

컴퓨터실의 열취득과 재실자 온열 쾌적감 연구

Heat Gains and Occupant's Thermal Comfort in Computer Room

김 원 태*
Won-Tae Kim*

요약 본 연구에서는 기존의 공조방식 및 본 연구에 제안된 개별환기제어시스템(PEM)으로부터 재실자가 거주하여 사용하고 있는 컴퓨터룸(CR)에 대해 기하학적으로 3차원 시뮬레이션을 수행하여 CR의 열취득과 재실자 온열 쾌적감을 감성공학적 측면에서 분석하였다. 본 연구로부터 바닥으로부터 공기를 유입하여 천정으로 유출하는 바닥취출공조(TAM)방식이 실내 환경 개선에 유리하고 디퓨저만을 통하여 공기가 유입되어 천정과 바닥으로 공기가 유출되는 개별공조(PEM) 방식은 열적 냉각 성능은 좋으나 컴퓨터와 재실자 주변에 강력한 재순환 유동을 유인하여 실내 환경의 쾌적감 측면에서는 불리하다. 그러나 PEM과 TAM방식의 결합이 감성공학적 온열특성 분포로부터 CR의 재실자 주변 온도 분포에 최적임을 알 수 있다.

1. 서론

인간은 열, 냉 등 사무실 환경의 온도 변화에 대한 상당한 적응력이 있으나, 적응범위에는 일정한 한계가 있다. Bauman 등(1991)과 Nakamura 등(1996)의 연구로부터, 인간공학적으로 쾌적한 환경 구성을 창출하기 위하여 건물 층별로 혹은 방별로 온도나 습도가 조절될 수 있도록 설비상으로 대응하고 이에 따른 공조 설비 환경을 함께 마련하는 것이 필요하다. 실내의 경우는 Kohyama 등(1996)의 연구에 의하면, 제한된 환경 내에서 주위온도가 변하면 인체는 특정한 신채조절 작용을 하여 실내 온도에 대한 적응력을 증대시키며 한계를 넘어서는 온도범위에 대해서는 이를 극복하기 위해 설비적인 측면에서 난방, 냉방, 환기, 습도조절 등으로 체질의 보호를 위한 환경의 통제가 가능하다. 사용자의 관점에서 사무실 환경의 문제를 연구해온 ISO(International Standards Organization, 1984)의 보고에 의하면, 건물의 수

명기간 동안 건물 건축, 설계, 설비 등에 총비용의 10%만이 지출되고 있어 작업장의 효율성이나 생산성을 크게 저해하는 요인으로 지적하였다. 건물의 실내 환경은 1970년대부터 크게 변하여 생산성 향상과 효율화에 바탕을 둔 OA(Office Automation)가 진행되면서 실내 환경의 인간 친화적인 고려와 에너지 절약을 고려하여 각종공조, Area 공조, Zone 공조 등을 거쳐 1990년 이후 개별공조방식을 통한 건물의 기능성 회복과 인간공학적으로 재실자의 쾌적감을 개선하는 경향으로 가고 있다.(Hanzawa 등, 1990)

2. 연구 방법 및 절차

2.1 개별공조(PEM) 개요

(그림 1)은 개별환기제어 시스템의 개요도를 나타내고 있다. PEM은 공기유출구(디퓨저)를 책상위 컴퓨터의 한 공간에 양쪽으로 설치함으로써 재실자가 원하는 조건의 공기를 재실자에게 직접 제공하도록 하였다. 그림에서 책상 밑의 복사 난방 패널은 수치해석의 단순함을 위해 본 모델링에서는 제거되었다. 제어패널에 의하여 급기되는 공기온도와 유량은 제어센서에 의

* 본 연구비는 과학기술부 G7 감성공학과제의 연구비 지원을 받아 수행되었음.

* 공주대학교 산업공학과

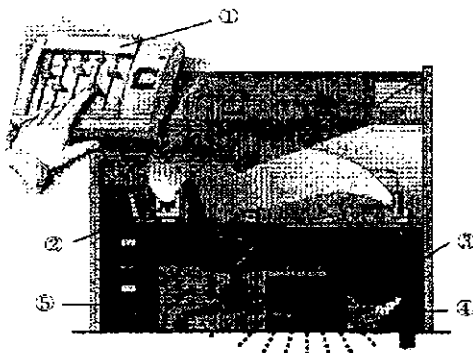
해 제어 가능하다.

2.2 일반 공기공조 유형

개별환경제어(PEM)시스템은 실내 거주자의 쾌적 공간 조성에 영향을 미치는 환경 요소인 급기되는 공기의 온도 및 습도, 급기되는 공기의 풍속 및 풍량, 공기의 방향 및 개별 조도 등을 조절하는 모듈과 제어기에 의하여 거주자 주변 환경을 거주자가 원하는 환경으로 자동제어할 수 있는 것으로서 공기 유통구를 바닥에 설치하는 TAM(Task Air Module)과 책상 위의 한 공간에 설치하는 PEM의 두 가지가 있다. 위의 두 가지 모듈 중 TAM시스템은 바닥취출공조(UFAC) 방식에 가까우며 일반적인 개별환경제어시스템은 후자의 PEM시스템을 의미한다.



(a)



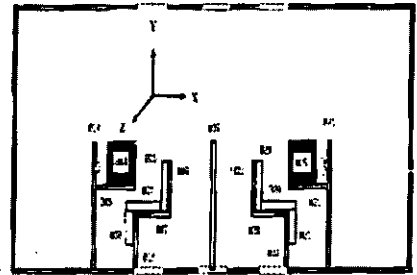
(b)

- ① Control unit ② Diffuser
- ③ Mixing chamber
- ④ Flexible duct ⑤ Radiant heating panel

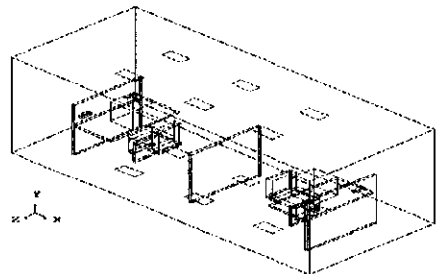
(그림 1) PEM의 개략도

2.3 연구방법

고도화된 전산실(Computer Room : CR)에서는 좁은 공간에 과밀도로 PC가 설치되므로 실내 CR 주변 재실자나 사용자의 온열에 대한 개별공조방식 온도 제어를 통한 쾌적한 온도 제어에 대한 필요성은 실내 환경의 환경 친화적인 면에서나 에너지 절약을 위해 절실히 요구되고 있다.(Fisk 등, 1991; 김원태 등, 1998) 본 연구에서는 실내 공기 취출방식에 추가로 재실자 주위에 디퓨저(diffuser)를 설치한 개별환경 제어시스템(Personal Environment Module: PEM)을 고려하여 감성공학적인 측면에서 환경친화적 온도제어를 위한 CR공간의 공조설비를 삼차원 수치해석으로 수행하여 공기취출이 바닥이나 천장을 통한 TAM (Task Air Module)과 비교하고 각종 공조 방식에 따른 실내 Heat Gain과 쾌적감을 분석하였다.



(a)



(b)

(그림 2) CR의 치수 및 수치해석 모델링:
(a) 물리적 치수, (b) 수치해석 모델링

3. 모델링 및 해석

3.1 CR 모델링

고려된 실내 공간은 6.5×2.5×2.7m 크기를 가지

는 규모로 하였으며 실 내부에는 2개의 책상과 PC가 칸막이로 분리된 채로 설치되어 있고 각각의 의자에는 재실자가 착석하여 작업 중인 것으로 하였고 공기의 유입이 실내의 천정 및 바닥에 각각 6개씩 있는 공기 유입구를 통해서 각각 유입 또는 유출되는 것으로 하였다. (그림 2)는 본 연구에서의 CR에 대한 수치해석 모델링을 도시한 것이다. 수치해석을 위하여 본 연구에서 채택한 기본적인 데이터는 <표 1>에 나타내었다.

PEM시스템의 경우 실내에 있는 재실자를 향하여 바닥면에 있는 공기유입구로 공기가 일부 유입되고 일부는 디퓨저로부터 공기가 유입되는 경우와 디퓨저만에 의해 공기가 유입되는 경우를 설정하여 <표 1>에 서와 같은 기본적인 조건하에서 기존의 공조 방식과 본 연구에서 채택한 디퓨저를 갖는 PEM의 성능을 유입되는 공기 조건에 따라 재실자에게 상호 미치는 영향을 비교하였다.

<표 1> CR 모델링 치수(단위: m) 및 입구조건

	내역	치수/조건
기하학적 구성	룸	6.5×2.5×2.7
	바닥 개구멍	0.4×0.21
	천장 개구멍	0.4×0.21
	디퓨저	0.21×0.06
입구조건	외부 공기 온도	18℃
	공기 유속 범위	0 ~ 1 m/s

3.2 삼차원 수치해석

일정한 온도의 외부 공기가 실내로 유입되면 실내에서는 PC 및 재실자로부터 발열되는 열량을 취득한 후 공기 유출구로 배출된다. 공간 내부에 존재하는 공기의 유동은 실내에 비치된 기하학적 구성물로 인해 복잡하게 되므로 본 연구에서는 공기 유동을 비압축성, 3차원 난류유동으로 간주하였다. 또한 공간내부에 존재하는 난류유동 현상과 에너지 전달 현상을 에너지 방정식 및 경계 조건들에 대하여 정상상태의 비압축성 난류 유동의 연속방정식, Low-Reynolds수 $\kappa-\epsilon$ 모델로부터 운동량방정식, 난류에너지, 소산율방정식을 이용하여 각 제한체적에 대해 Rosten과 Spalding의 유한체적법인 PHOENICS 열유체 코드로 해석하였다.

3.3 경계조건

실 내부의 공간에 존재하는 PC 및 재실자로부터

발열이 계속적으로 이루어지게 되는데 본 연구에서는 <표 2>에서처럼 각각의 PC 및 재실자로부터 일정한 발열이 있는 것으로 가정하였다. 그리고 외부 벽체에 서는 공기유동이 없는 non-slip 조건과 열적으로 단 열되어 있는 것으로 간주하였다. 바닥 또는 천정으로부터 유입 또는 유출되는 공기에 대해서는 공기가 유출되는 곳에 압력경계조건을 주었다.

<표 2> 열원 조건

열원	발열량(Watt)	수
PC	180/unit	2
재실자	58/person	2

4. 결과 및 고찰

4.1 계산조건

<표 3>은 실내로 유입되는 공기 유동 방향이나 디퓨저를 통한 공기 유입량 변화에 따른 설정된 계산조건을 나타낸다. 공기의 유입온도는 18℃이고 유입 속도가 1m/s인 기본 조건하에서 천정으로부터 공기가 유입되어 바닥 방향으로 유출되는 천정취출공조방식인 경우(CASE I), 바닥으로부터 공기가 1m/s의 속도로 유입되어 천정 방향으로 유출되는 바닥취출공조방식인 경우(CASE II), 디퓨저로부터 일부 공기가 유입되고 일부 공기는 바닥으로부터 유입되어 천정 방향으로 유출되며 취출공조방식으로 총공기 유동량(mass flow rate)은 앞의 CASE I 및 CASE II와 동일한 PEM 공조방식을 혼용한 경우(CASE III, CASE IV), 디퓨저로부터 공기가 전량 유입되어 바닥과 천정의 공기 유출구를 통해 공기가 실내 밖으로 유출되는 PEM 공조방식인 경우(CASE V) 등 5가지 공조방식이 있다. 본 연구에서는 바닥 또는/과 디퓨저로부터 유입되는 공기가 재실자와 PC가 있는 방향으로 유입됨에 따라 각각의 공조방식에 대하여 온도 분포, CR과 재실자 주위의 온도 등을 비교 분석하였다.

<표 3> 3차원 수치해석의 입력 및 경계조건

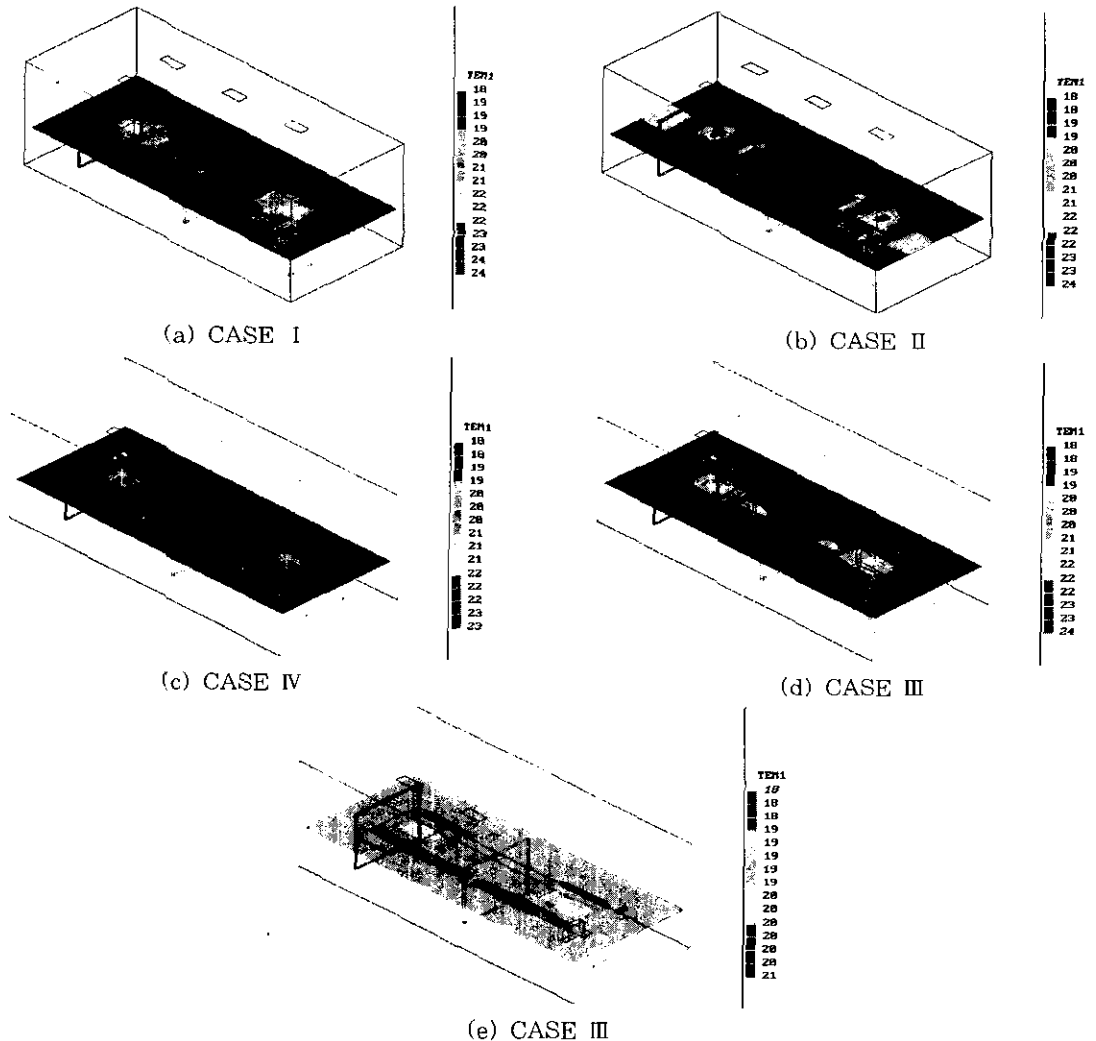
조건	내역		CASE
	공기방향	V _{in} (m/s)	
입력	Up → Down	1	I
	Down → Up	1	II
디퓨저	Down → Up with diffuser	0.75	III
		0.5	IV
	Diffuser only		V

4.2 온도 분포

(그림 3)의 (a)와 (b)는 CASE I과 CASE II의 천정 또는 바닥취출 공조시스템에 대한 실 내부의 온도 분포를 나타낸 것이다. 바닥으로부터 공기가 유입되어 천장으로 공기가 유출되는 경우가 재실자 주변에서 온도 분포가 고르게 나타나 CASE II가 CASE I에 비해 더 좋은 공조 방식임을 알 수 있고 바닥취출 공조방식과 디퓨저를 혼용한 PEM 방식이 효과적인 냉각방식임을 알 수 있다. 그리고 (c), (d), (e)는 각각 CASE III과 IV의 디퓨저를 혼용한 유동, CASE V의 디퓨저 전량 공기유출에 따른 실 내부의 온도 분포를 나타낸 것이다.

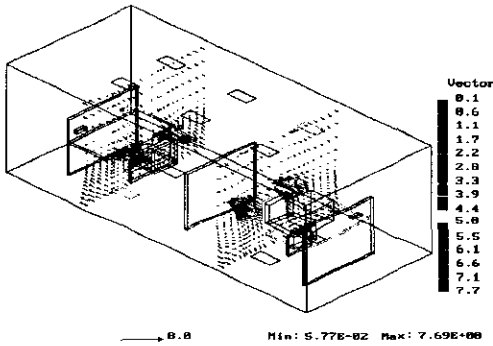
4.3 실내환경 특성

CR 내부에 일정한 발열체가 존재하는 경우, 실 내부를 냉방하기 위해서는 일정한 유량의 공기가 유입된다고 가정할 때 동일한 공기 유량에 의하여 가능한 많은 열량을 배출시킬 경우가 실내 공기 온도를 더욱 하강시키게 되기 때문에 냉방 효율이 좋은 것이라고 할 수 있다. (그림 4)의 (a)와 (b)는 CASE V의 PC와 재실자 주변의 실내 환경에서 각각 디퓨저에 의한 전량의 공기유출에 따른 실 내부의 속도 벡터 및 온도 분포를 나타낸 것이다.

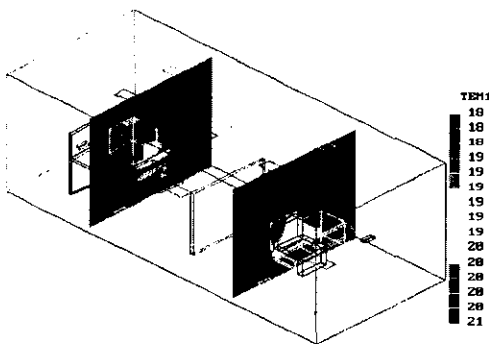


(그림 3) Y축 $h=2/5H$ 에서의 CR 내 온도 분포

(그림 4)에서 (a)의 속도벡터 분포에서 나타나듯이 디퓨저로 유입된 공기가 실 내부에 있는 발열체를 냉각시키는데 효과적이 되어 개별공조제어시스템인 PEM과 바닥취출 공조방식이 혼용된 경우에 실내 환경이 크게 개선됨을 알 수 있다. (그림 4)의 (b)의 재실자 주변에서 상하로 온도 분포가 비교적 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 결과로, 저온공조 방식에 따른 CR의 온열환경 개발이 열성능과 인간-환경의 쾌적한 실내 온도 조건을 달성함을 알 수 있는데 향후 PEM시스템과 연계된 디퓨저의 공조방식을 개발하는 것이 감성공학적으로 인간의 쾌적감을 고려한 에너지 효율적인 환경친화 공조방식으로 사료된다.



(a) 속도 벡터



(b) 온도 분포

(그림 4) x-축 단면에서 CASE V의 CR내 온도 분포

4.4 열취득(Heat Gains)과 쾌적감

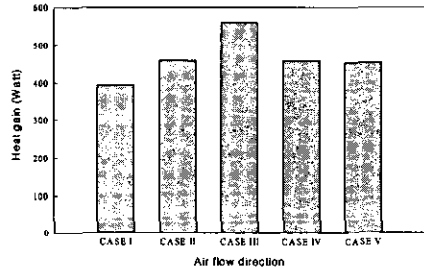
(그림 5)의 (a)는 실내 열량 유출입을 통한 열취득(heat gain)을 도시한 것으로 많은 열량이 배출되어

고냉방효율(high cooling efficiency)을 가지게 됨을 알 수 있다. 이에 대한 관계식(formula)은 다음과 같다.

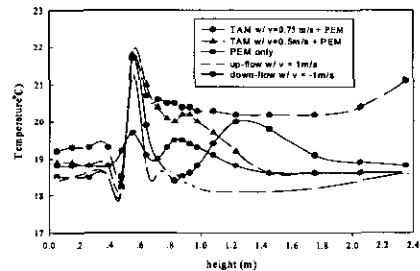
$$Q = \int_{inlet}^{outlet} \dot{m} C_p dT$$

이로부터 얻어지는 결과로서 다음과 같이 서술할 수 있다.

- (1) 상향 공기 유동: Up-flow(CASE II) > 하향 공기 유동 : Down-flow(CASE I)
- (2) TAM + PEM 의 CASE III 가 가장 우수 : 18% superior to CASE V



(a)



(b)

(그림 5) x = 1.775m, z = 1.225m에서의 열 취득과 온열 쾌적감

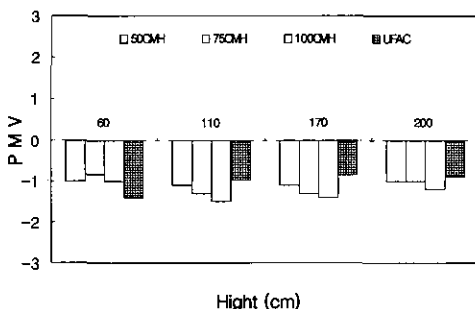
이처럼 상향 공기 유동이 하향 공기 유동에 비해 상대적으로 열취득이 좋은 것은 에너지보존법칙인 열역학 제1법칙에 따른 것으로 데워진 공기가 부력의 효과로 인해 상부로 움직이며 공기의 유동을 보다 적극적으로 진행시켜 나가게 되어 CR내의 공기 유동이 결과적으로 보다 원활히 진행되기 때문이다. (그림 5)

의 (b)는 CR실의 벽면의 상하 높이인 y축 방향에 따른 재실자 주위 온도 분포를 <표 3>에 따른 본 수치 해석의 모델링으로부터 각 경우에 따라 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 재실자 주위 온도 분포는 재실자가 갖는 발열량에 의해 재실자 중위에서 가장 높고 각 경우의 공조방식인 각 CASE별로 다음과 같다.

- i) CASE I : 전체적으로 CR내의 온도 분포가 높은 편이며 특히 재실자 주변에서 온도 상승 폭이 다른 4가지의 CASE에 비해 크다.
- ii) CASE II : 전반적으로 CR내의 온도 분포가 다른 CASE 연구에 비해 상대적으로 안정되어 있다.
- iii) CASE III : CR내 분포된 온도가 다른 CASE 결과와 비교하여 높은 편이며 특히 재실자 주위의 온도 분포가 요동이 매우 심각한 편이다.
- iv) CASE IV : 전반적으로 CR 내의 온도가 균등하게 그리고 적절한 온도 수준에서 안정적으로 분포된 편이다.
- v) CASE V : 온도 분포가 CR에 전반적으로 걸쳐서 낮은 편이나 재실자 주변에서 온도가 안정적으로 균등한 편이다.

4.5 온열감

일반적으로 인체 쾌적성을 나타내는 PMV는 동일한 조건하에서 0에 가까울수록 쾌적한 상태를 나타낸다고 할 수 있다. 그러나 본 연구에서의 같이 시스템이 다른 경우에는 PMV값이 0에 가까울 경우보다는 PMV값의 절대값이 큰 것이 급기유량 등의 조절에 의하여 쾌적도를 낮출 수가 있기 때문에 쾌적한 환경을 유지할 수 있는 가능성이 크다. 쾌적한 환경을 유지할 수 있는 가능성을 알아보기 위하여 높이(60cm ~ 200cm), PEM시스템을 통한 공급유량(50CMH ~ 100CMH)을 변화시키면서 PMV를 측정한다. UFAC 경우가 (그림 6)이다.



(그림 6) PMV(Predicted Mean Vote) at each height

(그림 6)에서 보면 바닥면에 가까운 60cm위치에서는 UFAC 시스템에서의 PMV가 -1.2로서 PEM시스템에서 보다 -0.3 ~ -0.5정도 낮게 나타나지만 높이가 110cm부터는 UFAC에서의 PMV가 -0.1 ~ -0.4정도 낮게 나타나는데 이러한 영향은 PEM시스템을 통한 공기의 유량이 커질수록 더 크게 나타났다. 따라서 PEM시스템의 경우가 UFAC시스템의 경우보다 실내환경의 개선가능 가능성이 크고 PEM시스템의 경우에는 PEM시스템을 통한 공급유량이 커질수록 환경개선 가능성이 크게 나타났다.

6. 결론

개별환경제어시스템(PEM)의 성능 특성을 규명코자 기존의 여러 공조방식과 성능 특성을 비교하기 위하여 3차원 시뮬레이션 한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 공기의 유동을 천장으로부터 유입하여 바닥으로 공기를 유출하는 것보다 바닥으로부터 공기를 유입하여 천장으로 유출하는 바닥취출공조방식이 실내 환경 개선에 유리하다.
- 2) 디퓨저만을 통하여 공기가 유입되어 천장과 바닥으로 공기가 유출되는 PEM 방식은 열적 냉각 성능은 좋으나 PC와 재실자 주변에 강력한 재순환 유동이 발생되어 실내 환경의 쾌적감 측면에서는 불리하다.
- 3) 디퓨저와 바닥을 통하여 공기가 유입되어 천장으로 공기가 유출되는 경우에는 공기 유동 방향이 한 방향으로 일치하므로 실내의 온도 및 속도 분포가 상대적으로 고르게 나타나므로 개별공조방식(PEM)과 바닥취출공조방식을 혼용한 공조방식을 택함으로써 실내환경이 크게 개선될 수 있다.
- 4) PEM에 의한 디퓨저 만을 통한 배급 시, 공기 유동 방향이 상하로 이루어져 재실자 주위에서 온도 분포가 고르지 못하고 PEM과 TAM방식의 결합이 CR실의 재실자 주변 온도 분포에 최적임을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] F. Bauman, K. Heinemeir, H. Zang (1991). Localized Distribution for Office Buildings. University of California,

Berkley

- [2] Yasuhiro Nakamara, Minoru Mizuno (1996), "Study on Thermal Comfort and Energy Conservation of Task-Ambient Air Conditioning System," 5th International Conf. on Air Distribution in Room ROOMVENT96
- [3] Makoto Kohyama, Minoru Mizuno(1996), "Field Measurements of the Indoor Environment of an Office with a Task-Ambient Air Conditioning System," 5th International Conf. on Air Distribution in Room ROOMVENT96
- [4] ISO, ISO-7730(1984): Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort
- [5] W. Hanzawa and Y. Nagasawa(1990), "Thermal Comfort with Underfloor Air-Conditioning Systems," ASHARE Trans., Vol. 96, Part 2, 696-698.
- [6] W. J. Fisk, D. Faulkner, D. Pih(1991), Indoor Air Flow and Pollutant Removal in a Room with Task Ventilation, Lawrence Berkely Lab.
- [7] S. H. Cho, W. T. Kim, K. T. Na, K. S. Chung(1998), "Experimental Study on Thermal Characteristics of Personal Environment Module(PEM) System," 2nd Int. Conf. on Human Environment System, Japan, 498-502.

Heat Gains and Occupant's Thermal Comfort in Computer Room

Won-Tae Kim *

* Department of Industrial Engineering, Kongju National University

Abstract Using the three-dimensional modeling set to conventional HVACs and the trending Personal Environmental Method(PEM) adapted in this study, the computer simulation on the computer room internal with occupants to work was conducted. From the data acquisition resulting in simulations, all of facets affected to occupant's thermal comfort, involving the natural wind condition, were analyzed as following: While a under-floor air-conditioning(UFAC) system with Task Area Module(TAM) has its own advantages for improving the indoor room conditions, PEM, which applied only the diffuser to come into the air and vent out it through the computer room, demonstrated superior thermally cooling performance to the former, but caused the significant flow-streams near to the occupant by recirculation flow distributions induced thermally and resulting in its poor thermal comfort. However consequently, it was indicated that the proper combination between TAM and PEM increased the thermal comfort around the occupant and proved the improvement of quality toward the computer room.