

## 바닥취출 공조공간에서 급기온도 및 급기풍속이 환기효율에 미치는 영향

### Effect of supply air temperature and airflow rate on ventilation effectiveness in an underfloor air conditioning space

정 광 섭\*, 한 화 택\*\*, 홍 승 재\*\*\*  
K. S. Chung, H. Han, S. J. Hong

**Key words** : Ventilation effectiveness(환기효율), Underfloor air conditioning(바닥취출공조), Numerical analysis(수치해석), Turbulence modeling(난류모델링)

#### Abstract

A numerical study has been conducted to investigate the effect of inflow supply air temperature and velocity on ventilation effectiveness in an underfloor air conditioning space. A low Reynolds number  $k-\epsilon$  model is implemented to calculate steady state turbulent velocity distributions. A step-down injection method is used to calculate local and room mean ages from transient concentrations based on the concept of the age of air. Results show that there is a significant effect of Archimedes number on ventilation effectiveness especially for cooling conditions. Reynolds number shows relatively minor effect on velocity distribution and ventilation effectiveness especially for isothermal and heating conditions. It can be concluded that underfloor air conditioning system provides good ventilation characteristics for cooling conditions because of temperature stratification in the space.

#### 기 호 설 명

Ar : Archimedes number  
 $C_e$  : Concentration at exhaust  
 $C_o$  : Initial concentration  
 $C_p$  : Concentration at point P  
 $C_s$  : Steady state concentration  
 $c_t$  : Concentration at truncation

d : Diffuser width  
D : Diffusion coefficient  
g : Gravitational constant  
H : Room height  
Gr : Grashof number  
L : Room length  
Pr : Prandtl number  
Q : Volumetric airflow rate  
Re : Reynolds number  
t : Time  
 $t_t$  : Time at truncation

\* 정회원, 서울산업대학교  
\*\* 정회원, 국민대학교  
\*\*\* 국민대학교 대학원

$T_{in}$  : Inlet supply air temperature  
 $T_{wall}$  : Wall temperature  
 $u_{in}$  : Inlet supply air velocity  
 $V$  : Room volume

### 그리스문자

$\alpha$  : Thermal diffusion coefficient of air  
 $\beta$  : Volumetric thermal expansion coefficient of air  
 $\epsilon_p$  : Local air change index  
 $\langle \epsilon \rangle$  : Room air change efficiency  
 $\nu$  : Kinetic viscosity of air  
 $\tau_t$  : Time constant at decay period  
 $\tau_n$  : Nominal time constant  
 $\tau_p$  : Local mean age at point P  
 $\langle \tau \rangle$  : Room mean age

## 1. 서 론

바닥취출 또는 바닥분출 공조시스템(underfloor air conditioning system)은 쾌적한 실내환경조성을 위한 재실자 위주의 퍼스널 공조시스템(personal air conditioning system)으로 선진 실내환경시스템의 하나로 자리 매김하고 있다. 바닥취출 공조시스템은 실내공간에서의 가구나 사무기기의 배치에 따라 바닥 패널의 위치를 이동시켜 취출구를 실내 거주자가 원하는 곳에 설치할 수 있고 개인 성향에 맞춰 풍속이나 풍량을 자유롭게 변경함으로써 거주자 중심의 온열환경을 유지할 수 있을 뿐만 아니라, 공조 공기가 재실자 근처 바닥면으로부터 취출되어 거주공간의 오염된 공기를 대체하므로 거주공간의 환기효율이 높아 양호한 실내 공기질을 유지할 수 있는 것으로 알려져 있다.

실내의 온열환경과 환기상태는 실내의 기류형태에 크게 의존하는데, 급기구나 배기구의 위치, 실내 구조와 장애물의 유무, 급기풍량과 급기온도 등 여러 가지 환경변수에 의하여 영향을 받는다. 그동안 실내의 온열환경의 해석과 환기상태의 예측을 위하여 실내기류에 관한 연구가 활발히 이루어져 왔다.<sup>(1,2)</sup> 실내공기질 측면에서 환기효율이란 주어진 환기풍

량에 대하여 적절한 실내기류 분포를 형성하여 효과적인 환기가 되도록 하는 환기성능을 말한다. 환기효율은 Sandberg<sup>(3)</sup>가 제안한 평균연령의 개념이 많은 연구자들에게 받아들여지고 있다. Kato<sup>(4)</sup> 등은 시간-농도 곡선의 모멘트를 이용한 개념을 연장하여 실내의 각점에서의 환기효율에 대한 여섯가지의 척도를 정의하였다. 평균연령에 관련된 변수들의 상호관계를 규명하고 이를 실제 여러가지 실내공간에 응용하여 수치적으로 환기효율을 계산한 연구가 진행되어 왔다. Zhang<sup>(5)</sup> 등은 비등온 조건하에서의 축소모델에 대한 사상법칙에 대하여 설명하고 수평 급기시 Archimedes수의 변화에 따른 영향에 관하여 고찰하였고, Takemasa<sup>(6)</sup> 등은 급기온도의 변화에 따른 실내의 온도 성층화에 관하여 연구하였다. 바닥취출 공조공간에 대해서는 실제 설치된 건물에서의 재실자 거주 평가와 열환경 측정에 관한 연구가 몇 편 있을 뿐<sup>(7,8)</sup>, 바닥취출 공조시스템이 적용된 공간내에서 평균연령의 개념을 이용한 환기효율의 변화에 관한 파라메트릭 연구는 수행되지 않고 있다. 바닥취출 공조공간내에서 냉방조건 및 난방조건에 따라 실내의 기류 및 환기상태의 예측은 매우 중요하다. 본 논문에서는 단순화된 바닥취출 챔버 공간내에서 급기온도, 급기풍량, 그리고 디퓨저의 각도등의 변수에 따라서 실내기류 분포의 변화를 해석하고 이로부터 실내의 환기효율의 변화를 수치해석적으로 구하고자 한다.

## 2. 환기효율

### 2.1 추적가스의 주입방법에 따른 농도변화

실내의 환기상태는 단순히 기류속도가 크고 작음에 의하여 결정되는 것이 아니라 전체적인 실내의 기류분포에 의하여 결정되며 환기상태를 파악하기 위해서는 실험적으로나 수치적으로 추적가스를 주입하여 실내에서의 농도 변화과정을 관측하여야 한다. 추적가스의 주입방법에는 일반적으로 펄스주입법(pulse method), 체승방법(step-up method), 그리고 체강방법(step-down method)이 있다. 어떠한 주입방법에 대해서도 실내 농도의 변화 양상은 크게 세가지 시간영역으로 나누어 생각할 수 있다. 첫째 추적가스가 측정 지점까지 도달하는데 필

요한 지연기간(delay period), 둘째 실내에서 주된 확산이 이루어지는 확산기간(diffusion period), 그리고 확산이 충분히 이루어진 후에는 전체적으로 지수적인 농도의 감쇠를 보이는 감쇠기간(decay period)으로 나누어 생각할 수 있다. Fig.1에는 이러한 주입방법에 따른 농도변화과정을 보여주고 있다. 지연기간은 추적가스의 주입 지점과 측정지점의 상대적 위치와 기류분포에 따라서 달라진다. 주입지점과 측정지점이 동일한 유선상에 존재하는 경우 지연시간은 두 지점간의 거리를 평균 기류속도로 나눈 값이 된다. 확산기간이란 실내 전 구간으로 추적가스가 실내 공간으로 확산 전파되는 시간을 의미하며 초기의 불균일한 농도분포가 확산에 의하여 준 정상상태의 보다 균일한 농도분포를 갖게 된다. 준정상상태 이후의 감쇠기간에서는 실내의 농도가 정상상태에서와 같이 일정하지는 않으나 농도감소율이 위치에 관계없이 일정하여 각 점에서의 농도가 상대적 비율을 유지하면서 지수적으로 감소 또는 증가한다.

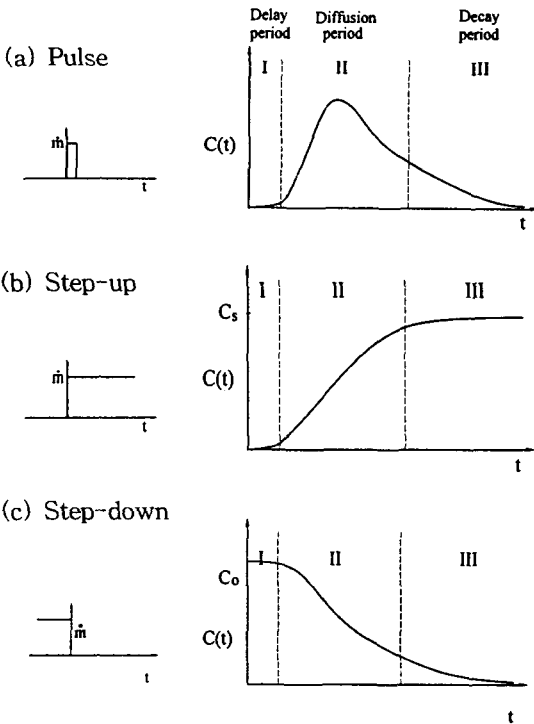


Fig.1 Concentration responses for three tracer gas injection methods

## 2.2 평균연령의 계산

추적가스의 주입방법에 따른 국부평균연령과 실 평균연령의 계산은 Table 1과 같이 구할 수 있다. 이론적으로 추적가스의 주입방법에 무관하게 동일한 평균연령이 구해져야 하나 수치적으로나 실험적으로 적용하는 경우 농도측정 시간 간격이나 농도 해석 시간스텝에 따라서 오차가 발생하며 농도변화를 무한히 오랜 시간동안 측정 또는 해석을 수행할 수 없으므로 지수적 감쇠기간의 절단에 의한 오차가 필연적으로 발생한다.

체승방법과 체강방법의 경우, 국부평균연령은 농도변화곡선의 위 또는 아래면적에 해당하나 펄스 방법의 경우에는 농도변화를 시간에 대한 1차모멘트를 구하여야 한다. 또한 실평균연령을 구하기 위해서는 체승방법과 체강방법의 경우 배기구에서의 농도변화에 대한 1차모멘트를 구하면 되나 펄스 방법의 경우에는 2차모멘트를 구하여야 한다. 여기서 지수적 감쇠기간의 시간적 절단에 의한 절단오차(truncation error)는 다음과 같이 구할 수 있다.

<0차 모멘트>

$$\int_{t_i}^{\infty} c_t e^{-t/\tau_t} dt = c_t \tau_t e^{-t_i/\tau_t} \quad (1)$$

<1차 모멘트>

$$\int_{t_i}^{\infty} t \cdot c_t e^{-t/\tau_t} dt = c_t \tau_t e^{-t_i/\tau_t} (t_i + \tau_t) \quad (2)$$

<2차 모멘트>

$$\int_{t_i}^{\infty} t^2 \cdot c_t e^{-t/\tau_t} dt = c_t \tau_t e^{-t_i/\tau_t} (t_i + \tau_t)^2 \quad (3)$$

여기서  $t_i$ 과  $c_t$ 는 절단시간과 절단농도를 의미하여  $\tau_t$ 은 지수적 감쇠기간의 시간상수를 의미한다.

모멘트 차수가 증가할수록  $(t_i + \tau_t)$ 이 곱해지므로 시간적 절단에 의한 오차는 커진다. 특히 실평균연령의 계산과정에서 펄스방법을 이용할 경우 절단오차가 상당히 커짐으로 본 연구에서는 체강방식을 이용하여 평균연령을 계산하였다. 비정상상태의 농도계산을 초기농도의  $10^{-5}$  될 때까지 해석을 수행하였을 때 절단오차는 국부평균연령의 경우  $10^{-7}\%$ ,

Table 1 Local mean age and room mean age calculation equations

	Local Mean Age	Room Mean Age
Pulse method	$\tau_p = \frac{\int_0^\infty t \cdot C_p(t) dt}{\int_0^\infty C_p(t) dt}$	$\langle \tau \rangle = \frac{Q}{2V} \frac{\int_0^\infty t^2 \cdot C_e(t) dt}{\int_0^\infty C_e(t) dt}$
Step-up method	$\tau_p = \int_0^\infty \left(1 - \frac{C_p(t)}{C_s}\right) dt$	$\langle \tau \rangle = \frac{Q}{V} \int_0^\infty t \left(1 - \frac{C_e(t)}{C_s}\right) dt$
Step-down method	$\tau_p = \int_0^\infty \frac{C_p(t)}{C_o} dt$	$\langle \tau \rangle = \frac{\int_0^\infty t \cdot C_e(t) dt}{\int_0^\infty C_e(t) dt}$

실평균연령의 경우  $2 \times 10^{-4}\%$  이하로 계산되었다.<sup>(9)</sup>

### 2.3 공기교환효율

환기효율은 실내의 위치에 따른 국부 공기교환지수(local air change index)와 실 전체의 공기교환 효율(air change efficiency)로 나누어 생각할 수 있다. 국부적 환기상태를 나타내기 위하여 국부평균 연령의 값을 완전혼합이 이루어지는 경우에 대한 명목시간상수(nominal time constant)의 값으로 무차원화한 값의 역으로 국부 공기교환지수를 정의하고 있다.

$$\epsilon_p = \frac{\tau_n}{\tau_p} \quad (4)$$

또한 실 전체에 대한 환기효율은 실평균연령을 명목시간상수로 무차원화한 값의 역으로 정의하며 일반적으로 이를 2로 나누어 완전혼합의 경우 50%의 효율을 나타내도록 하고 있다. 이는 실 전체의 환기효율을 표현할 때 가장 환기효율이 좋은 변위환기의 경우에 100%로 표시하기 위함이다.

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{\tau_n}{2 \langle \tau \rangle} \quad (5)$$

### 3. 수치해석

본 논문에서 사용된 실내공간모델은 높이(H) 2.3m, 길이(L) 2.5m인 2차원 사각모델이며, 바닥에 폭

0.2m의 급기구가 하나 있고, 천장에 측면 벽으로부터 0.1m 떨어져 폭 0.2m의 배기구가 대칭으로 두 곳에 있는 바닥취출 환기시스템을 가진 실내공간을 모사하였다. 바닥취출 환기모델에서 환기효율에 영향을 미칠 수 있는 실내환경변수로서 온도차이에 의한 부력의 영향을 계산하기 위해 천장벽과 측면 벽에 등온조건을 부여하였다. 계산량을 줄이기 위해서 공간을 수직으로 나눈 절반 공간에 대하여 좌측면에 대칭조건을 적용하였으며, 2.3m×1.25m의 공

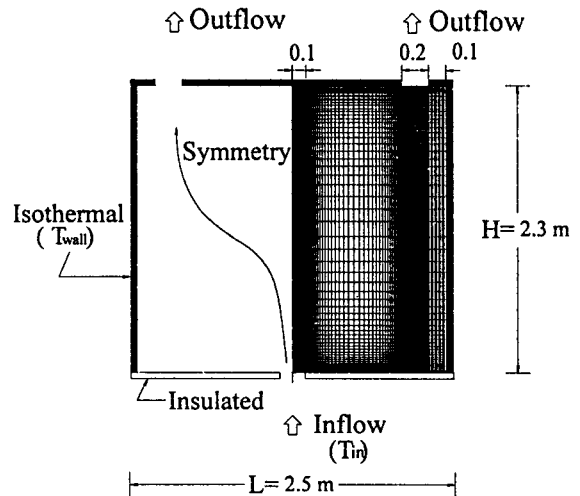


Fig.2 Schematic diagram of the ventilation chamber shown with grid patterns and boundary conditions

간을 82×63개의 직각격자계로 나누었다. Fig.2에 계산영역의 개략도와 사용된 격자계가 나타나 있다.

해석을 단순화하기 위하여 작동유체인 공기의 밀도를 제외한 모든 물성치는 일정하다는 Boussinesq 가정을 이용하였고, 유동장은 정상상태이며 오염원에 의하여 영향을 받지 않는다고 가정하였다. 이와 같은 가정하에서 제한체적내의 연속방정식과 운동량 방정식과 에너지 방정식을 단순화하여 지배방정식으로 이용하였다. 난류에 관한 양들을 구하기 위하여 Jones와 Launder<sup>(10)</sup>에 의해 제안된 저 Reynolds수 난류모델의  $k-\epsilon$  방정식을 이용하였으며 급기구를 통하여 유입되는 공기의 난류강도는 1%로 설정하였다. 난류성분을 계산하기 위한  $k-\epsilon$  방정식과 연속방정식, 그리고 Navier-Stokes 방정식을 각 제한체적에 적용하여 SIMPLE 방식<sup>(11)</sup>에 근거한 유한차분법으로 그 해를 구하였다.

이렇게 구한 정상상태의 기류 속도분포를 이용하여 다음의 비정상상태 농도방정식을 해석하였다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_i \frac{\partial C}{\partial x_i} = (D + \frac{\nu_t}{Sc_t}) \frac{\partial^2 C}{\partial x_i^2} \quad (6)$$

여기서  $D$ 는 오염물질의 분자확산에 의한 확산계수이며,  $\nu_t$ 와  $Sc_t$ 는 난류모델에서 계산된 난류동점성계수와 난류 Schmidt 수이다. 이에 관한 상세한 내용은 참고문헌 (12)에 잘 나타나 있다. 벽면에서 오염물의 투과가 없는 것으로 하여 농도구배가 0으로 하는 경계조건을 부여하였으며, 급기구에서의 농도 조건은 추적가스의 주입방법에 맞게 적용하였다. 체강방법을 이용하는 경우, 초기 실내농도를 1로 하고 급기농도를 0으로 하는 경계조건을 부여하였다.

유동장 해석을 위한 지배방정식을 무차원화하면 무차원 변수로 급기구에서 급기속도와 급기구 특성 길이에 근거한 Reynolds수와 벽면과 급기온도차에 근거한 Archimedes 수, 그리고 물성치인 Prandtl 수가 나타난다. Reynolds수는 급기풍량의 무차원수에 해당하며 Archimedes수는 벽면과 급기의 온도차에 의한 부력장과 급기풍량에 의한 관성력의 상대적 비를 나타낸다.

$$Re = \frac{u_{in} d}{\nu} \quad (7)$$

$$Ar = \frac{g\beta d(T_{wall} - T_{in})}{u_{in}^2} = \frac{Gr}{Re^2} \quad (8)$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (9)$$

여기서  $T_{in}$ 은 급기구에서 배출되는 공기의 온도이며,  $u_{in}$ 은 급기속도이다. 그리고  $Gr$ 은 Grashof수로서  $Gr = \frac{g\beta(T_{wall} - T_{in})d^3}{\nu^2}$ 로 정의된다. Pr수는 물성치로서 상온 공기에서의 값 0.7로 고정하였으므로 나머지 무차원변수는 Re수와 Ar수이다. 본 연구에서 수행한 무차원 변수의 범위는 다음과 같다.

$$Re = 1188 \sim 4750$$

$$Ar = \pm 0.2 \sim \pm 1.0$$

참고로 Reynolds수가 1,188인 경우는 급기속도가 0.1m/s에 해당하며 4,750인 경우는 0.4m/s에 해당한다. 또한 Reynolds수가 4,750인 경우, Archimedes수가 0.2 이면 등온벽면과 급기온도의 차이는 5.0℃에 해당한다.

#### 4. 결과 및 고찰

Fig.3은 Reynolds수가 4,750일 때 Archimedes수의 변화에 따른 등온조건( $Ar=0$ ) 및 냉난방조건시( $Ar=0.4, -0.4$ )의 실내의 유선분포와 온도분포를 보여주고 있다. 유선은 사각공간 중심선의 좌측, 그리고 등온선은 중심선 우측에 대칭형태로 표시하였다. 여기서 온도는 벽면의 온도와 급기의 온도로 무차원화된 온도이다. 등온의 경우, 급기된 공기는 제트 형태로 천장까지 도달하며 실내에 커다란 와류를 형성한다. 냉방의 경우에는 바닥에서 분출된 급기가 온도차에 의하여 아래쪽으로 다시 하강하며 오염된 실내공기를 배기구를 통하여 배출시키는 것을 볼 수 있다. 실내 대부분의 공간에서 매우 균일한 온도장을 보이고 있다. 난방의 경우에는 등온의 경우와 기류형태가 크게 다르지 않으나 급기된 제트에 의한 상승기류와 냉각면으로부터의 부력장에 의한 하강유동이 동일한 방향으로 실내에 더욱 강한 와류를 형성한다. 가열된 공기제트 주위의 온도가 높고 냉각벽면을 따라 낮은 온도분포를 보인다.

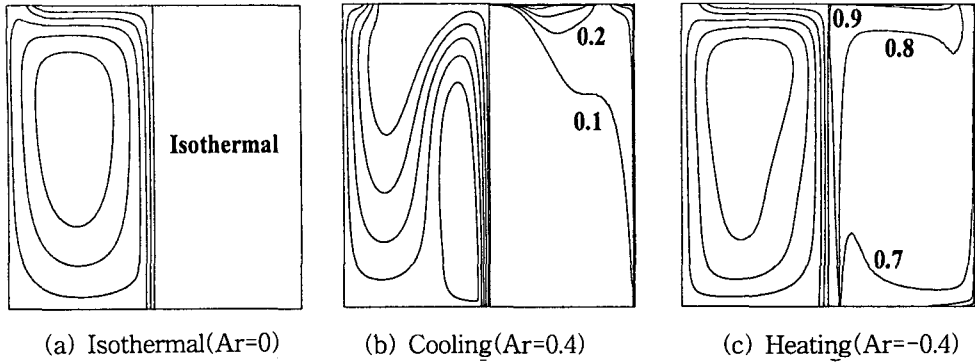


Fig.3 Streamlines and isotherms for isothermal, cooling, and heating supply air conditions (Re=4,750)

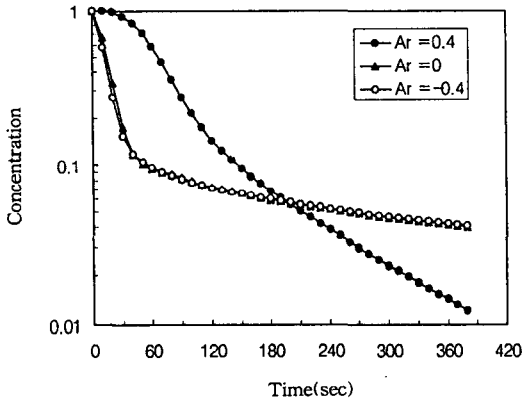


Fig.4 Transient concentration decays at exhaust by a step-down injection procedure

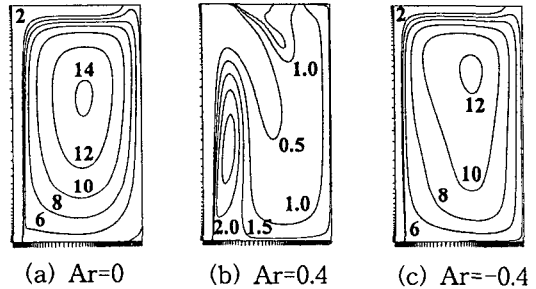


Fig.5 Non-dimensional local mean age distributions for isothermal, cooling, and heating supply air conditions (Re=4,750)

이러한 세가지 조건에 대하여 채강방식(step-down)에 의한 배기구에서의 비정상 농도변화 과정이 Fig. 4에 나타나 있다. 시간에 대한 농도곡선의 아래 면적은 배기구를 통하여 배기되는 오염물질의 양을 나타낸다. 등온조건과 난방조건인 경우 초기의 지연 시간(delay period)이 매우 짧고 이후 확산기간과 감쇠기간의 구별이 모호하며 확산과 감쇠가 동시에 일어나는 시간이 길다. 감쇠기간에서는 실내의 커다란 와류에 의하여 머물러 있던 오염물질이 오랜 동안 머물며 농도감소율이 작다. 반면 냉방조건인 경우에는 초기의 지연기간과 확산기간동안에 많은 양의 오염물질이 배출되고 있으며 감쇠기간동안에는 비교적 적은 양의 오염물질이 배출되는 것을 알 수 있다. 실내에 커다란 정체가 없으므로 감쇠기간에서

큰 농도감소율을 보이고 있다.

Fig.5에서는 위의 조건에 대하여 계산된 국부평균연령의 분포를 대칭축을 중심으로 우측면에 대하여 보여주고 있다. 여기서 국부평균연령을 명목시간상수로 무차원화하여 나타내었다. 즉 무차원 평균연령이 1.0보다 작은 곳은 완전혼합에 의한 환기상태보다 양호한 환기상태를 보인다고 말할 수 있다. Reynolds수가 4,750일 때의 명목시간상수는 71.8 초이다. 실내 국부평균연령의 분포는 유선분포와 유사한 양상을 보이고 있으며 와류의 중심부분에서 국부평균연령이 크게 나타나고 있다. 등온조건과 난방조건인 경우에는 실내 중앙에 정체구역이 크게 자리잡고 있으며 국부평균연령이 크게 나타난다. 냉방의 경우에는 등온이나 난방조건에 비하여 전체적으로 작은 평균연령 값을 보이고 있다. 바닥면으로

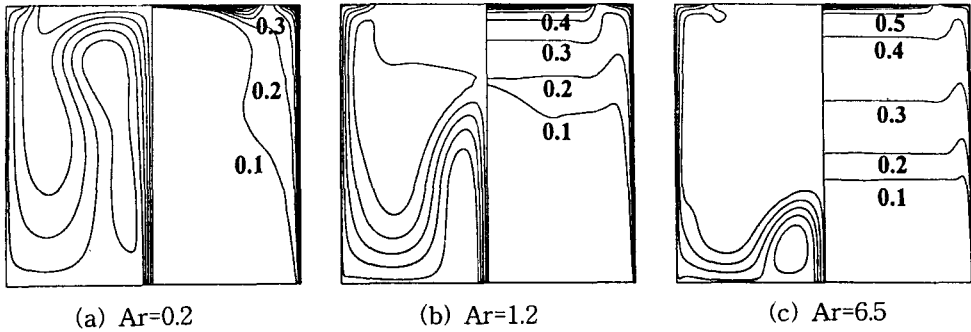


Fig.6 Streamlines and isotherms for three different Archimedes numbers(Re=1,188)

부터 분출된 급기주위와 실내 중간 부분에서 평균 연령이 특히 작으며 와류영역과 배기구 부근에서 평균연령이 증가하는 것을 볼 수 있다.

냉방조건의 경우 급기제트와 부력장이 반대방향으로 작용하므로 다양한 기류형태를 보인다. 냉방조건에 대하여 여러 가지 Archimedes수에 대하여 유동장과 온도장을 계산하였다. Fig.6은 급기속도가 0.1m/s일 때(Re=1,188), 냉방조건에 대하여 Archimedes수에 따른 유선분포와 온도분포의 변화를 대칭축의 좌우에 보여주고 있다. 유선분포로부터 Archimedes수가 커짐에 따라서 부력에 의하여 급기제트의 수직방향으로의 도달거리가 짧아지고 있으며 온도분포가 더욱 성층화되는 것을 볼 수 있다. Archimedes 수가 0.2일 때 급기제트는 천장면까지 도달하나 Archimedes수가 1.2인 경우에는 실내 중앙 부근에서 다시 하강하며 Archimedes수가 6.5인 경우에는 바닥면으로 급기가 깔리면서 우측벽면을 통하여 배기구로 향한다.

Fig.7은 Archimedes 수에 따른 실 전체에 대한 평균 환기효율, 즉 공기교환효율을 보이고 있다. 난방의 경우에는 환기효율이 매우 작으며 Archimedes수에 따라 크게 변화하지 않는다. 그러나 냉방의 경우에는 전체적인 환기효율이 난방조건에 비하여 매우 크게 나타나고 있다. Archimedes수의 변화에 따라 환기효율의 변화가 크며 대략 30~50%의 공기교환효율을 보인다. Reynolds수가 1,188인 경우에는 Archimedes수가 0.2 부근에서 최대 환기효율을 보이고 있으며 Reynolds수가 4,750일 때에는 Archimedes수가 0.8부근에서 최대값을 보이고 있다. Archimedes 수의 증가에 따라 온도분포

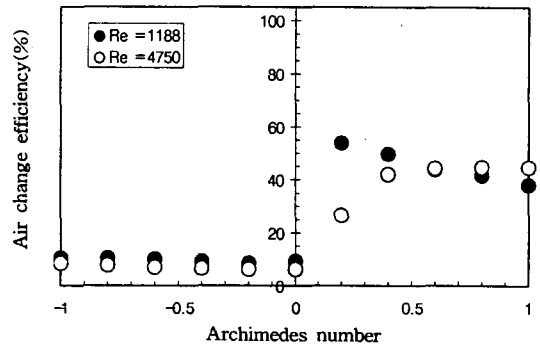


Fig.7 Effect of Archimedes number on room air change efficiency

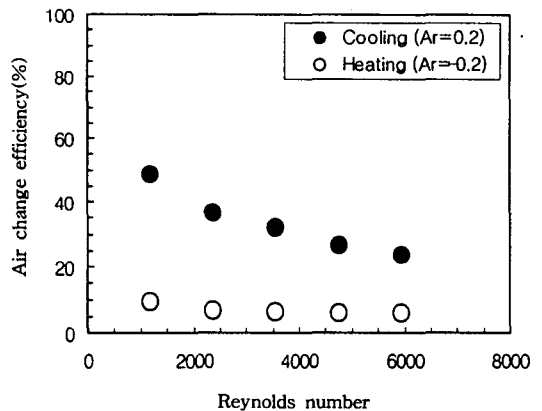


Fig.8 Effect of Reynolds number on room air change efficiency

가 더욱 성층화되고 있으나 온도 성층화가 반드시 변위환기를 의미하지 않는 것으로 판단된다.

Fig.8은 Archimedes수를 냉방조건인 0.2와 난방조건인 -0.2로 고정시키고 급기구에서 분출되는

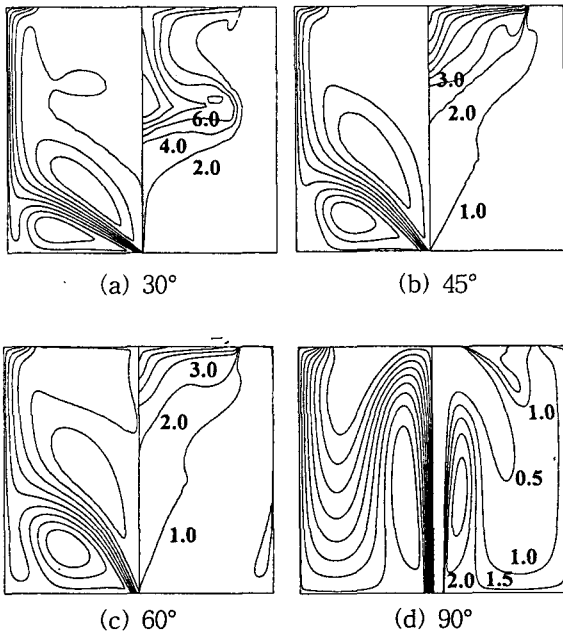


Fig.9 Streamlines and local mean age distributions for various diffuser angles for a cooling condition (Re=4,750, Ar=0.4)

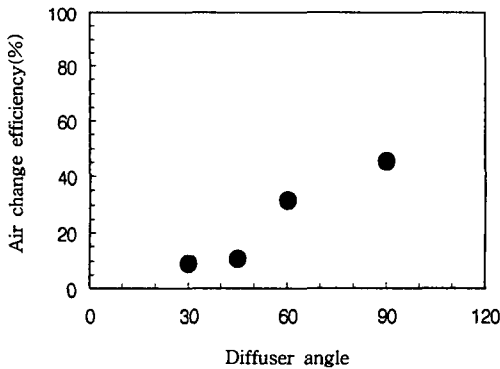


Fig.10 Effect of diffuser angle on room air change efficiency (Re=4,750, Ar=0.4)

급기의 속도를 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5m/s로 변화시키면서 급기속도에 대한 공기교환효율의 변화를 보여주고 있다. 난방조건의 경우에는 Reynolds수에 관계없이 비교적 일정한 환기효율을 보이고 있으나 냉방조건의 경우에는 Reynolds수의 증가에 따라서 환기효율이 서서히 감소되는 것을 볼 수 있다.

Fig.9는 Archimedes수가 0.4인 냉방조건에 대

하여 급기각도를 30, 45, 60, 90도로 변화시키면서 구한 유선분포와 무차원 국부평균연령의 분포를 나타낸다. 디퓨저의 각도가 작은 경우, 급기제트가 바닥면으로 깔리면서 좌우벽면 부근의 환기효율이 좋게 나타나는 반면 제트 상방에 정체 기류가 형성되면서 환기효율이 좋지 않은 구간이 발생한다. 급기각도가 증가함에 따라 공기교환효율이 증가하고 있으며 급기 각도가 90도일 때 실 전체를 가로지르는 기류가 발생하여 실 전체의 환기효율이 가장 좋게 나타나고 있다. 그러나 재실자의 호흡영역이나 거주영역만을 고려하는 경우에는 수직 급기보다는 60도 부근에서 더욱 양호하다고 볼 수 있다. 이것은 Archimedes수와 공간의 구조에 따라서 그 경향이 변화할 수 있고 거주영역을 어떻게 정의하느냐에 따라 달라질 수 있으므로 각 경우에 대한 해석이 필요하게 된다. Fig.10은 급기각도에 따른 실 전체의 공기교환효율의 변화를 보여주고 있다.

## 5. 결 론

바닥취출 공조공간을 모델로 하여 급기온도 및 급기속도 그리고 급기각도에 따라서 실내의 환기효율의 분포를 계산하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 환기효율을 계산함에 있어서 체승방법, 체강방법, 그리고 펄스방법 등 세가지 추가가스 주입방법에 대하여 동일한 결과를 얻을 수 있으나 펄스방법보다는 체승방법이나 체강방법을 이용함으로써 절단오차를 줄일 수 있다.
- 2) 냉방조건의 경우, 실내의 온도분포가 성층화되고 있으며 오염된 실내공기를 효과적으로 혼합하고 배출하므로 높은 환기효율을 보이는 반면, 난방조건에서는 기류정체구간이 넓어 낮은 환기효율을 보인다.

3) 난방조건이나 등온조건의 경우보다 냉방조건의 경우에 환기효율의 변화가 크며 급기풍량의 증가에 따라서 환기효율이 감소하였다.

4) 냉방조건의 경우 Archimedes 수의 증가에 따라서 환기효율이 증가하다가 감소하는 양상을 보였다. 그러나 최대환기효율을 보이는 Archimedes 수는 급기풍량 뿐만 아니라 실내의 형상과 급기구 및 배기구의 위치에 따라서 크게 변화하므로 일반



적인 결론을 유추하기는 어렵다.

5) 본 연구에서 수행한 모델 공간에 대해서는 냉방시 급기각도의 증가에 따라서 환기효율이 증가하며 수직급기 시에 최대 환기효율을 보였다.

앞으로 바닥취출 공조시스템의 설계에 필요한 최적 설계변수를 제시하기 위해서는 바닥취출 공조시스템에 대한 여러 가지 모델을 설정하여 실내기류 및 환기효율의 변화에 관한 수치해석 및 실험적 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

## 후 기

본 연구는 학술진흥재단의 연구지원(과제번호 : 1997-001-E00748)에 의하여 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Baker, A. J. and Kelso, R. M., 1990, "On validation of computational fluid dynamics procedures for room air motion prediction", ASHRAE Trans., Vol. 96., pp. 760~774.
2. Chen, Q. and Jiang, Z., 1992, "Significant questions in predicting room air motion", ASHRAE Trans., Vol. 98, pp. 929~939.
3. Sandberg, M., 1981, "What is ventilation efficiency", Building and Environment, Vol. 16, No. 2, pp. 123~135.
4. Kato, S., Murakami, S. and Kobayashi, H., 1992, "New scales for evaluating ventilation efficiency as affected by supply and exhaust openings based on spatial distribution of contaminant", Proc. of Int. Symp. on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness, pp. 177~186.
5. Zhang, J. S., Christianson, L. L., and Wu, G. J., 1992, "Development and evaluation of a new scaling method for predicting non-isothermal room ventilation flows", Proc. of Int. Symp. on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness, pp. 299~310.
6. Takemasa, Y., Kurabuchi, T., and Kamata, M., 1992, "Numerical simulation of indoor air temperature and wall heat flow distribution of a heated and cooled room", Proc. of Int. Symp. on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness, pp. 99~108.
7. Yokoyama, K. and Inoue, T., 1991, "Thermal environment with underfloor air-conditioning system", Proc. of Healthy Building-IAQ91, pp. 169~174.
8. Hanzawa, H. and Nagasawa, Y., 1990, "Thermal comfort with underfloor air-conditioning systems", ASHRAE Trans. Vol. 96, Pt. 2, pp. 696~698.
9. 홍승재, 1998, "바닥분출 공조공간내의 환기효율에 관한 수치해석적 연구", 석사학위 논문, 국민대학교.
10. Jones, W. P. and Launder, B. E., 1972, "Some properties of sink flow turbulent boundary layers", J. of Fluid Mechanics, Vol. 56, pp. 337~351.
11. Patankar, S. V., 1980, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere Pub. Co., New York.
12. 한화택, 1992, "난류유동해석을 통한 환기효율의 수치해석적 연구", 공기조화 냉동공학회 논문집, 제4권, 제4호, pp. 253~262.