การออกแบบระบบกระจายอากาศ
Air Distribution Design

โดย: David A John, P.E., Member of ASHRAE

ASHRAE Journal, May, 2013

แปลและเรียบเรียงโดย: ดร. เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเปลี่ยนแปลงมาตรฐานที่สำคัญต่อสภาวะแวดล้อมเมื่อเร็ว ๆ นี้ส่งผลกระทบกับวิศวกรผู้ออกแบบระบบการกระจายอากาศในห้องผ่าตัด ห้องสะอาด และอื่นๆอีกมาก การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีจุดหมายเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและคุณภาพของสภาวะแวดล้อม บทความนี้จะสำรวจการเปลี่ยนแปลงของการจัดชั้นห้องสะอาดและบทบาทของ Institute of Environmental Sciences and Technology (IEST) ที่มีต่อการแบ่งประเภทของตัวกรองอากาศแบบ HEPA และ ULPA

การจัดชั้นห้องสะอาดแบบใช้ตัวเลข

อุตสาหกรรมของเรามักจะนิยมแบ่งการจัดชั้นของห้องสะอาดโดยใช้ตัวเลข เช่น ห้องสะอาดชั้น 100 หรือห้องสะอาดชั้น 10,000 ตัวเลขดังกล่าวถูกนิยามโดย General Services Administration (GSA) Standard FED-STD-209E ซึ่งตัวเลขนี้หมายถึงปริมาณของอนุภาคที่มีขนาด 0.5 μm หรือใหญ่กว่าที่มีอยู่ในอากาศ 1 ลูกบาศก์ฟุต ถึงแม้ว่าการใช้ตัวเลขเหล่านี้จะยังคงมีใช้งานอยู่อย่างกว้างขวาง แต่ในความเป็นจริงมันได้ถูกยกเลิกอย่างเป็นทางการแล้วโดย GSA 2001 ตามคำแนะนำของ IEST Working Group CC100

และเพื่อเป็นการทดแทน FED-STD-209E ที่ถูกยกเลิก IEST ซึ่งได้รับมอบหมายจาก GSA ให้ทำหน้าที่เป็นผู้จัดเตรียมร่างสำหรับ FED-STD-209E ฉบับใหม่ได้แนะนำให้ใช้ ISO 14644 Cleanrooms and Controlled Environments (14644-1 : Classification of Air Cleanliness, และ 14644-2 : Specifications for Testing and Monitoring to Prove

Class	Maximum Particles/m³						Federal Standard 209E Equivalent
	≥0.1 µm	≥0.2 µm	≥0.3 µm	≥0.5 µm	≥1 µm	≥5 µm	
ISO 1	10	2					
ISO 2	100	24	10	4			
ISO 3	1,000	237	102	35	8		Class1
ISO 4	10,000	2,370	1,020	352	83		Class10
ISO 5	100,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293	Class 100
ISO 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	2,930	Class1,000
ISO 7				352,000	83,200	2,930	Class 10,000
ISO 8				3,520,000	832,000	29,300	Class 100,000
ISO 9				35,200,000	8,320,000	293,000	Room Air

Source: American Cleanroom Systems

Table 1: ISO 14644-1 cleanroom standards.

Continued Compliance with ISO 14644-1) แทน FED-STD-209E (ตารางที่ 1) โดยที่ ISO 14644-1 และ 14644-2 เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานที่พัฒนาโดยคณะกรรมการวิชาการ ISO 209 Cleanrooms and Associated Controlled Environments

MERV และสภาวะแวดล้อมที่วิกฤติ

The Minimum Efficiency Report Value หรือ MERV คือการวัดที่ใช้เพื่ออธิบายความมีประสิทธิภาพของตัวกรองว่าสามารถที่จะกรองฝุ่นละอองออกจากอากาศได้ดีแค่ไหน ซึ่งค่า MERV ที่สูงหมายความว่ามีประสิทธิภาพในการกรองได้ดีโดยเฉพาะอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ASHRAE Standard 52.2, Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size ได้ให้นิยามระดับของ MERV 1 ถึง 16 ไว้ ในขณะที่ MERV 17 ถึง 20 (สำหรับตัวกรองแบบ HEPA และ ULPA) อยู่ในขอบเขตของ IEST Recommend Practices IEST-RP-CC001.5 และ IEST-RP-CC034.3 (ตารางที่ 2)

MERV 1-16 และมาตรฐาน 52.2-2012

MERV ระดับ 1 ถึง 16 ใช้มาตรฐาน 52.2-2012 เป็นเกณฑ์ ซึ่งระบุถึงขั้นตอนการทดสอบที่สามารถ

MERV Standard 52.2	Intended Dust Spot Efficiency Standard 52.1†	Average Arrestance	Particle Size Ranges	Typical Applications	Typical Filter Type
1 to 4	<20%	60 to 80%	>10.0 µm	Residential/Minimum; Light/ Commercial; Minimum/ Equipment Protection	Permanent/Self Charging (Passive); Washable/Metal, Foam/Synthetics; Disposable Panels; Fiberglass/Synthetics
5 to 8	<20 to 60%	80 to 95%	3 to 10 µm	Industrial Workplaces; Commercial; Better/Residential; Paint Booth/Finishing	Pleated Filters; Extended Surface Filters; Media Panel Filters
9 to 12	40 to 85%	>90 to 98%	1 to 3 µm	Superior/Residential; Better/ Industrial Workplaces; Better/Commercial Buildings	Non-Supported/Pocket Filter/Rigid Box; Rigid Cell/Cartridge
13 to 16	70 to 98%	>95 to 99%	0.30 to 1 µm	Smoke Removal; General Surgery; Hospitals & Health Care; Superior/ Commercial Buildings	Rigid Cell / Cartridge; Rigid Box/Non-Supported/Pocket Filter
17 to 20* Removed from Standard				Clean Rooms; High Risk Surgery; Hazardous Materials	HEPA; ULPA

This table is intended to be a general guide to filter use and does not address specific applications or individual filter performance in a given application. Refer to manufacturer test results for additional information. *ASHRAE does not have a test procedure for HEPA testing and has dropped the MERV 17 to 20 classifications; †ANSI/ASHRAE Standard 52.1 ranges are provided for reference only. Standard 52.1 was discontinued as of January 2009.

Table 2: Table 1 from NAFA User's Guide for ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007.

ใช้ประเมินสมรรถนะในการกรองของอุปกรณ์กรองอากาศให้เป็นฟังก์ชั่นของขนาดอนุภาคได้ มาตรฐาน 52.2 ฉบับแก้ไขใหม่ปี 2012 ได้นำมาตรฐาน 52.1 และ 52.2 มารวมกันโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงความแม่นยำเชิงเทคนิคในการทดสอบตัวกรองให้มากขึ้น

โดยการรวมมาตรฐานทั้งสองเข้าด้วยกัน คณะกรรมการมาตรฐาน 52.2 วางแผนที่จะให้มีการเปลี่ยนแปลงในอนาคตเพื่อให้การทดสอบมีความแม่นยำเชิงเทคนิคมากขึ้น เปลี่ยนช่วงค่า MERV ในตาราง การบีบสภาวะแวดล้อมที่ยอมรับได้ให้แคบลง รวมทั้งการแก้ไขข้อกำหนดของอุปกรณ์การวัดใหม่ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดการแปรผันของข้อมูลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานมาตรฐาน

การหาค่า MERV ควรที่จะระบุถึงความเร็วอากาศในขณะที่มีการทดสอบตัวกรอง เช่น ถ้าตัวกรองถูกทดสอบที่ความเร็วอากาศ 492 ฟุตต่อนาที (2.5 เมตรต่อวินาที) และพบว่ามีค่า MERV 8 ก็ควรที่จะระบุว่า MERV ของตัวกรองนี้มีค่า 8 ที่ความเร็วอากาศ 492 ฟุตต่อนาที

การทดสอบตามมาตรฐาน 52.2-2012 ควรจะทดสอบที่ค่าอัตราการไหลของอากาศ 1 ใน 7 ค่าที่ระบุในหัวข้อ 8.1.1 ของมาตรฐานนี้

MERV (17-20)

มาตรฐาน 52.2-2012 ไม่ได้ระบุถึงตัวกรองอากาศประสิทธิภาพสูง (HEPA) หรือตัวกรองแบบ Ultra Low Penetration Air (ULPA) (MERV 17-20) ซึ่งตัวกรองเหล่านั้นจะถูกระบุค่า MERV โดยขึ้นอยู่กับสมรรถนะของมันตาม IEST Recommended Practices (RP)

IEST Recommended Practices (RP)

การทดสอบตัวกรองแบบ HEPA และ ULPA (MERV 17-20) ได้ถูกรวมไว้ใน Recommended Practices IEST-RP-CC001.5, HEPA and ULPA Filters โดยมีขอบเขตที่ระบุว่าการทำ RP จะครอบคลุมถึงข้อกำหนดที่จำเป็นของตัวกรองแบบ HEPA และ ULPA ทั้งนี้ตัวกรองที่สามารถทำตามข้อกำหนดนี้ได้ ถือว่ามีความเหมาะสมที่จะใช้ในอุปกรณ์ทำอากาศให้สะอาดและใช้ในห้องสะอาดที่อยู่ในขอบเขตของ ISO 14644 รวมถึงใช้งานในระบบจ่ายอากาศและระบบระบายอากาศปนเปื้อนที่ต้องใช้ตัวกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 99.97% หรือสูงกว่า สำหรับอนุภาคที่มีขนาดระดับไมครอน

การทดสอบตาม RP จะมีการจัดแบ่งสมรรถนะของตัวกรองไว้ 11 ระดับ และ 6 เกรดตามโครงสร้างของตัวกรอง และแนะนำว่าในการระบุข้อมูลจำเพาะของตัวกรองจะต้องระบุ ระดับของสมรรถนะ และเกรดของโครงสร้าง นอกจากนี้ยังแนะนำว่าในข้อกำหนดควรจะรวมค่าประสิทธิภาพของตัวกรองเข้าไปด้วย

การทดสอบการรั่วของตัวกรองแบบ HEPA และ ULPA

ตัวกรองแบบ HEPA และ ULPA จะต้องถูกทดสอบการรั่วโดยใช้ข้อกำหนดตาม IEST-RP-CC034.3, HEPA and ULPA Filter Leak Tests ซึ่งขอบเขตการทดสอบระบุว่า RP นี้จะครอบคลุมถึงความหมายของคำต่าง ๆ อุปกรณ์และขั้นตอนสำหรับการทดสอบการรั่วของตัวกรองแบบ HEPA และ ULPA ในโรงงานขณะที่มันถูกผลิต ทดสอบการรั่วที่หน้างานก่อนการติดตั้ง รวมทั้งทดสอบหลังติดตั้งที่ห้องสะอาด

และหลังติดตั้งในอุปกรณ์ทำอากาศให้สะอาดที่มีการไหลทิศทางเดียว ในขอบเขตยังแนะนำว่า ควรนำ RP มาใช้ในการนิยามข้อกำหนดพื้นฐานตัวกรองแบบ HEPA และ ULPA และในการทดสอบอุปกรณ์ทำอากาศให้สะอาดที่มีการไหลทิศทางเดียวและห้องสะอาด

ข้อสรุปและแนวทาง

ผู้ออกแบบจะต้องปฏิบัติตามโค้ดของท้องถิ่น จังหวัดหรือรัฐบาลและ IEST Recommended Practices ที่ครอบคลุมถึงตัวกรองแบบ HEPA and ULPA มักจะถูกอ้างถึงในคู่มือแนวทางการออกแบบบริเวณที่มีปัญหาวิกฤติด้านสภาวะแวดล้อม เช่น ใน หนังสือ 2007 Minimum Design Standard for Health Care Facility ในรัฐ Michigan ก็อ้างถึง IEST สำหรับการทดสอบตัวกรองที่ไม่ได้ครอบคลุมไว้ในมาตรฐาน 52.2-2012 (หมายเหตุ IEST-RP-CC001 และ CC034 ฉบับแก้ไขใหม่คาดว่าน่าจะออกในสิ้นปีนี้ ให้ตรวจดูว่ามีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องข้อกำหนดหรือไม่)

วิศวกรที่ออกแบบห้องที่มีสภาวะแวดล้อมที่วิกฤติ เช่นห้องสะอาดและห้องผ่าตัด อาจพิจารณาที่จะใช้นิยามต่าง ๆ ที่ระบุไว้ใน ISO 14644-1 ซึ่งเป็นมาตรฐานปัจจุบันสำหรับการจัดชั้นห้องสะอาด (ตารางที่ 1) ในอุตสาหกรรมของเรา ถึงแม้จะนิยมการจัดชั้นห้องสะอาดเป็นแบบ ห้องชั้น 100 หรือห้องชั้น 10,000 ระบบการจัดชั้นแบบนี้ซึ่งถูกพัฒนาและดูแลรักษาโดย GSA FED-STD-209E ในตอนแรกได้ถูกยกเลิกไปในปี 2001 เพื่อไปใช้ ISO 14664

เมื่อต้องมีใช้งานตัวกรองตามระบบ MERV วิศวกรออกแบบควรที่จะระบุว่าถึงมาตรฐาน 52.2-2012 และความเร็วอากาศที่ใช้ เช่น ต้องการ MERV 15 ที่ความเร็ว 630 ฟุตต่อนาที (3.2 เมตรต่อวินาที)

ตัวกรองแบบ HEPA และ ULPA ที่มี MERV มากกว่า 16 จะไม่ถูกกล่าวถึงในมาตรฐาน 52.2-2012 แต่ให้ใช้ IEST-RP-CC001.5 แทน ประสิทธิภาพที่ต้องการของตัวกรองอาจจะไม่เกิดขึ้นถ้าตัวกรองติดตั้งอยู่ในอุปกรณ์ IEST-RP-CC034.3 จะครอบคลุมถึงความหมายของคำต่าง ๆ อุปกรณ์และขั้นตอนสำหรับการทดสอบการรั่วของตัวกรองแบบ HEPA และ ULPA ในโรงงานขณะที่มันถูกผลิต ทดสอบการรั่วที่หน้างานก่อนการติดตั้ง รวมทั้งทดสอบหลังติดตั้งที่ห้องสะอาดและหลังติดตั้งในอุปกรณ์ทำอากาศให้สะอาดที่มีการไหลทิศทางเดียว อุปกรณ์ที่ผ่านการทดสอบ RP จะต้องถูกปิดผนึกโดยใช้ซีลแบบเจลแทนที่จะเป็นแบบซีลปะเก็น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ Don Bailey วิศวกรเครื่องกลอาวุโส บริษัท TLC Orlando และ Dr. R. Vijayakumar กับ Aerfil ที่ได้ช่วยให้บทความนี้สำเร็จลงได้