



การปรับและระบายอากาศสำหรับห้องผ่าตัด

วราวิญญ์ สิงหนาท

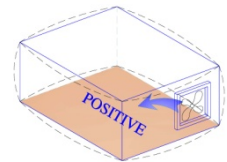
เมื่อกล่าวถึงห้องผ่าตัด (Operating Room, OR) ทุกคนเข้าใจกันที่ว่า จะต้องเป็นห้องที่มีพื้นผิวที่มีความสะอาด มีอากาศที่บริสุทธิ์ปราศจากเชื้อโรคและฝุ่นละออง จากประสบการณ์ที่พบเห็นห้องผ่าตัด พบว่าในหลายแห่งที่มีการใช้งานมานานมากกว่า 10 ปี มีลักษณะการของใช้ งานที่ไม่เหมาะสมกับการแพร่กระจายของเชื้อโรคใหม่ๆ ข้อกำหนดที่เปลี่ยนแปลงไป และเทคโนโลยีในปัจจุบัน ห้องผ่าตัดที่ใหม่กว่ามีการออกแบบระบบปรับ และระบาย อากาศให้มีความถูกต้องเหมาะสมมากขึ้น แต่ส่วนใหญ่มี การใช้งานระบบที่ไม่ถูกต้อง และไม่ได้รับการดูแล บำรุงรักษาอย่างถูกวิธีในเวลาที่เหมาะสม ทำให้ ประสิทธิภาพและความปลอดภัยลดลง การออกแบบใหม่ การออกแบบปรับปรุง และการบำรุงรักษาที่ถูกต้อง เป็น เรื่องที่สำคัญ

การออกแบบ การปรับปรุง รวมทั้งการ บำรุงรักษาระบบปรับ และระบายอากาศของห้องผ่าตัด เป็นโจทย์ที่สามารถดำเนินการให้มีประสิทธิภาพได้โดยไม ยากนัก แต่ปัญหาที่สำคัญคือเรื่องงบประมาณ การ ออกแบบและติดตั้งเฉพาะระบบปรับ และระบายอากาศ ของห้องผ่าตัดใหม่ ที่สามารถควบคุมปริมาณการ หมุนเวียนอากาศ การระบายอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น ความดันอากาศ และการกรองอากาศ ที่มีประสิทธิภาพ ตรงตามข้อกำหนดของ CDC¹, WHO² หรือของวสท.³ มี มูลค่าสูงถึง 30,000-40,000บาท/ตร.ม. และการ ปรับปรุงระบบเดิมที่มีการใช้งานมานานอาจมีมูลค่าสูงกว่า

มาก ดังนั้นการศึกษาทำความเข้าใจการทำงานของระบบฯ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของห้องผ่าตัด การค้นคว้าหา เทคโนโลยีใหม่ๆ การศึกษาคุณสมบัติ ราคา และค่า บำรุงรักษาของอุปกรณ์ของระบบฯ เป็นเรื่องผู้บริหาร ต้องรู้เพื่อการตัดสินใจ งบประมาณ จุดคุ้มทุน อายุการ ใช้งาน การบำรุงรักษา ความปลอดภัย และที่สำคัญต้อง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อกำหนดการปรับและหมุนเวียนอากาศสำหรับ ห้องผ่าตัดปกติทั่วไป ที่ไม่ได้ใช้สำหรับผู้ป่วยแพร่เชื้อทาง อากาศ อธิบายโดยสรุปดังนี้

1. ระบบปรับอากาศ ต้องสามารถหมุนเวียนอากาศ ภายในห้องผ่าตัด ได้จำนวนไม่น้อยกว่า 25 เท่า (วสท)⁴ของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (Air Change per Hour,ACH) หรือ ไม่น้อยกว่า15 ACH (WHO,CDC)
2. ระบบปรับอากาศควรสามารถปรับอุณหภูมิได้ในช่วง 17-27°C(วสท) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมขณะใช้ งาน 20-22 °C (WHO)⁵ หรือ 20-23 °C (CDC)⁶
3. ต้องรักษาความดันอากาศของห้องให้เป็นบวกเมื่อ เทียบกับพื้นที่ข้างเคียง และควรเปิดระบบปรับ และระบายอากาศ ตลอดเวลาแม้ไม่มีการ ใช้งาน เพื่อรักษาระดับความชื้นและความดันอากาศ ให้เป็นบวก โดยสามารถปรับให้อุณหภูมิให้สูงขึ้น ลดอัตราการหมุนเวียนและการระบายอากาศตาม ความเหมาะสม เพื่อประหยัดพลังงาน
4. ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ให้อยู่ในช่วง 45-55%rh (วสท) หรือ 30-60%rh(WHO,CDC)
5. หัวจ่ายลมภายในห้อง เป็นแบบจ่ายลมทิศทางเดียว (Unidirectional) มีลักษณะกระแสอากาศที่ ราบเรียบ หรือปั่นป่วนน้อยที่สุด และควรจ่ายลม



¹ Centers of Disease Control and Prevention

² World Health Organization

³ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

⁴ วสท.,มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1,2551,หน้า 51

⁵ WHO 2004, Practical guidelines for infection control in health care facilities,p.20

⁶ CDC 2003,Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities ,p.17

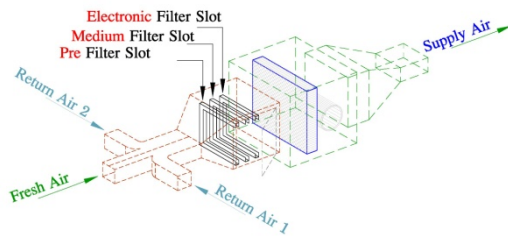
ผ่านแผ่นกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง⁷ (High Efficiency Particulate Air) โดยหลีกเลี่ยงน้ำหนักจ่ายลมที่มีการเหนี่ยวนำลมสูง

6. ควรติดตั้งอุปกรณ์ปรับแต่งและแสดงสถานะของห้อง



เช่นระบุความดันอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการทำงานของแผ่นกรองอากาศ ที่สามารถอ่านได้สะดวก

7. ท่อลมกลับ (Return Air) ที่มีการผสมกับ Fresh Air ที่เติมเข้ามา ที่ด้านหลังเครื่อง AHU ต้องผ่านแผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง



เพื่อกรองอากาศให้บริสุทธิ์ และป้องกันการสะสมฝุ่นละอองและเชื้อโรคที่คอยล์เย็นและถาดรองน้ำ

การระบายอากาศ ของห้องผ่าตัด

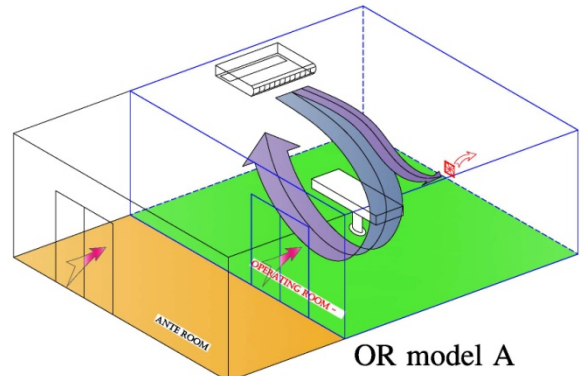
1. ต้องมีเติมอากาศจากภายนอกเข้าห้องผ่าตัด จำนวนไม่น้อยกว่า 5 เท่า(วสท) ของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (Air Change per Hour,ACH) โดยผ่านแผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง
2. พัดลมดูดอากาศออก ควรต่อท่อออกไปปล่อยในระดับสูง หรือในทิศทางที่ไม่หวนกลับเข้ามาหาต่อเติมอากาศ หรือช่องเปิดของอาคาร
3. การระบายอากาศโดยการเติมอากาศเข้าและดูดออก ยังคงต้องรักษาระดับความดันอากาศสัมพัทธ์ ให้เป็นบวกเสมอ

หมายเหตุ : การเติมอากาศจากภายนอกที่มีมักความชื้นสูง จะเป็นการเพิ่มความชื้นให้กับห้องผ่าตัด และเป็น การเพิ่มภาระแก่เครื่องปรับอากาศ

ตัวอย่างการปรับปรุงห้องผ่าตัด

ห้องผ่าตัดที่มีการใช้งานอยู่ส่วนใหญ่ที่พบเห็น จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันอยู่ 2รูปแบบคือ แบบ A และแบบ B โดยจะอธิบายถึงปัญหาที่พบในแต่ละรูปแบบและแนวทางในการปรับปรุง

รูปแบบ A เป็นลักษณะของห้องผ่าตัดที่พบได้ตามโรงพยาบาลชุมชน ที่มีการใช้งานมานาน มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแขวนเพดาน หรือติดผนัง



มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศออกที่ระดับล่าง โฉงหน้าห้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศ มักใช้เป็นที่ทำงานของเจ้าหน้าที่แผนกผ่าตัด การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆภายในห้องสะดวกในการบำรุงรักษา แต่การใช้งานไม่เหมาะสม

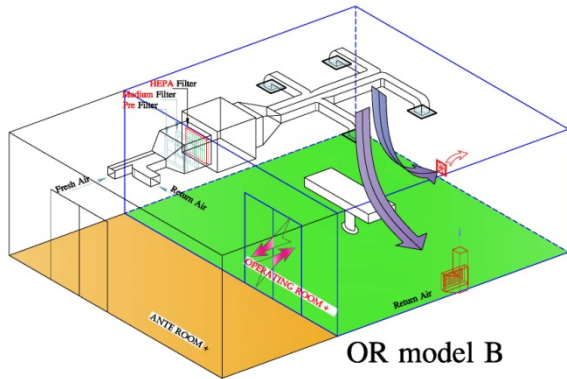
- 1) ปริมาณการหมุนเวียนอากาศไม่เพียงพอ
- 2) การควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร
- 3) ทิศทางการไหลของกระแสอากาศไม่ราบเรียบ และไม่ทั่วถึง
- 4) ความดันอากาศภายในห้องผ่าตัด เป็นลบ ทำให้อากาศจากภายนอกที่ไม่ได้ผ่านการกรองอากาศ ไหลผ่านทางขอบช่องเปิดของประตูหน้าต่าง และทุกครั้งที่เปิดประตูเข้าออก
- 5) ไม่มีระบบกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพ
- 6) โอกาสเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูง

แนวทางแก้ไขโดยปรับปรุงตามรูปแบบ C

รูปแบบ B เป็นลักษณะของห้องผ่าตัดที่มีการออกแบบและใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมมากกว่าแบบ A มีการเติมอากาศ Fresh Air ผ่านระบบกรองอากาศแบบ HEPAแบบเส้นใยกรอง(Media) ที่เครื่อง AHU ทำให้ห้องมีความดันอากาศเป็นบวก อากาศสะอาด เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพในการทำอุณหภูมิ และลดความชื้นได้ดีขึ้น

⁷ HEPA 99.97% efficiency on 0.3µm particles OR **Electronic Air Filter 99% efficiency on 0.01µm particles**

มีหัวจ่ายลมแบบสี่ทิศทางกระจายอยู่หลายหัว ทำให้กระแสอากาศตัดกัน เกิดปั่นป่วน มีโอกาสที่อากาศเกิดการปนเปื้อนสูง



OR model B

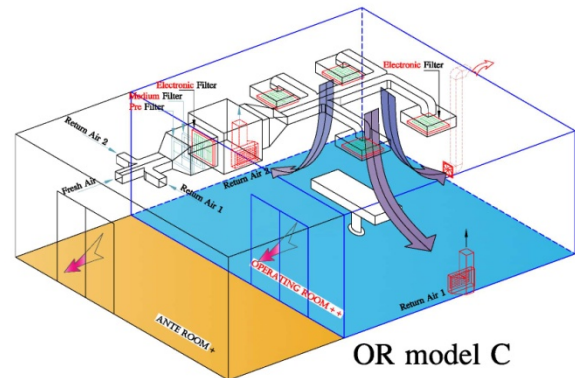
แต่ปัญหาที่พบบ่อยมากคือ การขาดการบำรุงรักษาที่ถูกรว้เนื่องจากแผ่นกรองอากาศ HEPA แบบเส้นใยกรองมี Pressure Drop⁸ ที่สูงต้องได้รับการเปลี่ยนอย่างน้อย 1-3 ครั้งต่อปี ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน อีกทั้งต้องใช้ AHU ที่มีแรงดันอากาศที่สูงมาก (High Static) เพื่อผลักดันอากาศแผ่นกรองแบบเส้นใย ต้องได้รับการบำรุงรักษาเป็นระยะๆ เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศ ทำให้อากาศผ่านได้น้อยลง และบ่อยครั้งที่พบว่ามอเตอร์พัดลมของ AHU ชำรุดเสียหายจากการที่ไม่สามารถผลักดันอากาศผ่านแผ่นกรองที่อุดตัน ทำให้ไม่สามารถลดอุณหภูมิและความชื้นของห้องผ่าตัด ไม่ได้ตามต้องการ สรุปผลเสียที่ตามมาคือ

- 1) ปริมาณการหมุนเวียนอากาศไม่เพียงพอ
- 2) ลดอุณหภูมิและความชื้นของห้องผ่าตัดไม่ได้ตามต้องการ
- 3) สิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์
- 4) อากาศ Fresh Air ผ่านเข้ามาได้น้อยลง ทำให้ระดับความดันอากาศสัมพัทธ์ไม่เป็นบวก หรืออาจเป็นลบในบางช่วงเวลาที่เปิดเครื่องระบายอากาศออก ทำให้อากาศจากภายนอกที่ไม่ได้ผ่านการกรองอากาศไหลผ่านทางขอบช่องเปิดของประตูหน้าต่าง และทุกครั้งที่เปิดประตูเข้าออก
- 5) ลักษณะหัวจ่ายลมไม่เหมาะสม

⁸ ประสิทธิภาพการไหลอากาศผ่านแผ่นกรองลดลง ยิ่งมีค่าสูงมาก ประสิทธิภาพยิ่งลดลงมาก ไม้ดี HEPA มีค่า 1-1.25 in.WG.

6) โอกาสเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูง แนวทางแก้ไขโดยปรับปรุงตามรูปแบบ C

รูปแบบ C เป็นลักษณะของห้องผ่าตัดที่มีการออกแบบที่เหมาะสมตามข้อกำหนด ห้องผ่าตัดรูปแบบนี้ที่พบส่วนใหญ่จะมีขนาดประมาณ 6x6x3 m. มีระบบการจ่ายกระแสลมที่ราบเรียบ (Laminar Flow System) เหนือบริเวณพื้นที่ผ่าตัดได้ดี ที่ AHU และหัวจ่ายลมในห้องผ่าตัด ติดตั้งแผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง แบบ Electronic Filter⁹ ที่มี Pressure Drop ต่ำมากเพียง 0.25 in.WG. การหมุนเวียนอากาศในปริมาณที่พอเพียงอย่างทั่วถึง สามารถช่วยลดอุณหภูมิและความชื้นลงได้ และช่วยประหยัดพลังงานลงอย่างมาก มีอายุการใช้งานที่นานกว่า ต้องการการบำรุงรักษาที่น้อยกว่า



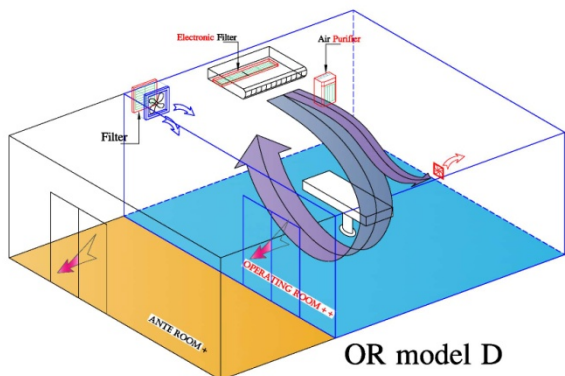
OR model C

การปรับเปลี่ยนระบบปรับอากาศจากรูปแบบ B มาเป็นรูปแบบ C สามารถทำได้โดยใช้งบประมาณไม่มากนัก ประมาณ 300,000-350,000 บาทต่อห้อง หรือประมาณ 10,000บาท/ตร.ม. โดยการติดตั้งกล่องใส่ Filter ที่หัวจ่ายลม แล้วเปลี่ยนมาใช้ Electronic Filter ทั้งที่ AHU และที่หัวจ่ายลม โดยที่สามารถใช้เครื่อง AHU เดิมได้ แม้จะมีการใส่ Filter มากถึง 5แผ่น เนื่องจาก HEPAแบบเส้นใยกรองที่ติดตั้งอยู่เดิมมี Pressure Drop ที่สูงกว่า Electronic Filter ถึง 5เท่า

ส่วนการปรับเปลี่ยนแบบ A มาเป็นแบบ C มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่ามาก และอาจสูงกว่าการก่อสร้างใหม่ที่กล่าวมาแล้ว เพราะต้องมีการรื้อของเดิมออกเกือบทั้งหมด และยังคงติดตั้งใหม่ทั้งหมด หากมีงบประมาณเพียงพอไม่มี

⁹ เป็นแผ่นกรองอากาศชนิดที่เหนียวนำไปเกิดไฟฟ้าสถิตในการดูดจับอนุภาค มีประสิทธิภาพสูงในการดักจับอนุภาคถึง 0.01micron

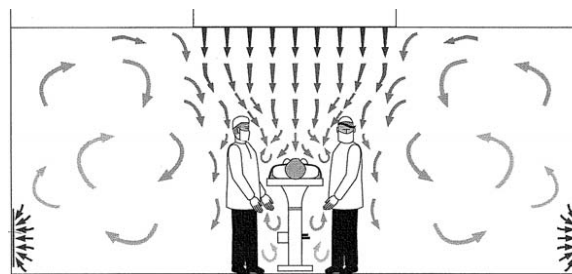
ปัญหา แต่หากมีงบประมาณน้อย การปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยทำให้ห้องผ่าตัดมีระดับความดันอากาศเป็นบวก และมีการกรองอากาศให้สะอาด แม้จะไม่สามารถทำได้ตามข้อกำหนดทั้งหมด แต่สามารถช่วยลดความเสี่ยงในการติดเชื้อลงได้ตั้งขึ้น หรือพอยอมรับได้ โดยดำเนินการตามรูปแบบ D ดังนี้



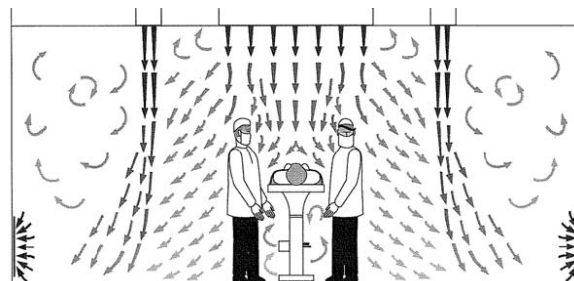
- 1) ติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จากเดิม หรือเพิ่มจำนวนขึ้น ขึ้นอยู่กับขนาดของห้อง เพื่อรองรับการเติมอากาศ และแรงลมที่ลดลงจากการติดตั้งแผ่นกรอง
- 2) ติดตั้งแผ่นกรองอากาศแบบ Electronic Filter ที่ด้านดูดลมกลับ เพื่อกรองอากาศให้สะอาด ลดการสะสมฝุ่นและเชื้อโรค ที่คอยล์เย็นและถาดรองน้ำ
- 3) ติดตั้งระบบเติมอากาศที่ผ่านแผ่นกรองอากาศแบบ Electronic Filter เพื่อปรับให้ห้องมีระดับความดันอากาศสัมพัทธ์เป็นบวก
- 4) ติดตั้งเครื่องฟอกอากาศเพิ่มในจุดอับ หรือมุมอับที่กระแสหมุนเวียนอากาศไปไม่ถึง และไม่สามารถดึงอากาศกลับไปผ่านการกรองที่เครื่องปรับอากาศได้

เหตุผลที่ต้องใช้แผ่นกรองอากาศแบบ Electronic Filter เนื่องจากสามารถผลิตตามขนาดที่ต้องการได้ และมี Pressure Drop ที่ต่ำมาก งบประมาณ 250,000–300,000 บาทต่อห้อง หรือประมาณ 8,500 บาท/ตร.ม. ท่านผู้บริหารพิจารณาดูงบประมาณแล้ว ทำให้ตัดสินใจได้ง่ายขึ้น

รูปแบบ E,F เป็นลักษณะของห้องผ่าตัดที่มีการออกแบบเป็นพิเศษ เพื่อให้ได้อากาศที่สะอาดมากกว่า และมีการปนเปื้อนที่น้อยกว่า (Ultra-Clean Room) มีการศึกษาวิจัย¹⁰ ตามหลักการทางอากาศพลศาสตร์ วิเคราะห์การไหลของอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Computational Fluid Dynamic (CFD) โดยการสร้างม่านอากาศโดยรอบอีกชั้น เพื่อให้กระแสอากาศภายในมีความราบเรียบมากขึ้น เพิ่มความกว้างของแนวเขตอากาศสะอาดที่บริเวณโต๊ะผ่าตัด ทำให้การทำงานผ่าตัดมีความปลอดภัยมากขึ้น โอกาสการปนเปื้อนในบริเวณเตียงผ่าตัดน้อยลง



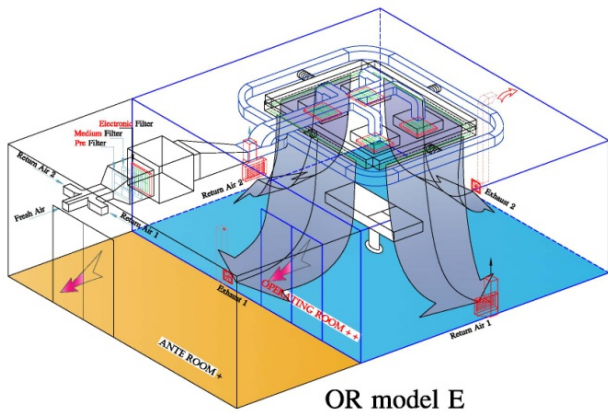
Standard laminar flow system without curtain



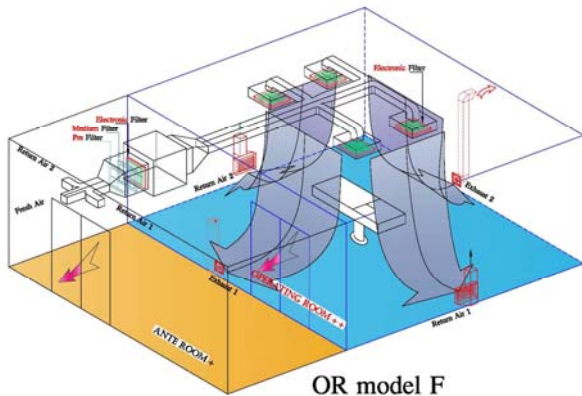
Laminar flow system with air curtain

ห้องผ่าตัดตามลักษณะรูปแบบ E ควรมีขนาดใหญ่กว่ารูปแบบ C , F อาจมีขนาดกว้าง 7–8m. ความสูงของฝ้าเพดาน 3.5–4m. และต้องมีพื้นที่เหนือฝ้าเพดานที่มากพอสำหรับงานระบบปรับอากาศที่เพิ่มขึ้น ส่วนเรื่องค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างหรือปรับปรุงห้องผ่าตัดลักษณะรูปแบบนี้ ต้องมีราคาสูงแน่นอน

¹⁰ Air Distribution Strategy Impact on Operation Room Infection Control, 2007



OR model E



OR model F

- ✚ CDC 2003, Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities
- ✚ NIOSH 2003, Guidance for Filtration and Air-Cleaning Systems to Protect Building Environments
- ✚ วารสารเทคนิคการแพทย์และการพยาบาล ปีที่ 21 ฉบับที่ 3, 2552
- ✚ Air Distribution Strategy Impact on Operation Room Infection Control, John Swift, Emily Avis, Berry Millard, Thomas M. Lawrence
- ✚ www.airbornefilter.com

การปรับปรุงห้องผ่าตัด ควรได้รับการออกแบบเฉพาะ
 แห่งตามเหตุของปัญหาที่แตกต่างกัน โดยผู้ที่มีความ
 ชำนาญ
 บทความและข้อแนะนำต่างๆเหล่านี้ เพื่อเป็นแนวทาง
 การจัดการระบบปรับ และระบายอากาศของห้องผ่าตัด
 โดยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

- ✚ ทรงยศ ภารดี, สุขศาสตร์อุตสาหกรรม, หน่วยที่ 7
- ✚ สุวัชร บัวแย้ม, สุขศาสตร์อุตสาหกรรม, หน่วยที่ 8
- ✚ วสท., มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ, 2551
- ✚ WHO 2004, Practical guidelines for infection control in health care facilities