

# 환기상태 분석에 따른 급·배기구 위치 평가

문용준\*, 김혁순\*\*, 콧명근\*\*, 오명도\*†

\*서울시립대학교 산업기술연구소, \*\*서울시립대학교 기계정보공학과 대학원, †서울시립대학교 기계정보공학과

## Evaluation of the location of the Outlets according to the Analysis of Ventilation conditions

Yong-Jun Moon\*, Hyouk-Soon Kim\*\*, Myong-Keun Kwak\*\*, Myung-Do Oh\*†

*\*Institute of Industrial Technology, University of Seoul, Seoul 130-473, Korea*

*\*\*Graduate school of Mechanical and Information Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea*

*†Department of Mechanical and Information Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea*

**ABSTRACT** : The purpose of this study is to evaluate the location of the outlets in the mechanical ventilation system installed in apartment. We performed the numerical analysis to estimate the ventilation effectiveness and the indoor CO<sub>2</sub> concentration considering the occupants and the condition with inlet and outlet in each room. From the numerical results, modified location of the outlets is about 10% high than designed one with respect to the ventilation effectiveness when the occupants are not considered. But designed location of inlet and outlet in living room and kitchen is better than modified one with respect to the reduction of CO<sub>2</sub> concentration in the living room and kitchen with occupants. In case of our model, Air change per hour (0.7) is not enough to sustain the acceptable criteria of CO<sub>2</sub> concentration (1000ppm) in the room with the occupants

**Key words** : CO<sub>2</sub> concentration(CO<sub>2</sub> 농도), Ventilation Effectiveness(환기효율), Location of the Outlets (급·배기구의 위치)

### 1. 서론

생활수준과 건강의식이 향상되면서 대부분의 시간을 실내에서 생활하는 현대인들은 보다 편안하고 쾌적한 실내 환경을 요구하게 되었으며, 이에 따라 재실자의 건강을 위협하는 실내 공기질 문제가 사회적으로 더욱 중요하게 부각되고 있다. 이러한 국민적 관심과 정부의 문제 인식을 통해 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”<sup>(1)</sup>이 시행되어 적절한 실내 공기질의 제도적 기준이 마련되고,

2006년 2월에는 “건축물의 설비 기준 등에 관한 규칙”<sup>(2)</sup>의 개정을 통해 신축 또는 리모델링하는 주택에서의 필요 환기량을 시간당 0.7회로 정하고 자연환기 또는 기계 환기설비 설치를 의무화하게 되었다. 하지만 불안정한 환기량과 국내 실정에 맞는 적절한 설계 및 장치의 부족으로 인해, 자연환기를 적용한 실내 공기질 개선에 어려움이 존재함에 따라 기계 환기시스템이 일반적으로 사용되고 있다.

기계 환기방식은 실내 환기와 공기질 제어를 위해 신선외기를 공급하여 오염물질을 희석, 제거하는 방법으로 급기구 및 배기구의 위치와 실내기류의 형태에 따라 실내의 환기상태가 달라진다. 따라서 최적화된 환기시스템의 개발을 위해서는 적절한 급·배기구의 위치를 평가하고 선정하는 연구가

† Corresponding author

Tel: +82-2-2210-2756; Fax: +82-2-2248-5575

E-mail address: mdoh@uos.ac.kr

필요하다. Kang<sup>(3)</sup>은 축소 환기 모형실에서 급·배기구 위치와 환기량을 변수로 환기방식에 따른 환기특성을 분석하였고, Hyun et al.<sup>(4)</sup>은 공동주택을 대상으로 네트워크 모델을 이용하여 급·배기구의 위치 및 개수가 오염물질 농도에 미치는 영향을 평형대별로 분석하였다. 그리고 Choi et al.<sup>(5)</sup>은 공동주택을 대상으로 급·배기구 위치를 조합하여 국소평균연령과 환기효율을 평가하는 수치적인 연구를 수행하였고, Park et al.<sup>(6)</sup>은 공동주택에서 각실 급배기와 각실 급기 및 부분배기를 실시하는 경우에 대해 환기효율과 건축물 자재에서 방출되는 가스를 대상으로 실내 오염농도분포를 평가하는 수치적인 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 각 실 급·배기가 실시되는 공동주택을 대상으로 환기량과 거주자의 재실특성을 고려한 이산화탄소 농도와 환기효율을 분석하여 급·배기구의 위치를 평가하는 연구를 수행하였다.

## 2. 평가지표

### 2.1 환기효율

급기구를 통하여 실내로 유입된 공기는 일반적으로 여러 가지 경로를 통해 실내 임의의 지점까지 도달하게 된다. 이 때 임의의 점까지 도달하는데 걸린 시간을 공기연령이라고 하며, 그 값의 평균값을 국소평균공기연령(Local mean age of air, LMA)라고 한다.

명목시간상수는 실내 체적을 환기량으로 나눈 값으로, 완전 혼합의 환기상태에서 실내 공기가 급기된 공기로 채워지는데 걸리는 시간을 의미하며 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\tau_n = V/Q \quad (1)$$

환기효율(Ventilation effectiveness)은 명목시간상수와 실전체로 평균한 국소평균공기연령의 비로 식 (2)와 같이 정의되며, 공기교환율이라고도 한다. 이 때 최대 환기효율을 나타내는 변위환기를 기준으로 100%의 효율로 나타내기 위해 2로 나누어 정의한 것이다.

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{\tau_n}{2\langle LMA \rangle} \quad (2)$$

### 2.2 이산화탄소 농도

이산화탄소는 대기 중에 약 400ppm(0.04%)이 함유되어 있으며 그 자체는 인간의 건강에 영향을 미치지 않으나, 이산화탄소가 증가하는 환기불량 상태에서는 온열조건의 악화나 타 오염인자의 증가를 나타내는 경우가 많아 실내의 환기상태를 평가하는 지표로 사용되고 있다.

실내에서의 허용기준은 1000ppm으로 적절한 실내 환기량을 확보하기 위해 건물의 환기횟수 또는 필요 환기량을 제시하는데 활용하고 있다.

## 3. 수치해석

### 3.1 해석모델

Fig. 1은 본 연구에서 선정한 해석공간인 28평형 국민보급형 주택으로 3개의 침실, 욕실, 거실과 주방으로 구성되어 있다. Fig. 1에서와 각 실의 코너

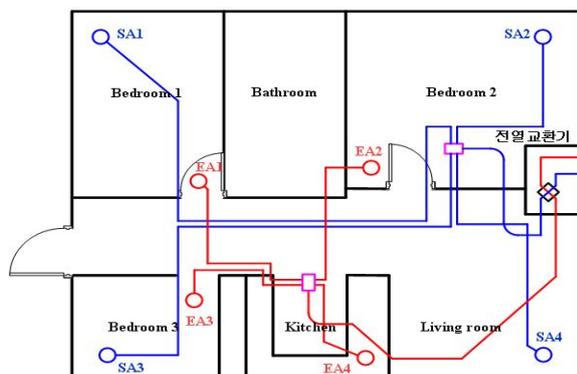


Fig.1 Schematic diagram for the analysis

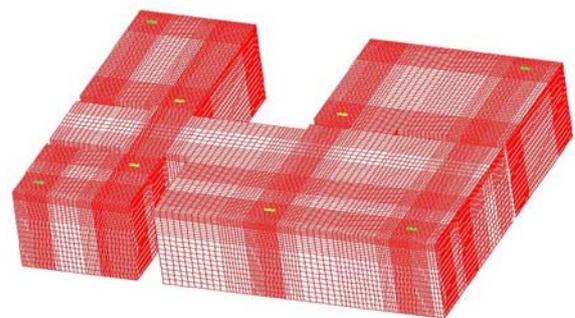


Fig. 2 3-D mesh structure for the numerical calculation

부위에 급기구가 있으며, 출구방향에는 배기구가 설계되어 있어 각 실 급·배기가 가능하다. 주방과 거실은 벽에 의한 구획이 없어 하나의 공간으로 간주하였고, 거실에는 하나의 급기구와 주방에는 배기를 위한 주방용 환기후드가 설계되어 있다.

급·배기구의 크기는 모두 동일하게 장방형으로 220(mm)x90(mm)로 선정하였고, 급기구가 설치되어 있지 않은 욕실은 연구대상에서 제외하였다. 그리고 실내에 환기 시스템이 작동하고 있으므로 외부와의 개구부는 모두 닫힌 상태로 간주하고, 외부로부터의 침기, 누기의 영향은 고려하지 않았다.

급·배기구의 위치에 따른 실내 CO<sub>2</sub> 농도와 환기 상태를 분석하기 위해 상용 CFD코드인 STAR-CD를 사용하였다. SIMPLE 알고리즘을 사용하여 정상상태의 농도장, 속도장을 해석하였고, 농도장은 실내 공기질과 국소평균연령, 환기효율을 분석하기 위해 CO<sub>2</sub>와 SF<sub>6</sub>를 대상으로 하였다.

Fig. 2는 대상공간에 대한 전체 모델로 출입문 개폐여부에 따라 각 실과 실전체를 구분함에 따라 약 150,000~420,000개의 비균일 격자가 사용되었다. 그리고 천장, 바닥, 벽면과 급·배기구 근처에 조밀한 격자가 되도록 구성하였다.

난류 계산은 실내 유동해석에서 많이 사용되는 표준  $k-\epsilon$  모델을 사용하였고, 운동량 및 연속방정식은 유수의 합이  $10^{-3}$  이하, 농도방정식은 유수의 합이  $10^{-7}$  이하인 경우를 수렴판정 조건으로 하였다.

### 3.2 해석 방법 및 조건

본 연구에서는 설계상에 적용된 급·배기구 구성을 고려하여 각 실 급배기를 통해 독립적인 환기

가 이루어지는 경우를 대상으로 하였다.

Fig. 3(a)은 설계상의 급·배기구 위치를 나타낸 것으로, 이를 기준위치로 선정하였다.(Type A). 그리고 Fig. 3(b)와 같이 각 실의 코너와 출구에 위치한 급·배기구를 중앙으로 배치하고, 주방의 배기구와 일렬로 배치된 거실의 급기구를 대각선 방향으로 이동시켜 기준위치와의 비교대상으로 선정하였다.(Type B)

본 연구의 해석공간인 공동주택은 28평형 세대로 총환기량과 각 실별 환기량이 각각 250CMH와 62.5CMH로 설계되어 있다. 이는 시간당 환기횟수 0.7회를 만족하지 않는 환기량이며, 각 실이 동일한 풍량으로 설정되어 있어 불균형한 공기분배가 예상된다. 따라서 제어변수로 환기량을 선정하여 설계 풍량을 적용한 경우를 Case 1로 하고, 총환기량 250CMH에 해당하는 환기횟수(1.8회/h)를 각 실에 동일하게 적용한 경우를 Case 2로 구분하여 비교하였다. 그리고 공동주택에 일반적으로 적용되는 시간당 환기회수인 0.7회와 설계상의 환기횟수 1.8회의 적절성을 검토하기 위해, 환기횟수를 각각 1.4회(Case 3), 1.0회(Case 4), 0.7회(Case 5), 0.4회(Case 6)로 변화시켜 급·배기구의 위치에 따른 환기효율과 CO<sub>2</sub> 농도의 변화를 분석하였다.

거주자의 재실 형태에 따른 환기상태는 모든 출입문이 닫힌 독립적인 상황으로 가정하였다. 거주자의 수는 4명(부모 2명, 자녀 2명)으로 설정하였고, 저녁시간과 개인시간으로 나누어 거주자의 재실 형태를 구분하였다. 저녁시간에는 재실인원 4명 모두가 거실에 위치하여 TV를 보는 것으로 가정하였고, 개인시간에는 부모는 안방(Bedroom 2)에, 자녀는 각 실에 위치하는 것으로 선정하였다. 재실

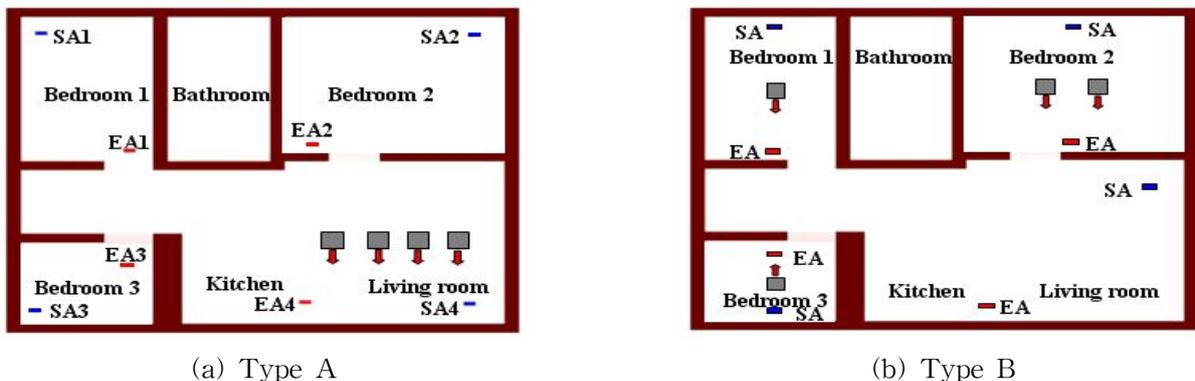


Fig. 3 The location of outlets and occupants

자의 위치는 착석상태를 가정하여 각 실의 중간에 있도록 선정하였다. 이 때 개인당 발생 CO<sub>2</sub> 농도는 0.018m<sup>3</sup>/h로 적용하였으며<sup>(7)</sup>, CO<sub>2</sub>의 발생위치는 재실자의 호흡선 높이인 1.1m로 하였다.

재실자가 없는 경우에는 출입문이 모두 개방된 상태에서의 국소평균연령과 환기효율을 분석하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 환기효율

#### 4.1.1 재실자가 없는 경우

Fig. 4는 높이 1.6m 아래의 재실영역에서 실 전체의 국소평균공기연령과 환기효율(VE)을 나타낸 것이다. 설계대로 각 실별 동일한 풍량인 62.5CMH를 적용한 Case 1과 설계 풍량에 맞는 환기횟수를 각 실별로 동일하게 적용한 Case 2를 비교한 결과, 설계상의 급·배기구 위치에서는 환기효율의 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만 수정위치(Type B)에서는 각 실별로 동일한 환기횟수(1.8회/h)를 적용한 결과 10%정도의 환기효율이 높은 것을 볼 수 있다. 이는 Case 1의 경우, 각 실의 크기를 고려하지 않고 동일한 풍량을 적용함에 따라 실내에서 공기 분배가 효과적으로 이루어지지 않았기 때문으로 판단된다.

또한 환기량에 따른 국소평균공기연령의 변화를 살펴본 결과, 환기횟수가 증가함에 따라 환기시스템의 환기량이 증가하여 도입외기의 유동이 빨라져 재실영역으로의 도달시간이 짧아지는 것을 알

수 있다. 그러나 환기효율은 환기량이 증가하더라도 급·배기구의 위치에 상관없이 거의 변하지 않는 것을 알 수 있다. 이는 환기효율이 명목시간상수를 국소평균공기연령으로 나눈 무차원수이기 때문에 환기량이 증가함에 따라 국소평균연령이 감소하더라도 명목시간상수도 같이 감소하여 값이 거의 변하지 않기 때문이다.

결과적으로 실 전체의 재실영역에 대해 환기량에 따른 환기효율의 변화는 없지만, 급·배기구의 위치가 변경된 Type B에서 설계상의 급·배기구 위치인 Type A에 비해 환기효율이 10%정도 높은 것으로 나타났다.

#### 4.1.2 재실자가 있는 경우

Table 1은 거주자의 재실특성을 고려하여, 각 실의 환기효율을 환기량과 급·배기구의 위치에 따라 나타낸 것이다.

환기량의 증감에 상관없이 각 급·배기구 위치에서의 환기효율은 거의 변함이 없는 것으로 나타났다. 그리고 침실 1과 침실 2에서는 급·배기구의 위치에 따른 환기효율의 차이가 없는 반면, 침실 3에서는 설계상의 급·배기구 위치인 Type A에서 환기효율이 5% 정도 좋게 나타났다. 또한 거실과 주방의 경우에는 Type B에서 환기효율이 8% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

### 4.2 이산화탄소 농도

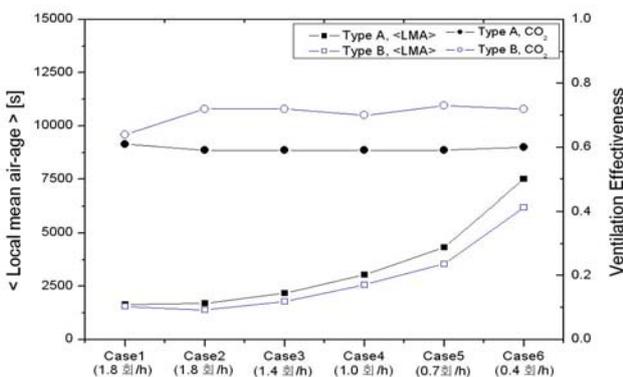


Fig. 4 Local mean air-age and ventilation effectiveness at the occupied zone

Table 1 Ventilation effectiveness at the occupied zone in the each room.

		Ventilation Effectiveness				
		ACH	Bedroom1	Bedroom2	Bedroom3	Living+ Kitchen
Type A	Case1	0.71	0.69	0.83	0.66	
	Case2	0.71	0.69	0.82	0.67	
	Case3	0.71	0.69	0.81	0.67	
	Case4	0.72	0.69	0.81	0.66	
	Case5	0.74	0.69	0.80	0.66	
	Case6	0.77	0.69	0.78	0.66	
Type B	Case1	0.73	0.70	0.76	0.74	
	Case2	0.73	0.70	0.76	0.74	
	Case3	0.73	0.71	0.76	0.74	
	Case4	0.74	0.71	0.76	0.74	
	Case5	0.75	0.71	0.76	0.74	
	Case6	0.77	0.72	0.77	0.74	

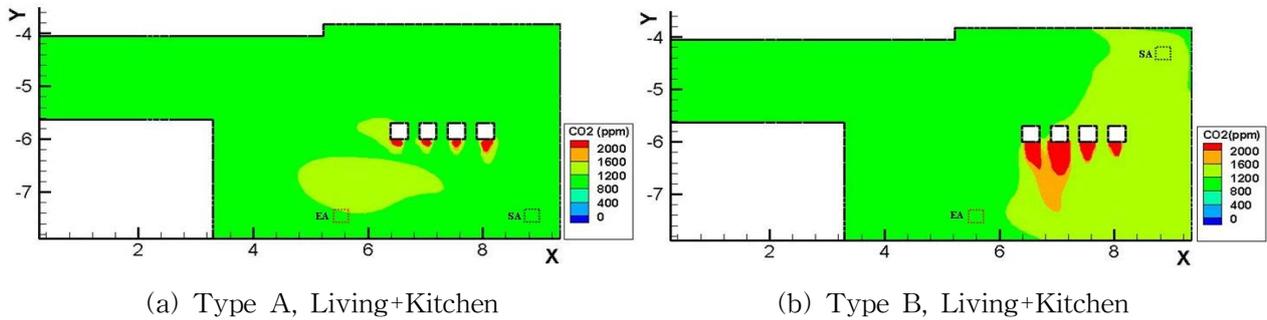


Fig. 5 CO<sub>2</sub> concentration distribution of y-x plane at z=1.1m for the air change rate (1.4회/h)

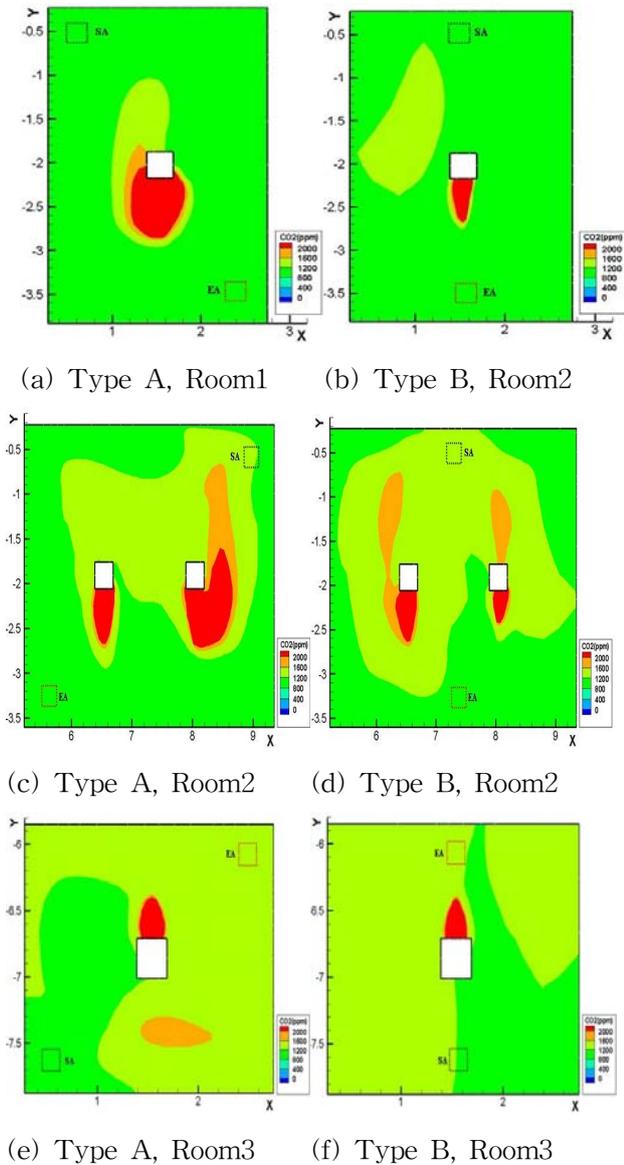


Fig. 6 CO<sub>2</sub> concentration distribution of y-x plane at z=1.1m for the air change rate (1.4회/h)

Fig. 5와 Fig. 6은 재실자의 호흡선 높이인 1.1m에서의 CO<sub>2</sub> 농도 분포를 각 실별로 나타낸 것이다. 규정된 환기횟수 0.7회를 초과하는 1.4회가 각 실별로 적용된 경우임에도 불구하고, 급·배기구의 위치에 상관없이 각 실별 CO<sub>2</sub>의 평균농도는 실내 허용기준인 1000ppm 이상인 것으로 나타났다. 이 결과는 각 실의 재실영역에서도 동일하게 나타났다. 따라서 실내에서의 CO<sub>2</sub> 허용기준인 1000ppm 이하를 유지하기 위해 시간당 환기횟수 0.7회를 적용하는 것은 문제가 있다고 판단된다.

Table 2는 인체에서 발생하는 CO<sub>2</sub>를 기준으로 필요 환기량을 구해 각 실별로 적용하였을 때의 CO<sub>2</sub> 농도를 나타낸 것이다. 이 때 필요 환기량은 Seidel 식(3)에 실내 CO<sub>2</sub> 농도값으로 허용기준인 1000ppm을 적용하여 구하였다<sup>(8)</sup>.

Table 2 The average CO<sub>2</sub> concentration calculated by theoretical airflow rate using Seidel's equation.

		Indoor CO <sub>2</sub> concentration [ppm]			
	Area	Bedroom1	Bedroom2	Bedroom3	Living+Kitchen
Type A	Breathing zone	1355.9	1244.7	1096.6	1036.6
	Occupied zone	1118.8	1086.6	980.9	1029.5
	Room	1097.7	1071.3	979.7	1032.3
Type B	Breathing zone	1143.3	1138.5	1128.9	1166.7
	Occupied zone	1027.0	1096.2	1026.6	1121.6
	Room	1019.3	1079.2	1033.6	1111.5

$$C_i = C_o + \frac{0.018 \times 100}{Q} \quad (3)$$

여기서  $C_i$ 는 내부  $CO_2$  농도[%],  $C_o$ 는 외부  $CO_2$  농도[%],  $Q$ 는 환기량[CMH/person]을 나타낸다.

Table 2의 값들을 비교해 보면, Type A의 침실 3을 제외하고, 각 실의  $CO_2$  농도는 이론식에 적용된 1000ppm보다 약간 높게 나왔지만, 이론식이 완전혼합을 가정한 1차원 식임을 감안해 볼 때, 만족할 만한 결과라고 판단된다. 이 결과로부터 재실영역을 기준으로 침실 1을 제외한 모든 실은 설계상의 급·배기구 위치인 Type A에서  $CO_2$  농도가 Type B보다 낮게 나타났다. 그리고 시간당 환기회수로는 침실 1은 1.4회 이상, 침실 2는 1.8회 이상, 침실 3은 2.5회, 거실과 주방은 1.7회 이상이 적용된다면 이산화탄소 농도 1000ppm이하를 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 각 실 급·배기가 실시되는 28평형 공동주택을 대상으로 출입문의 개폐여부와 거주자의 재실특성을 고려하여 환기상태를 분석하고, 급·배기구 위치를 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 각 실의 크기를 고려하지 않은 급기 풍량은 실의 불균형한 공기 분배를 야기해 환기효율을 감소시키는 것으로 나타났다.

(2) 재실자가 없는 경우, 설계상의 급·배기구를 변경한 Type B에서 환기효율이 10% 정도 증가하는 것으로 나타났지만, 환기량의 변화에 따른 환기효율의 차이는 없었다.

(3) 재실자가 있는 경우의 환기효율과  $CO_2$  농도 변화를 고려한 결과, 거실과 주방을 제외한 각 실은 급·배기구의 위치에 상관없이 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고  $CO_2$  농도 분포를 살펴본 결과, 각 실별 시간당 환기회수 0.7회로는 실내  $CO_2$  허용기준 1000ppm 이하를 유지할 수 없는 것으로 나타났다.

(4) 재실자가 모두 거실과 주방에 위치한 경우, 환기효율은 급·배기구 위치를 수정한 Type B에서 좋게 나타났으며,  $CO_2$  농도는 오염원 가까이에 급·

배기구가 위치한 Type A에서 낮게 나타났다.

## 후 기

본 연구는 한국환경기술진흥원의 환경기술교육 혁신지원사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Minister of Environment of KOREA, 2003, The Act of Indoor Air Quality for Multiple-Use Facilities, Minister of Law of Korea
2. Ministry of Construction & Transportation, 2006, Ventilation Facility Installation Manual on Apartment
3. Kang, T. W., 2005, An Experimental Analysis of Ventilation Effectiveness using Tracer Gas, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 30, pp. 260-266
4. Hyun, S. H. et al., 2006, Indoor  $CO_2$  concentration depending on diffuser location, Proceeding of The Architectural Institute of Korea, Vol. 26, No.1.
5. Choi, J. H. et al., 2007, Estimation on Locations of Air-supply and Exhaust ports for Optimum Ventilation Effectiveness in the Apartment, Proceeding of The SAREK, pp. 464-469.
6. Park, M. S. et al., 2005, A Study on Ventilation Effectiveness Characteristics in a Apartment Housing, Proceeding of The SAREK, pp. 39-44..
7. Noh, K. C. et al., 2005, Comparison of Ventilation Performance With Variations of Indoor Momentum Source, Proceedings of the KSME, pp 425-430
8. Jang, J. S. et al., 2005, Study on the Relationship between Indoor  $CO_2$  Concentration and Local Mean Air-age in the Lecture Room with System Air-conditioner and Ventilation Unit for Cooling Loads, Journal of SAREK, Vol. 17, No. 8, pp. 736-745