

## 급기유량에 따른 실내 CO<sub>2</sub>가스 제거특성에 관한 실험적 연구

구재현, 이재근\*, 사공성호, 백창선, 김의태, 권정우, 강태욱\*\*

한국소방검정공사, \*부산대학교 기계공학과, \*\*(주)LG전자\*\*

### A Experimental Study on the Removal Characteristics of Indoor CO<sub>2</sub> Gas with Supply Air

Jae-Hyun Ku, Jae-Keun Lee\*, Sung-Ho Sakong, Chang-Sun Baek, Ui-Tae Kim, Jung-Woo Kwon, Tae-Wook Kang\*\*

Korea Fire Equipment Inspection Corporation,

\*Dept. of Mechanical Engineering, Pusan National University, \*\*LG Electronics Inc.

#### 1. 서론

현대문명과 산업의 발전으로 인해 대기오염의 심각성과 실내 공기오염의 문제성이 중요하게 인식되고 있다. 최근 에너지 절약을 위하여 건물의 단열성능 및 기밀성능이 향상되고 있으며, 자연환기가 어렵게 되어 신선한 외기도입량의 감소에 의해 실내 공기질을 더욱 악화시키고 있다. 실제 환기를 적절하게 실시하지 않는 건물에서 재실자가 장시간 거주할 경우 불편감을 느끼고 두통, 코, 목의 이물감, 기침, 가려움증, 현기증이나 구토, 피로감 등의 증상을 일으키는 빌딩 증후군 (Sick Building Syndrome) 현상이 많이 발생하고 있다.<sup>1)</sup> 실내 공기오염에 대한 제어방안으로 실내공기오염 발생원의 제거와 대체, 환기, 공기청정기 등에 의한 공기청정기술 등이 제안되고 있다. 환기 (Ventilation)는 '실내외의 공기정화 등 명확한 환경개선을 목적으로 거주자가 의도적으로 실내외의 공기를 교체하는 행위'를 의미하며, 실내 공기오염 제어방법 중 가장 중요한 기술이다. 미국에서는 건물내 환기시설이 총 에너지 소비의 50~60%를 차지하는 것으로 나타났다. 룸 에어컨 (Room Air Conditioner) 가동시 실내 쾌적성을 위해 실내로 일정한 환기량을 도입하면 실내의 오염물질은 감소하여 환기성능이 증가하나, 냉방부하가 증가하여 공조성능이 감소한다.<sup>2,3)</sup> 따라서 최적의 환기량을 실내로 유입시켜 실내 공기질을 쾌적한 상태로 유지하는 것이 필요하다.<sup>2,3)</sup> 그러나 기존의 환기성능 해석에 대한 체계적인 연구가 부족한 실정으로서, 현재 해석방법들이 주로 실험에 의존하고 있는 실정이므로 이에 대한 정량적 해석이 필요하다.

본 연구는 실내 쾌적성 향상을 위하여 급기유량에 따른 실내 CO<sub>2</sub>가스 제거 특성에 관한 것으로, 룸 에어컨 운전시 급기환기량 및 재실자 조건에 따른 실내 CO<sub>2</sub>농도 감쇠특성을 실험적으로 분석하고자 한다. 따라서, 룸 에어컨 운전시 실내 쾌적성 향상을 위한 최적 환기조건을 제공함을 목적으로 수행하였다.

## 2. 권장 환기량

환기(Ventilation)란 깨끗한 외부공기를 실내에 도입하여 오염된 공기를 제거하는 과정을 지칭하며, 실내의 공기정화, 온열 환경조건의 개선, 산소의 공급, 수증기 제거 등 명확한 환경개선을 목적으로 거주자가 의도적으로 재실공간에 대하여 오염물질을 제거하고 희석하는 역할을 한다. 각 국가에서는 1인당 공급 되어야 할 외기량이 실내 용도마다 규정되어 있으며, 재실자의 쾌적성을 위한 최소한의 필요 환기량을 나타내고 있다.

미국 환기규격 ASHARE, 일본 환기규격 HASS102, 유럽 환기규격 EU에서는 각 공간별 필요한 권장 환기량을 규정하고 있다. 대표적으로 미국의 환기규격은 'ASHARE Standard 62'형식으로 정의하고 있으며, 재실자에 대한 유해성 영향을 고려하여 의도된 실내 공기 질과 최소한의 필요환기량을 나타내고 있으며, 흡연의 유해에 의해 차이가 있는 필요외기량의 적용방법, 허용농도의 타당성 등이 제시되어 있다.<sup>2,3)</sup> 이것은 허용 가능한 실내공기를 공급하기 위한 환기, 오염원의 관리, 공기정화의 역할과 함께 그에 요구되는 다양한 조건에 대한 정의와 최소의 필요 환기량을 결정하기 위한 방법 및 다양한 종류의 거주공간을 위한 환기시스템의 설계·운전·관리에 요구되는 조건을 정의하는 것을 목적으로 하고 있다. ASHARE Standard 62의 환기규격에서 주택의 경우 1인당 권장 환기량이  $7.5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{인})$ , 바닥면적당 권장환기량이  $0.25 \text{ l}/\text{s} \cdot \text{m}^2$ 으로 규정하고 있다. 일본의 환기규격 HASS102에서는 거실에서  $8.3 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{인})$ 으로 ASHRAE 환기 규격과 유사한 환기조건을 갖는다. 유럽은 개인 사무실이  $1.4 \text{ l}/\text{s} \cdot \text{m}^2$ , 교실이  $4.3 \text{ l}/\text{s} \cdot \text{m}^2$ 으로 규정되어 있다.

## 3. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 급기환기량에 따른 룸 에어컨 환기성능 분석을 위한 실험장치 개략도를 나타낸 것으로, 환경공조챔버, 룸 에어컨, 가습기, 전기히터, 급기팬, CO<sub>2</sub> 측정장치 등으로 구성된다. 환경공조챔버 내 룸 에어컨을 운전시키고 전기히터와 가습기에 의해 온습도가 조절된 공기를 팬에 의해 환경공조챔버 내로 급기시켜 환기량 및 재실자 수에 따른 환기성능을 측정하였다.

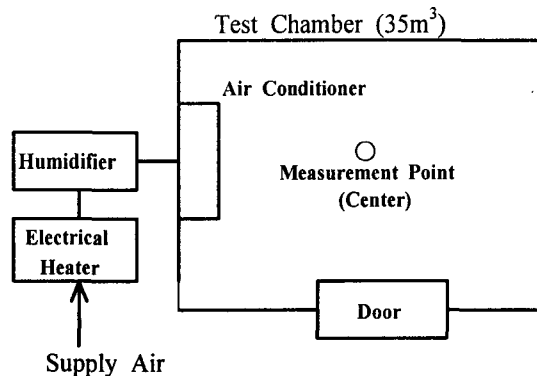


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus for the ventilation performance in the room.

체적공간 35m<sup>3</sup> 인 환경공조챔버(H&C 시스템, H&C-3W4YP5.5-22)는 이중벽 스테인레스 스틸 재질로 제작되었고 이중벽 내부에는 단열재가 충전되어 챔버벽 내부표면과 외부표면 온도를 측정된 결과 외부와 단열상태가 유지되는 것으로 분석되었다. 또한 환경공조챔버는 벽체나 문을 통한 열량 출입방지를 위하여 외부와 철저히 밀폐된 상태로 운전되도록 설계, 제작되었다. 제어 온습도범위는 각각 15~45℃, 10~90%RH이다.

Table 1은 룸 에어컨 환기성능 분석을 위한 실험조건을 나타낸 것으로, 룸 에어컨 (LG-065CS, 냉방능력 2,000kcal/h) 토출풍량 6,700lpm 운전조건에서 환경공조챔버에서 급기환기량 0~570lpm, 재실자 수 0~2인 조건에 따른 추적 가스의 농도변화를 분석하였다. 룸 에어컨에 의한 실내의 환기성능을 평가하기 위하여 추적가스를 이용한 ASTM Standard E741-83<sup>5)</sup>의 채강법 (Step-down)을 사용하였다. 채강법은 실내 전체의 추적가스의 농도를 일정하게 한 후 추적가스의 주입을 멈추고 환기장치를 작동시켜 시간에 따른 농도감소를 측정하는 방법이다.<sup>6,8)</sup> 추적가스 농도변화 분석을 위하여 우선, 급기 및 배기팬을 연결하여 실내의 공기를 순환시키고, 추적가스를 실내에 주입하여 공기와 고르게 혼합될 수 있도록 한다. 이때 측정기를 사용하여 공간적으로 균질한 상태가 확인될 때 까지 운전시킨다. 실험조건에 맞는 급기환기량을 설정하고 환기장치를 가동하며, 일정시간 간격으로 추적가스 농도를 측정하며 급기환기량 및 재실자 수변화에 대하여 시간에 따른 추적가스 농도를 분석한다. 환기 성능평가를 위해 사용된 추적가스는 CO<sub>2</sub>가스를 사용하였다. CO<sub>2</sub> 가스는 NO, SF<sub>6</sub>, 프레온 등과 같이 많이 사용되고 있는 추적가스로서 채강법에 의한 환기 성능평가에 많이 사용되며 대기중에서 350~600ppm 정도의 농도를 가진다.<sup>9)</sup> 환기성능 분석을 위하여 시간에 따른 추적가스 농도측정을 위하여 비분산 적외선 분석기 (CASELLA, ICS-500)를 사용하였으며 실내 기류분석 및 온습도, CO<sub>2</sub>를 실시간으로 동시에 측정할 수 있는 장치이다. 비분산 적외선 분석기의 원리는 이산화탄소의 적외선 흡수를 이용하여 시료 중에 포함되는 이산화탄소 농도를 비분산형 적외선분석계로 측정하는 것이다. 측정범위는 0~3000ppm이며 정도는 10ppm으로 정밀측정에 적합하다. 또한 이산화탄소 측정값의 신뢰성 확보를 위하여 CO/CO<sub>2</sub> 측정장치 (Kanomax, CMCD-10P)를 사용하였으며 측정범위가 0~5000ppm이며 정밀도는 ±5 %이다. 두 가지의 측정 장치에 의한 실험결과는 서로 유사한 결과를 보였다.

**Table 1.** Experimental conditions for the ventilation performance

Parameters	Specifications
Test room	- Size : 35m <sup>3</sup> - Control Temperature : 15~45 °C - Control Humidity : 10~90% RH - Fully Closed
Ventilation Type	- Supply air in a test room
Ventilation Rate	- 0~570lpm (0~0.98 hr/#)
Occupants	- 0~2
Tracer gas	- CO <sub>2</sub>
Room air conditioner	- Air Flow Rate : 6,700lpm
CO <sub>2</sub> Gas monitor	- CASELLA ICS-500, Kanomax CMCD-10P

#### 4. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 체적 35m<sup>3</sup> 환경공조챔버 내 룸 에어컨 토출풍량 6,700lpm의 운전 조건하에서 급기유량에 따른 환기성능을 분석한 결과로, 급기유량 50, 100, 150, 250, 380, 450, 570lpm에 대하여 시간에 따른 CO<sub>2</sub>농도감소를 측정결과이다. 환경공조챔버 내 온도 20℃, 상대습도 45%에서 급기유량 50, 100, 150, 250, 380, 450, 570lpm에 의해 환기되는 경우, 환기량을 환경공조챔버 체적으로 나눈환기횟수로 계산하면 각각의 급기유량에 대해 0.09, 0.17, 0.26, 0.43, 0.65, 0.77, 0.98ACH(Air Change per Hour)로 나타낼 수 있다. 급기유량이 증가하여 환기횟수가 증가할수록 환기성능이 증가하여 시간에 따라 추적가스 농도감소율이 증가하였다. 1시간 경과시 자연감쇠가 2%의 환기성능을 보였으며, 급기유량 50lpm에서 13%, 100 lpm에서 20%, 150lpm에서 23%, 250lpm에서 32%, 380lpm에서 41%, 450lpm에서 45%, 570lpm에서 55%의 환기성능을 나타냈다.

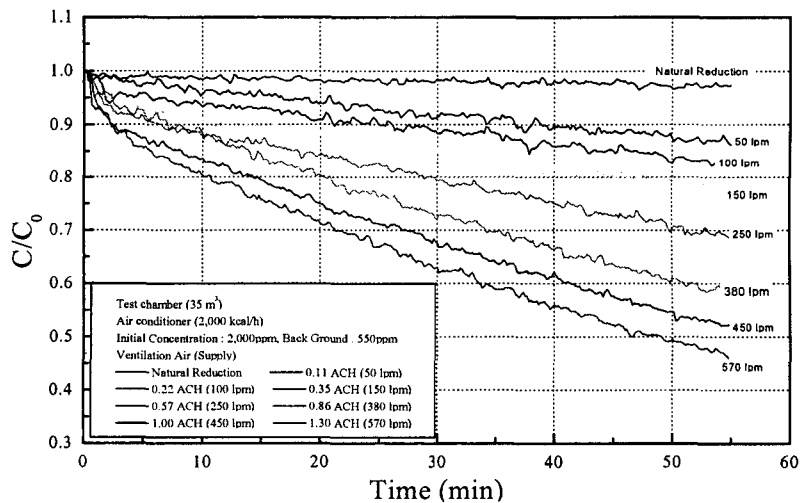


Fig. 2. Test results of ventilation performance as a function of supply ventilation air.

Fig. 3은 체적 35m<sup>3</sup>의 환경공조챔버 내 온도 20℃, 상대습도 45%, 룸 에어컨 토출풍량 6,700lpm의 운전조건하에서 재실자 1인이 있을 경우 급기유량에 따른 환기성능을 분석한 결과로, 시간이 50분 경과시 환기량이 없을 경우와 비교하여 급기유량 50, 150, 250, 380, 450, 570lpm에 대하여 시간에 따른 환기 성능특성이다. 시간경과에 따라 재실자에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub>농도가 증가하며 급기유량에 따라 환기량이 없을 경우와 비교하여 환기량 570lpm에서 약 25%의 환기성능을 보여주고 있다.

Fig. 4는 체적 35m<sup>3</sup>의 환경공조챔버 내 온도 20℃, 상대습도 45%에서 룸 에어컨 토출풍량 6,700lpm의 운전조건하에서 재실자수에 따른 환기성능 평가결과, 재실자 1인 및 2인에 대하여 환기량 570lpm 및 환기량이 없는 2가지 운전조건하의 환기성능을 평가하였다. 재실자가 있을 경우 시간경과에 따라 재실자에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub> 농도로 인하여 CO<sub>2</sub> 측

정농도는 증가하였다. 초기농도 550ppm, 환기량이 없는 조건하에서 시간 50분 경과시 재실자 1인에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub> 농도는 1,300ppm, 재실자 2인일 경우 1,700ppm으로 측정되었다. 환기량 570lpm 조건하에서 재실자 1인이 있을 경우 시간 50분 경과시 CO<sub>2</sub> 농도가 1,050ppm으로 환기량이 없을 때보다 250ppm이 감소되었고, 재실자 2인일 경우 CO<sub>2</sub> 농도가 1,350ppm으로 350ppm이 감소되어 환기성능이 향상되었다. 결과적으로 재실자 1인보다 2인일 경우의 CO<sub>2</sub> 농도증가율이 25%정도 더 커지는 것으로 측정되었으며, 환기량 570lpm으로 환기할 경우 환기량이 없을 때보다 약 25%의 환기성능 향상을 나타내었다.

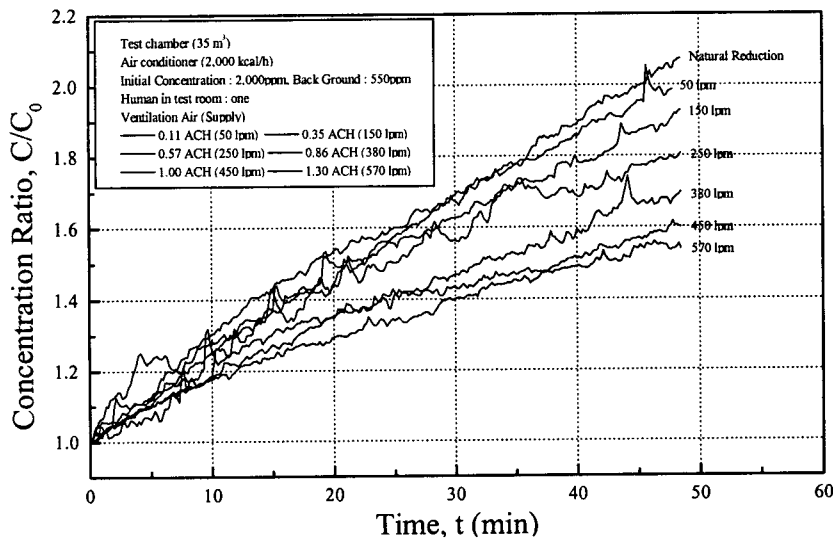


Fig. 3. Test results of ventilation performance as a function of supply ventilation air for one person.

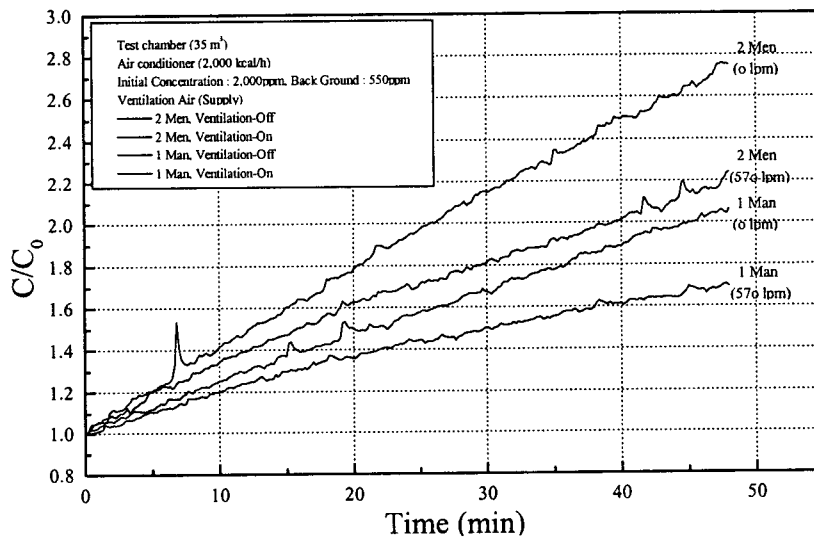


Fig. 4. Test results of ventilation performance as a function of human occupancy.

Table 2는 환경공조챔버 (35m<sup>3</sup>) 내 재실자 유무조건에서 급기유량에 따른 CO<sub>2</sub>농도 제거 특성 결과를 분석한 것으로, 급기유량이 없는 자연감쇠 조건에서 재실자 1인이 있을 경우 1 시간 경과후에 CO<sub>2</sub>농도가 1,265ppm로 분석되었다. ASHRAE Standard에서는 실내 쾌적성을 위하여 CO<sub>2</sub>가스 농도가 1,000ppm이하의 조건을 권장하고 있으므로, 본 연구에서 급기환기량이 450lpm이상일 경우 1시간 경과후 오염농도양이 990ppm이하로 감소하므로 실내 쾌적성을 위하여 급기환기량 450lpm이상이 필요함을 평가할 수 있다.

**Table 2.** Comparison of ventilation performance with supply air of no man and one man in a test chamber

Supply air (lpm)	Measurement concentration (ppm)	
	for no man	for one man
Natural reduction	534	1,265
50	484	1,210
150	413	1,155
250	358	1,100
380	303	1,045
450	264	990
570	220	935

## 5. 결론

본 연구에서는 환경공조챔버 (35m<sup>3</sup>) 내 룸 에어컨 운전조건에서 급기유량 및 재실자에 따른 CO<sub>2</sub>가스농도를 실험적으로 측정하고 실내 쾌적도 향상을 위한 환기 성능특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 환경공조챔버 (35m<sup>3</sup>) 내 룸 에어컨 토출풍량 6,700lpm의 운전조건에서 CO<sub>2</sub>가스를 이용하여 급기환기량 0~570lpm에 따른 환기성능 평가결과, 초기 농도 2,000ppm 조건에서 환기량 증가에 따라 오염농도가 감소되었으며 환기량 570lpm의 경우 환기성능이 55%까지 향상하는 것으로 분석하였다.

(2) 급기환기량 변화에 대해 재실자에 따른 환기성능을 분석한 결과, 시간경과에 따라 재실자에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub> 농도가 증가하고 급기유량 증가에 따라 CO<sub>2</sub> 농도가 감소하였으며, 재실자 1인 경우 환기량이 없을 경우와 비교하여 환기량 570lpm에서 약 25%의 환기성능이 증가하였다.

(3) 환경공조챔버 (35m<sup>3</sup>) 내에서 재실자가 없을 경우 급기환기량 450lpm에서 1시간 경과후 CO<sub>2</sub> 초기농도의 50%가 제거되어 실내 쾌적도가 향상되었으며, 재실자 1인이 있는 경우 CO<sub>2</sub> 초기농도보다 2배 증가하므로 향후 급기환기량, 재실자 수, 설치공간 등을 고려한 실내 환기조건이 설계되어야 함을 알 수 있다.

## 참고문헌

1. Etheridge, D. and Sandberg, M., 1996, "Building Ventilation Theory and Measurement", Johnwiley & Sons.
2. ASHRAE Standard 62-1989, 1989, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality., American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, Ga.
3. ASHRAE, 1997, ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta, U. S. A.
4. Cheng, Y. S., 1998, Efficiency of a Portable Indoor Air Cleaner in Removing Pollens and Fungal Spores, Aerosol Science and Technology, Vol. 29, pp. 92-101.
5. ASTM Standard 741-83, "Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution."
6. Lee, J. K., Kang, T. W., Lee, K. G., Cho, M. C., Shin, J. H., Kim, S. C., Koo, J. H. and Lee, J. H., 2000, An Experimental Study of Ventilation Effectiveness in Mechanical Ventilation Systems using a Tracer Gas Method, KSME International Journal, Vol. 14, No. 11, pp. 1286-1295.
7. Cho, M. C., Jung, J. H., Koo, J. H., Lee, J. K., Kang, T. W., Seo, Y. I., Lee, K. G., 1999, A Study of Ventilation Effectiveness with Three Type Mechanical Ventilation Systems Using Tracer Gas, Proceeding of the SAREK '99 Winter Annual Conference (II), pp. 328-332.
8. Han, H. T., 1999, On the definition of ventilaton effectiveness, Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 28, No. 1, pp. 39-45.
9. Bearg, D. W., 1993, Indoor Air Quality and HVAC System, LEWIS PUBLISHERS.