

환기방식별 실내 환기효율 분석에 관한 실험적 연구

강 태 욱†

(원고접수일 : 2005년 8월 31일, 심사완료일 : 2006년 3월 10일)

An Experimental Analysis of Ventilation Effectiveness using Tracer Gas

Tae-Wook Kang†

Abstract : A tracer gas technique based on ASTM Standard E741-83 was used to measure ventilation performances in a model chamber (0.84m×0.68m×0.7m) with an exhaust fan and a supply fan. Experiments were performed for the ventilation effectiveness on three types of mechanical ventilation systems. For all cases, higher ventilation effectiveness was found in the type to ventilation system 열 세 shorter residual time of air compared to type 1 and type 3.

Key words : Model chamber(모형실), Ventilation effectiveness(환기효율), Tracer gas(추적가스), Step-down method(농도 감쇄법), Air Change per hour(ACH, 환기횟수)

기호설명

C : 농도, ppm
C_e(t) : 배기구에서 추적가스 농도, ppm
Q : 환기량, m³/h
t : 측정 시간,
V : 실용적, m³
ACH : 환기횟수, #/h
ε_a : 환기 효율
τ_n : 명목 시간 상수, sec
〈τ〉 : 실험평균 공기령, sec

1. 서 론

최근 들어 대기오염과 더불어 실내 공기 오염의 문제가 심각하게 대두되고 있다. 특히 실내에서 생

활하는 시간이 길어지고 각종 사무자동화 기기의 등장으로 인한 실내오염원의 다양화, 에너지 절약을 위한 건물의 기밀화 등의 요인에 의해 실내 공기의 중요성은 더욱 증대되고 있다^{[1],[2]}.

실내공기질의 적극적인 관리를 위한 제어방법으로 환기가 이용된다. 실내에서의 환기방식에는 자연의 힘을 이용하는 방법과 기계적인 힘을 이용하는 두 가지 방법이 있다. 그러나 자연환기만으로는 항상 안정된 환기량을 얻을 수 없으므로 송풍기를 이용한 기계적 힘에 의해 확실한 환기량을 확보하는 경우가 많다^[3].

환기설비에 의한 환기가 실제로 실내에서 발생된 오염물을 희석 및 제거할 때의 효율은 환기방식(1종/2종/3종)이나 환기량, 급배기구의 상대적 위치 등에 의해 크게 영향을 받는다.

† 책임저자(LG전자), E-mail: twkang@lge.com, Tel: 055)269-3589

본 연구에서는 단순화된 축소 전체 환기 모형을 이용하여 1/2/3종의 환기방식에 따른 환기특성을 급배기구 위치 및 환기량을 변수로 하여 실험적으로 파악하고자 한다.

2. 이론적 해석

2.1 환기방식

송풍기나 배풍기를 이용한 기계 환기방식은 송풍기의 이용방법에 따라 제 1종 환기방식, 제 2종 환기방식, 제 3종 환기방식으로 분류할 수 있다^{[3],[4]}.

제 1종 환기방식(Fig. 1 (a))법은 송풍기와 배풍기를 병용하는 방법으로 실내의 기압을 바깥기압에 대해 정압(+)으로 또는 부압(-)으로 자유롭게 조절할 수 있는 장점이 있으므로 일반적인 거주공간에는 이 환기방식을 채용한다.

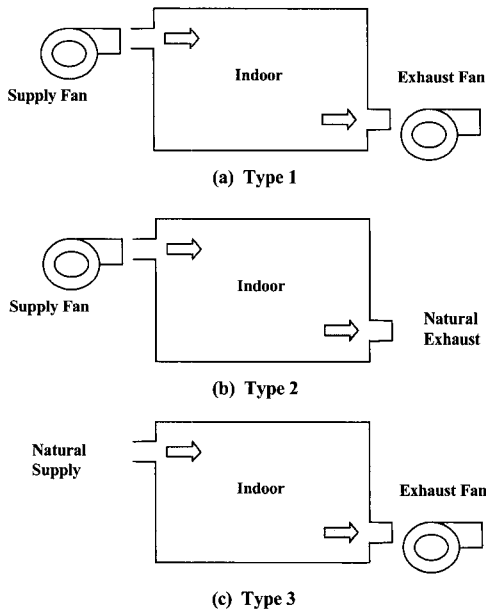


Fig. 1 Three type mechanical ventilation systems.

제 2종 환기방식(Fig. 1 (b))은 송풍기로 실내에 외기를 공급하고 배기는 자연배기를 이용하는 방식으로서 실내가 정압(+)이 되므로 출입구 문을 열었을 때 다른 방으로부터 오염공기가 실내로 침입하지 않기 때문에 무균실이나 수술실과 같은 클

린룸(청정실)에 채용되는 방식이다.

제 3종 환기방식(Fig. 1 (c))은 배풍기에 의해 강제배기하고 급기는 적당한 위치에 설치한 급기구로부터 자연급기 시키는 방법으로 실내는 부압(-)이 되어 출입구문을 열었을 때 오염된 실내공기가 밖으로 유출되지 않는 특징이 있다.

2.2 환기 효율

Sandberg는 여러 가지 형태의 환기효율을 체계적으로 정리하였으며 공기령의 개념을 이용한 환기효율을 제안하였다. 즉, 실내에 공급된 신선외기가 실내 공간으로 공급될 때까지 소모되는 시간이 짧을수록 환기효율이 높다고 정의하였다. ASHRAE와 AIVC등은 물론 현재 사용되고 있는 환기효율의 개념은 그의 이러한 연구결과에 근거하고 있다^[5]. 본 연구에서는 Ventilation effectiveness의 개념을 사용하여 환기효율을 평가하였다. Ventilation effectiveness는 실평균공기령에 대한 명목시간상수(Nominal time constant)의 비로 나타내며 공기교환율이라고도 한다. 명목 시간 상수는 실 용적을 공급되는 공기유량으로 나눈 값으로 완전혼합일 경우의 실내 평균 공기령과 같다. 일반적으로 공기교환율(Air exchange effectiveness)의 개념으로 Ventilation effectiveness를 많이 사용한다^{[6]-[8]}.

ASTM Standard E741-83에서 채강법(Step-down method)를 이용하면 실평균 공기령과 환기효율은 다음과 같이 나타낼 수 있다^[6].

$$\langle \tau \rangle = \frac{\int_0^{\infty} t C_e(t) dt}{\int_0^{\infty} C_e(t) dt} \quad (2.1)$$

$$\epsilon_a = \tau_n / 2 \langle \tau \rangle \quad (2.2)$$

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

Fig. 2는 본 실험에 사용된 단순화된 축소 전체

환기 모형실의 구성도를 나타낸다. Fig. 2와 같이 모형은 가로 0.84m, 세로 0.68m, 높이 0.7m로서 직사각형의 사무 공간을 1/5로 축소하였다. 모형에서 급기구는 급기된 공기의 확산효과를 높이기 위해 Grid를 설치하였다. 환기효율을 계산하기 위한 추적가스로는 탄산가스(CO₂)를 이용하였으며 시간에 따른 추적가스의 농도 측정에는 비분산 적외선분석기를 사용하였다. 본 측정기의 원리는 이산화탄소의 적외선 흡수를 이용하여 시료중에 포함되는 이산화탄소의 농도를 비분산형 적외선 분석계로 측정하는 것이다. 측정범위는 0~5000ppm이며 측정 정밀도는 ± 5%로 정밀 측정에 적합하다.

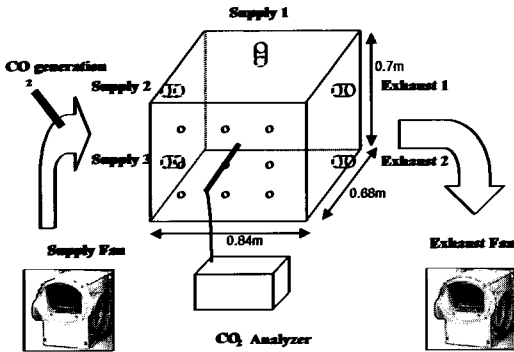


Fig. 2 Schematic diagram of a model chamber for measuring the ventilation effectiveness.

Table 1 Conditions for the ventilation experiment

Symbol	Meaning
Type1	mechanical inlet and extract
Type2	mechanical inlet and natural extract
Type3	natural inlet and mechanical extract
Case1	upper supply upper extract
Case2	upper supply down extract
Case3	down supply upper extract
Case4	down supply down extract
Case5	ceiling supply upper extract
Case6	ceiling supply down extract
6ACH	6 #/hr
8ACH	8 #/hr
10ACH	10 #/hr

3.2 실험방법

실험은 환기방식(1종 환기방식, 2종 환기방식, 3종 환기방식), 급/배기구 위치에 따라 실시되었으며 배기구에서 시간에 따른 추적가스의 농도변화를 측정하였다. 환기횟수는 실내에 공급되는 공기가 1시간 동안 교체되는 횟수를 말하며 환기횟수는 용도에 따라 시간당 학교건물 6회, 사무실 6회에서 10회, 및 공조방식에 따라 전공기 방식의 중앙공조가 9회에서 10회인 점을 고려하여 6회/h, 8회/h, 10회/h에 대하여 실험 하였다. Table 1은 각각의 방식에 따라 사용된 환기조건을 나타낸다. 환기효율의 측정간격은 20초, 측정시간은 30분으로 하였다.

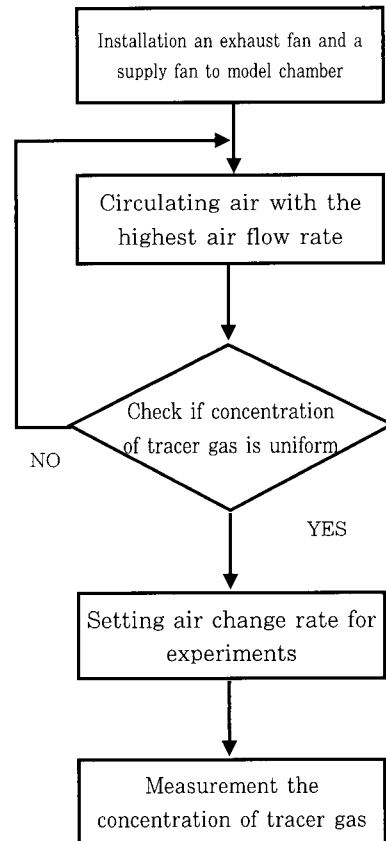


Fig. 3 Flow chart for experiment.

실험방법은 Fig. 3과 같이 급기 및 배기팬을 연결하여 모형실내의 공기를 주입되는 추적가스와 고르게 혼합될 수 있도록 모형실내에 급, 배기장치를

폐회로로 최대 유량으로 공회전 작동시켜 모형실내 공기와 균질하게 혼합한 후 실험조건에 맞는 환기 횟수에서 추적가스 농도를 측정한다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 환기횟수 변화에 따른 환기효율

Fig. 4는 환기횟수 증가에 따른 추적가스의 농도감소를 나타낸다. 추적가스 농도는 시간에 대해 지수 함수적으로 감소하며 환기횟수가 10회로 증가할수록 빨리 감소함을 알 수 있다. 이는 환기횟수가 증가할수록 환기량이 증가하여 실내의 유속이 빨라지기 때문이다.

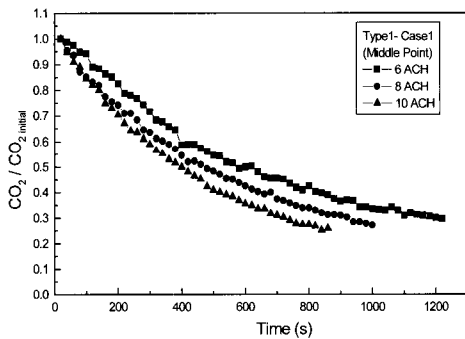
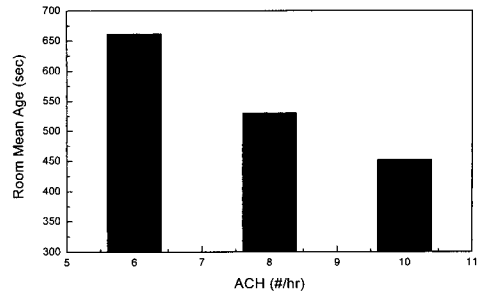


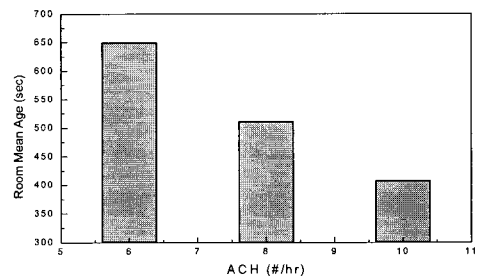
Fig. 4 Concentration variation of a tracer gas in the combination of Type 1 and Case 1 as a function of air exchange rate (6, 8, 10 ACH)

Fig. 5는 환기량 증가에 따른 실 평균 공기령을 환기방식별로 비교한 그림으로 상부급기/상부배기 (Case1)일 경우 실 평균 공기령을 나타낸다. 실 평균 공기령은 실내 전 공간에 대한 각 점에서의 공기의 평균 연령의 평균으로 실 전체의 환기효율을 나타내는 지표로서 이용할 수 있으며 숫자가 작을수록 공기가 실내에 체류하는 시간이 짧아서 효과적으로 오염된 공기가 배출되고 있는 것을 나타낸다.

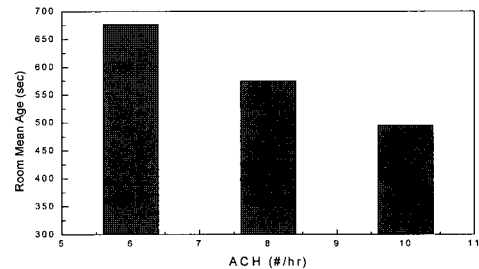
환기횟수가 증가할수록 실평균 공기령은 짧아지는 것을 나타내며 이와 같은 경향은 1종, 2종, 3종의 모든 환기방식에서 나타난다. 특히 2종 환기방식의 경우 6회, 8회, 10회의 모든 환기횟수에서 1종, 3종 환기방식에 비해 짧은 실 평균 공기령을 가진다.



(a) Type 1



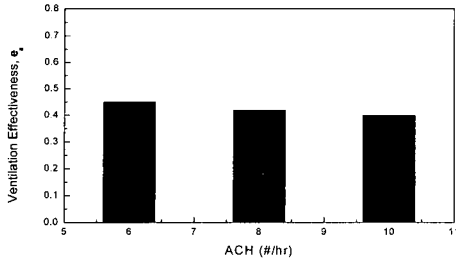
(b) Type 2



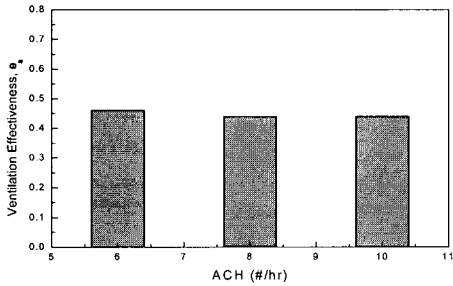
(c) Type 3

Fig. 5 Room mean age with different air exchange rate in Case 1.

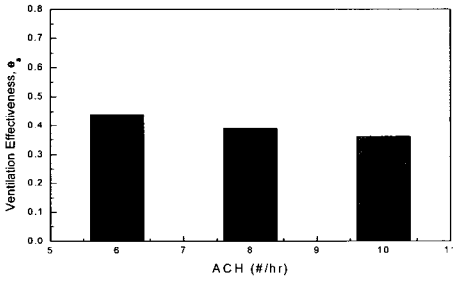
Fig. 6은 환기횟수에 따른 환기효율을 나타낸 것으로 환기횟수가 증가할수록 환기효율은 감소하는데, 6회 대비 10회의 환기회수에서 3종 환기방식은 효율이 18% 감소하였고, 1종은 11%, 2종은 4.3%의 감소를 나타냈다. 즉 환기횟수가 증가할수록 제어환기횟수를 따르지 못하는 것을 나타낸다. 이는 실내의 유속이 빨라질수록 전체적으로 혼합 (Mixing)이 되지 못하며 국부적인 단락 (Short Circuiting) 현상이 생기는 것을 의미한다.



(a) Type 1



(b) Type 2

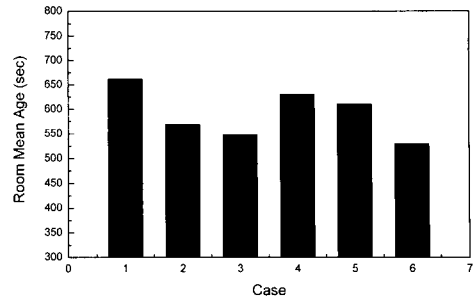


(c) Type 3

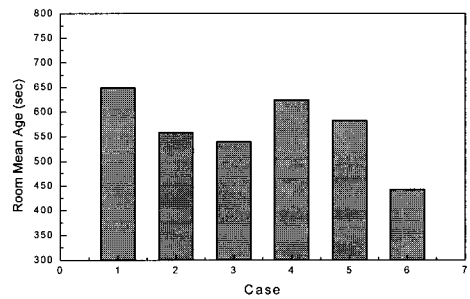
Fig. 6 Ventilation effectiveness with different air exchange rates in Case 1.

4.2 급/배기구 위치별 환기효율

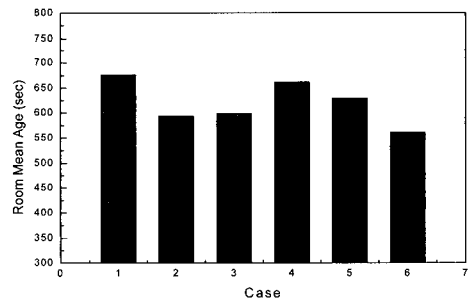
Fig. 7은 6가지 급/배기구 위치별 실 평균 공기령을 나타낸다. Case별로 실 평균 공기령을 비교한 결과 Case 1과 Case 4, Case 5에 비해 Case 2와 Case 3 그리고 Case 6에서 실 평균 공기령이 짧은 것을 알 수 있다. 1층 환기방식에서 환기횟수 6회의 경우 Case 2와 Case 3에서 Case 1과 Case 4에 비해 실 평균 공기령이 100초 정도 짧아졌다. Fig. 8은 급/배기구 위치에 따른 환기효율을 나타낸다. 그림에서와 같이 환기효율 역시 Case 2, Case 3 그리고 Case 6에서 높았다.



(a) Type 1



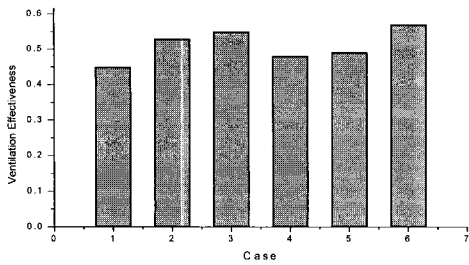
(b) Type 2



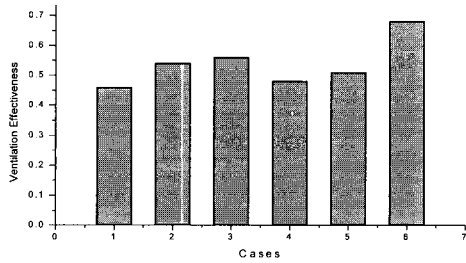
(c) Type 3

Fig. 7 Room mean age with different cases in 6 ACH.

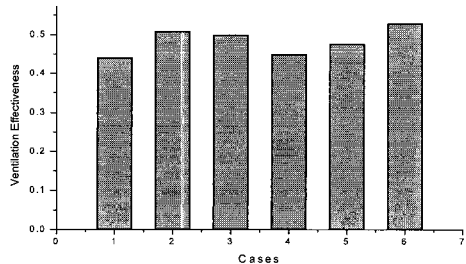
급/배기구 위치에 따른 실평균공기령과 환기효율의 차이는 실내 유동형상에서 그 원인을 찾을 수 있다. 실내공간에서 생길 수 있는 공기유동형상은 혼합유동(Mixing), 단락(Short Circuiting), 변위(Displacement), 일방향 유동(Piston) 등 4종류로 구분할 수 있다. 혼합유동(Mixing)은 내부로 유입된 공기가 서로 잘 섞여 전체적으로 혼합된 후 배출되는 유동으로 본 연구에서는 Case 1,



(a) Type 1



(b) Type 2



(c) Type 3

Fig. 8 Ventilation effectiveness with different cases in 6 ACH.

Case 2, Case 4, Case 5, Case 6의 경우 비교적 혼합유동에 가까운 유동으로 볼 수 있다. 혼합유동의 경우에 급기구와 배기구의 위치에 따라 유동의 주 흐름과 연결이 되지 않는 흐름이 생기는 경우가 발생하는데 이 때의 유동을 단락유동(Short Circuiting)이라고 하며 Case 1과 Case 4의 경우 이러한 단락유동의 형태를 가지며 실험결과 환기효율이 50% 미만으로 나타났다. 변위 유동은 주로 급기구가 공간의 하부에 위치하며 상부로 배기되는 형태를 가질 때 나타나는데 본 연구에서는 Case 3이 변위유동의 형태를 가진다. 변위유동은 급기구와 배기구의 형상 및 위치에 따라 50%

이상의 효율을 가진다. 2종 환기방식과 3종 환기방식에서도 이와 같은 경향을 볼 수 있는데 1종과 2종 환기방식에 비해 3종 환기방식의 경우는 급배기구 위치변화에 따른 영향이 적게 나타났다.

5. 결 론

단순화된 전체환기 모형실을 이용하여 1종, 2종, 3종 환기방식에 따른 환기효율을 분석하였으며 주요 연구 결과는 다음과 같다.

1. 추적가스의 농도는 시간 변동에 대해 지수 함수적으로 감소하며 환기횟수가 시간당 6회, 8회, 10회로 증가할수록 감소되는 속도가 크다.
2. 환기횟수가 증가할수록 환기효율은 감소하는데 이는 환기횟수가 증가할수록 제어환기횟수를 따르지 못한다는 것을 의미한다.
3. 급/배기구 위치에 따른 실 평균 공기령과 환기효율의 차이는 실내 유동형상에서 그 원인을 찾을 수 있다. 상부급기 상부배기, 하부급기 하부배기의 경우보다 상부급기 하부배기와 같이 급기된 공기가 실 전체를 가로질러 통과하는 경우 환기효율은 향상된다.
4. 급/배기구 위치와 환기량에 따라 환기방식별 환기효율을 분석한 결과 2종 환기방식, 1종 환기방식, 3종 환기방식의 순으로 환기효율이 높았다.

참고문헌

- [1] Etheridge, D. And Sandberg, M., "Building Ventilation Theory and Measurement", JOHN WILEY & SONS, Ch. 6, pp. 241-280, 1996.
- [2] Godish, T. "Indoor Air Pollution Control", LEWIS PUBLISHERS, 1989.
- [3] 강태욱, "실내 쾌적성향상을 위한 환기성능 분석과 룸 에어컨의 환기공조 부하 분석", 부산대학교 박사학위 논문, 2002.
- [4] 이정주, "전체환기 모형실을 이용한 실내 공기질 평가에 관한 연구", 서울시립대학교 박사학위논문, 1994.

- [5] 한화택, 환기효율의 정의에 관하여”, 공기조화 냉동공학 제 28권 제 1호, pp. 39-45, 1999.
- [6] Sandberg, M., “What is Ventilation Efficiency?” Building and Environment, Vol 16 No. 2, pp. 123-135, 1981.
- [7] Sandberg, M. and Sjoberg, M., “The use of moments for assessing air quality in ventilated rooms”, Building and Environment, Vol. 18, pp. 181-197, 1983.
- [8] Farant, J. P., Mckinnon, D. L. and Mckenna, T. A., “Tracer Gases as a Ventilation Tool: Methods and Instrumentation”, Ventilation '85, Proceedings of the International Symposium on Ventilation for Contaminant Control, October 1-3, 1985, Toronto, Canada pp. 263-274, 1986.

저 자 소 개



강태욱 (姜太郁)

1988년 부산대학교 기계설계공학과 졸업, 1997년 부경대학교 대학원 냉동공학과 졸업, 2002년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사), LG전자 에어컨 연구소 책임연구원, 공기조화 관련 신기술 개발 및 상용화 공로로 국무총리 표창(2003) 및 과기부 장관상(1995) 수상