



สุชาติ ศิริทวารจันทร

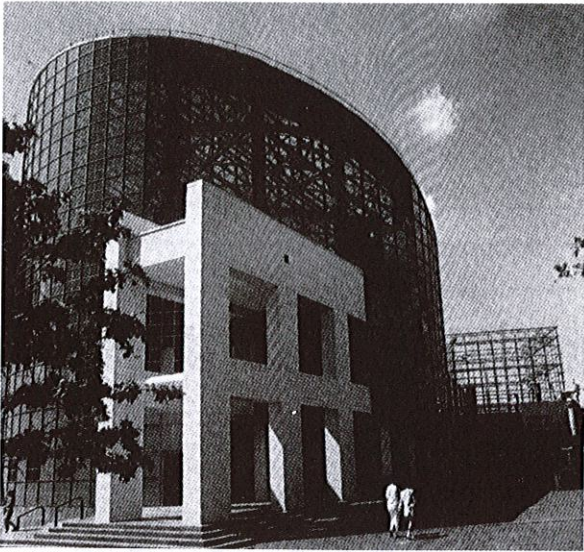
การกำหนดอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์ ในระบบปรับอากาศ โดยใช้ความเข้มข้นของ CO_2 ภายในห้องเป็นเกณฑ์

บทนำ

ในการออกแบบระบบปรับอากาศ การกำหนดค่าอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์ เป็นตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งนอกจากจะมีผลกับขนาดเครื่องปรับอากาศแล้ว ยังจะมีผลต่อความยากง่ายในการควบคุมสภาวะอากาศภายในห้องด้วย กล่าวคือ ถ้ากำหนดให้มีการเติมอากาศบริสุทธิ์ในอัตราที่มากเกินไป จะทำให้เครื่องปรับอากาศมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น,สิ้นเปลืองพลังงาน อีกทั้งการแปรเปลี่ยนสภาวะอากาศภายนอกจะส่งผลกระทบต่อสภาวะอากาศภายในห้องด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งเป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ค่อนข้างยาก โดยทั่วไปอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์สำหรับการออกแบบจะใช้กันที่ตัวเลข 15-20 CFM ต่อคน ซึ่งส่วนใหญ่จะไม่ทราบที่มาและคำถามต่อมาก็คือสามารถลดลงได้หรือไม่และเท่าไรจึงเหมาะสม ดังนั้นในบทความนี้จะแสดงรายการคำนวณเพื่อกำหนดอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์ในระดับที่เหมาะสมโดยใช้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องปรับอากาศเป็นค่าบ่งชี้ในรายละเอียดจะแสดงเปรียบเทียบ โดยใช้แฟงกรองอากาศแบบกรองก๊าซมาพิจารณา ซึ่งจะทำให้การติดตั้งแฟงกรองก๊าซที่จุดรับอากาศบริสุทธิ์เติมและติดตั้งร่วมกับอากาศหมุนเวียนภายในระบบปรับอากาศ ในตอนท้ายจะแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์กับระดับกิจกรรม ของผู้ใช้งานอีกด้วย

วิศวกรเครื่องกลอาวุโส

บริษัท เอ็นไวรอนเมนตอล เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด



กรณีที่ผู้ออกแบบระบบปรับอากาศและระบายอากาศมีข้อมูลค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอากาศบริสุทธิ์เต็มแล้วก็จะสามารถกำหนดค่าอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์ที่เหมาะสมและแม่นยำยิ่งขึ้น

หลักการเบื้องต้น

การออกแบบระบบปรับอากาศจะต้องมีการเติมอากาศบริสุทธิ์เพื่อเจือจางสิ่งปนเปื้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องหรือถ้าเป็นไปได้ก็จะมีอากาศไหลเวียนไปดูดเพื่อระบายทิ้ง ณ ตำแหน่งที่กำเนิดโดยตรงเลย สิ่งปนเปื้อนที่เกิดขึ้นในห้องที่มีการปรับอากาศจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ 3 ประเภทคือ

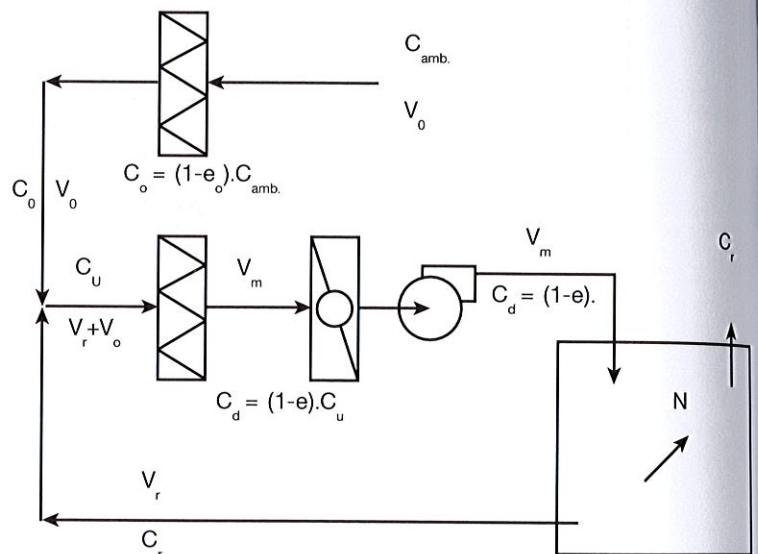
1. **ฝุ่นของแข็ง** ตัวอย่างสิ่งปนเปื้อนประเภทนี้ได้แก่ เขม่าควัน, ฝุ่นกระต่าย, เส้นใยผ้า, แบคทีเรีย, ไวรัส, ฯลฯ มีขนาดประมาณ 0.003-100 ไมครอน ถูกกำจัดได้โดยแผงกรองอากาศชนิดกรองฝุ่นอนุภาค ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของแผงกรองอากาศ

2. **ของเหลว หรือแอโรซอล** เช่นสเปรย์ฉีดผม, ไอน้ำจากอุปกรณ์ไฟฟ้า, หมึกพิมพ์, สี ฯลฯ มีขนาดประมาณ 1-9 ไมครอน

3. **ก๊าซ** เช่น CO , CO_2 , NO_x , ฟอर्मอลดีไฮด์ (HCHO), โอโซน (O_3) ฯลฯ

สิ่งปนเปื้อนในข้อ 2, 3 จะไม่สามารถกำจัดได้โดยแผงกรองอากาศแบบกรองฝุ่นทั่วไป จะต้องใช้แผงกรองอากาศพิเศษที่มีสารดูดซับก๊าซ หรือเครื่องฟอกอากาศชนิดที่ใช้ความถี่สูงเพื่อเหนี่ยวนำให้ฝุ่นอนุภาคที่ติดด้วยความถี่สูงก่อตัวใหญ่ขึ้น และก๊าซจะถูกดูดซับโดยอนุภาคฝุ่นที่ก่อตัวขึ้นนั่นเอง (คล้ายฟองน้ำ)

เนื่องจากในอาคารอยู่อาศัยทั่วไป เช่น อาคารสำนักงาน, อาคารพักอาศัย, โรงแรม ฯลฯ ที่มีได้กำเนิดสิ่งปนเปื้อนในอากาศปริมาณมากๆ ตามมาตรฐาน ASHRAE 62-1999 จะกำหนดให้สามารถใช้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวแทนของสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ โดยรวมเพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์ได้ ดังนั้น จะทำการคำนวณเปรียบเทียบคุณภาพอากาศภายในอาคารโดยใช้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเกณฑ์จะมีรูปแบบทั่วไปดังไดอะแกรมข้างล่าง



รูปที่ 1 การจำลองระบบปรับอากาศ
โดยใช้แผงกรองอากาศที่ดูดซับอากาศบริสุทธิ์และอากาศหมุนเวียน

ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ เช่น ระดับกิจกรรมของคน, ตำแหน่งรับอากาศบริสุทธิ์, สภาพแวดล้อมภายนอก, ระดับความเข้มข้นก๊าซ CO_2 ของอากาศบริสุทธิ์ เดิมสมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์ดังสมการที่ (1)

$$V_o = [1000000 \cdot N \cdot P - e \cdot V_m \cdot C_u] / [C_r - C_o] \quad (1)$$

โดยที่ V_o = อัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์ ($\text{CFM}_{\text{Fresh air}}$)

P = จำนวนคนภายในห้อง

N = อัตราการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องต่อคน ($\text{CFM}_{\text{CO}_2}/\text{person}$)

e_o = ประสิทธิภาพการกรอง CO_2 ของแผงกรองอากาศบริสุทธิ์ชั้นต้น

e = ประสิทธิภาพการกรอง CO_2 ของแผงกรองอากาศผสมก่อนเข้าคอยล์เย็น

V_m = อัตราการหมุนเวียนอากาศผ่านแผงกรอง

$$\text{อากาศ (CFM)} = V_r + V_o$$

$C_{amb.}$ = ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอากาศภายนอก (PPM)

C_o = ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอากาศบริสุทธิ์เดิมหลังจากผ่านแผงกรอง CO_2 ขึ้นต้นแล้วก่อนผสมกับอากาศหมุนเวียนกลับ (PPM)

C_u = ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอากาศผสมระหว่างลมกลับกับอากาศบริสุทธิ์เดิมก่อนเข้าแผงกรองอากาศชั้นที่ 2 (PPM)

$$= \frac{[(1000000 \cdot N \cdot P / V_o) + C_o + (1 - e_o) \cdot C_{amb.} \cdot V_o / V_r]}{[V_m / V_r + e \cdot V_m / V_o]} \quad \text{-----}(2)$$

C_d = ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอากาศหลังแผงกรองอากาศชั้นที่ 2 (PPM)

C_r = ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอากาศภายในห้อง (PPM)

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายความร้อนของคนต่ออัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นไปตามสมการ

$$N = Q / [22428.14 \times A_D] \quad \text{-----}(3)$$

โดยที่ N = อัตราการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากคนภายในห้องต่อคน ($CFM_{CO_2}/Person$)

Q = อัตราการคายความร้อนทั้งความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัสจากคน (Btu /hr. Person)

A_D = พื้นผิวร่างกายคน (m^2) ปกติจะมีค่าเฉลี่ย $1.8 m^2$ ต่อคน

ดังนั้นจะได้

$$N = Q / 40370.66$$

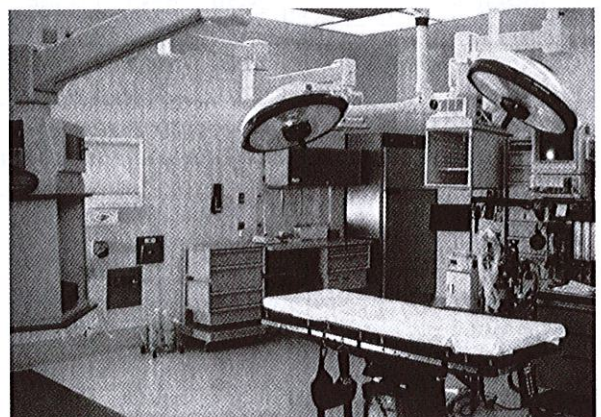
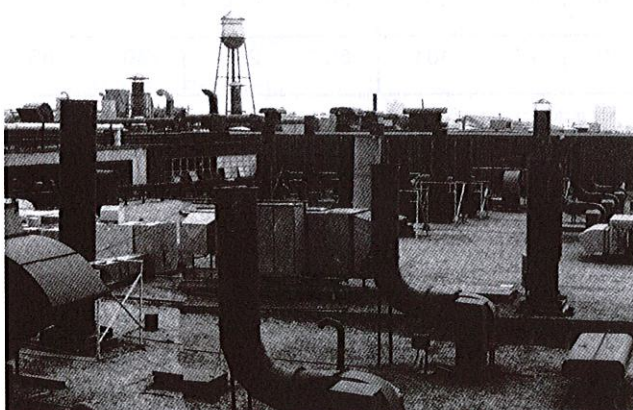
ข้อกำหนดจากมาตรฐาน ASHRAE 62-1999 มีดังนี้

หัวข้อ 6.2.1 กำหนดให้ "ค่าความแตกต่างระดับความเข้มข้น CO_2 ระหว่างภายในกับภายนอกห้องจะต้องไม่เกิน 700 PPM" ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวจะเป็นระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความรู้สึกได้กับผู้ที่กำลังเข้าไปภายในห้อง หรือระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องไม่ควรมีค่าเกิน 1000 PPM

$$[C_r - C_{amb.}] \leq 700 \text{ PPM}$$

ในบรรยากาศปกติจะมีองค์ประกอบของก๊าซต่างๆ โดยประมาณดังนี้

ก๊าซ	NO_2	O_2	A_r	CO_2	Ne	He	Other gas
ระดับความเข้มข้น (PPM by volume)	780840	210000	9340	314	18.18	5.24	6.58



ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้อง

สำนักงานมีพื้นที่ 1000m², ลมเย็นในระบบปรับอากาศที่ผ่านแผงกรองอากาศ (V_m) = 18000 CFM มีพนักงานอยู่ 200 คน (5m²/per) ระบบปรับอากาศเป็นดังรูปที่ 1 กำหนดให้ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเท่ากับ 350 PPM. ให้หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น CO₂ ภายในห้องกับอากาศบริสุทธิ์เดิม

ที่ประสิทธิภาพแผงกรองอากาศเฉพาะที่ Outdoor air unit (e_o) = 0% และ 75% ที่อัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์ 5, 10, 15, 20, 25 CFM ต่อคน ตามลำดับ

-ตัวแปรกำหนด(Input)	รายละเอียดการคำนวณ									
$V_o/P = (\text{CFM}_{\text{resh air}}/\text{Person}) =$	5		10		15		20		25	
$e_o =$	0	0.75	0	0.75	0	0.75	0	0.75	0	0.75
$e =$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_{\text{amb}} (\text{PPM}) =$	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
$C_o (\text{PPM}) =$	350	87.5	350	87.5	350	87.5	350	87.5	350	87.5
$C_u (\text{PPM}) =$	2455	2193	1341	1078	969	707	783	521	672	410
$V_m (\text{CFM}) =$	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
$V_o (\text{CFM}) =$	1000	1000	2000	2000	3000	3000	4000	4000	5000	5000
$V_r (\text{CFM}) =$	17000	17000	16000	16000	15000	15000	14000	14000	13000	13000
$P (\text{No.}) =$	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
$A_o (\text{m}^2) =$	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
$Q (\text{Btu} / \text{hr. Person}) =$	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
$N (\text{CFM}_{\text{co2}}) =$	0.0111	0.0111	0.0111	0.0111	0.0111	0.0111	0.0111	0.0111	0.0111	0.0111
-ผลการคำนวณ (Result)										
$C_r = \frac{[1000000 \cdot N \cdot P - e \cdot V_m \cdot C_u] + C_o}{V_o}$										
$C_r (\text{PPM}) =$	2579	2317	1465	1202	1093	831	907	645	796	533
$C_r - C_{\text{amb}} = (\text{PPM}) =$	2229	1967	1115	852	743	481	557	295	446	183

จากผลการคำนวณข้างต้นเมื่อลองแทนค่าประสิทธิภาพของแผงกรองอากาศเฉพาะที่แผงกรองอากาศภายนอกอย่างเดียวที่ทุกๆค่าอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์จะพบว่า “ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง 3.5 PPM ต่อประสิทธิภาพแผงกรองอากาศที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1%”

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณหาอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์โดยไม่ใช้ CO₂ Filter

จากสมการ (1), (2) ข้างต้นเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์ต่อคน ที่ระดับกิจกรรมต่างๆ ของคนภายในห้องได้ดังนี้

$$V_o / P = 1000000 \cdot Q$$

$$(40370.66) \cdot (C_r - C_{amb})$$

$$V_o / P = \text{อัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์ต่อคน (CFM/Person)}$$

ในกรณีนี้ e = 0 และ C _r - C _{amb} =			700	PPM		
1. Seat at rest	Q =	350	Btu / hr . Person	V _o / P =	12.4	CFM
2. Office work	Q =	450	Btu / hr . Person	V _o / P =	15.9	CFM
3. Sedentary work	Q =	550	Btu / hr . Person	V _o / P =	19.5	CFM
4. Medium work	Q =	750	Btu / hr . Person	V _o / P =	26.5	CFM
5. Heavy work	Q =	1450	Btu / hr . Person	V _o / P =	51.3	CFM

จากการทดลองแทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงในสมการได้ข้อสรุปดังนี้

“ไม่ว่า C_{amb} จะมีค่าใดๆก็ตาม ในกรณีที่ไม่ได้ใช้แผงกรองอากาศเลยจะพบว่า อัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์ขั้นต่ำที่ยังคงทำให้เป็นไปตามข้อกำหนด ASHRAE 62-1999 (C_r - C_{amb} ≤ 700) สำหรับผู้ใช้งานที่มีระดับกิจกรรมต่างๆ จะคงที่ ดังตารางข้างต้น”

ตัวอย่างที่ 3 การคำนวณหาอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์โดยใช้ CO₂ Filter เฉพาะที่ Fresh unit ที่ระดับกิจกรรมและแผงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพต่างๆ

จากการทดลองแทนค่า e_o , Q , CFM/P เพื่อให้ได้ C_r - C_{amb} ≤ 700 PPM จะได้ผลสรุปดังตารางข้างล่าง
จากผลการคำนวณในตารางข้างต้นได้ข้อสรุปดังนี้

1. Seat at rest						
Q(Btu/hr.Person)	e _o	0	0.25	0.5	0.75	1
350	CFM/P	12.4	11	9.9	9	8.25
2. Office work						
Q(Btu/hr.Person)	e _o	0	0.25	0.5	0.75	1
450	CFM/P	16	14.15	12.75	11.5	10.62
3. Sedentary work						
Q(Btu/hr.Person)	e _o	0	0.25	0.5	0.75	1
550	CFM/P	19.5	17.3	15.6	14.15	13
4. Medium work						
Q(Btu/hr.Person)	e _o	0	0.25	0.5	0.75	1
750	CFM/P	26.5	23.55	21.2	19.33	17.9
5. Heavy work						
Q(Btu/hr.Person)	e _o	0	0.25	0.5	0.75	1
1450	CFM/P	51.3	45.6	41	37.3	34.25

“การใช้แฟงกรองอากาศแบบกรองก๊าซเฉพาะที่ Fresh air unit จะสามารถลดอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์ ลงได้ไม่เกิน 30% โดยยังคงให้ผลเป็นไปตามข้อกำหนด ASHRAE 62-1999($C_r - C_{amb} \leq 700$) สำหรับผู้ใช้งานที่มีระดับกิจกรรมต่างๆ”

ตัวอย่างที่ 4 การคำนวณหาอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์โดยใช้ CO_2 Filter เฉพาะที่ AHU ที่ระดับกิจกรรมและแฟงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพ
ต่ำ

จากการทดลองแทนค่า e , Q , CFM/P เพื่อให้ได้ $C_r - C_{amb} \leq 700$ PPM ที่อัตราการหมุนเวียนอากาศ (V_m) 18 CFM/m² หรือประมาณ 10-12 Air change / hr. ซึ่งเป็นอัตราการหมุนเวียนอากาศที่ออกแบบในระบบปรับอากาศทั่วไปจะได้ผลสรุปดังตารางข้างล่าง

1. Seat at rest Q(Btu/hr.Person)	e	0	0.1	0.25	0.5
350	CFM/P	12.4	N/S	N/S	N/S
2. Office work Q(Btu/hr.Person)	e	0	0.1	0.25	0.5
450	CFM/P	16	2.7	N/S	N/S
3. Sedentary work Q(Btu/hr.Person)	e	0	0.1	0.25	0.5
550	CFM/P	19.5	6.6	N/S	N/S
4. Medium work Q (Btu/hr.Person)	e	0	0.1	0.25	0.5
750	CFM/P	26.5	14.5	N/S	N/S
5. Heavy work Q(Btu/hr.Person)	e	0	0.1	0.25	0.5
1450	CFM/P	51.3	42	23.5	N/S

(N/S=Not Significant)

จากผลการคำนวณในตารางข้างต้นได้ข้อสรุปดังนี้

“การใช้แฟงกรองอากาศแบบกรองก๊าซเฉพาะที่ AHU จะได้ผลดีกว่าและสามารถลดอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์มากกว่าทั้งในกรณีที่ C_{amb} มากและระดับกิจกรรมสูง” (แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้อง)

สรุป

1. การใช้แฟงกรองอากาศที่สามารถกรองหรือดูดซับก๊าซได้เป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งในการควบคุมคุณภาพอากาศในอาคาร นอกจากการกรองฝุ่นแต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งผลที่ได้นอกจากจะทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคารดีขึ้นแล้วยังสามารถลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศโดยการลดอากาศบริสุทธิ์ด้วย

2. จากหลักการข้างต้นผู้ออกแบบสามารถประยุกต์ใช้กับสิ่งปนเปื้อนที่เป็นก๊าซประเภทอื่นเพื่อคำนวณอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์หรือเลือกแฟงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมได้



เอกสารอ้างอิง :

1. ASHRAE Standard 62-1999
2. ASHRAE Handbook Fundamental 1997