

개별환경제어시스템의 열 및 유동 해석

조 은 준, 서 태 범*, 박 영 칠*

인하대학교 기계공학과, *서울산업대학교 제어계측공학과

Air Flow and Heat Transfer Analysis of Personal Environment Module System

Eun-Jun Cho, Tae-Beom Seo*, Young-Chil Park*

Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

*Department of Control and Instrumentation Engineering, SNUT, Seoul 139-743, Korea

(Received October 13, 2000; revision received December 26, 2000)

ABSTRACT: Room air flow and temperature distribution was numerically investigated where a PAC (personal air conditioning) system was installed. The calculated results were compared with those from experiments. The effects of the important operation parameters such as the air flow rate, velocity, and temperature at the diffuser on the thermal performance of the system were studied. The possibility of energy saving using the PAC system was verified from the results. It was shown that the warm air from the diffuser could not spread over the whole task area if the inlet temperature was too high.

Key words: Personal environmental module(개별환경제어방식), Under floor air conditioning system(바닥취출공조시스템), Personal air conditioning system(개별공조시스템), Task area(작업영역), Ambient area(주위영역)

기 호 설 명

상첨자

p : 공기의 압력 [Pa]

— : 평균

T : 온도 [°C]

U : 속도 [m/s]

하첨자

그리스 문자

t : 난류

r : 기준

ν : 동점성계수 [m^2/s]

σ : Prandtl 수

ρ : 공기의 밀도 [kg/m^3]

1. 서 론

1970년대 초반부터 지구환경문제와 에너지절약을 위하여 거주자 작업영역(task area)과 그 주위영역(ambient area)으로 구분하여 공조하는 시스템이 발달하기 시작하였다. 이후 1990년대에는 더욱 진보된 방식으로서 실내공간의 효율적인 환경제어를 목적으로 하는 개별환경제어방식(per-

† Corresponding author

Tel.: +82-32-860-7327; fax: +82-32-862-7313

E-mail address: seoth@inha.ac.kr

sonal environmental module, PEM)이 도입되었으며, 현재 이 시스템은 기존의 바닥취출제어방식보다도 더 우수한 시스템으로 여겨지고 있다.⁽¹⁾

실내공간은 재실자 주변의 작업영역인 거주자 근처 영역과 그 외의 주위영역으로 구분된다. 개별환경제어방식은 개별공조장치를 작업영역 내의 재실자의 책상 위에 설치하여 재실자의 요구 환경에 맞게 효과적인 제어가 가능하며, 주위영역보다 작업영역에 온도를 높게 하여 에너지를 절약하며, 재실자 센서를 사용할 경우 부가적인 에너지 절약의 효과를 얻을 수 있다. 또한 건물의 인텔리전트화에 따른, 정보통신, 단말기 등으로부터 발생하는 국부적인 열부하에도 직접 대응이 가능한 우수성을 가지고 있다.^(2,3)

본 연구에서는 개별환경제어방식을 채택한 시스템을 이용하여 사무실 공간을 공조할 경우, 공기 취출구의 위치 및 출구 조건에 따른 실내 공기의 유동 및 온도분포를 수치해석적으로 해석하였다. 이와 같은 해석결과를 활용하면 개별공조방식(PAC)에 의한 공조시 공기의 유동과 온도분포가 주요 설계인자에 따라 어떻게 변하는지를 예측할 수 있고, 따라서 사용자가 가장 쾌적하게 느낄 수 있는 환경제어가 가능할 수 있을 것이다. 아울러, 실험용으로 제작된 실내공간에서 실험을 수행하여 얻어진 실험데이터와 수치해석결과를 비교하여 해석결과의 타당성을 검증하였다.

2. 모델링

본 연구에서 계산한 실내공간의 개략도는 Fig. 1과 같다. 실내공간의 크기는 5.00×3.45×2.25m이며, 바닥에는 0.2×0.4m 크기의 장방향 급기구 4개가 설치되어 있고, 천장에는 0.3×0.3m 크기

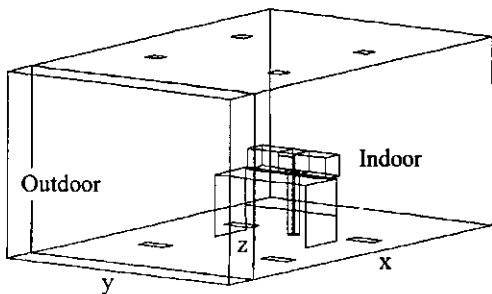


Fig. 1 The calculation domain.

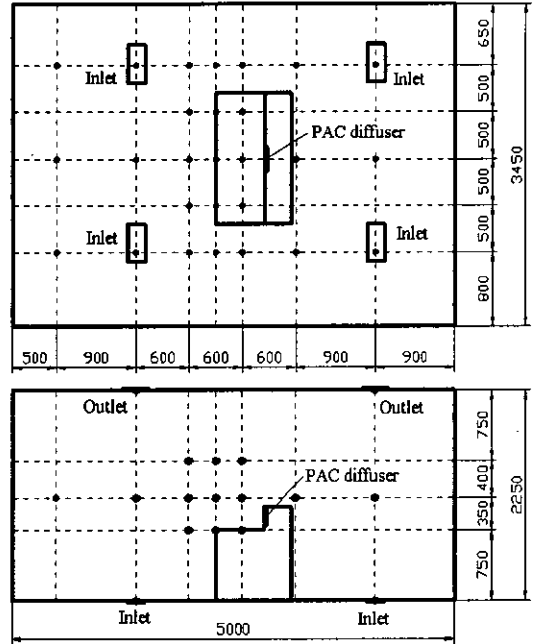


Fig. 2 Dimensions of the indoor area.

의 정방향 배기구 4개가 설치되어 있다. 실내 중앙 부근의 책상위에는 0.25×0.2m 크기의 PAC 디퓨저가 설치되어 있는데, 재실자의 호흡영역에 신선한 공기가 도달할 수 있도록 26° 하향으로 설치되어 있다.⁽⁴⁾ 실외공간은 실내공간과 두께 0.1m의 유리창으로 나누어져 있으며, 유리창으로부터 0.2m 떨어진 지점의 온도를 0℃로 설정하였다.

Fig. 2는 실내공간의 평면도와 정면도를 나타낸 것이다. 실험에서 측정된 온도와 계산에서 얻은 온도의 직접적인 비교를 위해서 열전대의 위치를 나타내었으며, 또한 PAC 디퓨저, 4개의 바닥 취출구 및 4개의 천정 배기구의 위치가 표시되어 있다.

본 연구에서 실내공간의 유동 및 온도장은 정상상태이며, 온도의 변화가 그리 크지 않기 때문에 비압축성유동으로 가정하였고, 20℃ 공기의 물성치를 기준으로 하였다. 난류유동을 해석하기 위해 표준 k-ε 모델을 사용하였다. x, y, z방향으로 각각 75×46×27개의 불균일 격자계가 채택되었으며, 계산방법으로 유한체적법(finite volume method)을 사용하였다.

계산에 사용된 지배방정식은 다음과 같다.

연속 방정식 :

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

운동 방정식 :

$$\begin{aligned} \bar{U}_j \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} = & -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} \\ & + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - \overline{u_i u_j} \right) \\ & + g_i \frac{\rho - \rho_r}{\rho_r} \end{aligned} \quad (2)$$

에너지 방정식 :

$$\bar{U}_i \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - \overline{u_i \varphi} \right) \quad (3)$$

난류 에너지 방정식 :

$$\bar{U}_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + P + G - \epsilon \quad (4)$$

소산율 방정식 :

$$\begin{aligned} \bar{U}_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} = & \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) \\ & + c_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (P + G) \left(1 - c_{3\epsilon} \frac{G}{P + G} \right) \\ & - c_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (5)$$

$$P = \nu_t \left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} \quad (6)$$

$$G = \beta g_i \frac{\nu_t}{\sigma_t} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} \quad (7)$$

$$-\overline{u_i u_j} = \nu_t \left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (8)$$

$$-\overline{u_i \varphi} = \frac{\nu_t}{\sigma_t} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} \quad (9)$$

$$\nu_t = c_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (10)$$

Table 1 Values of the constants in the $k-\epsilon$ model

C_μ	$C_{1\epsilon}$	$C_{2\epsilon}$	$C_{3\epsilon}$	σ_k	σ_ϵ
0.09	1.44	1.92	0.8	1.0	1.3

Table 2 Boundary conditions

Position	Condition	
Wall	Velocity $u, v, w=0$	Temperature adiabatic
PAC diffuser inlet	Velocity Case B, C, D 0.4 m/s	Temperature
		Case B 26.0°C
		Case C 28.0°C
Case D 30.0°C		
bottom diffuser inlet	Velocity Case A 0.125 m/s	Temperature (Left/Right) Case A 26.0/26.0°C
		Temperature (Left/Right)
		Case B 24.1/24.2°C
Case C 24.1/24.1°C		
Case D 24.3/24.1°C		
Outlet	Pressure $p = p_{aim}$	
Outdoor	Temperature 0°C	

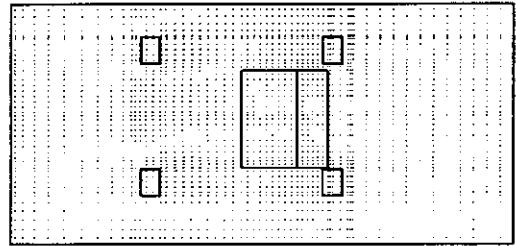
자배방정식들에서 사용된 계수는 Table 1과 같다. 경계조건들은 Table 2와 같고, 물성치는 20°C 공기의 물성치를 사용하였다.

3. 계산결과 및 고찰

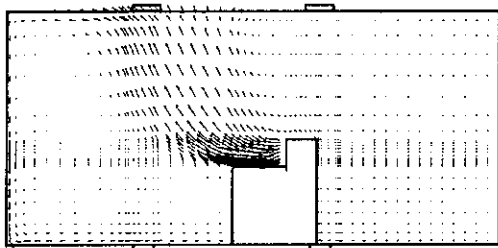
Fig. 3은 실내공간의 속도벡터를 나타낸 그림이다. Case A는 공기가 바닥 취출구를 통해서만 유입되는 경우이고, Case B, C, D는 공기가 PAC 디퓨저와 바닥 취출구로 동시에 유입되는 경우를 나타낸다. xz평면상의 그림에서 Case A의 경우는 유동의 크기가 작아 속도벡터가 거의 나타나지 않는 데 비해서, 나머지 경우는 PAC 디퓨저로 유입된 공기의 흐름을 확실하게 볼 수 있다. Case B, C, D에서는 책상 위 PAC 디퓨저에서 유입된 고온의 공기는 주위와의 온도차로 상승하게 되고, 그로 인해 왼쪽의 벽면에서 와류가 형성되는 것을 보여준다. 그러나 그 이외의 실내공간에서 유속의 크기는 PAC 디퓨저에서 유입되는



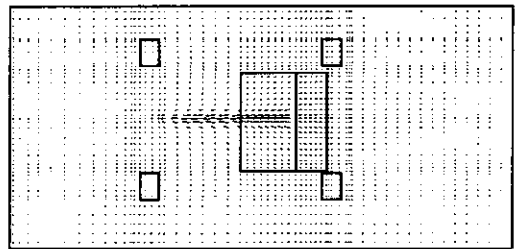
(a) Case A (xz plane)



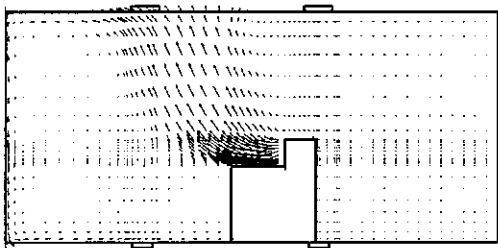
(b) Case A (xy plane)



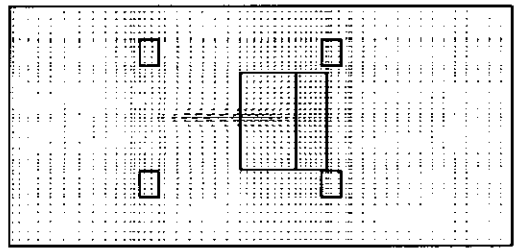
(c) Case B (xz plane)



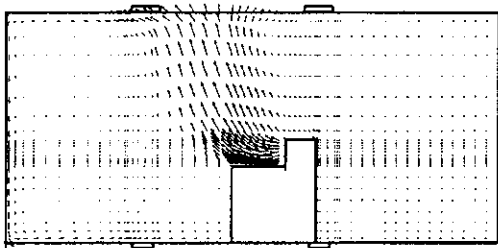
(d) Case B (xy plane)



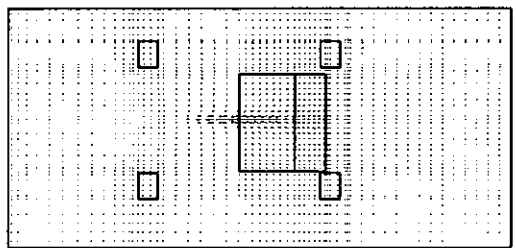
(e) Case C (xz plane)



(f) Case C (xy plane)



(g) Case D (xz plane)

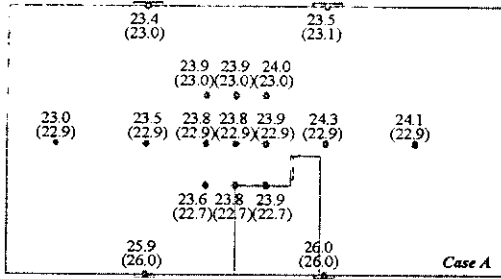


(h) Case D (xy plane)

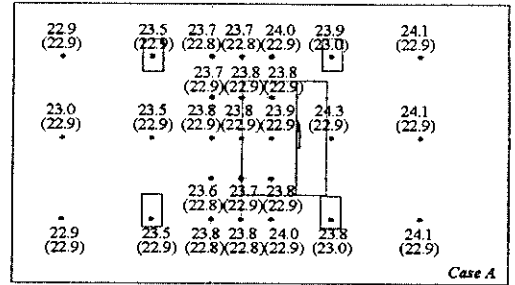
Fig. 3 Velocity vectors for different operating conditions (xz plane at $y=1.8\text{m}$, xy plane at $z=1.1\text{m}$).

공기의 유속에 비해 상당히 작다. Case B, C, D에서 PAC 디퓨저 입구 앞의 유동을 비교해 보면 Case B의 경우가 그 입구에서 가장 멀리까지 유동이 형성되고, Case D의 경우가 가장 가깝게 형

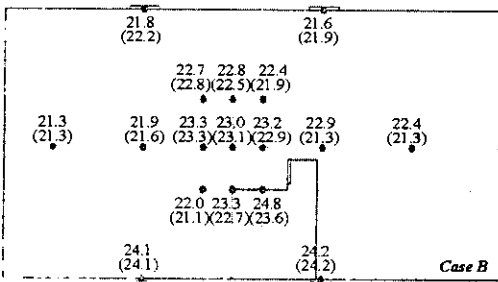
성된다. 이것은 Case B, C, D 중 입구온도가 가장 높은 Case D의 공기가 심한 밀도차로 인하여 입구로부터 가장 빨리 상승하기 때문이다. 이러한 경향은 고온의 공기가 제실자에게 영향을 주



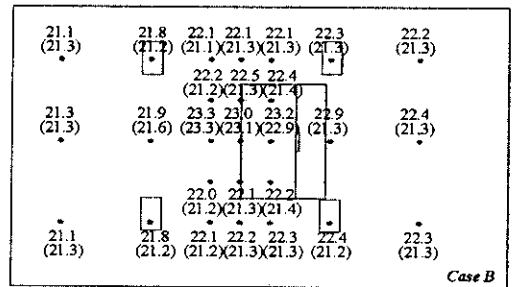
(a) Case A (xz plane)



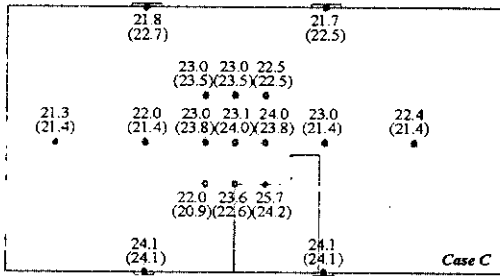
(b) Case A (xy plane)



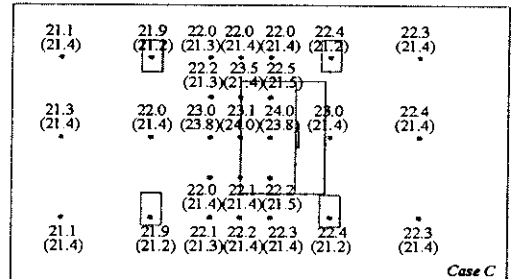
(c) Case B (xz plane)



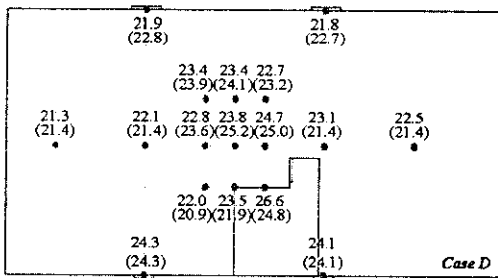
(d) Case B (xy plane)



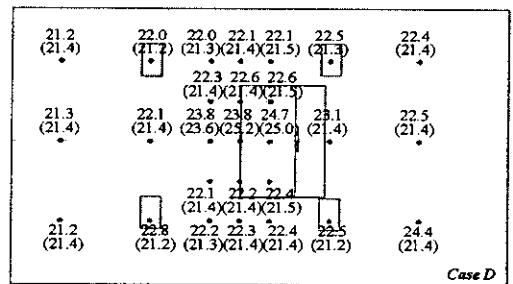
(e) Case C (xz plane)



(f) Case C (xy plane)

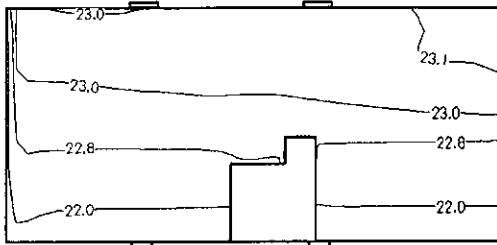


(g) Case D (xz plane)

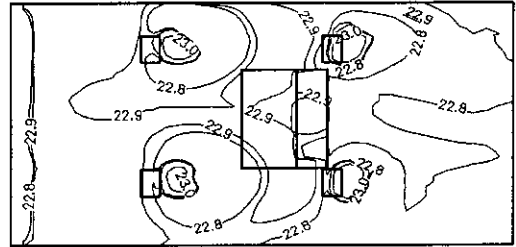


(h) Case D (xy plane)

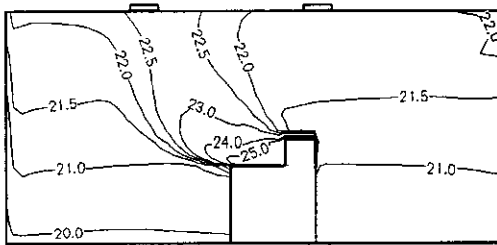
Fig. 4 Comparisons of the experimental and calculated temperatures (The calculated temperatures are in parentheses. The xz and xy planes are located at $y=1.8\text{m}$ and at $z=1.1\text{m}$, respectively).



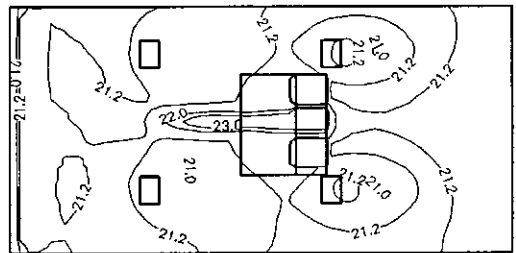
(a) Case A (xz plane)



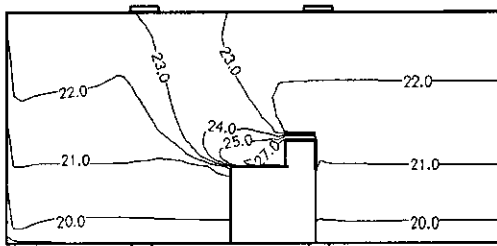
(b) Case A (xy plane)



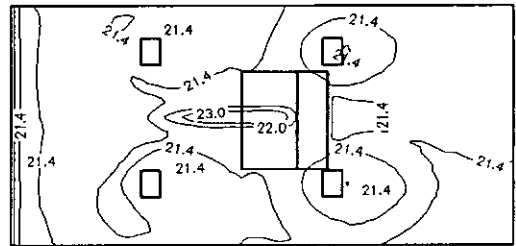
(c) Case B (xz plane)



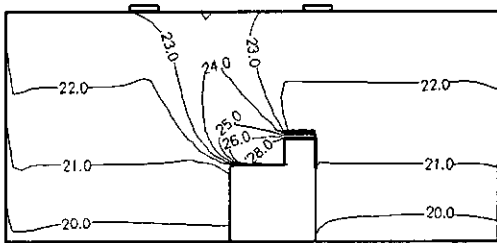
(d) Case B (xy plane)



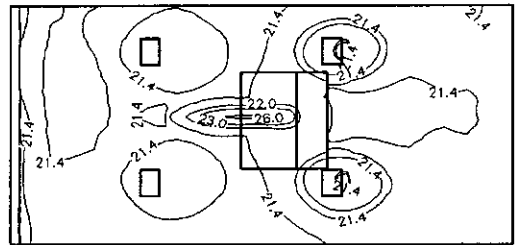
(e) Case C (xz plane)



(f) Case C (xy plane)



(g) Case D (xz plane)



(h) Case D (xy plane)

Fig. 5 Temperature distributions for different operating conditions (The xz and xy planes are located at $y=1.8\text{m}$ and at $z=1.1\text{m}$, respectively).

기 전에 위로 올라가 직접적인 난방효과를 줄 수 없을 수도 있다는 것을 나타낸다. 현재 PAC 디퓨저 입구는 수평으로부터 아래로 26° 기울어진 그릴을 사용하고 있는데, 그 이유는 유입되는 공

기의 상승효과를 억제하여 재실자에게 난방효과가 직접적으로 미치게 하기 위함이다. xy평면상의 그림에서도 역시 Case A의 경우는 유동의 크기가 아주 작으나, Case B, C, D에서는 책상 위

부근에서 유동이 다소 크게 형성되는 것을 볼 수 있다. 그 외의 영역에서도 와류가 생기지만, 그 유동의 크기는 아주 작으므로 그림상에서는 잘 나타나지 않는다. 역시 Case B의 경우 유입된 유동이 PAC 디퓨저 입구로부터 가장 멀리까지 미치는데, 앞에서 언급했듯이 다른 경우에 비해 입구온도와 주위와의 온도차가 작아 유입된 공기의 상승효과가 가장 작기 때문이다.

Fig. 4는 실험과 계산에서 얻은 온도값을 비교한 것이다. 팔호 밖에 있는 값이 실험온도이고, 팔호 안에 있는 것이 계산온도이다. 전체적으로 실험온도가 계산온도보다 높은 것을 알 수 있다. Case A에서는 xz평면과 xy평면에서 모두 실험온도가 계산온도보다 높다. PAC 디퓨저 근처의 실험온도는 주위 실험온도보다 높은 것을 나타내는데, 이것은 디퓨저 내부의 Heating-coil에 의한 전열의 영향을 실험적으로 제거하지 못했기 때문이다. 전체적으로 내부공간의 실험온도와 계산온도가 서로 차이가 나는 이유는 실험에서는 바닥에서 전열이 일어나고, 계산에서는 바닥을 단열 조건으로 주었기 때문이라고 판단된다. 한편 Case B, C, D의 xz평면에서는 작업영역 근처에서 실험온도와 계산온도가 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 그러나 책상 뒤 영역이나 아래부분에서는 온도 차이가 비교적 큰 것을 볼 수 있다. 책상 뒤부분에서 온도차가 상당히 큰 이유는 앞에서 언급했듯이 실제실험에서는 PAC 디퓨저 내부의 Heating-coil의 발열에 의한 온도 상승이 일어나는데, 시뮬레이션에서는 이를 고려하지 않아 온도가 낮게 나타난 것이다. 그리고 책상 아래부분에서 온도 차이가 있는 것은 바닥 밑에서 상당한 전열이 일어나기 때문이다. 이 전열은 바닥 취출구까지의 배관에서 발생한다고 생각된다. Case B, C, D의 xy평면에서도 책상 위 이외의 영역에서는 계산온도는 실험에서 측정한 온도보다 전체적으로 낮은 온도분포를 보이고 있다. 특히 실외벽면 이외의 벽면 근처에서는 온도차가 상당히 큰데, 역시 바닥에서의 전열을 계산에서는 고려하지 않았기 때문이다. 내부 상단과 책상 위는 PAC 디퓨저에서 유입된 공기의 영향이 지배적이며 이로 인해 실험온도와 계산온도가 비슷한 온도분포를 형성한다. 그러나 유입된 공기는 와류에 의해 실내의 하단과 벽까지 고온을 전달시키지 못하는 것을 계산을 통한 온도분포로 알

수 있다. 결론적으로, 실험시에 바닥으로부터 무시할 수 없는 전열이 일어나고 있다는 것을 알 수 있으며, 좀더 정확한 실험을 위해서는 바닥 취출구 이외 부분의 단열을 보강하여야 할 것이다. 그러나 위에서 지적한 부분을 제외한 다른 부분에서는 실험 데이터와 수치해석 데이터가 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 실내공간의 온도분포를 등온선으로 나타낸 그림이다. Case A에서는 xz평면과 xy평면 모두 높이에 따라 온도분포가 고르게 나타난다. 그러나 Case B, C, D의 xz평면 그림에서는 PAC 디퓨저에서 유입된 공기로 책상 위에서 고온의 등온선이 형성됨을 알 수 있다. Fig. 5에서 나타난 고온의 등온선은 Fig. 3에서 속도벡터 분포의 그림과 같은 경향을 나타낸다. PAC 디퓨저의 입구온도가 가장 높은 Case D에서 유입된 공기의 상승효과가 가장 크게 일어나기 때문에 고온의 등온선도 다른 경우에 비해 상하로 발달한다. 한편 Fig. 5의 (g)에서 보는 바와 같이 PAC 디퓨저로부터 유입된 고온의 공기는 재실자에게 직접적으로 전달되지 않고 상승할 수도 있다는 것을 보여준다. 그러므로 효과적인 PAC 디퓨저의 입구온도를 설정하여야 효율적인 개별공조가 가능할 것이다. Case B, C, D에서도 책상 위부분을 제외한 영역에서는 높이가 같으면 비교적 온도가 고르게 분포한다. 유동의 크기가 크지는 않지만 정상상태일 때 실내공간 전체적으로 밀도차에 의한 와류가 형성되었기 때문이라고 생각한다. Case B, C, D의 xy평면에서 PAC 디퓨저의 영향은 책상 근처의 좁은 영역에서만 발달하며 고온 영역이 비교적 좁은 것을 볼 수 있다. 그러므로 에너지를 절약하며 효과적인 급기를 하고 있는 것이다. Case A와 B를 서로 비교해 보면 재실자에게 약 23℃의 난방온도를 설정하는데, Case A는 바닥 취출구로부터 26℃의 공기가 계속 유입되고, Case B에서는 유량의 반은 PAC에서 공기가 26℃로 유입되고 나머지 유량은 바닥에서 약 24℃로 유입된다. 그러므로 Case B는 A에 비해 바닥 취출구에서 공급되는 공기를 24℃에서 26℃ 올리는 데 필요한 열량을 절약할 수 있음을 보여준다. 한편, 바닥 취출구에서 나오는 고온의 공기는 높이(z)가 1.1m일 때는 거의 영향을 미치지 못하고 있는데, 바닥 근처의 온도가 낮기 때문에 취출됨과 동시에 주위의 찬 공기와

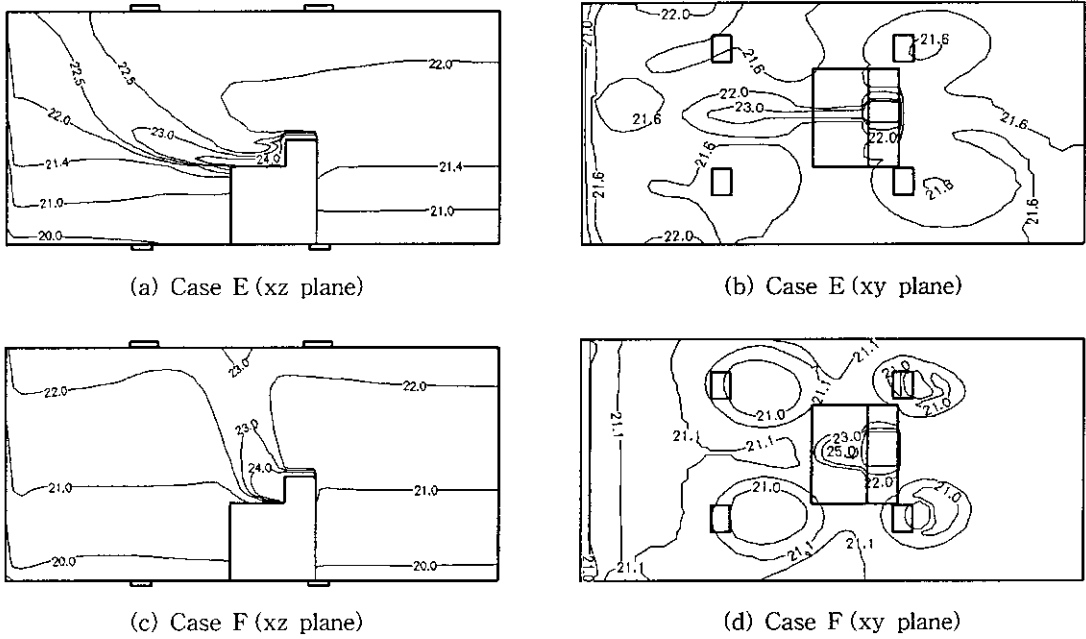


Fig. 6 Temperature distributions for different diffuser sizes and velocities at the same PAC diffuser flow rate (The velocity and diffuser size of Case E are 0.8 m/s, 12.5×20 cm, and the velocity and diffuser size of Case F are 0.2 m/s, 50×20 cm. The xz and xy planes are located at y=1.8 m and at z=1.1 m, respectively).

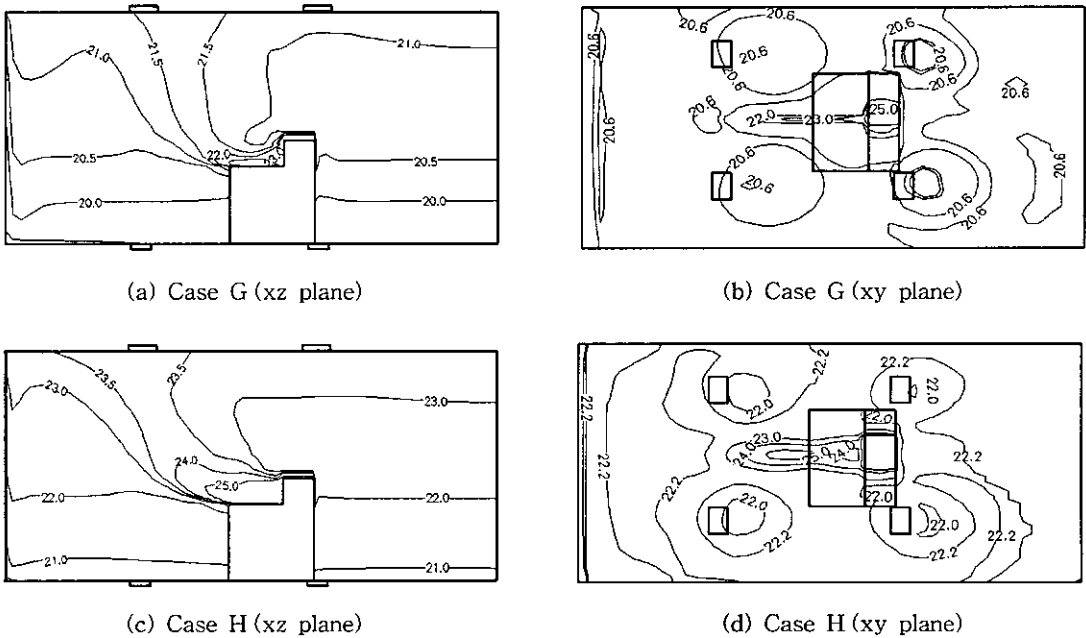


Fig. 7 Temperature distributions for different diffuser sizes and inflow rates at the same PAC diffuser inlet velocity (The diffuser size of Case G is 0.125×0.2 m, and that of Case H is 0.5×0.2 cm. The xz and xy planes are located at y=1.8 m and at z=1.1 m, respectively).

혼합되기 때문이다. Case B, C, D의 xy평면에서도 책상 위부분을 제외한 모든 영역에서 거의 일정한 온도분포를 보이고 있다.

Fig. 6는 PAC 디퓨저에 유입되는 공기의 유량은 일정하나 PAC 디퓨저의 크기가 달라 속도가 다른 경우에 대한 그림이다. Case E, F는 Case B와 PAC 디퓨저의 크기와 속도만 다르고 그 외의 조건은 모두 같다. Case E는 PAC 디퓨저의 크기가 0.125×0.2 m이므로 Case B의 크기의 반이고, Case F는 PAC 디퓨저의 크기가 0.5×0.2 m이므로 Case B의 크기의 2배이다. 그러므로 Case B에 비해 Case E는 속도가 2배이고, Case F는 0.5배이다. Case E는 유입되는 고온의 공기(약 23°C 이상이라고 가정)가 PAC 디퓨저에서 멀리까지 다다르나 작업영역 중 책상 위에서는 고온의 온도분포가 형성되지 않으며, 재실자의 어깨넓이보다 훨씬 작은 유동이 형성되는 것을 볼 수 있다. 한편, Case F는 PAC 디퓨저의 입구로부터 유입된 고온의 공기가 재실자에게 다다르기 전에 상승하여 난방의 효과를 볼 수 없다. 그러므로 같은 량의 고온의 공기를 공급할 때 PAC 디퓨저의 크기, 또는 속도에 따라 난방효과의 차이를 가져오고, 이것은 에너지절약과 깊은 관계가 있음을 알 수 있다. 여기서는 Case B의 경우가 Case E, F에 비해 재실자에게 가장 좋은 난방효과를 가진다.

Fig. 7은 PAC 디퓨저에 유입되는 공기의 유속은 일정하나 PAC 디퓨저의 크기가 달라 유량이 다른 경우에 대한 그림이다. Case G, H는 Case B와 PAC 디퓨저의 크기와 유량만 다르고 그 외의 조건은 모두 같다. Case G는 PAC 디퓨저의 크기가 0.125×0.2 m이므로 Case B의 크기의 반이고, Case F는 PAC 디퓨저의 크기가 0.5×0.2 m이므로 Case B의 크기의 2배이다. Case G는 PAC 디퓨저로 유입된 고온의 공기(약 23°C 이상이라고 가정)가 재실자에게 전혀 다다르지 못하므로, 유입되는 유량이 너무 작은 것을 알 수 있다. Case H는 재실자에게 충분한 난방효과를 가져다 주지만 고온의 공기가 과대하게 분포되어 에너지 절약적인 측면에서는 바람직하지 못하다. 그러므로 같은 유속의 공기를 공급할 때에는 재실자의 난방효과와 에너지절약의 두 가지를 동시에 만족시키는 최적의 유량을 찾아야 할 것이다. 여기서는 Case B의 경우가 Case G, H에 비해

이 두 가지 조건을 만족시킨다고 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 수치해석을 통해 개별공조시스템의 기류 및 온도분포를 계산하였으며, 이를 실험을 통해 검증했다. 또한, 여러 가지 PAC 디퓨저의 설계인자에 따른 온도분포를 해석하여 개별공조시스템의 효과적인 제어방법을 제시하였으며, 결론은 다음과 같다.

(1) 재실자의 쾌적한 환경을 위한 작업영역의 온도분포는 책상 위의 개별공조시스템으로 제어가 가능함을 실험과의 비교를 통하여 검증하였다.

(2) PAC 디퓨저에서 유입되는 공기의 취출속도가 너무 높으면 그 고온의 공기는 재실자 부근까지 큰 영향을 미치지 못하고 상승하여 에너지 손실을 초래한다. 그러므로, 디퓨저의 입구속도나 입사각을 조절하여 효과적인 급기를 하여야 한다.

(3) PAC 디퓨저로 유입되는 공기의 유량이 같을 때, PAC 디퓨저의 크기(또는 속도)를 적절히 설정하면, 재실자 주위의 난방효과를 증대시키며, 이로 인해 에너지 절약효과를 얻을 수 있다.

(4) PAC 디퓨저로 유입되는 공기의 평균속도가 같을 때, PAC 디퓨저의 크기가 클수록 유량이 증가되므로 난방효과는 증대되나 에너지가 과대하게 소비되므로, 최적의 난방효과와 에너지 절약효과를 얻기 위해서는 PAC 디퓨저의 크기를 주어진 상황에 따라 적절히 선택하여야 한다.

후 기

본 논문은 1999년도 한국과학재단 특정기초연구(1999-2-310-003-3) 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Yoon, C. O., Yee, J. J., Chung, K. S., Han, H. T. and Park, Y. C., 2000, The experimental study on the thermal environmental characteristics of personal air-conditioning system, Proceedings of the SAREK 2000 Summer Annual Conference, pp. 582-587.
2. Cho, S. H., 1998, A fundamental study for

- development of Personal Environment Module (PEM) system, Report of LG-Honeywell Industrial Inc., pp. 1-89.
3. Yasuhiro, N. and Mirru, M., 1996, study on Thermal Comfort and Energy Conservation of Task-Ambient Air Conditioning System, 5th International Conference on Air Distribution in Room ROOMNENT, pp. 91-98.
 4. Choi, S. H., Han, H. T., Chung, K. S., Park, Y. C. and Yee, J. J., Proceedings of the SAREK 2000 Summer Annual Conference, pp. 588-593.