

< 기술논문 >

강의실에서의 냉방부하에 따른 열쾌적성 평가지표 비교 - PMV와 EDT의 연관성 -

노 광 철* · 오 명 도†

(2004년 12월 21일 접수, 2005년 5월 14일 심사완료)

Comparison of Thermal Comfort Performance Indices for Cooling Loads in the Lecture Room

- An Correlation of PMV and EDT -

Kwang-Chul Noh and Myung-Do Oh

Key Words: Air Diffusion Performance Index(기류분포성능지표), Effective Draft Temperature(유효 드래프트온도), Predicted Mean Vote(예상온열감), Thermal Comfort(열쾌적성), 4-way Cassette Air-conditioner(4-way카세트에어컨)

Abstract

We performed the experimental and the numerical study on the comparison of thermal comfort performance indices for cooling loads in the lecture room for 4 cases: Fan coil unit(FCU) or 4-way cassette air-conditioner is respectively operated with the ventilation system or without. We measured the velocity, the temperature distribution and predicted mean vote(PMV) value in the lecture room for 4 different air-conditioning methods. Effective draft temperature(EDT) and PMV were investigated to analyze the characteristics of two thermal comfort indices in the lecture room and to compare their values each other. From the results we knew that there is the similarity between PMV values and EDT's when the room is air-conditioned for cooling loads. It turned out that definition of the control temperature is very important when the EDT is calculated. Finally EDT should not be used to predict the accurate thermal comfort in case that the temperature and humidity are suddenly varied and the zone affected by the solar and inner wall radiation.

1. 서 론

기존의 학교 시설들은 에너지 절약을 위하여 밀폐공간의 개념으로 설계되고 사용되어 왔다. 그러나 학교시설의 현대화 계획과 2004년 5월부터 적용되는 “다중이용시설등의 실내공기질관리법”⁽¹⁾에 따라 에너지의 효율적 이용과 쾌적한 교실 환경을 구축하기 위한 노력이 진행되고 있다. 이에 따라 기존의 교실에 설치하여 열적 쾌적성

과 환기를 이용한 환경 쾌적성을 동시에 추구할 수 있는 여러가지 방법들이 연구되어 왔다.⁽²⁻⁴⁾

최정민 등⁽²⁾은 천장형 냉난방기의 취출온도와 3가지의 다른 교실규모에 따른 기류분포와 온도 분포로 난방공조환경에 대한 평가를 수행하였고, 권용일 등⁽³⁾은 4way 히트펌프의 난방시 급기효율과 열적 쾌적성을 환기효율(ventilation efficiency)과 기류분포성능지표(air diffusion performance index, 이하 ADPI라 칭함)를 이용하여 수치적인 방법으로 연구하였다. 김경환 등⁽⁴⁾도 에어컨과 환기시스템이 적용된 실내 공간의 온열 및 환기특성을 토출풍량 및 냉방기류, 온도분포, 국소급기수 등을 통하여 실험 및 수치적인 방법으로 분석하였다. 그리고 열적 쾌적성 평가지표에 관해서는 조영진⁽⁵⁾이 측벽부하가 존재하는 실내에서

† 책임저자, 회원, 서울시립대학교 기계정보공학과
E-mail : mdoh@uos.ac.kr

TEL : (02)2210-2756 FAX : (02)2248-5110

* 서울시립대학교 대학원 기계정보공학과

디퓨저의 형상에 따른 ADPI의 특성에 관한 연구를 수행하였으며, 김세현 등⁽⁶⁾은 실내에 복사부하가 고려된 경우에 평균복사온도가 예상온열감(predicted mean vote, 이하 PMV라 칭함)에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

이와 같이 이전의 연구에서는 실내에서의 열쾌적도를 평가하기 위하여 저자의 기호에 따라 PMV와 ADPI를 혼용하여 사용해 왔지만 이 두가지 지표가 어느 정도 연관성이 있는지에 관한 연구는 아직까지 없었다. 따라서 본 연구에서는 환기가 고려된 강의실에서 냉방부하를 제거하기 위해 천정형 4-way 카세트에어컨이 설치된 경우와 팬코일유닛(fan coil unit, 이하 FCU라 칭함)이 설치된 경우에 대하여 각각 개별 가동한 실험과 수치해석 결과를 바탕으로 기류분포성능지표와 온열쾌적지표를 조사하여 재실자가 느끼는 열적 쾌적성을 분석하였고, 이 두 가지 지표에 대한 비교, 평가를 수행하였다.

2. 해석 모델

Fig. 1은 실험과 수치해석에 사용된 대상 강의실의 모델이다. 실험에 사용된 강의실에는 원래 냉·난방부하를 제어하기 위하여 FCU가 설치되어져 있었다. 이 대상 강의실에 추가로 천정형 4-way 카세트에어컨과 환기시스템을 동시에 설치하였고, 본 논문을 통해서 강의실에 설치될 수 있는 2가지 경우의 냉·난방부하를 제어하는 시스템에 대한 실험결과를 도출하고자 하였다. 대상 교실의 크기는 11.2m(L)×6.4m(W)×2.45m(H)이고, 체적은 175m³이다. 천정에 설치된 4-way 카세트에어컨의 중심은 x축 방향으로 5.6m에 위치하고 z축 방향으로는 3.2m에 위치한다. 급·배기구는 각

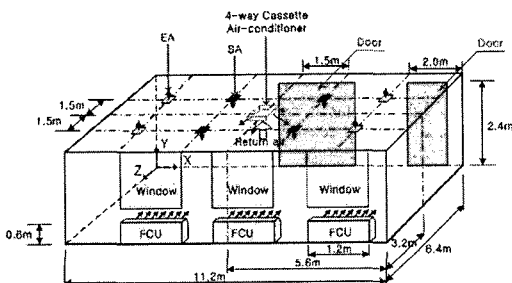


Fig. 1 Schematic design of the lecture room

각 4개씩 설치되어 있고 이들의 위치는 비교를 위하여 김경환⁽⁷⁾ 등의 연구결과를 토대로 선정하였다. 본 연구에서 사용된 천정형 4-way 카세트에어컨은 Fig. 2와 같은 형태로 크기는 0.95m(L)×0.95m(W)이다.

대상 강의실의 냉방부하를 제어하기 위한 에어컨의 토출풍량은 약 29m³/min이고 토출각도는 천정면으로부터 30°이다. 그리고 FCU의 토출풍량은 약 30m³/min이고 토출각도는 수평면으로부터 45°이다. 실내 오염물질을 제거하기 위한 환기시스템은 에너지절약을 위하여 전열교환방식의 장치가 설치되었고 이 시스템의 풍량은 약 1000m³/h이다.

3. 열쾌적성 평가지표

3.1 예상온열감(PMV)

PMV는 인간의 온열환경에 대한 반응을 정량화시킨 것으로 인체의 대사율, 의복의 열저장치 등과 건구온도, 평균복사온도, 기류, 습도 등을 종합적으로 고려하여 인체가 느끼는 온열쾌적도를 이론적으로 나타낸 것이다. 본 논문에서는 온열쾌적도를 평가하기 위하여 ISO Standard 7330에서 규정하고 있는 PMV계산법을 사용하였다.⁽⁹⁾ PMV 지표는 식 (1)을 이용하여 계산하고 Table 1에서와 같이 7단계로 온열쾌적도를 구분하며 쾌적범위는 -0.5~0.5로 규정하고 있다.

Table 1 The PMV index

PMV index	-3	-2	-1	0	1	2	3
	cold	cool	slightly cool	neutral	slightly warm	warm	hot

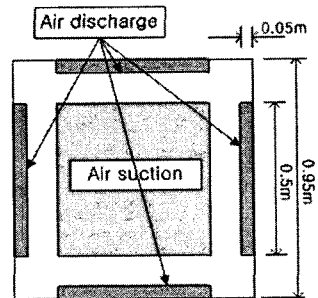


Fig. 2 Schematic view of the system air-conditioner

Table 2 Conducted experiments with different operating conditions

case	Operating conditions
1	FCU only
2	FCU + ventilation system
3	System air-conditioner only
4	System air-conditioner + ventilation system

$$PMV = (0.303e^{-0.0036M} + 0.28) \times [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}] \quad (1)$$

여기서, M 은 인체의 신진대사율을 나타내고, W 는 외부로 행하는 일, H 는 현열을 통한 열손실, E_c 는 피부를 통한 증발 열전달, C_{res} 는 호흡을 통한 대류 열전달, E_{res} 는 호흡을 통한 증발 열전달을 각각 나타낸다. 계산시 사용되는 변수인 인체의 신진대사량은 일반적인 정좌 상태인 $1.0\text{met}(58\text{W}/\text{m}^2)$ 을 적용하였고, 착의 상태는 여름철 평상복 차림으로 가정하여 $0.38\text{clo}(0.059\text{m}^2\text{C}/\text{W})$ 를 사용하였다.⁽⁹⁾ 공기온도, 유속, 복사온도, 수증기분압(또는 습도) 등은 측정결과와 수치계산결과를 그대로 사용하였다.

3.2 유효드래프트온도(EDT)

ADPI는 재실영역에서의 국소적인 기류와 온도의 상태가 쾌적범위에 포함되는 비율을 나타내는 것으로서 재실자의 열적 쾌적성과 관련된 지표이다. 이는 각각의 측정점에서 일차적으로 식 (2)에 의해 유효드래프트온도(ϕ ; effective draft temperature, 이하 EDT라 칭함)를 산정하고 그 값이 $-1.7^\circ\text{C} < \phi < 1.1^\circ\text{C}$ 의 범위에 존재하는 비율로서 계산된다.⁽¹⁰⁾

$$\phi = (t_x - t_c) - 8(V_x - 0.15) \quad (2)$$

여기서, t_x 는 임의의 지점에서의 건구온도이고, t_c 는 실내 설정온도이다. 본 연구에서는 실험시 평균온도가 약 23°C 로 측정되어 이를 실내 설정온도로 선정하였다.⁽¹⁰⁾ V_x 는 임의의 지점에서의 속도로서 $0.35\text{m}/\text{s}$ 보다 작아야 한다.

본 연구에서는 ADPI를 계산하기 위해 충분히 많은 위치에서 온도와 유속을 측정하지 못했기

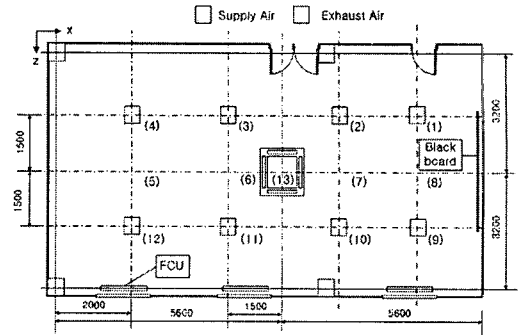


Fig. 3 Measuring points in the lecture room

때문에 EDT만을 사용하여 기류분포 성능을 평가하였다.

4. 연구 방법

4.1 실험

PMV와 EDT를 비교, 평가하기 위하여 대상 강의실에서 실험을 수행하였다. 실험은 Table 2에 나타난 바와 같이 총 4가지 경우에 대해서 이루어졌다. 본 연구는 두가지의 열쾌적성 평가지표의 비교 연구를 수행하는 것이기 때문에 강의실이 비어 있는 상태에서 측정장치를 이용하여 실험을 실시하였다. PMV는 Innova사의 thermal comfort data logger 1221을 사용하여 측정하였고, EDT는 thermal comfort data logger 1221의 장비에서 측정된 온도와 속도만을 사용하여 계산하였다. 외부일사량 EKO사의 Pyranometer MS-802를 사용하여 측정하였다.

측정점은 모든 경우에 대해 강의실 바닥으로부터 1.1m 높이에서 13개의 위치를 선정하였고 측정위치는 Fig. 3과 같다. 모든 측정은 교실의 중앙 부분인 (13)번 위치에서 온·습도와 CO_2 농도가 모두 안정화된 이후 각 측정점에서 약 5분정도 샘플링이 이루어졌고 이들의 평균값으로 결과를 나타냈다. 실험이 수행되는 강의실의 습도, 평균 벽면온도는 각각 $54 \pm 5\%$, $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 이었고 일사량은 $0.54 \pm 0.1 \text{ kW}/\text{m}^2$ 이었다.

4.2 수치해석

그동안 실내에서의 열쾌적성에 대한 연구는 많은 경우에 수치적인 방법으로 이루어져 왔다. 따라서 본 연구도 PMV와 EDT의 두 지표가 어떠한

Table 3 Governing equations and model coefficients for numerical calculations

Continuity equation:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

Momentum equation:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right\} + S_i$$

Turbulent kinetic energy equation:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \mu \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + G_k - \rho \varepsilon$$

Dissipation rate equation of turbulent kinetic energy:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \mu \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right\} + G_\varepsilon C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

Energy equation:

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

where,

$$C_\mu = 0.09, C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, \mu_t = \frac{c_\mu \rho k^2}{\varepsilon}, G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

$$\sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 0.9, \sigma_t = 1.0, \sigma_i = 1.0$$

Table 4 Thermal boundary conditions for the numerical calculation

Category		Input data
Outdoor temperature (°C)		30
Thermal conduction rate (W/m ² °C)		Exterior wall : 0.57 Indoor wall : 3.29 Window : 3.26 Door : 5.93
Discharge temperature (°C)	SA	15
	FCU	16

연관성이 있는지를 조사하기 위하여 실험에 사용된 강의실과 동일한 크기로 격자를 구성하여 수치계산을 수행한 후 비교, 평가하였다.

강의실에서의 유동특성을 기술하는 정상상태의 지배방정식은 Table 3과 같다. 본 연구에서는 실내 유동해석에서 많이 사용되는 표준 $k-\varepsilon$ 난류 모델을 사용하였으며, 온도차에 의한 부력효과를 운동량방정식의 소스항에 포함시켰다. Table 3에 나열된 지배방정식을 풀기 위하여 상용 CFD코드인 STAR-CD를 사용하였고 정상상태의 속도장,

온도장을 얻기 위하여 SIMPLE 알고리즘을 사용하였다.⁽¹⁰⁾ 그 외의 경계조건은 Table 4에 자세히 나와 있다.

5. 결과 및 고찰

5.1 실험결과

Table 5는 Table 2에 나와 있는 4가지 경우에 대한 실험결과를 보여준다. 실험시 측정된 PMV와 EDT의 최대표준편차는 각각 ±0.2, ±0.5이하로 나타났다. 그리고 이러한 표준편차를 나타내는 주된 요인은 유속의 요동(fluctuation) 때문이다.

재실자가 없는 강의실에서 실험을 수행하였기 때문에 대부분의 위치에서 열쾌적지표가 음수값으로 측정되었고 강의실은 약간 서늘한 정도로 나타났다. 특히, FCU를 가동하여 냉방부하를 제어하는 경우에 비해서 4-way 카세트에어컨을 가동한 경우에 서늘한 영역이 증가하였으며 이는 강의실내에서 창문측에 설치된 FCU보다 천정에 설치된 4-way 카세트에어컨의 냉기분배효율이 우수하기 때문인 것으로 판단된다.

FCU와 4-way 카세트에어컨만을 각각 작동한 case 1과 case 3의 경우보다 환기시스템을 동시에

Table 5 Experimental results for 4 cases of operating conditions

Measuring point	Case 1		Case 2		Case 3		Case 4	
	PMV	EDT	PMV	EDT	PMV	EDT	PMV	EDT
1	-0.3	-1.0	-0.1	0.4	-0.6	-0.9	-0.5	-1.2
2	-0.4	-1.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.4	-1.0	NC
3	-0.4	-1.2	-0.3	-0.4	-1.1	NC	-0.5	-1.5
4	-0.4	-1.1	-0.3	-0.7	-0.7	-1.9	-0.6	-1.4
5	-0.5	-1.4	-0.5	-1.2	-0.7	-1.4	-0.7	-1.9
6	-0.6	-2.3	-0.4	-0.9	-1.7	NC	-1.0	NC
7	-0.6	-2.0	-0.4	-0.9	-0.7	-1.7	-0.8	-1.9
8	-0.7	-2.4	-0.5	-1.1	-0.8	-2.9	-0.8	-2.2
9	-0.5	-1.1	-0.5	-0.6	-0.7	-2.4	-0.3	-0.4
10	-0.4	-0.8	-0.3	0.5	-0.4	-0.9	-0.5	-0.9
11	-0.8	-3.6	-0.6	1.0	-0.4	-1.0	-0.4	0.0
12	-1.6	NC*	-1.7	NC	-0.2	-0.2	-0.2	-1.3
13	-0.7	-2.6	-0.7	-2.2	-1.2	NC	-0.7	-1.3

* Not calculated

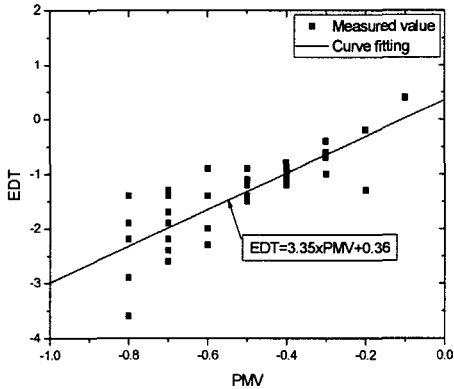


Fig. 4 Relationship between PMV and EDT

작동한 case 2와 case 4의 경우에 강의실 전체에서의 열쾌적지표가 약간씩 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 환기시스템의 작동으로 인하여 더운 외부공기가 실내로 유입되기 때문이다.

Table 5에서 굵은 이탤릭체 숫자는 각 지표에서 열쾌적 범위를 초과하는 것이다. 그리고 유속이 0.35m/s를 초과하는 경우에는 EDT를 평가하기 위한 유속(0.35m/s)를 초과하였기 때문에 이러한 경우에는 EDT 값을 명시하지 않았다. 표에서 보는 바와 같이 측정점 기준으로 PMV와 EDT의 값

들의 약 87%가 같은 쾌적범위에 들어가는 것으로 확인되어 거의 모든 case의 측정점에서 PMV와 EDT의 값들은 유사한 쾌적도를 나타내고 있다. 대부분의 경우에서 PMV값이 증감함에 따라 EDT의 값도 유사하게 증감하는 것을 볼 수 있다. 그리고 PMV에서 쾌적범위인 -0.5~0.5를 벗어난 위치에서는 일부를 제외한 대부분의 측정점에서의 EDT도 쾌적범위인 -1.7~1.1℃를 벗어나는 것으로 나타났다. 이러한 실험결과로부터 PMV와 ADPI를 평가할 수 있는 EDT는 매우 유사한 결과를 나타낸다는 것을 확인할 수 있었다. 단 EDT를 계산하는 경우에는 실내 설정온도의 선정에 따라 값이 크게 변할 수 있다.

Fig. 4는 PMV와 EDT의 연관성을 조사하기 위하여 Table 5의 각 경우에 대한 데이터를 1차 선형으로 curve fitting한 결과이다. 이때 상관계수는 0.823이고 표준편차는 0.445이다. curve fitting한 결과에 의해 구한 PMV와 EDT의 상관식으로부터 PMV값이 쾌적범위의 하한경계인 -0.5인 경우 EDT의 값은 -1.315의 값을 나타내었고 이는 EDT 쾌적범위의 하한경계인 -1.7보다 0.385정도 큰 값이다. 만약 설정온도를 23.4℃로 변경하면, 냉방시 실내에서 측정된 PMV가 -0.5~0.0일 때, EDT는 -1.7~0.0 범위를 만족하는 것으로 나타났고 이로부터 PMV와 EDT의 상관성이 매우 높은 것을

알 수 있었다. 이 결과로부터 EDT를 계산할 때는 실내 설정온도의 선정이 중요하다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 EDT를 계산할 때는 재실 인원, 실협조건 등을 고려하여 적절한 실내 설정 온도를 사용해야 할 것이다. 그러나 난방의 경우에는 실내 설정 온도가 변화므로 PMV와 EDT의 상관관계가 달라질 것으로 추정된다.

Table 5를 보면 case 2의 측정점 9-11과 case 4의 측정점 11-12의 경우에는 다른 위치에서 측정된 값보다 상관성이 매우 떨어지고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 주로 외부공기의 급기나 일사량 등으로 인해 측정점에서 온도가 상승하여 EDT값들이 높게 나타나기 때문이다. 그러나 PMV값은 습도(수증기압)와 복사온도 등의 영향을 모두 고려하기 때문에 습도와 복사온도 등이 크게 변하지 않는다면 PMV는 크게 변하지 않는 것으로 확인되었다. 따라서 실내에서 온도와 습도가 국소적으로 변하는 영역이나 복사량이 있는 영역에서는 EDT값이 열쾌적성을 정확하게 예측하지 못할 것으로 판단된다.

5.2 수치해석 결과

Fig. 5는 Table 2에 나와 있는 4가지 경우에 대한 수치계산의 결과를 보여준다. 그림에서의 PMV와 EDT분포의 결과들은 수치계산에서 구한 온도와 속도분포를 이용하여 계산되었다. 특히 PMV를 계산할 때 실내 복사온도는 벽면에서의 온도데이터를 근거로 하여 Fanger의 방법으로 값을 구하였다.⁽⁶⁾

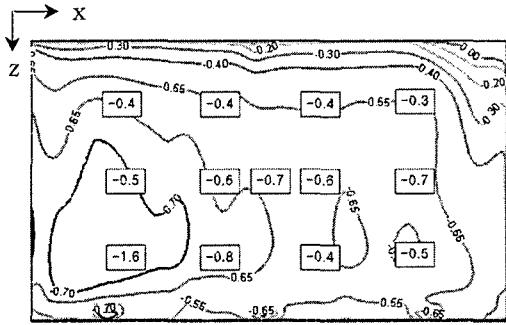
Fig. 5에서 PMV와 EDT의 분포결과들을 비교해 보면 전체영역에서 정성적인 분포경향이 매우 비슷한 것으로 나타났다. Fig. 5(a)와 (b)의 case 1의 경우에는 창문 근처에 설치된 FCU의 영향으로 인하여 z값이 증가함에 따라 창문측(그림 아랫부분)에 인접한 부분에서 두가지 열쾌적지표 모두 낮게 나타났다. Fig. 5(a)의 PMV분포에서 x값이 낮은 쪽이 높은 쪽보다 지표가 낮게 형성되는데 이는 강의실 문을 통해 유입되는 열유속(heat flux)의 영향과 실내 벽으로부터의 복사온도가 좌측벽(x=0.0m)보다 우측벽(x=11.12m)에서 약 0.4℃ 높기 때문이다. 그러나 Fig. 5(b)의 EDT분포에서는 강의실 문을 통한 열유속(heat flux)의 영향이 나타나기는 하지만, 복사온도의 영향이 고려되지 않기 때문에 거의 좌우 대칭의 형상을

나타내고 있다. 그리고 그림의 x=3.75m와 x=7.50m 위치의 아래부근에서 EDT지표가 낮게 나타나고 있는데, 이는 FCU로 유입되는 공기의 하강으로 인하여 유속이 다른 부분보다 크기 때문에 나타나는 현상이다. 이는 Fig. 5(a)의 PMV분포에서도 나타나는데, 그림 상의 동일한 위치에서 다른 영역보다 상대적으로 낮게 계산되는 값으로부터 확인할 수 있다.

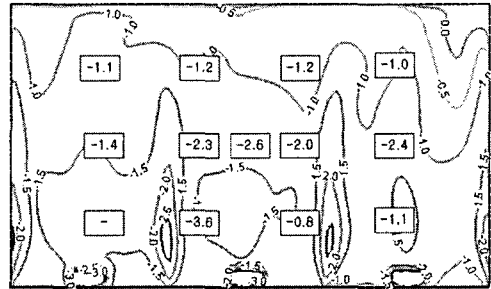
Fig. 5(c)와 (d)의 case 2의 경우에도 전체적인 분포의 경향은 비슷하게 나타났고, z값이 증가할수록 FCU의 영향으로 인하여 지표값들이 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 case 1의 경우와는 달리 PMV와 EDT의 분포가 복잡한 형상으로 나타나는데, 이는 외부에서 유입되는 급기에 의해 속도 및 온도의 분포가 영향을 받기 때문이다. 특히 z값이 증가할수록 지표의 분포경향이 더 복잡해지는 이유는 이 영역에서 환기구로부터의 토출유속과 토출온도가 FCU에서 토출유속과 토출온도에 상대적으로 큰 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 5(e)와 (f)의 case 3의 경우에는 벽면근처를 제외한 대부분의 영역에서 PMV와 EDT의 분포경향은 비슷하게 나타났고 강의실 중앙부를 중심으로 두 지표 모두 대칭형상으로 나타났다. 이는 본 연구에 사용된 4-way 카세트에어컨은 FCU와 달리 4방향으로 냉기를 토출하여 강의실에 냉기가 균형적으로 분포될 수 있도록 만들었기 때문이다. 그러나 벽면근처에서는 PMV와 EDT의 값이 차이를 나타내는데, 이는 PMV가 벽면에서의 복사온도를 고려한 반면, EDT는 이를 고려하지 않기 때문에 발생하는 것으로 판단된다. 또한 그림에서 두 지표모두, 냉기가 직접 토출되는 위치뿐만 아니라 각 모서리에서 중심을 향하는 방향으로 값들이 낮게 형성되는데 이는 냉기토출각도가 30°인 경우 코안다 효과(Coanda effect)의 영향으로 냉기들이 천정을 따라 흐르다가 벽에 부딪히고, 이때 많은 양의 냉기들이 모서리 부근으로 이동한 후, 이들이 4-way 카세트에어컨 하부에 있는 공기유입구로 기류를 형성하기 때문이다.

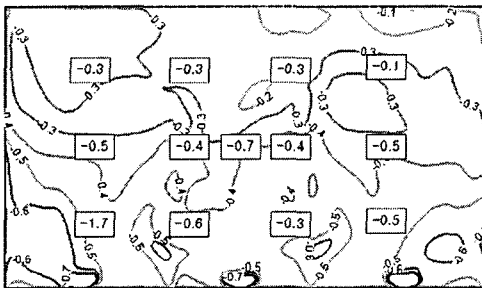
Fig. 5(g)와 (h)의 case 4의 경우에도 case 3의 경우와 같이 벽면근처를 제외한 대부분의 영역에서 PMV와 EDT의 분포경향은 비슷하고 강의실 중앙부를 중심으로 대칭형상이 나타났다. 그리고 외부급기로 인하여 전체적으로 case3의 경우보다



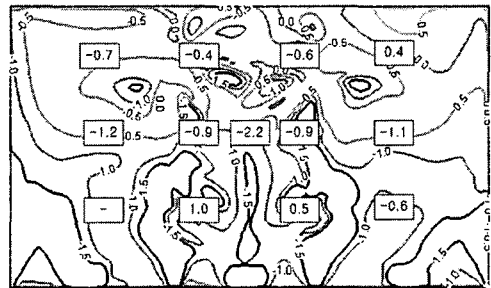
(a) Case 1, PMV



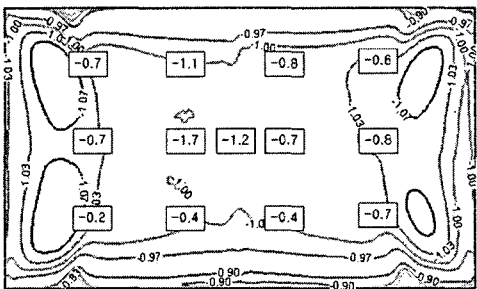
(b) Case 1, EDT



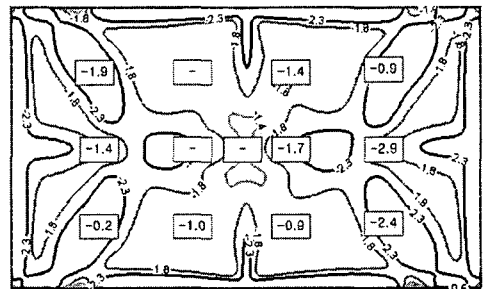
(c) Case 2, PMV



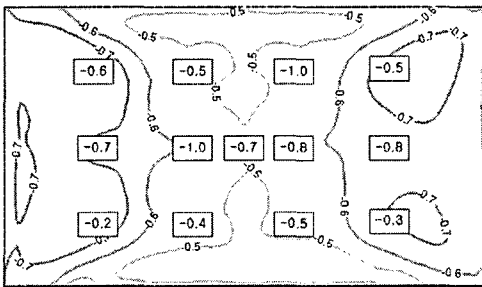
(d) Case 2, EDT



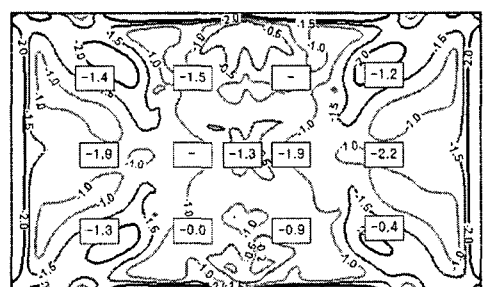
(e) Case 3, PMV



(f) Case 3, EDT



(g) Case 4, PMV



(h) Case 4, EDT

Fig. 6 Comparison of experimental results and numerical ones for PMV and EDT distribution of the z-x plane at y=1.1m

열쾌적지표는 약간 높게 나타났다. 그러나 벽면 근처에서는 PMV와 EDT의 값이 차이를 나타내는데 이는 벽면 복사온도의 영향 때문이다.

5.3 실험과 수치해석 결과의 비교

Fig. 6은 PMV와 EDT의 수치해석과 실험결과를 비교한 것이다. 그림에서 PMV와 EDT의 분포를 비교하면 창문측과 강의실 중앙부분을 제외한 전체영역에서 분포경향이 비슷하게 나타났다. 창측에서 PMV와 EDT의 편차가 증가하는 이유는 태양복사량 등에 대한 영향을 충분히 반영하지 못했기 때문이다. 각각의 경우에 대하여 PMV에 대한 수치해석과 실험값의 오차보다 EDT에 대한 결과오차가 더 큰 것을 볼 수 있는데, 이는 EDT가 속도와 온도만을 결정인자로서 고려하고 있는 반면, PMV는 온도와 속도뿐만 아니라 복사온도, 신진대사율, 인체표면에서의 열전달량 등의 더 많은 인자들을 고려했고 수치적인 쾌적범위도 더 작기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 또한 case 1과 2의 FCU보다 4-way 카세트에어컨이 가동되는 경우 수치결과와 실험값의 오차가 작은 것을 볼 수 있는데, 이는 FCU가 가동되는 경우에는 강의실 전체적으로 유동이 고르지 못하기 때문에 유속에 대한 수치계산 정확도가 더 떨어지기 때문인 것으로 판단된다.⁽⁹⁾ 이러한 현상은 FCU가 직접적으로 영향을 미치는 case 1과 2의 창문측에서 두드러지게 나타나고 있다.

앞서 논의하였지만 본 연구에서 실험결과와 수치결과의 사이에 오차가 발생하는 이유는 실험이 진행됨에 따라 강의실 외부에서 바람에 의한 열전달계수와 태양복사량 등의 변화, 강의실 내부에서 외란에 의한 순간적인 내부유동의 변화와 벽면 복사온도의 부분편차 등이 발생하여 실험 당시의 조건이 수치해석 조건과 달라질 수 있기 때문이다. 따라서 정확한 연구를 위해서 PMV와 EDT에 대하여 내·외부 조건을 정확히 조절할 수 있는 실험실을 구성하고 각각에 대해 실험이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

6. 결론

4-way 카세트에어컨이 설치된 강의실에서 열쾌적지표인 PMV와 EDT의 열적 쾌적성 평가지표에 대한 비교 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론

을 얻을 수 있었다.

(1) 실험을 통해 측정된 PMV와 EDT의 값들은 유사한 쾌적도를 나타내는 것으로 확인되었고 대부분의 경우에서 PMV값이 증감함에 따라 EDT의 값도 유사하게 증감하는 것을 볼 수 있었다.

(2) 본 연구의 경우 EDT의 설정온도를 23℃에서 23.4℃로 변경하면, 냉방시 실내에서 측정된 PMV가 -0.5~0.0일 때, EDT는 -1.7~0.0 범위를 만족하는 것으로 나타났고 이로부터 PMV와 EDT의 상관성이 매우 높은 것을 알 수 있었다. 또한 이 결과로부터 EDT를 계산할 때는 실내 설정온도의 선정이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

(3) PMV값은 습도(수증기분압)와 복사온도 등의 영향을 모두 고려하기 때문에 온도, 습도가 크게 변하지 않는다면 PMV값은 크게 변하지 않는 것으로 확인되었다. 그러나 EDT는 습도와 복사온도를 고려하지 않기 때문에 실내에서 온도와 습도가 국소적으로 변하는 영역이나 복사량이 있는 영역에서는 EDT값이 열쾌적성을 정확하게 예측하지 못할 것으로 판단된다.

(4) 수치해석을 통하여 PMV와 EDT의 분포결과들을 비교해 본 결과, 전체영역에서 정성적인 분포경향이 매우 비슷한 것으로 나타났다. 그러나 벽면근처에서는 PMV와 EDT의 값이 차이를 나타내는데, 이는 벽면 복사온도의 영향 때문인 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Minister of Environment of Korea, 2003, "The Act of Indoor Air Qualities for Multiple-Use Facilities," Minister of Law of Korea.
- (2) Choi, J. M., Kim, Y. I. 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.
- (3) Kwon, Y. I. and Han, H. T., 2003, "A Study on the Evaluation of the Air Change Efficiency of Multi-Air-Conditioner with Outdoor Air Intake for Heating Season," *Proceedings of the SAREK 2003 Winter Annual Conference*, pp. 543~548.
- (4) Kim, K. H., Lee, K. S., Choi, H. S., Kang, T. W., Chung, B. Y. and Lee, G. G., 2003, "A Study on the Indoor Thermal and Ventilation Characteristics

- in Office Building with Air-Conditioning and Ventilation System," *Proceedings of the SAREK 2003 Summer Annual Conference*, pp. 1111~1116.
- (5) Cho, Y. J., 2001, "ADPI Characteristics of Diffuser in a Room with Perimetric Heating Load," Ph. D. Dissertation, Hanyang University.
- (6) Kim, S. H., Noh, K. C. and Oh, M. D., 2003, "Study on the Evaluation Method of Thermal Comfort in Consideration of the Indoor Radiation Load," *Proceedings of the SAREK 2003 Winter Annual Conference*, pp. 743~739.
- (7) 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 of Supply and Exhaust Diffuser," *Proceedings of the SAREK 2004 Summer Annual Conference*, pp. 734~738.
- (8) ASHRAE Standard 55-92, 1991, "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy," ASHRAE, Atlanta, Georgia.
- (9) ISO 7730, 1994, "Moderate Thermal Environments -Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort," ISO, Geneva.
- (10) ASHRAE Standard 113-1990, 1990, "Method of Tsetting for Room Air Diffusion," ASHRAE, Atlanta, Georgia.
- (11) Patankar, S. V., 1980, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere, Washington, DC.