

개보수 프로젝트에서 고려해야 할 VAV 시스템의 공기량 설정

개보수 프로젝트를 수행할 경우 공조시스템(VAV)의 공기량의 설정은 실내공기질을 보다 더 쾌적하게 유지하고 에너지 절약적인 설계 및 시공을 위해 대단히 중요하다. 여기서는 실행가능하고 경제적인 대안으로서 ASHRAE Standard (62-1989, 62-1999)의 실내공기질 설계기법(IAQ Procedure)에 부합되도록, 외기를 증가시킬 수 있는 공조시스템 공기량 설정과 그와 연관된 고려사항에 대해 검토하고 있다.

홍진관

개요

단일덕트시스템에서 거주공간에서의 온도조절은 부하를 감당하기 위해서 공급되는 공기량과 부하와의 평형조건을 만족을 요구한다. 이것은 정풍량(CAV) 시스템에서는 공급 공기량을 일정하게 유지하면서 공급공기의 온도를 변화시키고, 변풍량(VAV) 시스템에서는 공급공기 온도를 일정하게 유지하면서 공급 공기량을 변화시킴으로써 가능하다. VAV시스템은 공급공기 온도조절이나 송풍계통을 공통으로 하든지 개별적으로 하든지 혹은 보조가열장치의 유무에 관계없이 내주부 혹은 외주부에 적용될 수 있다. VAV의 개념은 시스템 전체 공기량을 조절하는 경우와 각각의 개별존의 공기량을 조절하는 경우 모두에 적용할 수 있다. 팬이 내장된 VAV상자나 개별존에 설치된 팬은 존으로 공급되는 1차공기가 부하감소로 교축된 상태에서 최소의 일정량의 급기를 유지하기 위해서 사용된다. 이때 부하는 교축된 시스템의 공기의 합인 재순환 리턴공기에 의해 만족될 수 있으며, 그때 재순환 리턴공기는 일정하게 유지된 상태로 유지된다. 이것은 말단재열의 유무에 관계없이 내주부와 외주부의 부하변동이 정상적인 변화보다 큰 존에 특히 유용하다. 비교적 압력이 높은 1차공기는 각 존에서 실이나 천장 리턴공기의 유인에 사용된다. 각 존에 실제로 일정한 공기공급을 유지하고 이에 해당하는 공기량에 의해 유인공기는 증가하는 반면에, 각존으로 공급되는 1차공기와 시스템 전체공기는 재교축되게 된다. 이것은 말단재열과 조합되는 경우도 있고 그렇지 않을 경우도 있으며, 이러한 기술은 모든 존에 적용되지 않고 특정한 일부영역에 적용될 수 있다.

건물내에서 실내오염농도는 건물 환기율 설정에 대단히 중요한 역할을 하게 된다. ASHRAE Standard 62-1989 (62-1999에서 보완)에서는 다양한 건물 종류와 재실상태에 대해 받아들일 수 있는 실내공기질(IAQ)을 유지하기 위한 최소 환기율을 제안하고 있다. 즉 CO₂ 농도 1000 ppm을 최대 실내농도로 설정하여, 이를 희석하기 위해 재실인원 1인당 최소 15cfm의 외기도입을 요구하고 있으며 이를 최소 환기율로 설정하고 있다. 건물의 재실영역에서 도입외기의 실제적인 분포는 완전히 혼합된 것으로 볼 수 없으며, 급기와 리턴공기의 분배경로, 순환율과 외기유동, 냉방 혹은 난방 운전모드, 실내의 파티션(partition)과 재실공간 내의 각종 장치 및 재실자등 여러가지 다양한 변수들의 함수로 볼 수 있다.

환기효율(ventilation efficiency)을 결정하기 위해서 VAV시스템이 설치된 여러가지 다양한 사무조건물에서 실제 분진측정을 수행한 최근의 실험결과와 트레이서 가스를 사용한 실험결과에 의하면 사무실의 재실공간으로 실제 도입된 외기는 건물 밸런싱보고서를 이용하여 계산된 값보다 실제적으로 낮은 값을 나타내고 있다. 여기서 생기는 의문점은 ASHRAE Standard (62-1989, 62-1999)에서 권장된 최소 외기도입량에 부합되게 적절히 VAV시스템이 설치되고 밸런싱이 되었다면, 이와 같은 시스템이 권장된 최소 환기율을 만족하도록 재실영역으로 항상 외기를 도입할 수 있는가 하는 문제와 만약 그렇지 않다면, ASHRAE Standard (62-1989, 62-1999)의 지침을 만족하기 위해서 어느 정도의 환기가 필요한가 하는 것이다. 여기서 HVAC 시스템 설계자들이 제시된 건물 IAQ성능 결과를 잘 해석하고

이해하기 위해서 기계적인 방법으로 환기하는 공기 분배시스템의 형태를 특성화하는 적절한 인증지침을 설정할 필요가 있다.

사무용 건물에서 전형적인 VAV 공기분배 시스템에서 재순환, 여과 및 정화된 리턴공기를 고려하여 만족할 만한 IAQ를 보증하는데 필요한 실제적인 외기 공급율을 결정할 수 있는 적절한 수단을 강구하고 제어방법을 개발하는 것이 대단히 중요하다. 그 첫 번째 고려는 받아들일 수 있는 실내오염농도 계산, 주어진 공간에서 적절한 기류분포, 소요 외기량을 줄일 수 있는 공기정화장치의 사용 및 환기효율등과 같은 환기 파라미터등과 관련된 IAQ설계기법(IAQ Procedure)을 포함하고 있는 ASHRAE Standard (62-1989, 62-1999)를 들 수 있다.

ASHRAE Standard (62-1989, 62-1999)

IAQ는 건물내의 오염원과 환기율, 외기에 의한 실내공기 오염의 희석등이 복잡하게 관련되어 있다. 오염물질로는 CO₂, 포름알데히드, 라돈, 질소산화물, VOC, 석면, 호흡성분진, 알레르기성 물질, 병원성 미생물등이 있다. 기밀시공된 현대의 사무소 건물은 어지러움, 두통, 호흡곤란, 만성피로감 뿐만아니라 이른바 밀폐건물 증후군(sick building syndrome)과 건

물과 관련된 질병을 유발하는 공기오염원을 항상 포함하고 있다. 이에 따라 실내공기오염의 실태를 조사하기 위한 연구가 많이 진행되어 왔고, 일반가정이나 사무실과 같은 실내공기오염이 대기오염보다 더욱 심각할 수 있다는 사실이 점차로 밝혀지고 있다.

1991년 미국, 캐나다, 일본을 포함한 15개국의 사무실에 근무하는 근로자, 최고경영자, 건물운전자, 설비기술자 등 전문가들의 견해를 광범위하게 보고하고 있는 스틸케이스 세계 사무실 환경인덱스(steelcase worldwide office environment index)에 따르면 미국의 경우는 37%, 캐나다의 경우는 46%, 유럽의 경우는 39%, 일본의 경우는 53%가 문제가 있다고 보고되는 등 실내공기오염에 관한 문제는 전세계적으로 예외없이 공통적인 현상으로 나타나고 있다. 이와 같은 실내공기 오염원인을 분석하기 위하여 미국의 NIOSH와 캐나다의 HWC에서 수행한 연구보고에 의하면 표 1과 같은 문제유형별 조사결과를 보이고 있다. 두 정부기관의 조사에서 주된 실내공기 오염원으로 부적절한 환기가 50% 이상으로 나타나고 있으며, 문제가 없는 건물은 12~24%에 불과하다는 사실을 보여주고 있다.

1970년대의 에너지쇼크에 대한 대응책으로 건물에 도입되는 외기량을 줄이는 것이 건물운전자나 소유자에게 에너지절약을 위해 택할 수 있는 가장 손쉬운 방안으로 고려되었다. ASHRAE Standard 62-1973은

〈표 1〉 Sick Building Syndrome을 유발하는 실내공기 오염원인

문제발생 유형	NIOSH조사*		HWC조사**	
	건수	%	건수	%
부적절한 환기	252	52	710	52
실내오염원	77	16	165	12
실외오염원	48	10	125	9
건축구조물,내장재	20	4	27	2
미생물오염원	26	5	6	0.4
문제가 없음	61	12	329	24

* NIOSH 조사는 미국 National Institute of Occupational Safety and Health에서 1987년에 수행되었으며 484 사무실 건물에 대한 조사 결과임.

**HWC의 조사는 캐나다 Health and Welfare Canada에서 1990년에 수행한 1362 사무실 건물에 대한 조사 결과임.

대부분의 건물에서 1970년 말까지 충분한 것으로 여겨졌던 최소 요구환기율을 제안하고 있다. ASHRAE Standard 90-1979에서는 재실인원 1인당 환기율을 15 cfm에서 5 cfm이나 20 cfm으로 수정하고 있다. 재실자에 의해서 제기된 실내쾌적도에 대한 많은 불만과 IAQ와 관련된 문제점 발생건수가 증가하게 되어, ASHRAE Standard 62-1981이 제정되었다. 제정된 이 지침은 건물에서 흡연구역과 비흡연구역으로 나누어 이원화하고 있는데 즉 사무실의 경우 비흡연구역에서는 1인당 환기율로 5 cfm으로 유지하는 반면에, 흡연구역에서는 20 cfm으로 증가된 환기율을 제안하고 있다(여기서 1cfm은 약 1.7CMH에 해당). 그러나 흡연구역과 비흡연구역으로 나누어진 지침을 사용하는 것은 실제 적용에 있어 혼란스러운 점이 있으며, 특히 제안된 포름알데히드의 농도의 경우는 적용상 많은 문제점에 직면하게 되었다. 이에 따라 ASHRAE는 관련기술의 발전과 함께 증가하고 있는 IAQ와 관련되어 발생되고 있는 제반문제에 대응할 수 있는 효율적이고 적용성이 높은 IAQ지침의 필요

성을 인식하고, 재실자가 받아들일 수 있는 실내공기 질에 대한 환기율을 설정한 ASHRAE Standard 62-1989를 제안하게 되었고, 1999년에 ASHRAE Standard 62-1999로 이를 보완하고 있다. 표 2는 여러가지 재실형태에 따라 제시된 ASHRAE Standard 62-1999와 62-1989, 62-1981 및 62-1973의 환기율을 서로 비교하여 나타내고 있다.

ASHRAE Standard 62-1981은 환기율 설계기법 (ventilation rate procedure)을 추가하여 HVAC 설계자들이 제안된 기준치 이하로 실내오염농도를 낮추기 위해서, 필요한 도입외기량의 값을 설계에 적용할 수 있도록 하고 있다. 그러나 ASHRAE Standard 62-1981에 있는 실내공기질 설계기법 (IAQ Procedure)은 주어진 오염원 종류에 따라 실내오염농도에 영향을 주는 다양한 형태의 공기분배시스템 (CAV 혹은 VAV등)의 효과를 설명하지 못하고 있으며 이와같은 결점을 ASHRAE Standard 62-1989에서 수정하고 있다.

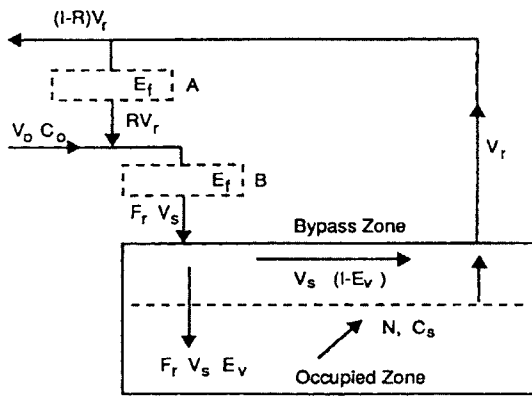
실내에서 재실자에 의해 배출되는 CO₂는 취기를 감

<표 2> ASHRAE Standard에 나타난 외기도입 환기율의 비교

재실공간	외기 환기 요구조건, cfm/인 ASHRAE Standard					
	62-1973 최소 권장치		62-1981 비흡연 흡연		62-1989	62-1999
볼룸 디스코	15	20~25	7	35	25	25
바&커피테일라운지	30	35~40	10	50	30	30
뷰티 샵	25	30~35	20	35	25	25
교실	10	10~15	5	25	15	15
식당	10	10~15	7	35	10	20
병원 환자실	10	15~20	7	35	25	25
호텔 컨퍼런스룸	20	25~30	7	35	20	20
사무소 컨퍼런스룸	25	30~40	7	35	20	20
사무공간	15	15~25	5	20	20	20
주거	5	7~10	10	10	0.35 ach	0.35 ach, ≥15
상점	7	10~15	5	25	0.02~0.30cfm/ft ²	0.05~0.30cfm/ft ²
스모킹 라운지	-	-	-	-	60	60
조망 공간	20	25~30	7	35	15	15~20
객석	5	5~10	7	35	15	15
교통대기공간	15	20~25	7	35	15	15

소시키고 가능한 한 건강상의 위해를 피하기 위해서 뿐만 아니라 요구되는 실내쾌적도를 달성하기 위해서 반드시 희석되어야 하며, 환기부하가 증가함에 따라 재실자에 의해 발생하는 CO₂를 희석시키는데 필요한 외기량도 증가하게 된다. 따라서 CO₂는 그 자체는 물론 취기발생을 대신하여 제어하는 편리한 대체 환기 파라미터의 역할도 하게 되었다.

ASHRAE Standard 62-1981에서 제안된 1인당 최소환기율 5cfm은 재실자에게서 발생한 취기를 조절하고, CO₂농도가 1000 ppm을 넘지 않도록 하기 위해, 1인당 15 cfm으로 상향 수정되게 되었다.



[그림 1] 실내공기질 설계기법(IAQ Procedure)적용 모델

ASHRAE Standard (62-1989, 62-1999)은 부록 E에 CAV와 VAV시스템을 동시에 다룰 수 있는 여과공기와 재순환공기 사용과 관련된 설계기법을 포함하고 있다.

여기서는 외기유동율(outdoor airflow rate : Vo), 환기의 유용성을 나타내는 환기효율(ventilation effectiveness : Ev), 필터효율(Ef), 유동감소계수(flow reduction factor : Fr), 외기오염농도(Co)와 급기(Vs) 및 리턴공기 풍량(Vr)이 알려진 상태에서 7가지 종류의 등급(class)에 대해 주어진 재실공간에서 허용될 수 있는 실내공기오염농도(Cs)를 산정할 수 있다. 실내공기질 설계기법(IAQ Procedure)은 재실공간에서 보다 더 직접적으로 실내공기 오염농도를 산정할 수 있을 뿐만 아니라 환기율 설계기법(ventilation rate procedure)에서 얻어진 환기율이 적정한지 확인하는데도 또한 사용될 수 있다.

적용 예

다음의 적용 예는 전형적인 VAV시스템(일정온도, 외기량 일정, 필터위치가 그림 1의 B에 위치한 Class VI)에서 100% 전부하와 50% 부분부하의 경우에, 표 3에서 주어진 방정식을 사용하여 컴퓨터로 실내공

<표 3> 필터위치, 각종 변수와 소요외기량, 실내오염농도, 재순환율과의 관계

등급	재순환율				소요외기량	실내오염농도	재순환율
	필터 위치	유량	온도	외기			
I	None	VAV	Constant	100%	$V_o = \frac{N}{E, F, (C_i - C_o)}$	$C_i = C_o + \frac{N}{E, F, V_o}$	Not applicable
II	A	Constant	Variable	Constant	$V_o = \frac{N - E, RV, E, C_o}{E, (C_i - C_o)}$	$C_i = \frac{N + E, V_o, C_o}{E, (V_o + RV, E)}$	$RV = \frac{N + E, V_o, (C_o - C_i)}{E, E, C_o}$
III	A	VAV	Constant	Constant	$V_o = \frac{N - E, F, RV, E, C_o}{E, (C_i - C_o)}$	$C_i = \frac{N + E, V_o, C_o}{E, (V_o + F, RV, E)}$	$RV = \frac{N + E, V_o, (C_o - C_i)}{E, F, E, C_o}$
IV	A	VAV	Constant	Proportional	$V_o = \frac{N - E, F, RV, E, C_o}{E, F, (C_i - C_o)}$	$C_i = \frac{N + E, F, V_o, C_o}{F, E, (V_o + RV, E)}$	$RV = \frac{N + E, F, V_o, (C_o - C_i)}{E, F, E, C_o}$
V	B	Constant	Variable	Constant	$V_o = \frac{N - E, RV, E, C_o}{E, [C_i - (1 - E_i)C_o]}$	$C_i = \frac{N + E, V_o, (1 - E_i)C_o}{E, (V_o + RV, E)}$	$RV = \frac{N + E, V_o, [(1 - E_i)C_o - C_i]}{E, E, C_o}$
VI	B	VAV	Constant	Constant	$V_o = \frac{N - E, F, RV, E, C_o}{E, [C_i - (1 - E_i)C_o]}$	$C_i = \frac{N + E, V_o, (1 - E_i)C_o}{E, (V_o + F, RV, E)}$	$RV = \frac{N + E, F, V_o, [(1 - E_i)C_o - C_i]}{E, F, E, C_o}$
VII	B	VAV	Constant	Proportional	$V_o = \frac{N - E, F, RV, E, C_o}{E, F, [C_i - (1 - E_i)C_o]}$	$C_i = \frac{N + E, F, V_o, (1 - E_i)C_o}{E, F, (V_o + RV, E)}$	$RV = \frac{N + E, F, V_o, [(1 - E_i)C_o - C_i]}{E, F, E, C_o}$

기질 설계기법(IAQ Procedure)을 적용하여 계산한 예를 보여주고 있다. 50% 부분부하의 경우는 받아들일 수 있는 실내공기오염도를 유지하는데 최소한의 조건이 된다고 가정한 경우로 50% 부분부하조건에서 감소된 실내활동을 반영하기 위해서 재실인원과 오염 발생율(N)을 감소시킨 경우로 볼 수 있다. 적용된 건물은 미국 캘리포니아의 벌뱅크에 위치한 바닥면적 22,000 ft²인 오피스건물로서 프레스실, 회의실, 일반 사무실, 상점이 위치하고 있으며, 여기서는 프레스실에만 한정하여 계산을 적용한 결과를 나타내고 있다.

- 100% 전부하의 경우

실용적 = 1,133 m³ (40,000 ft³)

재실인원 = 300

N = 151 μg/min · m³ (ASHRAE Standard 62-1989)

Ev = 0.8 (실험에 의한 가정치)

Vs = 361 m³/min (12,740 cfm)

Ef = 0.5

Fr = 1.0

Co = 5 μg/m³

- 50% 부분부하의 경우

실용적 = 1,133 m³ (40,000 ft³)

재실인원 = 210

N = 10.5 μg/min · m³ (ASHRAE Standard 62-1989)

Ev = 0.8 (실험에 의한 가정치)

Vs = 361 m³/min (12,740 cfm)

Ef = 0.5

Fr = 0.5

Co = 5 μg/m³

표 3의 소요외기량 Vo에 대한 질량보존식과 그림 1에서의 유동평형식 Vo=FrVs - RVr을 동시에 적용 가능하다. 1년 평균농도기준 Cs < 50 μg/m³과 하루 평균농도기준 Cs < 150 μg/m³을 각각 만족하고, 최소 외기환기율 15cfm/인(ASHRAE Standard 62-

1989), 100% 전부하조건과 50%부분부하조건에서 계산된 최종값 Cs = 89 μg/m³, Vo = 4,358 cfm을 얻을 수 있다. 또한 이들값은 100% 전부하에서 재실인원이 300명, 50%부분부하에서 재실인원 210명이므로 1인당에 대한 값으로 환산하면 적용예로든 문제의 조건에서 1인당 소요외기량은 각각 15 cfm, 21 cfm이 됨을 알 수 있다.

실내에서의 기류분포

기류분포는 HVAC 시스템에서 대단히 중요하며, 특히 VAV시스템에서는 그 중요성이 증대된다. VAV시스템에서 그릴과 디퓨저의 선택은 공조공간내에서 적절한 기류분포에 중요한 역할을 하게 된다. 디퓨저는 공기유동의 방향과 패턴을 결정한다.

전공기시스템에서 공조공간으로 빠른 기류이동이 일어난다. 기류가 실내를 통과함에 따라 실내공기가 이동되는 기류로 흡인,유인된다. 이 흡인효과가 실내공기를 순환시키고 성층화되는 것을 방지하는데 도움을 주게된다. 도달거리는 취출구에서 취출한 공기가 진행해서 취출기류의 중심선상의 풍속이 종속도(일반적으로 0.5 m/s)가 될 때 까지의 수평거리를 나타낸다.

VAV시스템에서 감소된 공기유동으로 인해 일반적인 표준형의 디퓨저를 사용하는 경우에서는 기류분포의 문제가 발생된다. 또한, 이때 표준형 천장디퓨저에서 취출된 찬공기는 유량과 속도가 감소될 때 실 아래로 하강하게 되며, 이것은 양호하지 못한 실내기류분포를 발생시키고 재실자에게 불쾌한 드래프트를 발생하게 하는 원인이 된다. 그러나 적절히 설계된 취출구에서는 유동이 감소된 경우에서도 적절한 실내공기흐름을 유지할 수 있다.

선형슬롯형디퓨저는 넓은 범위에서 공기유량이 변화하는 경우에도 상당히 일정한 도달거리를 유지할 수 있다. 이와 같이 움직이는 기류에 의한 흡인효과는 유량이 감소된 경우에도 실내공기를 양호하게 순환할 수 있도록 하는 원인이 된다. 슬롯형디퓨저는 일반적으로 2 ft, 2.5 ft, 4 ft, 5 ft의 길이를 가지며 슬롯 1 ft 당 용량은 50 cfm 정도이다.

적절한 실내공기 분포에 도움을 주는 코안다효과(coanda effect)는 천장이나 벽과 같은 평평한 면에 근접한 상태로 기류흐름을 유지시키는 작용을 한다. 취출공기의 동압이 증가함에 따라 실내에서 보다 천장에서 정압은 더 낮아지게 된다. 표면과 기류사이에 발생된 음(-)압에 의해 급기를 천장으로 더 부착된 상태로 진행하게 하는 원인이 된다.

즉 기류가 취출구에서 외부로 향할 때 상당한 유량 범위에서 평평한 면을 따라 유동이 부착되어 진행하게 된다. 천장에 고정된 고가식디퓨저의 취출구로부터 12~18 inch(약 30~45 cm)의 평판을 사용함으로써 코안다효과를 유지할 수 있다.

슬롯형디퓨저는 취출공기 유동이 외주부에 직각이 되게하는 방식으로 외주부내에 설치될 수 있다. 외주부에 부딪히는 속도는 전체적유량에서 약 150 fpm(약 0.75 m/s)정도는 되어야 하며, 벽에 부딪힌 유동은 코안다효과에 의해 벽을 따라 아래로 이동하면서, 주위의 실내공기를 유인하면서 확산하게 된다. 난방사이클에서 0.75 m/s 보다 훨씬 낮은 속도로 취출될 경우는 외벽을 따른 코안다효과가 감소하게 된다. 따라서 취출구의 위치를 잡는데 주의가 필요하며, 슬롯형디퓨저는 흡인효과 때문에 다른 형태의 디퓨저보다는 현장적용 시 유량을 다소 작은 값으로 설정하여 사용할 수도 있다.

일년중 부하가 없는 경우는 VAV박스는 완전히 폐쇄되고 이로 인해 실내기류가 정체되게 되는 문제가 발생된다. 이러한 경우 최소 개도설정을 함으로써 부하가 발생하지 않는 기간이라도, 각 존으로 다소의 기류이동이 확실히 이루어질 수 있게 하여, 실내공기가 정체되는 것을 방지하는 것이 가능하다.

그러나, 이와 같은 최소공기유량을 재열해야 할 필요가 있는 경우에는 혼합손실로 인해 상당히 높은 에너지소모가 발생될 수 있다는 사실을 간과해서는 안된다. 디퓨저를 선정하는데 주의를 기울이지 않으면, 최소 개도설정의 적용에 따라 차가운 공조공기를 환기가 잘되어 있는 실내로 하강시키는 바람직하지 못한 상황을 야기시킬 수 있다. 단일덕트 VAV시스템에

서 풍량은 난방사이클 동안 과도한 재열손실을 없애기 위해 일반적으로 외주부에서 재교축된다.

주위 보다 고온과 저속상태로 천장형 분배기로부터 취출된 공기는 외벽의 내면에서 저온기류로 인해 발생된 드래프트를 줄이는 효과를 거두기는 어려우며, 이와 같은 경우는 바닥상치형 컨벡터나 일정풍량의 외피형 공기조화시스템과 같은 별개의 다른 시스템에 의해 처리하는 것이 바람직하다.

부력효과를 피하기 위해 고가식디퓨저로부터 취출되는 급기온도는 난방기간 동안 주변의 실내공기온도보다 10~16℃이상 더 높게 설정하지 않는 것이 좋다. 또한 디퓨저로부터 취출되는 풍속은 기류와 외벽이 교차하는 곳에서의 속도가 약 0.75 m/s 정도로 하는 것이 좋다. 창아래에서 공기를 취출하는 기구를 사용하는 경우 수직취출되는 기류의 형상은 넓게 확산되어 퍼지지 않는 패턴을 갖는 것이 좋다. 최소 유량 조건에서 차가운 급기가 재실영역으로 하강하는 것을 방지하기 위해서 취출속도는 적어도 2.5 m/s 정도는 되어야 한다. 천장슬롯형 디퓨저는 재실공간으로 급기되는 풍량의 감소가 클 경우, 가장 권장될 수 있는 디퓨저의 한 형태로 볼 수 있다.

전동형의 혼합상자를 사용하는 VAV시스템은 풍량의 감소없이 일반형의 디퓨저를 적용할 수 있다. 이 경우 주된 1차 시스템의 풍량이 변화되더라도 말단부에서는 일정한 풍량특성을 유지할 수 있다. 또 리턴공기가 이동하는 개구부의 적절한 위치와 크기에 따라 성층화나 실내의 정체공기를 최소로 할 수 있어, 실내기류 형성에 대단히 중요한 역할을 하게 된다. 일반적으로 리턴공기가 통과하는 개구부 면적은 급기가 통과하는 개구부 전체의 면적보다 같거나 크도록 하는 것이 좋다.

공조공간에서 드래프트는 풍량이 적을 때보다 클 때 많이 발생될 수 있으므로, 대부분의 운전기간동안 설계조건보다 낮은 풍량을 유지하는 경우 드래프트의 발생이 감소되는 경향을 보인다. 유인효과가 큰 취출구는 낮은 공기유량에서도 실내기류흐름을 원활하게 할 목적으로 권장 사용될 수 있다.

환기의 유용성(ventilation effectiveness)

실내 취기의 조절이나 열적 쾌적감을 얻기 위해 행해진 환기시스템의 설계는 실내에서 공기가 완전히 혼합된다는 가정하에 수행되고 있다. 일반적으로 재실공간의 IAQ는 오염원이 실내공기와 혼합되기 전에 오염원을 제거하는 능력과, 환기된 공기를 직접적으로 실내로 공급하는 환기시스템의 능력에 의해 결정된다.

환기시스템의 성능은 건물의 기하학적 형태나 오염원, 열적 성층화, 디퓨저의 형식, 덕트위치 등에 따라 달라지게 된다. 환기효율은 실내공기 오염원의 국부적인 혼합정도에 크게 의존하게 된다. 주어진 환기율에서 받아들일 수 있는 평균오염농도가 달성되더라도 재실공간내의 유동의 불균일성은 실내오염농도가 매우 높은 고농도를 갖는 국부적인 영역을 생성시킬 수 있다.

VAV시스템에서 재실공간으로의 급기는 항상 쉽게 그렇게 되지 못할지라도 충분히 잘 혼합될 수 있는 취출속도와 각도를 가져야 한다. 높은 환기효율은 팬이 내장된 혼합상자(fan-powered mixing box)를 사용함으로써 국부적으로 달성될 수 있다. 잘 설계된 환기시스템은 상당히 넓은 범위의 운전조건에 대해서 모든 재실공간에서 환기율과 오염원사이의 적절한 밸런스를 이룰 수 있도록 하여야 하며, 평균적인 상태인 경우보다는 순간적으로 최악의 조건이 발생되는 경우에 대해 잘 대응될 수 있도록 하여야 한다.

정상상태에서 실내를 통과하는 오염된 유동의 평균 통과시간(average transit time)에 대한 환기된 유동의 통과시간의 비를 환기의 유용성을 나타내는 평균 환기효율이라 한다. 정의에 의한 이 비율은 정상상태

<표 4> 평균환기효율(average ventilation effectiveness)

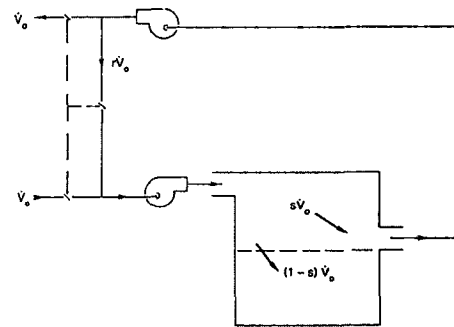
유 동	평균환기효율
정체된 유동(짧은 경로)	>0
완전혼합유동	1
배기 근처에 오염원이 있는 유동	∞

에서 실내평균오염농도에 대한 배기공기의 오염농도의 비와 같다.

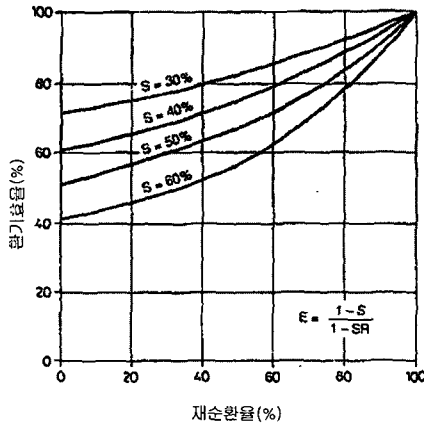
표 4는 여러가지 유동에 대한 평균환기효율을 나타내고 있다. 설계의 목적은 1보다 큰 평균환기효율이 얻어질 수 있도록 하는 것이다. 불완전한 혼합에 의해 재실공간에서 발생할 수 있는 열적성층화나 오염원의 성층화현상은 예측할 수 있는 오염농도보다 어떤 순간에 훨씬 더 높은 농도에 재실자가 노출되게 하는 원인이 될 수 있다.

실내공기질 (IAQ) 제어에서 대단히 중요한 환기시스템의 2가지 특성은 실내공기 교환율 즉 환기횟수와 실내에서의 기류패턴이다. 실내에서 부적절한 기류분포는 환기시스템의 환기효율을 낮추는 원인이 될 수 있으며, 이를 보충할 과도한 공기교환율 즉 환기횟수를 요구하게 된다. 또 이로 인해 에너지소비와 불균일한 혼합을 증가시키게 된다.

일반적으로 실내에서의 기류패턴은 공기교환율과 함께 대단히 중요하며 따뜻하거나 차가운 주변벽, 불균일하게 분포된 열원, 급기 디퓨저 형식, 급기구와 배기구의 위치, 외기 침입과 실내공기의 누설, 열적성층화에 따른 실내오염원의 불균일한 분포등의 영향으로 실제로 대단히 복잡한 양상을 가지고 있다. 그림 2에서 환기의 유용성을 나타내는 환기효율(Ev)은 공급공기중 공급취출구에서 재실영역으로 혼합되지 않고 환기배출구로 직접 빠지게 되는 비율인 성층효과계수



[그림 2] 성층화현상이 발생한 재순환시스템의 2구획 모델



[그림 3] R과 S의 함수인 환기효율

(S), 리턴공기중 재순환되는 비율인 재순환효과계수 (R)의 함수이다.

그림 3은 R과 S의 함수로 주어지는 전형적인 환기 효율을 보여주고 있는데, 재순환효과계수가 클수록 환기효율이 증가하며, 성층화효과계수가 작을수록 환기효율이 증가함을 보여주고 있다.

공기정화기

사용가능한 리턴공기의 비율을 늘리기 위해 공기정화기의 설치위치를 재순환공기 유동과 혼합공기 유동 중에 설치되면 만족스러운 결과를 얻을 수 있다(그림 1). 만약 제거해야 할 오염원이 모두 공조해야 할 공간에서 발생된다면, 재순환공기의 필터링은 권장할 수 있는 조치로 볼 수 있다. 그러나 만약 외기가 여과가 필요한 공기가 된다면 이것도 역시 필터링을 해주어야 한다. 공기정화기를 통과하는 체적유량과 공기정화기의 유용성(effectiveness)은 제거해야 할 여과물질의 양을 결정한다. 결과적으로 VAV시스템에서 공기유량이 감소될 때, 제거될 오염물질의 양도 역시 감소된다. 이것은 유동감소계수(Fr)에 의해 고려될 수 있다. 필터효율(Ef)은 제작업체로부터 최고의 상태로 주어질 수 있으나, 필터를 통과하는 유동에 의해 영향을 받는다. 일반적으로 공기정화기를 통과하는

속도가 감소하면 필터의 효율은 증가한다. 그러므로 감소된 유량에서 증가된 필터효율은 감소된 유동에 대해서 제거될 오염물질의 양이 준다는 관점에서 보면 어느 정도 보상의 효과가 있다고 볼 수 있다.

환기부하가 증가하면 재실공간에서 발생하는 CO₂를 희석시키는데 필요한 소요외기량은 증가한다. 그 때 재순환효과계수 R은 감소한다.

일반적으로 사용되는 입자클리너의 종류로는 여재 필터, 흡착제, 흡수제를 사용하거나, 원심분리기나 정전식 공기정화기나 공기세정기등이다. 불안정한 오염농도가 발생될 때 그 실내오염원을 희석시키고, 여과하고, 환기할 수 있는 HVAC시스템이 건물의 신축시는 물론 개보수시에 필요하며, 개보수시에는 특히 기존 시스템의 환경요소 개선과 에너지절감을 함께 고려해야 하는 것은 당연하다. 덕트내에 고인 물이 생기는 영역이나 곰팡이나 박테리아 등이 서식되는 영역을 없애는 것도 역시 개보수시 고려할 중요한 사항이라 할 수 있다. 또한 오염입자들은 정전필터, 이온화장치 및 마이크로미터 범위에서 효과적인 HEPA필터 사용 등 여러가지의 여과 및 오염입자 제거기술에 의해서 효율적으로 제거될 수 있다. 여기에 추가로 항균 효과가 있다고 알려진 리튬클로라이드 흡수제 등으로 처리된 로터를 적용한 제습냉방(desiccant cooling) 등이 적용될 수 있다.

결론적으로, 적절한 여과기술과 결합하여 공기를 재순환하여 사용하는 설계방법을 적용하는 것은 HVAC 설계자에게 ASHRAE Standard (62-1989, 62-1999)의 실내공기질 설계기법(IAQ Procedure)에 부합되도록, 외기를 증가시킬 수 있는 실행가능하고 경제적인 대안으로서 제시되고 있다. 특히 에너지절약과 환경개선의 일환으로 수행되는 개보수 프로젝트에서 이와 같은 방법의 적용은 계속적으로 증가할 것으로 예상되며, 이들 기술을 적용한 설계 및 시공방안이 각종 건축물의 개보수시 응용될 수 있도록 기술개발과 연구의 활성화가 요청되고 있는 시점에 와 있다고 볼 수 있으며, 이에 대한 지속적인 관심이 요망되고 있다. Ⓣ