

## 모형실과 실공간에서의 환기성능에 관한 실험적 연구

윤석구\* · 구재현\* · 현옥천\* · 한정균\* · 이재근\*\*  
조민철\*\*\* · 강태욱\*\*\* · 이감규\*\*\*

### An Experimental Study on the Ventilation performance in a Test Chamber and Office Room

Suk-Goo Yoon, Jae-Hyun Ku, Ok-Chun yun, Jung-Gun Han, Jae-Keum Lee,  
Min-Chul Cho, Tae-Wook Kang, and Kam-Gyu Lee

**Key Words:** 환기성능, 급/배기구 위치, 자연감쇠, 추적가스, 급기량

#### Abstract

This research is to analyze the ventilation performance of mechanical ventilation systems for indoor air quality control and management. A ventilation performance with supply sites is evaluated in a test model chamber and office room. A CO<sub>2</sub> gas as a tracer gas is used to measure the ventilation performance. The ventilation performance is found to increase with increased the ventilation rate. The ventilation performance is analysed with 55% at the supply air of 570 lpm and with 20% at the supply air of 100 lpm in a test chamber. The ventilation performance is better than 15% comparing with natural decay at the supply of 570 lpm in office room.

#### 1. 서 론

산업의 발전과 더불어 대기오염이 심각해지고 더불어 실내 공기 오염의 문제가 심각하게 대두되고 있다. 특히 실내에서 생활하는 시간이 길어지고 각종 사무자동화로 인한 실내오염원의 다양화, 에너지 절약을 위한 건물의 기밀화 등에 의해 실내공기의 중요성은 더욱 증가하고 있다. 실내공기 오염물질의 증가요인은 실외 오염물질의 유입과 실내에서 발생하는 연소가스(CO, NO<sub>2</sub>), 담배연기, 미생물성 물질(microorganism),

휘발성 유기화합물(VOCs), 기타(악취, 소음, 전리 방사선, 비전리방사선)등이 있으며, 저하 요인으로는 신선 외기의 공급과 순환풍량, 공기정화설비를 들 수 있다. 이러한 실내 오염물질은 거주자의 쾌적도 저하 및 건강질환에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다.

따라서, 실내공기오염에 대한 제어방안으로 실내공기오염의 발생원을 제거 또는 대체, 개선, 환기, 공기청정기 등에 의한 공기청정 등이 제안되고 있다. 환기는 실내공기 오염 제어방법 중 가장 중요한 사항으로 미국에서는 건물내 환기시설이 총 에너지 소비의 50~60%를 차지하는 것으로 나타났다. 특히 학교, 병원, 실험실, 일반 주택은 건물 특성에 알맞는 환기 장치가 요구된다.

\* 부산대학교 대학원 기계공학과

\*\* 부산대학교 기계공학부

\*\*\* LG전자

본 연구는 쾌적한 공기질을 유지하기 위한 환기 성능에 관한 연구로 각 공간에서의 환기 방식별 환기 특성 분석을 목적으로 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 소형모형실

그림. 1은 본 연구에 사용된 단순화된 전체 환기 모형실의 구성도이다. 그림에서 보는 바와 같이 모형실은 가로 0.84 m, 세로 0.68 m, 높이 0.7 m의 아크릴로 제작하여 직사각형의 거주공간을 모형화 하였다. 급기구와 배기구는 직경 40 mm의 원형으로 제작되었다. 모형에서 급기구는 천장, 측면 상단, 측면 하단에, 배기구는 반대편 측면 상단, 측면 하단에 설치하였고 급기구에는 급기된 공기의 확산효과를 높이기 위해 Grid를 설치하였다.

### 2.2 환경공조챔버

본 연구에서 환기 성능을 측정하기 위한 항온항습실로서, 제어 온·습도 범위는 10~45°C, 10~90% RH이며, 완전밀폐와 단열되어있다. 항온항습실의 규모는 3.0×4.0×3.0 m<sup>3</sup>이고 실제 공간 체적은 35 m<sup>3</sup>이다.

### 2.3 실공간

본 연구에서는 실공간에서의 환기 성능을 평가하기 위하여 5.8×3.4×2.6 m<sup>3</sup> 규모(6평)의 부산대학교 기계기술연구소 210호에서 실공간 실험을 수행하였다.

### 2.4 환기 성능 평가 방법

실내의 환기 성능을 평가하기 위하여 추적가스를 이용한 ASTM Standard E741-83의 체강법(Step-down)을 사용하였다. 체강법은 실내 전체의 추적가스의 농도를 일정하게 한 후 추적가스의 주입을 멈추고 환기장치를 작동시켜 시간에

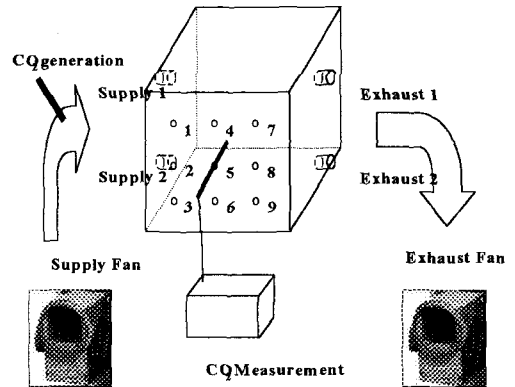


Fig. 1 Schematic diagram of a model chamber for measuring the ventilation performance

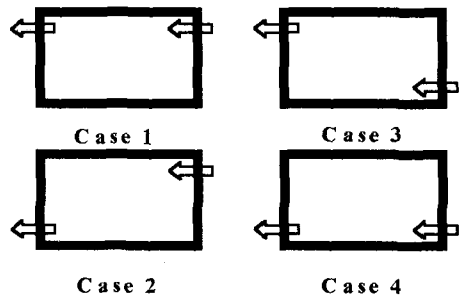


Fig. 2 Supply and extract conditions of model chamber

따른 농도감소를 측정하는 방법이다.

본 연구에 사용된 실험방법은 아래와 같다.

첫째, 급기 및 배기팬을 연결하여 실내의 공기를 순환시킨다. 둘째, 추적가스를 실내에 주입하고 공기와 고르게 혼합될 수 있도록 한다. 이때 측정기를 이용하여 공간적으로 균질한 상태가 확인 될 때까지 운전시킨다. 셋째, 실험조건에 맞는 환기횟수로 설정하고 환기장치를 가동한다. 넷째, 일정시간 간격으로 추적가스 농도를 측정한다.

환기 성능 평가를 위해 사용된 추적가스는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 사용하였다. 이산화탄소는 NO, SF<sub>6</sub>, 프레온 등과 같이 많이 사용되고 있는 추적가스로서 체강법(Step-down)에 의한 환기 성능 평가에 많이 사용되며 대기 중에서 300~500 ppm 정도의 농도를 가진다.

모형실에서의 환기성능 실험방법으로서 환기방식으로는 Type 1(강제급기, 강제배기), Type 2(강제급기, 자연배기), Type 3(자연급기, 강제배기)이며 급·배기위치로서는 상부급기/상부배기(Case 1), 상부급기/하부배기(Case 2), 하부급기/상부배기(Case 3), 하부급기/하부배기(Case 4) 등 4 Case를 설정하였다. 환기횟수는 실제로 많이 적용되고 있는 4회/hr, 6회/hr, 8회/hr로 실시하였다. 그림. 2는 모형실의 급/배기 위치에 대한 개략도이다.

환경공조 챔버와 실공간에서는 실제적인 주택의 모델로 가정하여 실험을 실시하였다. 환기는 Type 2인 강제급기, 자연배기로 하였고 급기유량은 50, 100, 150, 250, 380, 450, 570 lpm으로 하여 시간에 따른 추적가스의 농도감소율을 측정하였다.

시간에 따른 추적가스의 농도 측정에는 비분산 적외선 분석기인 실내오염 종합 측정장치(CASELLA, ICS-500)를 사용하였으며 실내 기류 분석 및 온·습도, CO<sub>2</sub>를 동시에 측정할 수 있으며 환기 장치의 작동에 따른 실내 기류 변화와 이산화탄소의 농도변화를 실시간으로 측정하였다. 비분산 적외선 분석기의 원리는 이산화탄소의 적외선 흡수를 이용하여 시료 중에 포함되는 이산화탄소의 농도를 비분산형 적외선 분석제로 측정하는 것이다. 측정범위는 0~3000 ppm이며 정도는 10 ppm으로 정밀 측정에 적합하다.

### 3. 환기성능 분석

#### 3.1 모형실에서의 환기성능

환기에 있어서 실내 공기의 흐름은 중요하다. 급/배기구의 위치변화는 실내 공기흐름을 변화시켜 환기상태를 변화시킨다. 급기구와 배기구의 위치를 상부급기/상부배기(Case 1), 상부급기/하부배기(Case 2), 하부급기/상부배기(Case 3), 하부급기/하부배기(Case 4) 등으로 바꾸어가며 환기성능에 미치는 영향을 분석하였다.

강제급기, 강제배기 (Type 1), 강제급기, 자연배

기 (Type 2), 자연급기, 강제배기 (Type 3)에서 환기횟수가 4회/hr, 6회/hr, 8회/hr의 급/배기 위치별 환기성능을 비교한 결과를 보면 뚜렷한 차이를 보이지는 않지만 Case 1과 Case 4에 비해 Case 2와 Case 3에서 환기성능이 우수함을 알 수 있다.

그림. 3은 강제급기, 강제배기 (Type 1)에서 환기횟수 4회/hr와 급/배기 위치별 환기성능을 비교한 결과로 Case 1과 Case 4에 비해 Case 2와 Case 3에서 환기성능이 우수함을 나타내었다.

급/배기구 위치에 따른 환기성능의 차이는 실내 유동형상에서 그 원인을 찾을 수 있다. 급/배기구 위치별로 실내 공기유동을 살펴보면 Case 1과 Case 4가 모형실의 상부와 하부에 공기흐름이 상대적으로 집중되는데 비해 Case 2와 Case 3은 모형실을 가로지르는 유동임을 알 수 있다. 실내를 가로지르는 유동은 내부공기가 국부적으로 집중되는 영역이 적어 전체적으로 원활한 유동을 형성하여 환기성능이 좋아진다.

실내공간에서 생길 수 있는 공기유동형상은 혼합(Mixing), 단락(Short Circuiting), 변위(Displacement), 일방향유동(Piston)의 크게 4가지로 나눌 수 있다. 혼합 유동 (Mixing)은 내부로 유입된 공기가 서로 잘 섞이어 전체적으로 혼합된 후 배출되는 유동으로 이상적인 혼합유동의 경우 뛰어난 환기성능을 가진다. 본 연구에서는 Case 1, Case 2, Case 4의 경우 혼합유동으로 볼 수 있다. 혼합유동의 경우에 급기구와 배기구의 위치에 따라 유동의 주흐름과 연결이 되지 않는 흐름이 생기는 경우가 발생하는데 이때의 유동을 단락 유동 (Short Circuiting)이라고 하며 Case 1과 Case 4의 경우 이러한 단락유동의 형태를 가진다. 변위유동(Displacement)은 주로 급기위치가 실내공간의 하부에 위치하며 상부로 배기되는 형태를 가지는 데 본 연구에서는 Case 3이 변위 유동의 형태를 가진다. 변위유동의 경우 일반적으로 급기공기와 내부공기의 온도차를 많이 이용하며 공기유동은 혼합유동과는 달리 하부에서는 성층화에 의한 일방향 흐름이 발생하며 상부에서는 약간의 혼합유동이 발생한다.

Type 2 환기방식과 Type 3 환기방식에서도 이와 같은 경향을 볼 수 있는데 Type 1과

Type2 환기방식에 비해 Type3 환기방식의 경우는 급배기구 위치변화에 따른 영향이 적게 나타났다.

환기방식에 따른 환기성능의 차이는 환기방식별 공기흐름의 생성메카니즘 차이에 원인이 있다. Type 2 환기방식은 강제 급기, 자연배기 형식의 환기방식으로 실내를 양압으로 유지하는데, 이 경우에 내부 유동은 변위환기와 같이 고압의 급기구에서 저압의 배기구로 일방향 유동을 형성하여 보다 나은 환기성능을 나타낸다. 반면 Type 3 환기방식은 강제배기를 통해 실내를 음압으로 유지하여 자연급기를 일으키는 방식으로 급배기구의 위치변화에 민감하지 않으며 급배기를 조절하여 실내공기를 제어하는 Type 1과 내부 양압에 의해 유동이 발생하는 Type 2에 비하여 내부 유동도 원활하지 않아 환기성능도 낮다.

### 3.2 환경공조챔버내 환기성능 분석

그림. 4는 공간 체적이 35 m<sup>3</sup> 환경공조챔버 내에서 공조기를 교반시키면서 급기유량에 따른 환기성능을 분석한 결과로, 급기유량 50, 100, 150, 250, 380, 450, 570 lpm에 대하여 시간에 따른 추적가스(CO<sub>2</sub>)의 농도 감소를 측정결과이다. 환경공조챔버 내 온도 20 °C, 상대습도 45%에서 급기유량 급기유량 50, 100, 150, 250, 380, 450, 570 lpm에 의해 환기되는 경우 환기량을 환경공조챔버 체적으로 나눈 환기횟수로 계산하면 각각의 급기유량에 대해 0.11, 0.22, 0.35, 0.57, 0.86, 1.00, 1.30 ACH(Air Change per Hour)로 나타낼 수 있다. 급기유량이 증가하여 환기횟수가 증가할수록 환기성능이 증가하여 시간에 따라 추적가스 농도 감소율이 증가하였으며, 1시간 경과시 자연감쇠가 2%의 환기성능을 급기유량 50 lpm에서 13%, 100 lpm에서 20%, 150 lpm에서 23%, 250 lpm에서 32%, 380 lpm에서 41%, 450 lpm에서 45%, 570 lpm에서 55%의 환기성능을 나타냈다.

그림. 5는 환경공조챔버 내 온도 20 °C, 상대습도 45%에서 채실자 1인이 있을 경우 급기유량에

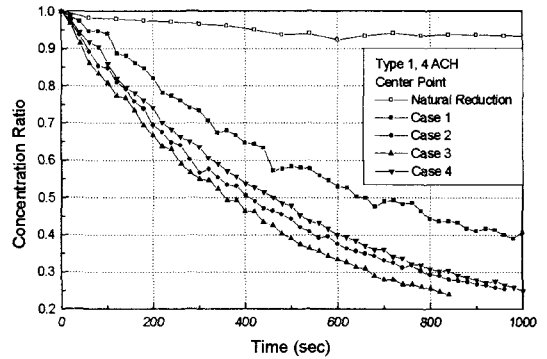


Fig. 3 Ventilation performance in the model chamber by supply air

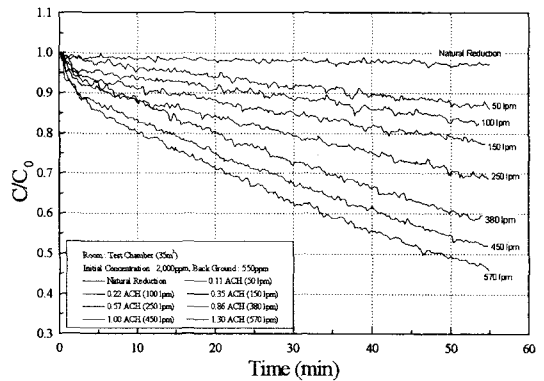


Fig. 4 Ventilation performance in the test chamber by supply air

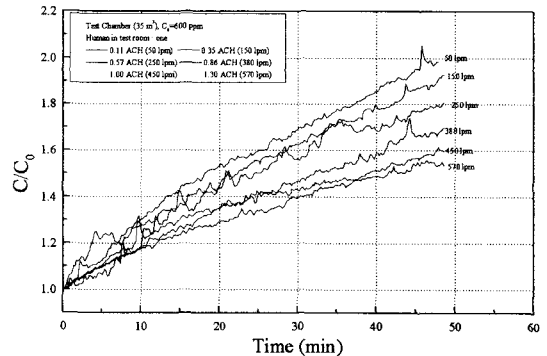


Fig. 5 Ventilation performance with a human in the test chamber

따른 환기성능을 분석한 결과로, 시간이 50분 경과시 환기량이 없을 경우와 비교하여 급기유량 50, 150, 250, 380, 450, 570 lpm에 대하여 시간에 따른 환기성능 특성이다. 환경공조챔버 내 재실자가 있을 경우 시간경과에 따라 재실자에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub> 농도가 증가하며, 초기농도 600 ppm, 환기량이 없는 조건하에서 시간 50분 경과시 재실자 1인에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub> 농도는 1,300 ppm이었으며, 재실자 2인일 경우 1,700 ppm으로 측정되었다. 환기량 570 lpm 조건하에서 재실자 1인이 있을 경우 시간 50분 경과시 CO<sub>2</sub> 농도가 1,050 ppm으로 환기량이 없을 때보다 250 ppm이 감소되었고, 재실자 2인일 경우 CO<sub>2</sub> 농도가 1,350 ppm으로 350 ppm이 감소되어 환기성능이 향상되었다. 결과적으로 재실자 1인보다 2인일 경우의 CO<sub>2</sub> 농도증가율이 25%정도 더 커지는 것으로 측정되었으며, 환기량 570 lpm으로 환기할 경우 환기량이 없을 때보다 약 20%의 환기성능 향상을 나타내었다.

시간경과에 따라 재실자 1인에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub>농도가 증가하며 급기유량에 따라 환기량이 없을 경우와 비교하여 환기량 570 lpm에서 약 25%의 환기성능을 보여주고 있다.

### 3.3 실공간 적용 환기성능 분석

6평형 실공간(온도 22 °C, 상대습도 50%)에서 실험공간이 아닌 실제공간내에서 환기성능을 평가하여 공간내 시간경과에 따른 추적가스(CO<sub>2</sub>)의 감쇠율을 측정하여 분석하였다.

그림. 6은 실공간(6평)에서 재실자(1인)에 따른 환기성능을 평가한 결과로, 초기농도 2,000 ppm에서 재실자 유무에 따라 자연감쇠 및 환기량 570 lpm에서 급기 및 배기 조건하의 CO<sub>2</sub> 농도 감소율을 측정하였다. 자연감쇠의 경우 40분의 시간경과시 재실자가 없는 경우가 있는 경우보다 CO<sub>2</sub> 농도는 10% 감소되었으며, 이는 실공간 내 재실자가 있을 경우 재실자에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub> 농도에 의해 자연환기의 효과가 작아진다는 것을 나타내고 있다. 환기량 570 lpm으로 급기 및 배기환기를 하였을 경우 환기성능에 큰 차이

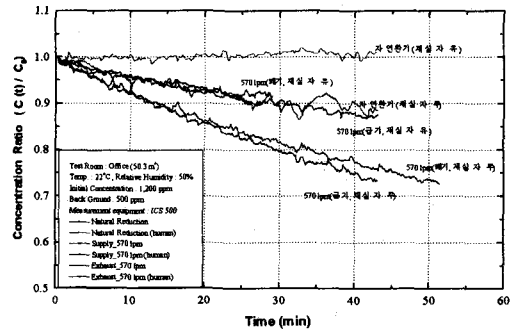


Fig. 6 Ventilation performance with a human in the office room

를 보이지 않았으며 환기성능이 자연감쇠와 비교하여 배기는 12%, 급기는 15% 크게 나타났다. 그리고 재실자가 있을 경우 재실자에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub> 농도에 의해 재실자가 없을 경우보다 환기성능이 12% 낮게 나타나는 것으로 분석되었다.

## 4. 결론

- (1) 모형실에서의 급/배기별 위치에 의한 환기성능은 Case 1과 Case 4에 비해 Case 2와 Case 3에서 좋은 결과를 보였다.
- (2) 환경공조챔버에서는 급기량 및 환기횟수가 증가할수록 환기성능이 증가하였으며, 급기유량이 50 lpm에서 13%, 100 lpm에서 20%, 150 lpm에서 23%, 250 lpm에서 32%, 380 lpm에서 41%, 450 lpm에서 45%, 그리고 570 lpm에서의 환기성능은 55%를 보였다.
- (3) 재실자가 1인 경우 50분 경과 후 CO<sub>2</sub> 오염농도는 1,300 lpm, 2인 경우 1,700 lpm이었고 환기량이 없을 경우와 비교하여 환기량 570 lpm에서는 25%의 환기성능을 보였다.
- (4) 추적가스를 이용한 실 공간에서의 환기성능을 실험적으로 분석한 결과, 환기량 증가에 따라 환기 성능이 향상됨을 파악하였으며 향후 실내

공조기의 향상에 기여하리라 기대된다.

## 후기

본 연구는 (주)LG전자의 지원을 받았으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

## 참고문헌

- (1) ANSI/ASHRAE Standard 113-1990, (1990), "Method of Testing for Room Air Diffusion", American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA 30329.
- (2) ASHRAE Standard 62-1989, (1989), "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA 30329.
- (3) ASHRAE Hand Book, (1997), "Fundamentals", American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA 30329.
- (4) Godish, T., (1990), "Indoor Air Pollution Control", Lewis Publishers
- (5) 조민철, (2000), "전체환기 모형실을 이용한 1/2/3종 환기방식별 환기특성에 관한 연구", 석사 학위논문, 부산대학교
- (6) 권영규, (1991), "사무소 건물의 실내공기오염에 관한 연구"