

# 환기시스템 설치 강의실에서 시스템에어컨과 팬코일유닛의 열쾌적성 및 환기성능 평가

한 창 우, 노 광 철, 오 명 도\*

서울시립대학교 대학원 기계정보공학과, \*서울시립대학교 기계정보공학과

## Evaluation of Thermal Comfort and Ventilation Performance in the Lecture Room with Ventilation System and Two Different Air-conditioning Systems: System Air-conditioner or Fan Coil Unit

Chang-Woo Han, Kwang-Chul Noh, Myung-Do Oh\*

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

(Received July 4, 2005; revision received October 7, 2005)

**ABSTRACT:** In this paper, thermal comfort and ventilation performance characteristics in the lecture room with the ventilation system and two different air-conditioning systems, system air-conditioner or fan coil unit, were evaluated by experimental and numerical methods. We compared the measured data with the computational results of the predicted mean vote and carbon dioxide concentration. Additionally the ventilation effectiveness was calculated numerically. From a viewpoint of the uniformity of PMVs in the lecture room, the thermal distribution performance of the system air-conditioner was more effective than the fan coil unit. Carbon dioxide concentration and ventilation effectiveness were barely affected by the type of the air-conditioning system.

**Key words:** Thermal comfort(온열 쾌적도), Ventilation effectiveness(환기효율), Carbon dioxide concentration(이산화탄소 농도), System air-conditioner(시스템에어컨), Fan coil unit(팬코일유닛)

### 기 호 설 명

- C : 이산화탄소 농도 [ppm]
- DR : 드래프트율 [%]
- LMA : 국소평균공기연령 [s]
- PMV : 예상온열감
- VATD : 수직공기온도차 [°C]

### 1. 서 론

최근 “다중이용시설등의실내공기질관리법”<sup>(1)</sup>의 시행과 웰빙(well-being) 개념의 대두로 인하여 쾌적한 실내 온열환경과 공기질환경을 동시에 만족시키기 위하여 냉·난방장치와 환기시스템을 사용하는 방법들이 연구되고 있다.

Kim et al.<sup>(2)</sup>은 4-way cassette 에어컨이 설치된 대규모 사무실에서 에어컨과 급기구의 위치변화에 따라 호흡선 높이에서 온도분포, 기류분포, 총휘발성 유기화합물(TVOC)의 농도분포를 비교

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2210-2756; fax: +82-2-2248-5110

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

하는 수치적 연구를 수행하였고, Noh et al.<sup>(3)</sup>은 학교 교실에서 기류분포성능지표(air diffusion performance index, ADPI), 국소평균공기연령(local mean air-age, LMA)과 국소평균잔여체류시간(local mean residual lift time, LRT)을 비교하여 에어컨 냉기 최적 토출각도를 구하는 수치적 연구를 수행하였다. Kwon et al.<sup>(4)</sup>은 천정형 4-way 히트펌프를 설치한 초등학교 교실에서 외기도입 방식에 따른 재실영역의 온도분포, LMA, ADPI, 환기효율을 비교하는 수치적인 연구를 수행하였다. 또한 Han et al.<sup>(5)</sup>은 시스템에어컨(system air-conditioner, 이하 SAC라 칭함)이 설치된 대학교 강의실에서 환기방식(직결형과 병렬형)에 따른 온열환경과 공기질환경의 특성을 비교하는 연구를 수행하였다.

그러나 국내 빌딩에서 공조를 위하여 사용되고 있는 팬코일유닛(fan coil unit, 이하 FCU라 칭함)과 추후 많이 사용될 것으로 예상되는 SAC의 실내 공조특성을 비교한 연구는 아직까지 없었다. 따라서 본 연구에서는 환기시스템이 설치된 대학교 강의실에서 SAC와 FCU의 개별작동에 따른 재실영역에서의 온열환경 및 공기질환경의 특성을 비교하였다.

## 2. 연구모델

### 2.1 강의실 및 환기시스템

Fig. 1은 본 연구에 사용된 강의실의 개념도로서 기존에는 공조를 위하여 FCU만 설치되어 있었지만 이곳에 SAC와 환기시스템을 새로 설치하여 연구를 수행하였다. 강의실의 크기는 6.4m(W) × 2.45m(H) × 11.2m(L)이고, 체적은 175 m<sup>3</sup>이

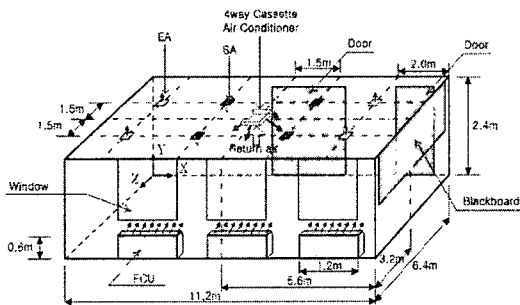


Fig. 1 Schematic design of the lecture room.

다. 환기시스템은 급·배기 디퓨저와 전열교환기로 구성되어 있다. 급기구는 Fig. 1에서와 같이 SAC를 중심으로 대각선 방향에 4개를 설치하여 신선공기의 분배성능을 우수하게 하였고,<sup>(2)</sup> 급기구를 통한 신선외기 도입량은 약 1,000 CMH이다. 배기구는 재실자에 의해 오염된 공기와 칠판에서 발생하는 분진을 효과적으로 배출하기 위해 강의실 앞쪽과 뒤쪽에 각각 2개씩 설치하였다. 대상 강의실은 1종 환기방식이 적용되어 배기량은 급기량과 동일하다. 환기시스템에 장착된 전열교환기의 효율은 하절기 61%, 동절기 66%이다. 강의실 내 재실 인원은 피실험자와 실험자를 포함 총 30명이고, 피실험자의 대부분은 수강을 위하여 강의실 앞부분에 정좌해 있다. 수치해석시 정좌상태의 재실자는 0.45m(W) × 1.05m(H) × 0.3m(L)의 직육면체로 모델링하였으며, 재실자 피부의 온도는 33°C로 정하였다.<sup>(6-7)</sup> 또한 재실자는 시간당 0.018 m<sup>3</sup>의 CO<sub>2</sub>를 배출한다고 가정하였다.<sup>(5)</sup>

### 2.2 시스템에어컨과 팬코일유닛

강의실의 열환경을 제어하기 위하여 강의실 중앙에는 SAC, 측면에는 FCU가 설치되어 있다. SAC의 냉기토출은 우수한 냉기분배 성능을 위하여 4방향으로 되어 있고, 최대풍량은 29 CMM으로 강의실의 폭과 길이의 비에 관계없이 균일하게 냉기가 토출된다. 본 연구에서는 토출각을 30°로 고정하였다. 이는 선행연구에서 SAC의 냉기토출각이 30° 이상인 경우 재실자가 온열불쾌감을 느낄 수 있다고 언급했기 때문이다.<sup>(8)</sup> FCU는 창문을 통하여 들어오는 부하를 제거하기 위하여 강의실 창문 아래에 Fig. 1과 같이 3대가 설치되어 있고, 그 크기는 0.6m(H) × 1.2m(W) × 0.25m(D)이다. FCU 1대의 최대풍량은 9.67 CMM이고, 교실바닥면에 대하여 45°의 각도로 냉기가 토출된다. 실험시에는 두 공조시스템 중 하나와 환기시스템을 동시에 가동하여 연구를 수행하였다.

## 3. 평가지표

### 3.1 예상온열감

예상온열감(predicted mean vote, 이하 PMV라 칭함)은 인간의 온열환경에 대한 반응을 정량화

Table 1 PMV index

PMV index	-3	-2	-1	0	1	2	3
	Cold	Cool	Slightly cool	Neutral	Slightly warm	Warm	Hot

시킨 것으로 인체의 대사율, 의복의 열저항치 등과 건구온도, 평균복사온도, 기류, 습도 등을 종합적으로 고려하여 인체가 느끼는 열쾌적도를 이론적으로 나타낸 것이다. 열쾌적도를 평가하기 위하여 ISO Standard 7330에서 규정하고 있는 PMV 계산법을 사용하였다.<sup>(9)</sup> PMV는 식(1)을 이용하여 계산하고, Table 1에서와 같이 7단계로 온열감을 구분한다. 재실자를 만족시키는 쾌적범위는 -0.5~0.5로 규정하고 있다.<sup>(9)</sup>

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \times [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}] \quad (1)$$

여기서,  $M$ 은 인체의 신진대사율을 나타내고,  $W$ 는 외부로 행하는 일을 나타내며,  $H$ 는 현열을 통한 열손실,  $E_c$ 는 피부를 통한 증발열전달,  $C_{res}$ 는 호흡을 통한 대류열전달,  $E_{res}$ 는 호흡을 통한 증발열전달을 각각 나타낸다. 계산시 사용된 인체의 신진대사량은 일반적인 정좌상태 1.2 met ( $69.84 \text{ W/m}^2$ )를 적용하였고, 착의상태는 여름철 평상복 차림으로 가정하여  $0.5 \text{ clo}(0.0775 \text{ m}^2\text{K/W})$ 를 사용하였다.

### 3.2 국소 온열불쾌감

국소 온열불쾌감(local thermal discomfort)은 수직공기온도차(vertical air temperature difference), 드래프트율(draft rate), 비대칭 복사장(radiant temperature asymmetry) 등에 의해 결정된다. 수직공기온도차는 재실영역에서의 상하온도차에 의해 야기되는 불쾌감을 나타낸다. 만약 바닥과 천장 사이에 온도구배가 크다면, 발목 부분(0.1 m)보다 머리 부분(정좌상태에서 1.1 m, 직립상태에서 1.7 m)에서 공기의 온도가 따뜻하기 때문에 발생하는 열적 성층화가 재실자에게 온열불쾌감을 야기시킬 수 있다. 따라서 재실영역에서 재실자의 발목과 머리 사이의 수직공기온도차는  $3^\circ\text{C}$  이하로 유지되어야 하는 것으로 알려져 있

다.<sup>(10)</sup> 드래프트율은 드래프트에 의해 발생한 국소 온열불쾌감으로 ASHRAE Standard 55-2004에서는 재실영역에서 20% 이하로 유지되어야 한다고 명시되어 있으며, 식(2)과 같이 계산된다.<sup>(10)</sup>

$$DR = [(34 - t_a) \times (v - 0.05)^{0.62}] \times (0.37 \times v \times Tu + 3.14) \quad (2)$$

여기서,  $t_a$ 는 국소평균공기온도[ $^\circ\text{C}$ ],  $v$ 는 국소평균 기류속도[m/s],  $Tu$ 는 난류강도[%]를 말한다. 일반적으로 난류강도는 혼합환기가 되는 실내에서 35%이고 치환환기나 기계적 환기가 없는 실내에서는 20%로 명시되어 있다.<sup>(10)</sup> 이외의 비대칭 복사장이나 시간에 따른 온도변화, 바닥면 온도와 같이 그 영향이 지극히 작은 인자에 대해서는 본 연구에서는 고려하지 않았다.

### 3.3 환기효율

환기효율(ventilation effectiveness, VE)은 국소 평균급기효율을 실(room) 전체 영역에 확장하여 평균한 것이다.<sup>(11)</sup> 국소급기효율은 국소평균공기연령에 대한 명목시간상수의 비율로서 정의하고 식(3)과 같다. 여기서 국소평균공기연령(local mean air-age, LMA)이란 신선외기가 실내 임의의 점까지 도달하는 데 걸리는 시간을 의미하고, 주로 급기의 실내분배 성능을 정량화하는 데 사용된다. 그리고 명목시간상수는 실내공기의 완전혼합 환기상태에서 시간당 환기량에 대한 실내체적을 말하며 시간의 차원을 가진다.

$$\alpha_p = \tau_n / LMA_p \quad (3)$$

### 3.4 이산화탄소 농도

실내에서  $\text{CO}_2$ 는 주로 사람의 호흡에 의해 배출되고 난방시 연료의 연소 때문에 발생하는 물질로서 우리나라의 경우 “다중이용시설등의실내

공기질관리법<sup>(1)</sup>에 의하여 1,000 ppm을 기준으로 하고 있다.

CO<sub>2</sub>는 무색, 무미, 무취의 기체로 일반적으로 대기 중에 0.04% 정도 포함되어 있으며, 최근 지구온난화 가스로 주목받고 있으나 대기오염물질로 분류되지 않고 있다. 실내 CO<sub>2</sub> 농도가 0.1% 또는 0.2% 이상이 되면 그 실내의 환기는 불량한 것으로 고려되고 있다. 이는 CO<sub>2</sub> 자체의 영향보다는 CO<sub>2</sub>가 증가하는 환기불량 상태가 실내에서는 체열발산에 의한 온도나 습도의 증가, 분진, 세균 등도 불량한 상태로 되는 경우가 많으므로 실내 CO<sub>2</sub> 농도를 기준으로 실내의 환기상태를 평가하는 지표로서 사용되고 있다.

#### 4. 실험 및 수치해석

##### 4.1 실험

본 연구에서는 환기시스템이 가동되는 강의실에서 SAC와 FCU 개별가동시 PMV와 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하였다. 측정실험은 두 공조시스템의 냉기 토출풍량이 29CMM, SAC와 FCU의 냉기 토출온도가 각각 12.7℃, 15.6℃인 경우에 대하여 이루어졌다. 신선외기의 급기풍량은 1,000 CMH로 설정하였다. 측정실험에 사용된 장비는 PMV의 경우 Innova사의 Model 1221을 이용하였고, CO<sub>2</sub> 농도는 Graywolf사의 Model IAQ-410을 이용하여 측정하였다.

실내 측정실험은 재실자의 호흡선 높이인 1.1

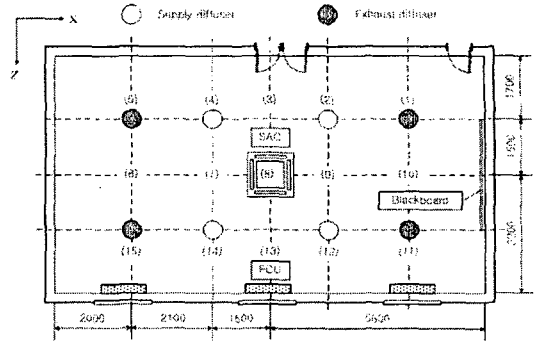


Fig. 2 Measuring points in the lecture room.

m에서 13개의 위치를 선정하여 이루어졌고, 측정 위치는 Fig. 2와 같다. 실험자는 PMV와 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하기 위하여 측정점 (13)에서 CO<sub>2</sub> 농도가 안정화된 이후에 측정센서의 위치를 이동시키면서 샘플링하였다. 각 측정점에서 CO<sub>2</sub> 농도는 안정화 상태에 도달하는데 약 1분 정도 소요되었고, 이후 2분간 PMV와 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하여 이들의 평균값으로 결과를 나타냈다.

실의 측정실험은 해당 건물의 옥상에서 이루어졌고, 외기온도, 상대습도, CO<sub>2</sub> 농도를 10분간 측정하여 결과의 평균값을 경계조건으로 사용하였다.

##### 4.2 수치해석

###### 4.2.1 지배방정식 및 경계조건

강의실에 대한 열폐적성 및 환기성능을 평가하기 위하여 3차원 대상 공간에 대하여 Table 2의

Table 2 Governing equations and model coefficients

$$\text{Continuity equation : } \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0$$

$$\text{Momentum equation : } \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\mu + \mu_t) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right\} + S_{u_i}$$

$$\text{Energy equation : } \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left( \frac{\mu}{\sigma_i} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right\} + S_T$$

$$\text{Turbulent kinetic energy equation : } \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + G_k - \rho \epsilon$$

$$\text{Dissipation rate equation of Turbulent kinetic energy : } \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right\} + G_k C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

$$\text{Concentration equation : } \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ u_i \left( \frac{\rho C}{S_c} \right) \right\} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \frac{1}{\rho} \left( \frac{\mu}{\sigma_i} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial (\rho C)}{\partial x_j} \right\} + 1$$

$$\text{where, } C_\mu = 0.09, C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, \mu_t = \frac{C_\mu \rho k^2}{\epsilon}, G_k = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i}, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 0.9, \sigma_i = 1.0, \sigma_t = 1.0$$

Table 3 Boundary condition

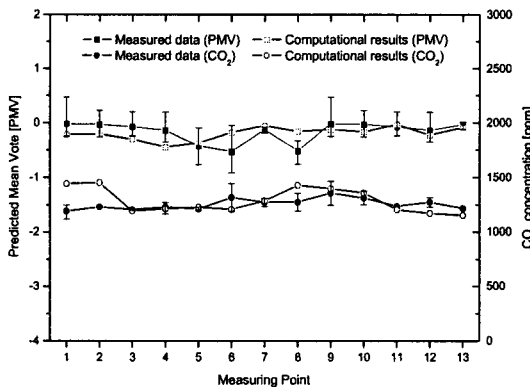
Category		Input data
Outdoor temperature		30.0°C
Corridor temperature		28.0°C
Outdoor CO <sub>2</sub> concentration		440 ppm
Thermal conduction rate		Exterior wall : 0.57 W/m <sup>2</sup> °C Indoor wall : 3.49 W/m <sup>2</sup> °C Window : 3.26 W/m <sup>2</sup> °C Door : 3.18 W/m <sup>2</sup> °C Floor : 0.37 W/m <sup>2</sup> °C
Discharge temperature	SAC	15.0°C
	FCU	

연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식, 난류운동에너지방정식, 난류운동량 소멸방정식 및 농도방정식을 적용하여 계산하였다. 위의 지배방정식들을 풀기 위하여 상용 CFD 코드인 STAR-CD를 사용하였고, 정상상태의 온도장, 속도장을 얻기 위하여 SIMPLE 알고리즘을 사용하였다. 그리고 본 연구의 해석대상은 모두 516,000개의 비균일 제어체적으로 구분되어 있다. 난류계산은 실내 유동해석에서 많이 사용되는 표준  $k-\epsilon$  난류모델을 사용하였다. 계산시 온도차에 의한 부력효과는 운동량방정식과 에너지방정식의 생성항에 포함시켰고, 재실자에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub>는 농도방정식의 생성항에 포함시켰다. 그 외의 경계조건은 Table 3에 자세히 나와 있다.<sup>(12)</sup>

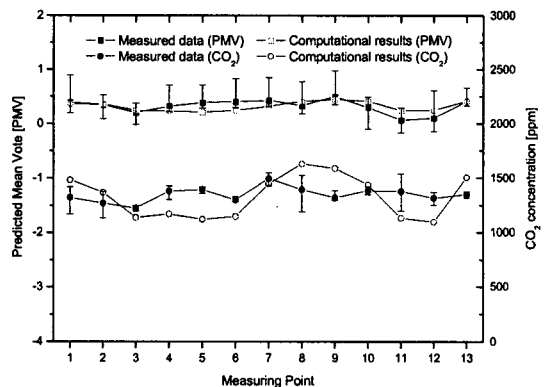
4.2.2 수치적 방법의 타당성 검증

본 연구에서 사용된 수치적 방법의 타당성을 검증하기 위하여 PMV와 CO<sub>2</sub> 농도 측정결과를 수치결과와 비교하였다.

Fig. 3(a)은 SAC의 토출풍량이 29CMM, 토출각도는 30°, 디퓨저를 통한 신선외기의 급기풍량이 1,000 CMH인 경우 수치결과와 측정결과를 비교한 것이다. PMV 측정결과와 평균값은 -0.17, 수치결과와 평균값은 -0.20으로 중립상태보다 약간 시원한 것으로 나타났다. 측정점에 따라 수치결과와 측정결과를 비교해 보면 최소 0.04에서 최대 0.36의 오차를 보인다. CO<sub>2</sub> 농도는 수치결과와 측정결과와 평균값이 각각 1,287 ppm과 1,256 ppm으로 나타났다. 모든 측정점에서 수치결과와 측정결과는 오차범위 5% 이내로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 다만 SAC에서 토출된 냉기가 직접 도달하는 측정점 (6)과 (8) 사이에서 경향성의 차이를 보였다. 이는 정상상태 조건의 수치적 방법으로는 SAC 내부에 장착된 3차원 터보팬에 의해 발생한 비정상적 속도요동(velocity fluctuation)을 정확히 모델링할 수 없기 때문으로 판단된다. Fig. 3(b)은 FCU의 급기풍량이 1,000 CMH이고 냉기 토출각도를 45°로 설정하였을 때 수치결과와 측정결과를 비교한 것이다. PMV 측정결과와 평균값은 0.32, 수치결과와 평균값은 0.28로 쾌적범위인 -0.5~0.5 사이에 포함되는 것으로 나타났다. CO<sub>2</sub> 농도는 수치결과와 측정결과와 평균값이 각각 1,328 ppm, 1,347 ppm으로 나타났다. 대부분의 측정점에서 수치결과와 측정결과는 오차범위



(a) System air-conditioner



(b) Fan coil unit

Fig. 3 Comparison of experimental data and computational results for the PMV and CO<sub>2</sub> concentration at the measuring points.

Table 4 Control variables

Discharge airflow [CMM]	FCU	20	23	26	29
	SAC				

12% 이내로 비교적 유사한 것으로 나타났다.

앞에서 사용된 수치적 방법이 실험결과를 비교적 정확하게 예측하는 것으로 판단되었다. 따라서 이후의 논의에서는 SAC와 FCU가 제거해야 할 냉방부하가 같은 조건 하에서 Table 4에 제시된 제어변수에 따라 강의실 내 열쾌적성과 환기성능의 특성을 비교하는 수치적인 연구를 수행하였다.

5. 결과 및 고찰

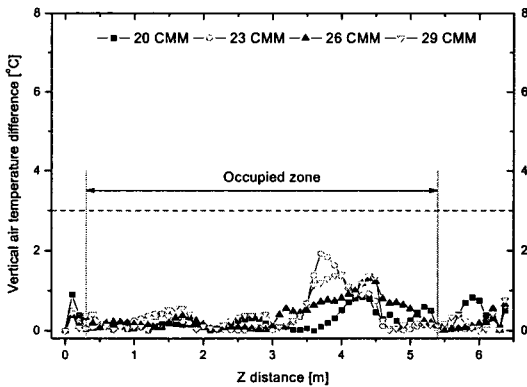
5.1 SAC와 FCU 가동시 열쾌적성 비교

Fig. 4는 강의실 중앙부분인  $x=5.6$ m의  $y-z$  단면에서 SAC와 FCU의 냉기 토출풍량 변화에 따

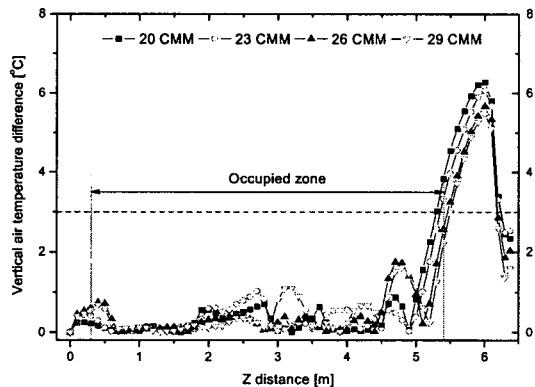
른 수직공기온도차를 보여준다. SAC와 FCU의 경우 모두 토출풍량의 증가에 관계없이 재실영역에서 수직공기온도차는  $2^{\circ}\text{C}$  이하로 유지되어 재실자에게 국소 온열불쾌감을 일으키지 않았다. 그러나 FCU의 경우 재실영역 경계( $z=5.4$ m)에 가까워질수록 수직공기온도차가 급격히 상승하는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 SAC와 FCU의 냉기 토출풍량이 29 CMM인 경우 드래프트율의 분포를 나타낸 것으로 SAC와 FCU의 설치위치에 따라 드래프트율의 분포가 상당한 차이를 보였다. SAC 가동시 강의실 천장에서 드래프트율이 20% 이상인 영역이 존재하지만 재실영역에서는 전혀 나타나지 않았다. FCU 가동시 일부 재실영역(약 5% 정도)에서 드래프트에 의한 국소 온열불쾌감이 발생하였는데 그 영역은 FCU에서 토출되는 냉기가 바로 지나가는 재실영역 우측에 위치하였다.

Fig. 6은 SAC와 FCU의 냉기 토출풍량에 따른 13개 측정점에서의 PMV를 보여준다. Fig. 6(a)에

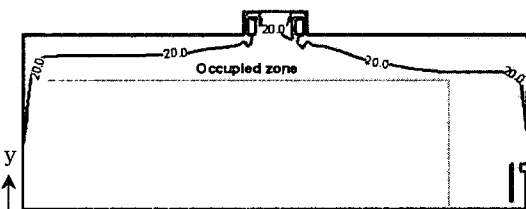


(a) System air-conditioner

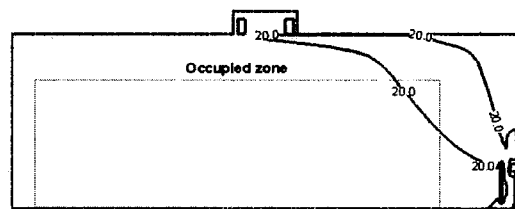


(b) Fan coil unit

Fig. 4 Vertical air temperature difference with the different discharge airflow rate of air-conditioning system at  $x=5.6$  m.



(a) System air-conditioner



(b) Fan coil unit

Fig. 5 Draft rate distribution at  $x=5.6$  m when the discharge airflow rate of air-conditioning system is 29 CMM.

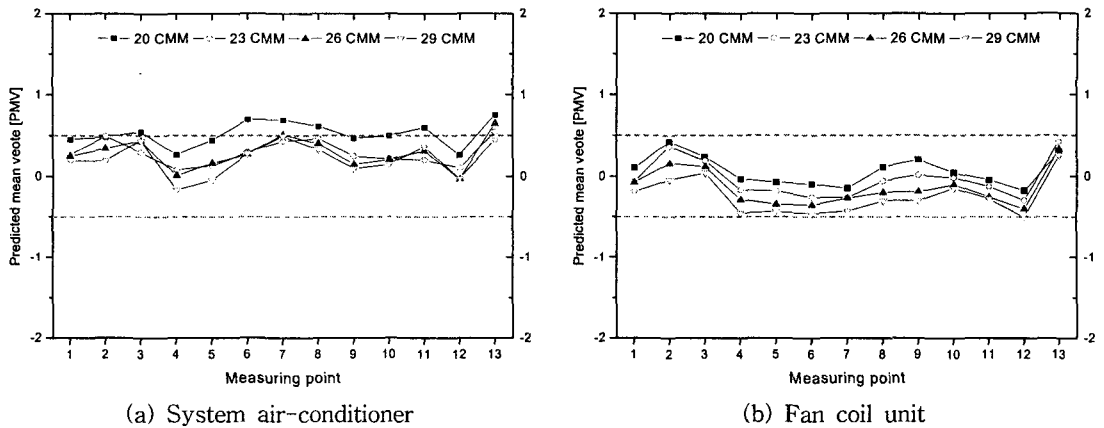


Fig. 6 Predicted mean vote with the different discharge airflow rate of air-conditioning system.

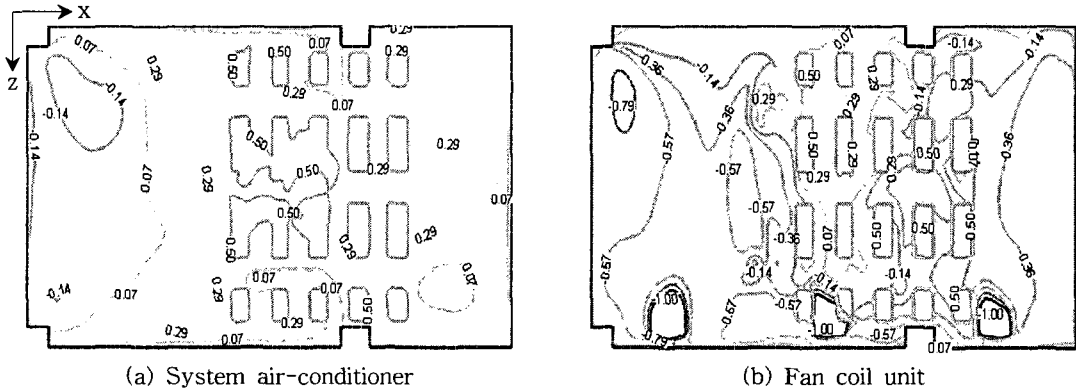


Fig. 7 PMV distribution of the  $x$ - $z$  plane at  $y=1.1$  m for air-conditioning system.

서 SAC의 토출풍량이 20 CMM인 경우 측정점 (4)와 (12)를 제외하고 대부분의 측정점에서 PMV가 쾌적범위의 상한선인 0.5를 초과하였다. 그러나 냉기 토출풍량이 23 CMM 이상인 경우 모든 측정점에서 PMV가 쾌적범위를 만족하였다. 토출풍량이 증가할수록 측정점에 따른 PMV의 표준편차는 0.15에서 0.21로, 최대편차는 0.49에서 0.66으로 증가하였다. Fig. 6(b)에서는 FCU의 토출풍량에 관계없이 모든 측정점에서 PMV가 쾌적범위인  $-0.5 \sim 0.5$ 를 만족하였고, 표준편차는 0.18에서 0.23으로, 최대편차는 0.60에서 0.76으로 증가하였다. Fig. 6에서 두 공조시스템의 냉기 토출풍량이 동일한 경우 SAC보다 FCU 가동시 측정점에서 PMV가 낮게 형성되었는데 이는 SAC에서 토출되는 냉기가 실내를 순환하고 측정점에 도달하는 반면, FCU에서 토출되는 냉기는 측정점에

바로 도달하기 때문으로 판단된다.

Fig. 7은 SAC와 FCU에서 29 CMM으로 냉기가 토출되는 경우 재실자의 착석시 호흡선 높이인 1.1 m에서 PMV의 분포를 나타낸 것이다. SAC가 가동되는 경우 PMV가 강의실 좌우로 대칭분포를 이루고, 실내에서 비교적 균일한 것으로 나타났다. 그러나 FCU가 가동되는 경우에는 실내에서 PMV의 지역적인 편차가 크고, 강의실 좌우로 비대칭이 심한 것을 알 수 있었다.

### 5.2 SAC와 FCU 가동시 환기성능 비교

Fig. 8(a)에서 SAC의 토출풍량 증가로 실내 평균  $CO_2$  농도는 1,269 ppm에서 1,291 ppm으로 2% 증가하였고, 환기효율은 1.02에서 1.00으로 2% 감소하였다. Fig. 8(b)에서 FCU의 토출풍량이 20 CMM

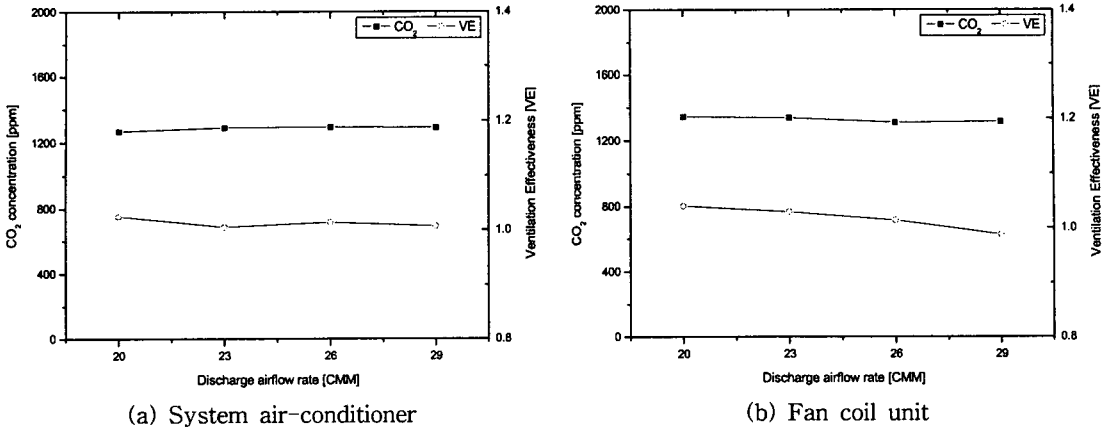


Fig. 8 CO<sub>2</sub> concentration and VE with the different discharge airflow rate of air-conditioning system.

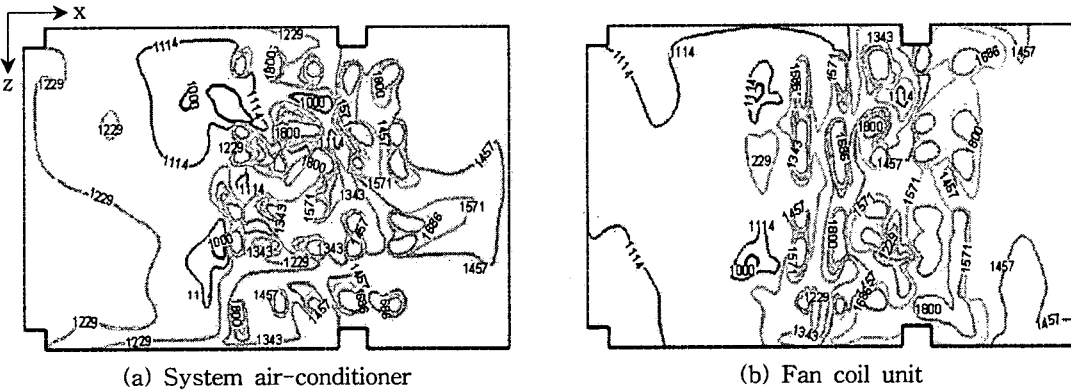


Fig. 9 CO<sub>2</sub> concentration distribution of the  $x$ - $z$  plane at  $y=1.1$  m for air-conditioning system.

에서 29 CMM으로 증가함에 따라 재실영역 평균 CO<sub>2</sub> 농도는 1,344 ppm에서 1,314 ppm으로 2% 감소하였으나 SAC와 마찬가지로 환경부 기준치<sup>(1)</sup>인 1,000 ppm 이하로는 유지시키지 못하였다. 그림에서 환기효율의 변화를 살펴보면 20 CMM에서 1.04, 29 CMM에서 0.98로 토출풍량이 증가할수록 환기효율은 지속적으로 감소하였다. 이는 FCU에서 토출되는 냉기가 증가할수록 강의실 앞뒤의 공기혼합을 방해하는 효과가 커졌기 때문으로 판단된다.

Fig. 9는 SAC와 FCU의 토출풍량이 29 CMM인 경우 재실자의 착석시 호흡선 높이(1.1 m)에서 CO<sub>2</sub> 농도 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 SAC보다 FCU가 가동되는 경우 강의실 앞뒤의 CO<sub>2</sub> 농도 차가 100 ppm 정도 큰 것으로 나타났다. 이는 SAC의 경우 4방향으로 냉기가 토출되어 실내 공기를

혼합하는 반면, FCU의 경우에는 강의실 내 유동이 주로 좌우로만 이루어져 강의실 앞뒤의 공기를 혼합하는 메커니즘이 없기 때문으로 판단된다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 환기시스템이 장착된 강의실에서 두 공조시스템의 토출풍량 변화가 실내 열쾌적성 및 환기성능에 미치는 영향을 살펴본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 두 공조시스템의 냉기 토출풍량이 동일한 경우 SAC보다 FCU 가동시 측정점에서 PMV가 낮게 형성되었다. 이는 SAC에서 토출되는 냉기가 실내를 순환하고 측정점에 도달하지만 FCU에서 토출되는 냉기는 측정점에 바로 도달하기 때문이다.

(2) FCU 가동시 토출풍량의 증가가 실내 평균



CO<sub>2</sub> 농도에 미치는 영향은 거의 없지만 환기효율은 감소시켰다. 이는 FCU에서 토출되는 냉기가 증가할수록 강의실 앞뒤의 공기혼합을 방해하는 효과가 커졌기 때문이다.

(3) SAC보다 FCU 가동시 강의실 앞뒤의 CO<sub>2</sub> 농도가 더 큰 차이를 보였다. 이는 SAC의 경우 4방향으로 냉기가 토출되어 실내공기를 혼합하는 반면, FCU의 경우에는 강의실 내 유동이 주로 좌우로만 이루어져 강의실 앞뒤의 공기를 혼합하는 메커니즘이 없기 때문이다.

(4) 동일한 작동조건에서 SAC와 FCU가 가동되는 경우 열쾌적성을 살펴보면 재실영역 균일도 측면에서는 SAC가 효과적이지만 냉방성능 측면에서는 FCU가 효과적인 것을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 2004년도 서울시립대학교 교내학술연구조성비에 의해 연구되었으며, 대학의 연구비 지원에 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. Kim, K. H., Choi, H. S., Lee, G. G., Han, H. T. and Kwon, Y. I., 2004, The characteristics of an indoor air environment in office with location supply and exhaust diffuser, Proceedings of the SAREK 2004 Summer Annual Conference, pp. 734-738.
3. Noh, K. C. and Oh, M. D., 2004, Analysis on the optical discharge angle of the 4-way air conditioner by thermal comfort and ventilation indices, Proceedings of the SAREK 2004 Summer Annual Conference, pp. 656-661.
4. Kwon, Y. I. and Han, H. T., 2003, A study on the evaluation of air change efficiency of multi-air-conditioner with outdoor air intake for heating season, Proceedings of the SA-REK 2003 Winter Annual Conference, pp. 543-548.
5. Han, C. W., Noh, K. C. and Oh, M. D., 2004, Characteristic evaluation of indoor thermal environment and air quality with ventilation type of system air conditioner, Proceedings of the 1st Korean Society for Indoor Environment Conference, pp. 260-263.
6. Naiping, G. and Jianlei, N., 2004, CFD study on micro-environment around human body and personalized ventilation, Building and Environment, Vol. 39, No. 7, pp. 795-805.
7. Shuzo, M., Shinsuke, K. and Jie, Z., 2000, Combined simulation of airflow, radiation and moisture transport for heat release from a human body, Building and Environment, Vol. 35, No. 6, pp. 489-500.
8. Noh, K. C., Jang, J. S., Oh, M. D., Lee, S. H., Park, J. H. and Kim, S. H., 2005, Study on thermal comfort and indoor air quality in the classroom for cooling loads, Proceedings of the KSME 2005 Spring Annual Conference, pp. 2465-2470.
9. ISO Standard 7330, 1998.
10. ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
11. Han, H. T., 1999, On the definition of ventilation effectiveness, Magazine of the SA-REK, Vol. 28, No. 1, pp. 38-47.
12. Choi, J. M., Kim, Y. Y. and Park, H. S., 2003, A study on the evaluation of heating-conditioned environment with the size of classroom, Journal of SAREK, Vol. 15, No. 12, pp. 1035-1042.