

개별공조에 의한 CR에서의 Heat Gain과 재실자 온열성 연구 Occupant's Thermal Comfort and Heat Gains in CR by PEM

김원태*

*공주대학교 산업공학과

Abstract

기존의 공조방식 및 본 연구에서 제안한 개별환경제어시스템(PEM)으로부터 열유체 유동 해석용 PHOENICS 프로그램을 이용하여 3차원 시뮬레이션을 수행하여 재실자가 거주하고 있는 CR(컴퓨터실)에서의 Heat Gain과 재실자 온열성 특성을 감성공학적 측면에서 분석하였다. 본 연구로부터 바닥으로부터 공기를 유입하여 천정으로 유출하는 바닥취출공조방식이 실내 환경 개선에 유리하고 diffuser만을 통하여 공기가 유입되어 천정과 바닥으로 공기가 유출되는 PEM 방식은 열적 냉각 성능은 좋으나 PC와 재실자 주변에 강력한 재순환 유동이 발생되어 실내 환경의 쾌적성 측면에서는 불리하나 PEM과 TAM방식의 결합이 감성공학적 온열특성 분포로부터 CR실의 재실자 주변 온도 분포에 최적임을 알 수 있다.

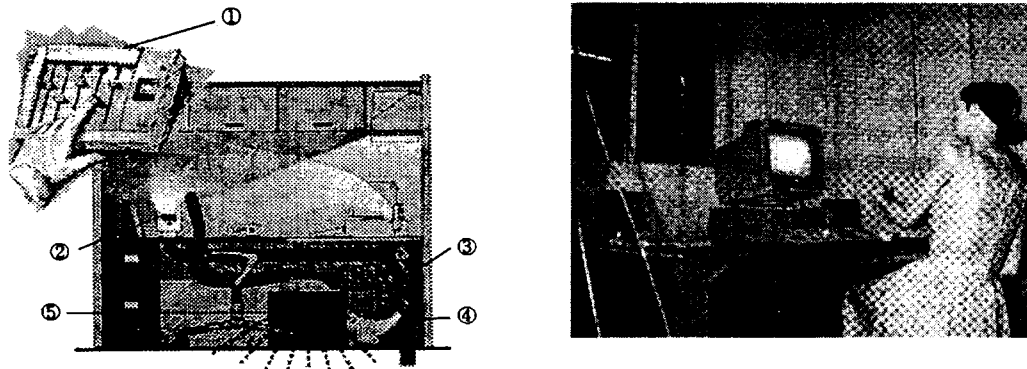
1. 서론

인간은 열, 냉 등 사무실 환경의 온도 변화에 대한 상당한 적응력이 있으나, 적응범위에는 일정한 한계가 있다. 인간공학적으로 쾌적한 환경 구성을 창출하기 위하여 건물 층별로 혹은 방별로 온도나 습도가 조절될 수 있도록 설비상으로 대응하고 이에따른 공조 설비 환경을 함께 마련하는 것이 필요하다. 실내의 경우는 제한된 환경 내에서 주위 온도가 변하면 인체는 특정한 신체조절 작용을 하여 실내 온도에 대한 적응력을 증대시키며 한계를 넘어선 온도범위에 대해서는 이를 극복하기 위해 설비적인 측면에서 난방, 냉방, 환기, 습도조절 등으로 체질의 보호를 위한 환경의 통제가 가능하다. 사용자의 관점에서 사무실 환경의 문제를 연구해온 Ronald Goodrich는 건물의 수명기간 동안 건물 건축, 설계, 설비등에 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 각층공조, Area 공조, Zone 공조등을 거쳐 1990년 이후 개별공조방식을 통한 건물의 기능성 회복과 인간공학적으로 재실자의 쾌적성을 개선하는 경향으로 가고 있다. 특히 고도화된 전산실(Computer Room : CR)에서는 좁은 공간에 과밀도로 PC가 설치되므로 실내 CR 주변 재실자나 사용자의 온열에 대한 개별공조방식 온도제어를 통한 쾌적한 온도 제어에 대한 필요성은 실내 환경의 환경 친화적인 면에서나 에너지 절약을 위해 절실히 요구되고 있다. 본 연구에서는 실내 공기 취출방식에 추가로 재실자 주위에 공기유출구(Diffuser)를 설치한 개별환경제어시스템(Personal Environment Module : PEM)을 고려하여 감성공학적 측면에서 CR공간의 환경친화적인 온도 제어를 위한 공조 연구를 삼차원 수치해석으로 수행하여 공기취출이 바닥 또는 천장을 통한 TAM(Task Air Module)과 비교하고 각종 공조 방식에 따른 실내 Heat Gain과 온열성을 분석하도록 한다.

2. 개별공조 개요

Fig. 1은 개별환경제어 시스템의 개요도를 나타내고 있다. PEM은 공기유출구(diffuser)를 책상위 컴퓨터의 한 공간에 양쪽으로 설치함으로써 재실자가 원하는 조건의 공기를 재실자

에게 직접 제공하도록 하였다. 그림에서 책상 밑의 복사 난방 패널은 수치해석의 단순함을 위해 본 모델링에서는 제거 되었다. 제어패널에 의하여 급기되는 공기온도와 유량은 제어센서에 의해 제어 가능하다. 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 유출구를 바닥에 설치하는 TAM(Task Air Module)과 책상 위의 한 공간에 설치하는 PEM의 두 가지가 있다. 위의 두 가지 모듈 중 TAM시스템은 바닥취출공조 방식에 가까우며 일반적인 개별환경제어시스템은 후자의 PEM시스템을 의미한다.



(a) ① Control unit ② Diffuser ③ Mixing chamber
④ Flexible duct ⑤ Radiant heating panel

(b)

Fig. 1 Layout of PEM

3. 모델링 및 해석

3.1 CR 모델링

고려된 실내 공간은 6.5x2.5x2.7m 크기를 가지는 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. 수치해석을 위하여 본 연구에서 채택한 기본적인 데이터는 Table 1에 나타내었다. <표 1>에서와 같은 기본적인 조건하에서 기존의 공조 방식과 본 연구에서 채택한 diffuser를 갖는 PEM의 성능을 PEM시스템의 경우에는 실내에 있는 재실자를 향하여 바닥면에 있는 공기유입구로 공기가 일부 유입되고 일부는 diffuser로부터 공기가 유입되는 경우와 diffuser만에 의해 공기가 유입되는 경우를 설정하여 유입되는 공기 조건에 따라 재실자에게 상호 미치는 영향을 비교하였다.

Table 1 Dimension of room modeling (unit : m)

	Description	Dimension
Geometry	room	6.5x2.5x2.7
	bottom open	0.4x0.21
	top open	0.4x0.21
	diffuser	0.21x0.06
Inlet temperature	environment air	18℃
Inlet velocity	air	0 ~ 1 m/s

3.2 삼차원 수치해석

일정한 온도를 가지는 외부 공기가 실내로 유입되면 실내에서는 PC 및 재실자로부터 발열되는 열량을 취득한 후 공기 유출구로 배출이 된다. 공간 내부에서 존재하는 공기의 유동은 실내에 비치된 기하학적 구성물로 인해 복잡하게 되므로 본 연구에서는 공기 유동을 비압축성, 3차원 난류유동으로 간주하였다. 본 연구에서는 정상상태의 비압축성 난류 유동의 연속 방정식, Low-Reynolds수 $\kappa-\epsilon$ 모델을 이용하여 운동량방정식, 난류에너지 및 소산율방정식과 에너지방정식을 이용하여 공간내부에서 존재하는 난류유동 현상과 에너지 전달 현상을 해석하였다. 해석은 에너지방정식 및 경계 조건들에 대하여 각 제한체적으로부터 Rosten과 Spalding의 유한체적법인 PHOENICS 열유체 코드를 이용하였다.

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 벽체에서는 non-slip 조건과 열적으로 단열되어 있는 것으로 간주하였다. 바닥 또는 천정으로부터 유입 또는 유출되는 공기에 대해서는 공기가 유출되는 곳에 압력경계조건을 주었다.

Table 2 Heat dissipation from source

Source	Heat Dissipation (Watt)	Number
PC	180/unit	2
Occupant	58/person	2

4. 결과 및 고찰

4.1 계산조건

<표 3>은 실내로 유입되는 공기 유동 방향이나 Diffuser를 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 유입되어 천정 방향으로 유출되는 바닥취출공조방식인 경우(CASE II), Diffuser로부터 일부 공기가 유입되고 일부 공기는 바닥으로부터 유입되어천정 방향으로 유출되는 취출공조방식과 PEM 공조방식을 혼용한 경우(CASE III, CASE IV), Diffuser로부터 공기가 전량 유입되어 바닥과 천정의 공기 유출구를 통해 공기가 실내 바깥으로 유출되는 PEM 공조방식인 경우(CASE V) 등 5가지 공조방식이 있다. 본 연구에서는 바닥 또는/과 Diffuser로부터 유입되는 공기가 재실자와 PC가 있는 방향으로 유입됨에 따라 각각의 공조방식에 대하여 온도 분포, CR과 재실자 주위의 온도 등을 비교 분석하였다.

Table 3 Case studies in the present work

Variable	Variations		CASE
	Air direction	Vin (m/s)	
Inlet condition	Up → Down	1	I
	Down → Up	1	II
Diffuser	Down → Up with diffuser	0.75	III
		0.5	IV
	Diffuser only		V

4.2 온도 분포

Fig. 2의 (a)와 (b)는 CASE I과 CASE II의 천정 또는 바닥 취출공조시스템에 대한 실 내부의 온도 분포를 나타낸 것이다. 바닥으로부터 공기가 유입되어 천정으로 공기가 유출되는 경우가 재실자 주변에서 온도 분포가 고르게 나타남을 알 수 있다. 즉 CASE II가 CASE I에 비해 더 좋은 공조 방식임을 알 수 있다. 이로부터 바닥취출공조방기와 diffuser를 혼용한 PEM 방식이 효과적인 냉각방식임을 알 수 있다. 그리고 (c), (d), (e)는 각각 CASE III과 IV, V의 diffuser를 혼용한 유동과 diffuser 전량 공기유출에 따른 실 내부의 온도 분포를 나타낸 것이다.

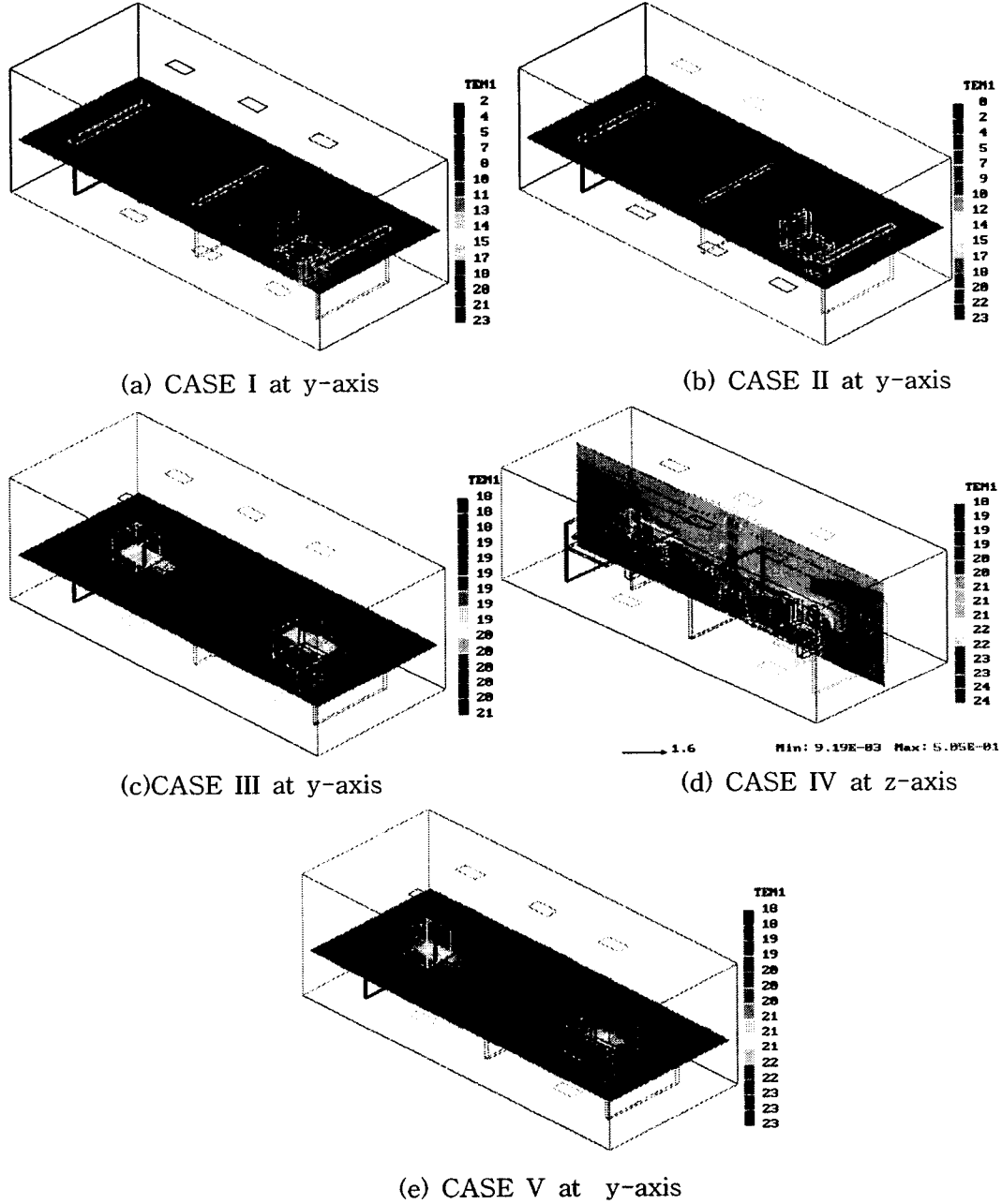


Fig. 2 Temperature distributions at $h = 2/5 H$

4.3 실내환경 특성

CR 내부에 일정한 발열을 하는 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. Fig. 3 (a)와 (b)는 각각 CASE V의 diffuser 전량 공기유출에 따른 실 내부의 속도 벡터 및 온도 분포를 PC와 재실자 주변의 실내 환경에서 나타낸 것이다. 그림에서 보면 diffuser로 유입된 공기가 실 내부에 있는 발열체를 냉각시키는데 효과적일 수 있음을 알 수 있다. 이와 같은 개별공조제어시스템인 PEM과 바닥취출공조방식이 혼용된 경우에 실내 환경이 크게 개선됨을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 저온공조방식의 개발이 열성능과 인간-환경의 쾌적한 실내 온도 조건을 달성함을 알 수 있는데 향후 PEM시스템과 연계된 diffuser의 공조방식을 개발하는 것이 에너지 효율적인 공조방식 중의 하나라 사료된다.

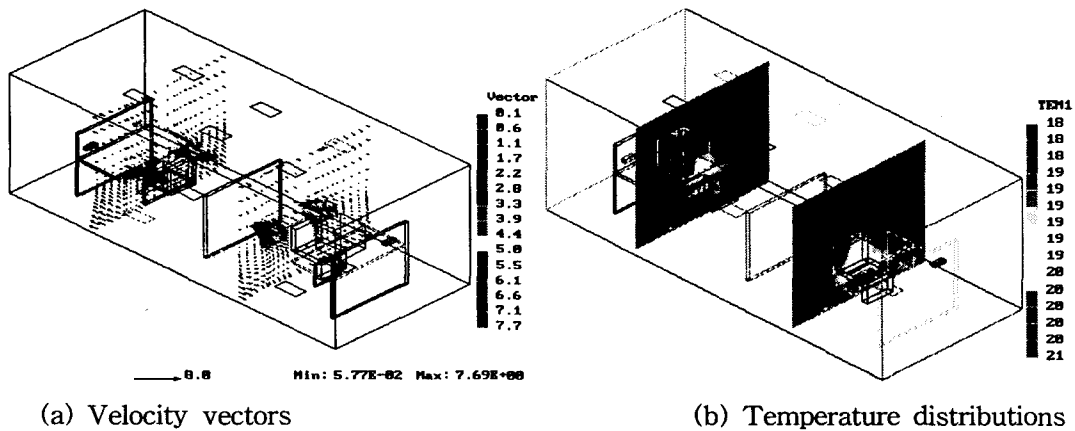


Fig. 3 CASE V at the plane section of x-axis

4.4 Heat Gains와 온열성

Figure 4(a)는 실내 열량 유출입을 통한 heat gain을 도시한 것으로 많은 열량이 배출되어 high cooling efficiency를 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.

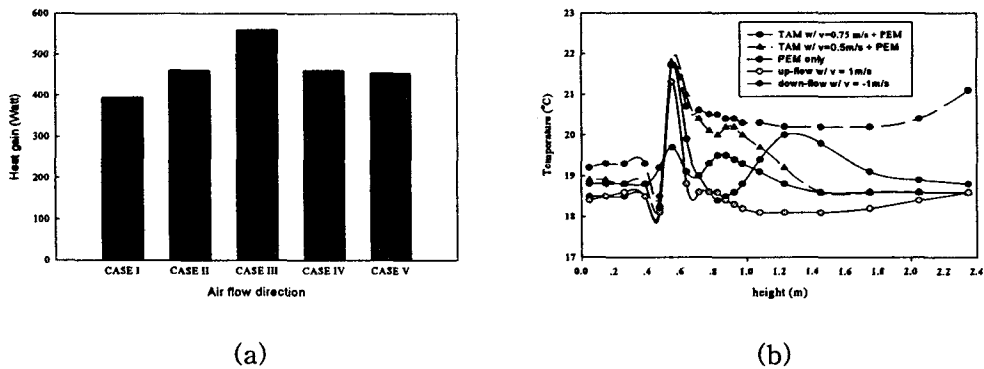


Fig. 4 Heat gains and Thermal comfort at x = 1.775m, z = 1.225m

(1) Up-flow(CASE II) > Down-flow(CASE I)

(2) TAM + PEM 의 CASE III 가 가장 우수 : 18% superior to CASE V

Figure 4(b)는 CR실의 y축방향에 따른 재실자 주위 온도 분포를 각 경우에 따라 도시한 것으로 재실자 주위 온도 분포는 각 CASE별로 다음과 같이 정리할 수 있다.

- CASE I : totally high temp.
- CASE II : medium temp.
- CASE III : high and fluctuating temp.
- CASE IV : medium & moderate temp.
- CASE V : low and stable temp.

5. 결론

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

- 1) 공기의 유동을 천정으로부터 유입하여 바닥으로 공기를 유출하는 것보다 바닥으로부터 공기를 유입하여 천정으로 유출하는 바닥취출공조방식이 실내 환경 개선에 유리하다.
- 2) diffuser만을 통하여 공기가 유입되어 천정과 바닥으로 공기가 유출되는 PEM 방식은 열적 냉각 성능은 좋으나 PC와 재실자 주변에 강력한 재순환 유동이 발생되어 실내 환경의 쾌적성 측면에서는 불리하다.
- 3) diffuser와 바닥을 통하여 공기가 유입되어 천정으로 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 diffuser 만을 통한 배급시, 공기유동 방향이 상하로 이루어져 재실자 주위에서 온도 분포가 고르지 못함하고 PEM과 TAM방식의 결합이 CR실의 재실자 주변 온도 분포에 최적임을 알 수 있다.

참고문헌

- 1) F. Bauman, K. Heinemeir, H. Zang, Localized Distribution for Office Buildings, University of California, Berkley, 1991.
- 2) Yasuhiro Nakamara, Minoru Mizuno, "Study on Thermal Comfort and Energy Conservation of Task-Ambient Air Conditioning System," 5th International Conf. on Air Distribution in Room ROOMVENT96, 1996.
- 3) Makoto Kohyama, Minoru Mizuno, "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, 1996.
- 4) ISO, ISO-7730: "Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort," 1984.
- 5) W. Hanzawa and Y. Nagasawa, "Thermal Comfort with Underfloor Air-Conditioning Systems," ASHARE Trans., Vol. 96, Part 2, pp. 696-698, 1990.
- 6) W. J. Fisk, D. Faulkner, D. Pih, "Indoor Air Flow and Pollutant Removal in a Room with Task Ventilation," Lawrence Berkley Lab., 1991.