



การปรับและระบายอากาศสำหรับห้องผ่าตัด

วริชญ์ สิงหนาท

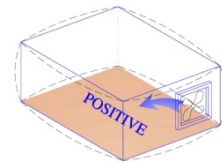
เมื่อกล่าวถึงห้องผ่าตัด ทุกคนเข้าใจกันที่ว่า จะต้องเป็นห้องที่มีพื้นผิวที่มีความสะอาด มีอากาศที่บริสุทธิ์ปราศจากเชื้อโรคและฝุ่นละออง จากประสบการณ์ที่พบเห็นห้องผ่าตัด พบว่าในหลายแห่งที่มีการใช้งานมานานมากกว่า 10 ปี มีลักษณะการของใช้งานที่ไม่เหมาะสมกับการแพร่กระจายของเชื้อโรคใหม่ๆ ข้อกำหนดที่เปลี่ยนแปลงไป และเทคโนโลยีในปัจจุบัน ห้องผ่าตัดที่ใหม่กว่ามีการออกแบบระบบปรับ และระบายอากาศให้มีความถูกต้องเหมาะสมมากขึ้น แต่ส่วนใหญ่มีการใช้งานระบบที่ไม่ถูกต้อง และไม่ได้รับการดูแลบำรุงรักษาอย่างถูกวิธีในเวลาที่เหมาะสม ทำให้ประสิทธิภาพและความปลอดภัยลดลง การออกแบบใหม่ การออกแบบปรับปรุง และการบำรุงรักษาที่ถูกต้อง เป็นเรื่องที่สำคัญ

การออกแบบ การปรับปรุง รวมทั้งการบำรุงรักษาระบบปรับ และระบายอากาศของห้องผ่าตัด เป็นโจทย์ที่สามารถดำเนินการให้มีประสิทธิภาพได้โดยไม่ยากนัก แต่ปัญหาที่สำคัญคือเรื่องงบประมาณ การออกแบบและติดตั้งเฉพาะระบบปรับ และระบายอากาศของห้องผ่าตัดใหม่ ที่สามารถควบคุมปริมาณการหมุนเวียนอากาศ การระบายอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น ความดันอากาศ และการกรองอากาศ ที่มีประสิทธิภาพ ตรงตามข้อกำหนดของ CDC¹, WHO² หรือของวสท.³ มีมูลค่าสูงถึง 30,000-40,000บาท/ตร.ม. และการปรับปรุงระบบเดิมที่มีการใช้งานมานานอาจมีมูลค่าสูงกว่ามาก ดังนั้นการศึกษาทำความเข้าใจการทำงานของระบบฯ

ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของห้องผ่าตัด การค้นคว้าหาเทคโนโลยีใหม่ๆ การศึกษาคูสมบัติ ราคา และค่าบำรุงรักษาของอุปกรณ์ของระบบฯ เป็นเรื่องสำหรับผู้บริหารต้องรู้เพื่อการตัดสินใจ งบประมาณ จุดคุ้มทุน อายุการใช้งาน การบำรุงรักษา ความปลอดภัย และที่สำคัญต้องเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อกำหนดการปรับและหมุนเวียนอากาศสำหรับห้องผ่าตัดปกติ ที่ไม่ได้ใช้สำหรับผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ อธิบายโดยสรุปดังนี้

1. ระบบปรับอากาศ ต้องสามารถหมุนเวียนอากาศภายในห้องผ่าตัด ได้จำนวนไม่น้อยกว่า 25 เท่า (วสท)⁴ ของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (Air Change per Hour,ACH) หรือ ไม่น้อยกว่า15 ACH (WHO,CDC)
2. ระบบปรับอากาศควรสามารถปรับอุณหภูมิได้ในช่วง 17-27°C(วสท) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมใช้งาน 20-22 °C (WHO)⁵ หรือ 20-23 °C (CDC)⁶
3. ต้องรักษาความดันอากาศของห้องให้เป็นบวกเมื่อเทียบกับพื้นที่ข้างเคียง และควรเปิดระบบปรับ และระบายอากาศ ตลอดเวลาแม้ไม่มีการใช้งาน เพื่อรักษาระดับความชื้นและความดันอากาศให้เป็นบวก โดยสามารถปรับให้อุณหภูมิให้สูงขึ้นลดอัตราการหมุนเวียนและการระบายอากาศตามความเหมาะสม เพื่อประหยัดพลังงาน
4. ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ให้อยู่ในช่วง 45-55%rh (วสท) หรือ 30-60%rh(WHO,CDC)
5. หัวจ่ายลมภายในห้อง เป็นแบบจ่ายลมทิศทางเดียว (Unidirectional) มีลักษณะกระแสอากาศที่ราบเรียบ หรือปั่นป่วนน้อยที่สุด และควรจ่ายลม



¹ Centers of Disease Control and Prevention

² World Health Organization

³ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

⁴ วสท.,มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 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

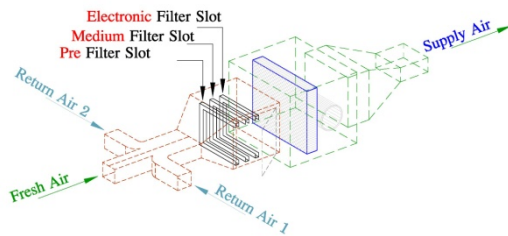
ผ่านแผ่นกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง⁷ (High Efficiency Particulate Air) โดยหลีกเลี่ยงหน้ากากจ่ายลมที่มีการเหนี่ยวนำลมสูง

6. ควรติดตั้งอุปกรณ์ปรับแต่งและแสดงสถานะของห้อง



เช่นระบุความดันอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการทำงานของแผ่นกรองอากาศ ที่สามารถอ่านได้สะดวก

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



เพื่อกรองอากาศให้บริสุทธิ์ และป้องกันการสะสมฝุ่นละอองและเชื้อโรคที่คอยล์เย็นและถาดรองน้ำ

การระบายอากาศ ของห้องผ่าตัด

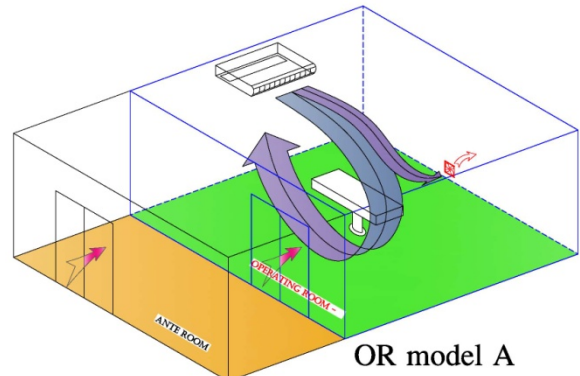
1. ต้องมีเติมอากาศจากภายนอกเข้าห้องผ่าตัด จำนวนไม่น้อยกว่า 5 เท่า(วสท) ของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (Air Change per Hour,ACH) โดยผ่านแผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง
2. พัดลมดูดอากาศออก ควรต่อท่อออกไปปล่อยในระดับสูง หรือในทิศทางที่ไม่หวนกลับเข้ามาหาต่อเติมอากาศ หรือช่องเปิดของอาคาร
3. การระบายอากาศโดยการเติมอากาศเข้าและดูดออก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

หมายเหตุ : การเติมอากาศจากภายนอกที่มีมักความชื้นสูง จะเป็นการเพิ่มความชื้นให้กับห้องผ่าตัด และเป็น การเพิ่มภาระแก่เครื่องปรับอากาศ

ตัวอย่างการปรับปรุงห้องผ่าตัด

ห้องผ่าตัดที่มีการใช้งานอยู่ส่วนใหญ่ที่พบเห็น จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันอยู่ 2รูปแบบคือ แบบ A และแบบ B โดยจะอธิบายถึงปัญหาที่พบในแต่ละรูปแบบและแนวทางในการปรับปรุง

รูปแบบ A เป็นลักษณะของห้องผ่าตัดที่พบได้ตามโรงพยาบาลชุมชน ที่มีการใช้งานมานาน มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแขวนเพดาน หรือติดผนัง



มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศออกที่ระดับล่าง โถงหน้าห้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศ มักใช้เป็นที่ทำงานของเจ้าหน้าที่ OR⁸ การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆภายในห้องสะดวกในการบำรุงรักษา แต่การใช้งานไม่เหมาะสม

- 1) ปริมาณการหมุนเวียนอากาศไม่เพียงพอ
- 2) การควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นทำได้ไม่เต็มที่เท่าที่ควร
- 3) ทิศทางการไหลของกระแสอากาศไม่ราบเรียบ และไม่ทั่วถึง
- 4) ความดันอากาศภายในห้อง OR เป็นลบ ทำให้อากาศจากภายนอกที่ไม่ได้ผ่านการกรองอากาศไหลผ่านทางขอบช่องเปิดของประตูหน้าต่าง และทุกครั้งที่เปิดประตูเข้าออก
- 5) ไม่มีระบบกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพ
- 6) โอกาสเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูง

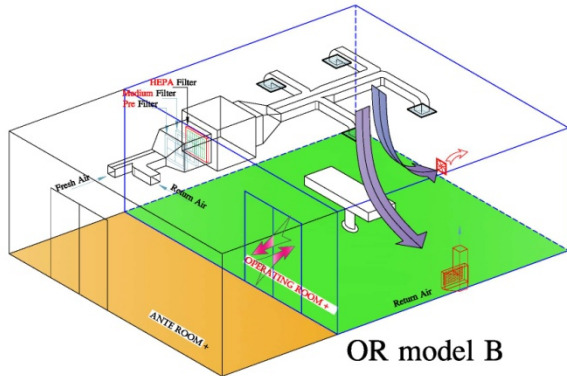
แนวทางแก้ไขโดยปรับปรุงตามรูปแบบ C

รูปแบบ B เป็นลักษณะของห้องผ่าตัดที่มีการออกแบบและใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมมากกว่าแบบ A มีการเติม

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

⁸ Operating Room

อากาศ Fresh Air ผ่านระบบกรองอากาศแบบ HEPA แบบเส้นใยกรอง(Media) ที่เครื่อง AHU ทำให้ห้องมีความดันอากาศเป็นบวก อากาศสะอาด เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพในการทำอุณหภูมิ และลดความชื้นได้ดีขึ้น มีหัวจ่ายลมแบบสี่ทิศทางกระจายอยู่หลายหัว ทำให้กระแสอากาศตัดกัน เกิดปั่นป่วน มีโอกาสที่อากาศเกิดการปนเปื้อนสูง



OR model B

แต่ปัญหาที่พบบ่อยมากคือ การขาดการบำรุงรักษาที่ถูกวิธี เนื่องจากแผ่นกรองอากาศ HEPA แบบเส้นใยกรองมี Pressure Drop⁹ ที่สูงต้องได้รับการเปลี่ยนอย่างน้อย 1-3 ครั้งต่อปี ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน อีกทั้งต้องใช้ AHU ที่มีแรงดันอากาศที่สูงมาก(High Static) เพื่อผลักดันอากาศแผ่นกรองแบบเส้นใย ต้องได้รับการบำรุงรักษาเป็นระยะๆ เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศ ทำให้อากาศผ่านได้น้อยลง และบ่อยครั้งที่พบว่ามอเตอร์พัดลมของ AHU ชำรุดเสียหายจากการที่ไม่สามารถผลักดันอากาศผ่านแผ่นกรองที่อุดตัน ทำให้ไม่สามารถลดอุณหภูมิและความชื้นของห้อง OR ไม่ได้ตามต้องการ สรุปผลเสียที่ตามมาคือ

- 1) ปริมาณการหมุนเวียนอากาศไม่เพียงพอ
- 2) ลดอุณหภูมิและความชื้นของห้อง OR ไม่ได้ตามต้องการ
- 3) สิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์
- 4) อากาศ Fresh Air ผ่านเข้ามาได้น้อยลง ทำให้ระดับความดันอากาศสัมพัทธ์ไม่เป็นบวก หรืออาจเป็นลบในบางช่วงเวลาที่เปิดเครื่องระบายอากาศออก ทำให้อากาศจากภายนอกที่ไม่ได้

⁹ ประสิทธิภาพการไหลอากาศผ่านแผ่นกรองลดลง ยังมีค่าสูงมาก ประสิทธิภาพยิ่งลดลงมาก ไม้ดี HEPA มีค่า 1-1.25 in.WG.

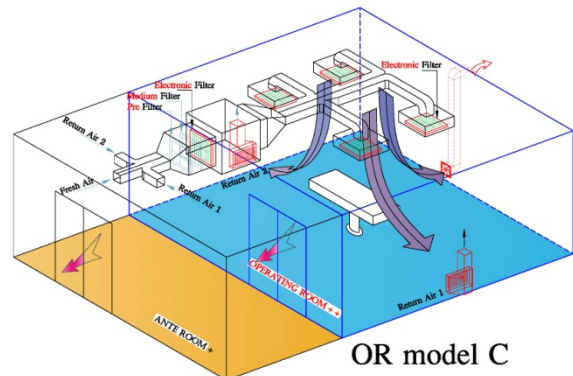
ผ่านการกรองอากาศไหลผ่านทางขอบช่องเปิดของประตูหน้าต่าง และทุกครั้งที่เปิดประตูเข้าออก

5) ลักษณะหัวจ่ายลมไม่เหมาะสม

6) โอกาสเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูง

แนวทางแก้ไขโดยปรับปรุงตามรูปแบบ C

รูปแบบ C เป็นลักษณะของห้องผ่าตัดที่มีการออกแบบที่เหมาะสมตามข้อกำหนด ห้องผ่าตัดรูปแบบนี้ส่วนใหญ่จะมีขนาดประมาณ 6x6x3 m. มีระบบการจ่ายกระแสลมที่ราบเรียบ (Laminar Flow System) เหนือบริเวณพื้นที่ผ่าตัดได้ดี ที่ AHU และหัวจ่ายลมในห้อง OR ติดตั้งแผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง แบบ Electronic Filter¹⁰ ที่มี Pressure Drop ต่ำมากเพียง 0.25 in.WG. การหมุนเวียนอากาศในปริมาณที่พอเพียงอย่างทั่วถึง สามารถช่วยลดอุณหภูมิและความชื้นลงได้ และช่วยประหยัดพลังงานลงอย่างมาก มีอายุการใช้งานที่นานกว่า ต้องการการบำรุงรักษาที่น้อยกว่า

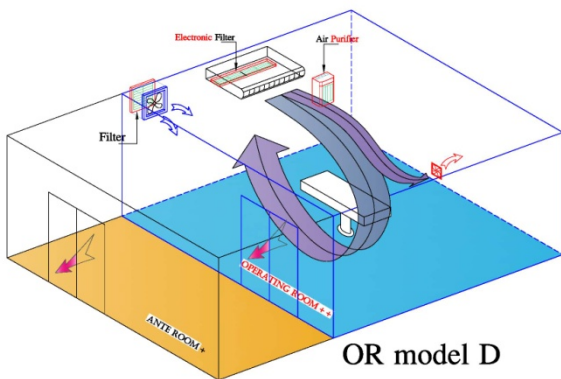


OR model C

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 5 แผ่น เนื่องจาก HEPA แบบเส้นใยกรองที่ติดตั้งอยู่เดิมมี Pressure Drop ที่สูงกว่า Electronic Filter ถึง 5 เท่า

¹⁰ เป็นแผ่นกรองอากาศชนิดที่เหนียวทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตในการดูดจับอนุภาค มีประสิทธิภาพสูงในการดักจับอนุภาคถึง 0.01micron

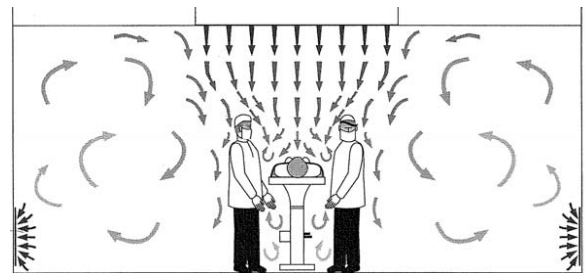
ส่วนการปรับเปลี่ยนแบบ A มาเป็นแบบ C มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่ามาก และอาจสูงกว่าการก่อสร้างใหม่ที่กล่าวมาแล้ว เพราะต้องมีการรื้อของเดิมออกเกือบทั้งหมด และยังคงติดตั้งใหม่ทั้งหมด หากมีงบประมาณเพียงพอย่อมไม่มีปัญหา แต่หากมีงบประมาณน้อย การปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยทำให้ห้องผ่าตัดมีระดับความดันอากาศเป็นบวก และมีการกรองอากาศให้สะอาด แม้จะไม่สามารถทำได้ตามข้อกำหนดทั้งหมด แต่สามารถช่วยลดความเสี่ยงในการติดเชื้อลงได้ดีขึ้น หรือพอยอมรับได้ โดยดำเนินการตามรูปแบบ D ดังนี้



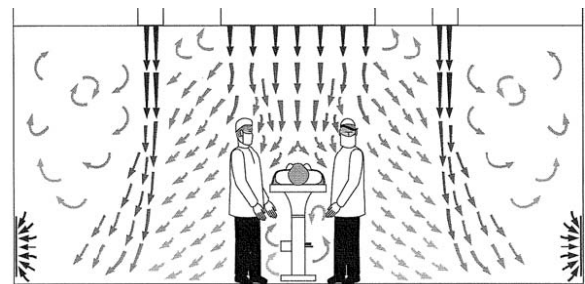
- 1) ติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จากเดิม หรือเพิ่มจำนวนขึ้น ขึ้นอยู่กับขนาดของห้อง เพื่อรองรับการเดิมอากาศ และแรงลมที่ลดลงจากการติดตั้งแผ่นกรอง
- 2) ติดตั้งแผ่นกรองอากาศแบบ Electronic Filter ที่ด้านดูดลมกลับ เพื่อกรองอากาศให้สะอาด ลดการสะสมฝุ่นและเชื้อโรคที่คอยล์เย็น และถาดรองน้ำ
- 3) ติดตั้งระบบเดิมอากาศที่ผ่านแผ่นกรองอากาศแบบ Electronic Filter เพื่อปรับให้ห้องมีระดับความดันอากาศสัมพัทธ์เป็นบวก
- 4) ติดตั้งเครื่องฟอกอากาศเพิ่มในจุดอับ หรือมุมอับที่กระแสหมุนเวียนอากาศไปไม่ถึง และไม่สามารถดึงอากาศกลับไปผ่านการกรองที่เครื่องปรับอากาศได้

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

รูปแบบ E เป็นลักษณะของห้องผ่าตัดที่มีการออกแบบเป็นพิเศษ เพื่อให้ได้อากาศที่สะอาดมากกว่า และมีการปนเปื้อนที่น้อยกว่า (Ultra-Clean Room) มีการศึกษาวิจัย¹¹ ตามหลักการทางอากาศพลศาสตร์ วิเคราะห์การไหลของอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Computational Fluid Dynamic (CFD) โดยการสร้างม่านอากาศโดยรอบอีกชั้น เพื่อให้กระแสอากาศภายในมีความราบเรียบมากขึ้น มีการปนเปื้อนในบริเวณเตียงผ่าตัดน้อยลง

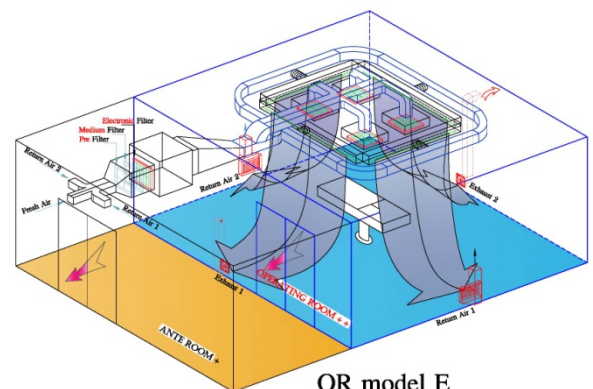


Standard laminar flow system with out curtain



Laminar flow system with air curtain

ห้องตามลักษณะตามรูปแบบ E ควรมีขนาดที่ใหญ่กว่ารูปแบบ C และต้องมีพื้นที่เหนือฝ้าเพดานที่มากพอสำหรับงานระบบปรับอากาศ












OR model E

¹¹ Air Distribution Strategy Impact on Operation Room Infection Control, 2007

การปรับปรุงห้องผ่าตัด ควรได้รับการออกแบบเฉพาะ
แห่งตามเหตุของปัญหาที่แตกต่างกัน โดยผู้ที่มีความ
ชำนาญ

บทความและข้อแนะนำต่าง ๆ เหล่านี้ เพื่อเป็นแนวทาง
การจัดการระบบปรับ และระบายอากาศของห้องผ่าตัด
โดยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

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