที่มีพื้นที่จำกัด



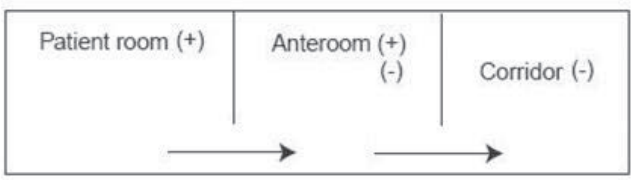
การระบายอากาศห้องแรงดันลบที่มีเชื้อโรคอยู่จะต้องมีระบบกรองอากาศแบบ HEPA มาใช้งานก่อนระบายสู่ธรรมชาติ เพื่อให้อากาศที่ทิ้งไปมีความสะอาดที่สุดไม่ก่อให้เกิดการติดเชื้อจากอากาศที่ทิ้งออกไปและในการออกแบบระบบกรองอากาศ ต้องคำนึงถึงกรรมวิธี การถอดเปลี่ยน FILTER, HEPA FILTER ที่ติดเชื้อด้วย

โดยปกติ ห้องแรงดันบวกลบจะมีลักษณะเหมือนห้องผู้ป่วยทั่วไป แต่จะมีการไหลเวียนของอากาศและการระบายอากาศในอัตราที่สูงกว่าทั่วไป

ห้องแรงดันบวก

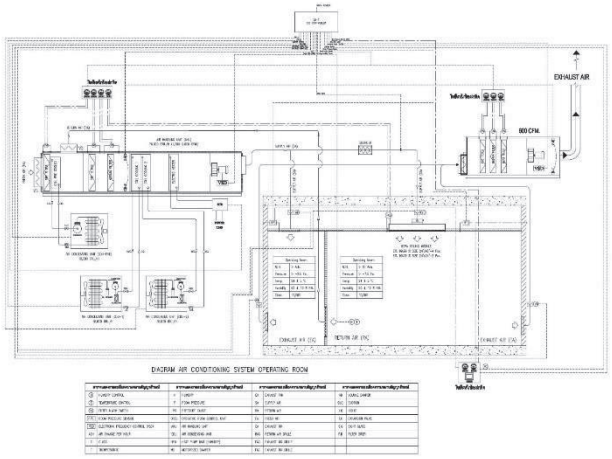
ห้องแรงดันบวกถูกออกแบบเพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อโรคเข้าถึงผู้ป่วยที่มีปัญหาระบบภูมิต้านทานต่ำ ผู้ป่วยที่ได้รับการปลูกถ่ายอวัยวะ ผู้ป่วยมะเร็งที่อ่อนแอ ผู้ป่วยหลังผ่าตัด

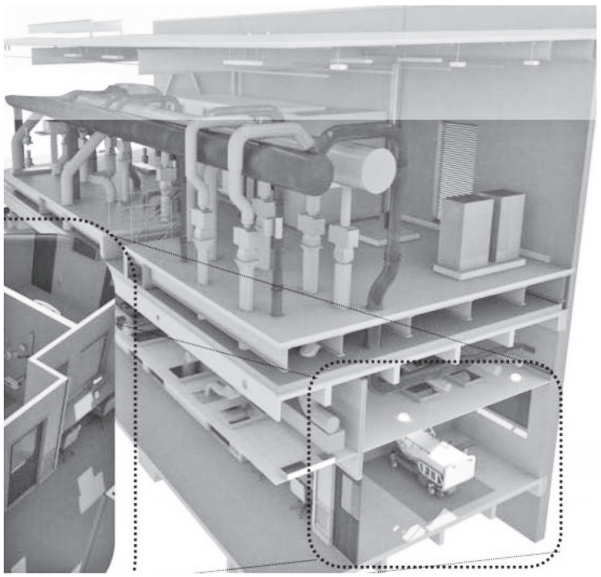
ห้องแรงดันบวกต้องมีอัตรา Air Change ขั้นต่ำอยู่ที่อย่างน้อย 12 Air Change และต้องมีระดับต่างของแรงดันบวกอยู่ที่ระดับอย่างน้อย +2.5 Pa (+ 0.01 Inches Water Column) และขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ขนาดห้อง พื้นที่ตั้งและจำนวนหน้าต่าง อาจจะต้องมี Air Change มากสูงขึ้นกว่า 12 เช่นกัน โดยห้องแรงดันบวกอาจมีการนำระบบกรองอากาศ HEPA มาใช้งานในฝั่งเติมอากาศ เพื่อให้อากาศที่เข้ามาเติมมีความสะอาดที่สุด โดยปกติ ห้องแรงดันบวกจะมีลักษณะเหมือนห้องผู้ป่วยทั่วไปเช่นเดียกับห้องความดันลบ แต่จะมีการไหลเวียนของอากาศในอัตราที่สูงกว่าห้องอื่น ๆ



คุณภาพอากาศห้องแรงดันบวก ต้องสะอาด จึงต้องใช้ การกรองอากาศ การฆ่าเชื้อก่อนจ่ายเข้าไปในห้อง โดยการใช้แผงกรองอากาศ FILTER เช่น HEPA/ULPA FILTER และระบบอื่น ๆ ผสมผสาน เช่น ระบบ UVC ช่วยในการฆ่าเชื้อโรคที่จะเกาะติดแผง FILTER ป้องกันเชื้อโรคไหลผ่านระบบปรับอากาศออกมา

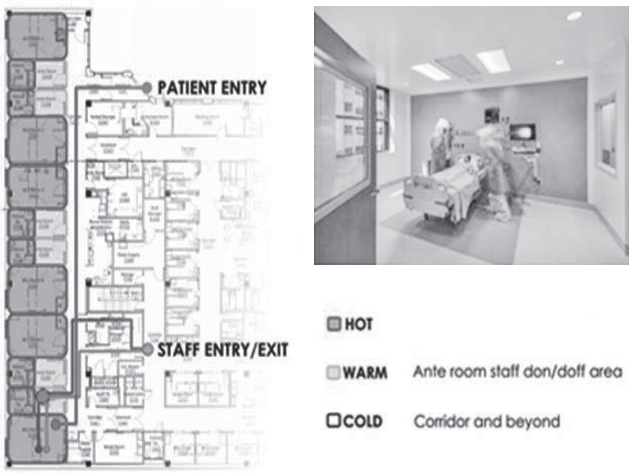
ภาพแสดงห้องที่มีแรงดันบวก และชั้นห้องเครื่องที่เป็นระบบสนับสนุนการทำงานของแพทย์





Anteroom เป็นห้องที่จำเป็นมากเพื่อแบ่งแยกไว้เพื่อรองรับการทำงาน การผ่านเข้าออกห้องความดันบวก เป็นห้องแยกก่อนจะทำให้อากาศจากห้องข้างเคียงแพร่ไปสู่ห้อง โดย Anteroom จะมีความดันสูงกว่าห้องของหมอและพยาบาลและต่ำกว่าห้อง คนใช้ความดันบวก

ภาพแสดงห้องที่มีแรงดันบวก แรงดันลบ และเส้นทางเข้าออกของแพทย์ พยาบาล และผู้ป่วย ป้องกันการติดเชื้อสู่กัน



ในการออกแบบห้องทั้งสองแบบ วิศวกรต้องทำงานร่วมกับสถาปนิกเพื่อออกแบบพื้นที่ที่สามารถรักษาความต่างของแรงดันอากาศได้ กำแพงและส่วนต่ออื่นๆต้องมีการปิดไม่ให้มีรูรั่ว และต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆที่จะมีผลกับแรงดันอากาศในห้อง เช่น ประตูเลื่อน หรือห้องพักคอยก่อนเข้าห้องอีกด้วย

การออกแบบห้องแรงดันสูงต่ำ ผู้ออกแบบต้องมีความเข้าใจในการทำงานของระบบในตัวห้อง วิศวกรผู้ออกแบบต้องพิจารณาตั้งแต่ในขั้นตอนการออกแบบถึงความปลอดภัยของผู้ป่วย

ความปลอดภัยของผู้ป่วย แพทย์ พยาบาล การใช้งาน การซ่อมบำรุง การใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายให้ได้มากที่สุด

การใช้งานห้องเหมือนกับห้องผู้ป่วยตามปกติเมื่อไม่มีความต้องการในการควบคุมแรงดันได้อีกด้วย

สรุป

การออกแบบห้องแรงดันลบและแรงดันบวก ผู้ที่ออกแบบจะต้องมีองค์ความรู้รอบด้าน อันได้แก่ ด้านวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมปรับอากาศ วิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง ด้านการปฏิบัติงานของบุคลากรทางการแพทย์ และรู้จักเลือกใช้ระบบที่เหมาะสม รู้จักเครื่องจักร วัสดุที่ปลอดภัยที่จะนำมาใช้งาน จึงจะเป็นผู้ออกแบบที่ดีได้