

급기각도가 사무실 공간의 냉방 및 난방 성능에 미치는 영향

김 묘 선, 김 영 일^{*†}, 정 광 섭^{*}

서울산업대학교 에너지 환경대학원, *서울산업대학교 건축학부

The Effect of Supply Angle on Cooling and Heating Performances of Office Space

Myo Sun Kim, Youngil Kim^{*†}, Kwang Seop Chung^{*}

Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Technology, Seoul, Korea

*School of Architecture, Seoul National University of Technology, Seoul, Korea

ABSTRACT: Effect of angle of supply air on cooling and heating performances of office space is studied by numerical simulation. For a constant air volume(CAV) air-conditioning system, air is supplied vertically(90°) and horizontally(10°). Due to buoyancy, the supply angle affects the performance of cooling and heating. In cooling, since the cold supply air tends to move downward due to its high density, horizontal supply angle is better for uniform temperature distribution. In heating, however, vertical supply angle is preferred for better mean and uniform temperature distribution.

Key words: Cooling (냉방), Heating (난방), Supply angle (급기각도), Buoyancy (부력), Numerical simulation (수치해석)

기 호 설 명

U : 평균속도

u : 난류속도

P : 압력

T : 온도

T' : 난류온도

ρ : 밀도

g : 중력가속도

μ : 점성계수

t : 시간

x : 좌표축

i, j : 벡터성분

S_k : 난류운동에너지의 생성항

$$\frac{\mu_t}{\rho} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial i} \right)$$

S_B : 부력 생성항

$$S_B = -\beta g \frac{\mu_t}{\rho \sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (\beta : \text{체팽창계수})$$

1. 서 론

오늘날의 대부분의 건물은 자연환기보다는 강제급기를 이용하여 실의 냉방과 난방 부하를 조절하고, 쾌적성을 유지한다. 건물의 기밀화로 그에 대한 의존도와 요구 조건은 높아지고 있다. 또한, 전 세계적으로 화석에너지의 고갈과 이산화탄소의 절감정책으로 에너지 사용량을 절감하기 위한 노력이 여러 분야에 걸쳐 이루어지고 있다. 그 중 건물에서의 에너지 사용량은 총 에너지 사용량의 약 25% 중 건물운영 중의 사용량은

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6557; fax: +82-2-974-1480

E-mail address: yikim@snut.ac.kr

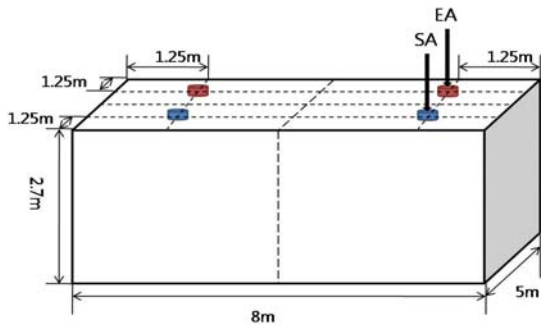


Fig. 1 Schematic design of an office space.

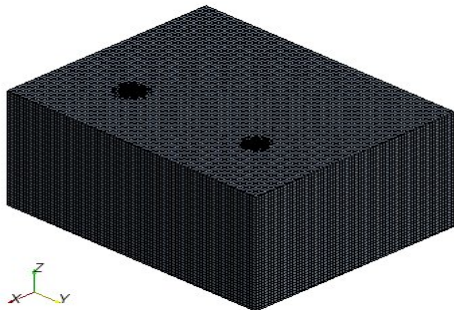


Fig. 2 Mesh structure for the numerical calculation.

80%, 그 가운데 공조에 사용되는 에너지는 50%로 그 비중은 굉장히 크다. 건물에서 사용되는 에너지의 사용량을 절감하기 위해서 냉방과 난방 부하를 제거하는 강제 급기에서의 에너지 효율을 증가시켜야한다. 계절별로 대응해야하는 실의 부하가 변하고, 그에 맞춰 급기온도가 달라져 급기구에서 취출되는 공기가 실내로 유입되는 기류분포가 변화하여 실의 쾌적성 및 냉방과 난방시의 성능에 영향을 미친다. Han et al.⁽¹⁾은 급기온도의 변화에 따른 급기각도를 조절할 수 있는 디퓨저의 실내의 기류분포의 특성과 성능을 EDT와 ADPI를 보여주었다. Noh et al.⁽²⁾은 4-way 에어컨의 냉기토출각도 조절에 따른 열쾌적지표와 환기성능지표를 분석하였다. Kim et al.⁽³⁾은 가압식 바닥급기 시스템에 대한 디퓨저 개수와 형식에 따른 여름철 온도 성층화 경향에 대해서 풍량 및 위치별 수직온도 분포를 측정하여 평가하였다.

본 연구에서는 정풍량 급기방식에서 냉방과 난방 시에 천정 급기구의 급기각도의 변화에 따른 실의 속도와 온도분포의 변화를 수치해석을 통해서 비교해보고자 한다.

2. 이론 및 수치해석 방법

2.1 해석모델의 선정

본 연구에서 해석한 실내공간 모델의 전체 크기는 8 m(W)×5 m(L)×2.7 m(H)이고 체적은 108 m³인 3차원 공간으로 Fig. 1에 나타내었다. 각 모서리로부터 1.25 m와 1.25 m 떨어진 위치에 반지름(R) 0.11 m인 원형 급기구와 배기구를 대칭으로 두 개씩 있는 것으로 가정하였다. 실제 수치해석에서는 계산량을 줄이기 위해서 공간을 1/2로 나누어서 좌측으로 대칭조건을 부여하여 2.7 m×4 m×5 m 공간을 계산하였다. 급기량은 일반 사무실의 일반적인 환기횟수 5 회/h를 선정하였다.

2.2 지배방정식

Table 2 Governing equation

$$\text{Continuity equation : } \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j) = 0$$

Momentum equation :

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho U_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_i U_j) + g_i(\rho - \rho_0) \\ & = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} [(-\rho \overline{u_i u_j}) + \mu (\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i})] \end{aligned}$$

Turbulent kinetic energy equation :

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j k) \\ & = \frac{\partial}{\partial x_j} (\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j}) + \rho (S_k + S_B) - C_D \rho \epsilon \end{aligned}$$

Dissipation rate equation of Turbulent kinetic energy :

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j \epsilon) \\ & = \frac{\partial}{\partial x_j} (\frac{\mu_t}{\mu \epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}) + C_{\epsilon 1} \rho \frac{\epsilon}{k} (S_k + S_B) - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned}$$

Energy equation :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho U_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \overline{u_j T'})$$

Boussinesq approximation :

$$f_g = \rho g \beta (T_{ref} - T)$$

where,

$$C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2} = 1.92, \sigma_k = 1.0$$

$$\sigma_\epsilon = 1.3, C_\mu = 0.09, \mu_t = \rho C_\mu k t$$

본 연구에서는 냉방과 난방 시의 급기구의 각도에 따른 공간에서의 온도분포를 예측하기 위하여 공기유동에 관한 연속방정식, 운동량방정식, 난류 운동에너지 방정식, 난류운동량 소산을 방정식이 적용되었고, 밀도가 일정한 비압축성 유동으로 가정하고 온도변화에 의한 밀도차 효과는 부력항에만 작용한다고 생각하는 Boussinesq 근사를 적용하여⁽⁴⁾, 상용 프로그램인 STAR-CCM Plus를 사용하였다.

2.3 경계조건 및 수치해석 방법

본 연구에서 선정한 급기량은 환기횟수 5 회/h, 계산시 좌측 벽면의 경계조건은 대칭으로 가정하였다. 냉방과 난방시의 급기각도 변화에 따른 실의 온도분포를 알아보기 위하여 공조 방식은 정풍량(CAV) 방식으로 가정하였다. 급기구의 경계조건은 velocity inlet, 급기온도는 냉방시에는 14°C, 난방시에는 34°C, 배기구의 경계조건은 pressure outlet으로 가정하였다. 벽체의 경계조건은 바닥과 천정은 단열조건, 측벽은 외기에 따른 부하를 계산하여 일정한 온도로 가정하였다.

Table 1 Simulation condition

Supply condition	270 CMH	2 m/s
Supply angle	Case I	Vertical angle
	Case II	Horizontal angle
Supply temperature	Heating	34°C
	Cooling	14°C
Wall temperature	Heating	18°C
	Cooling	31°C

해석 모델은 Fig. 2에서와 같이 약 310,000개의 격자를 사용하였고, 난류모델은 standard κ - ϵ 모델을 사용하였고, 계산 알고리즘은 정상 상태의 SIMPLE 알고리즘을 사용하였다. 수렴판정은 운동량 및 연속방정식의 residuals가 10^{-3} 이하를 조건으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 속도 벡터 분포

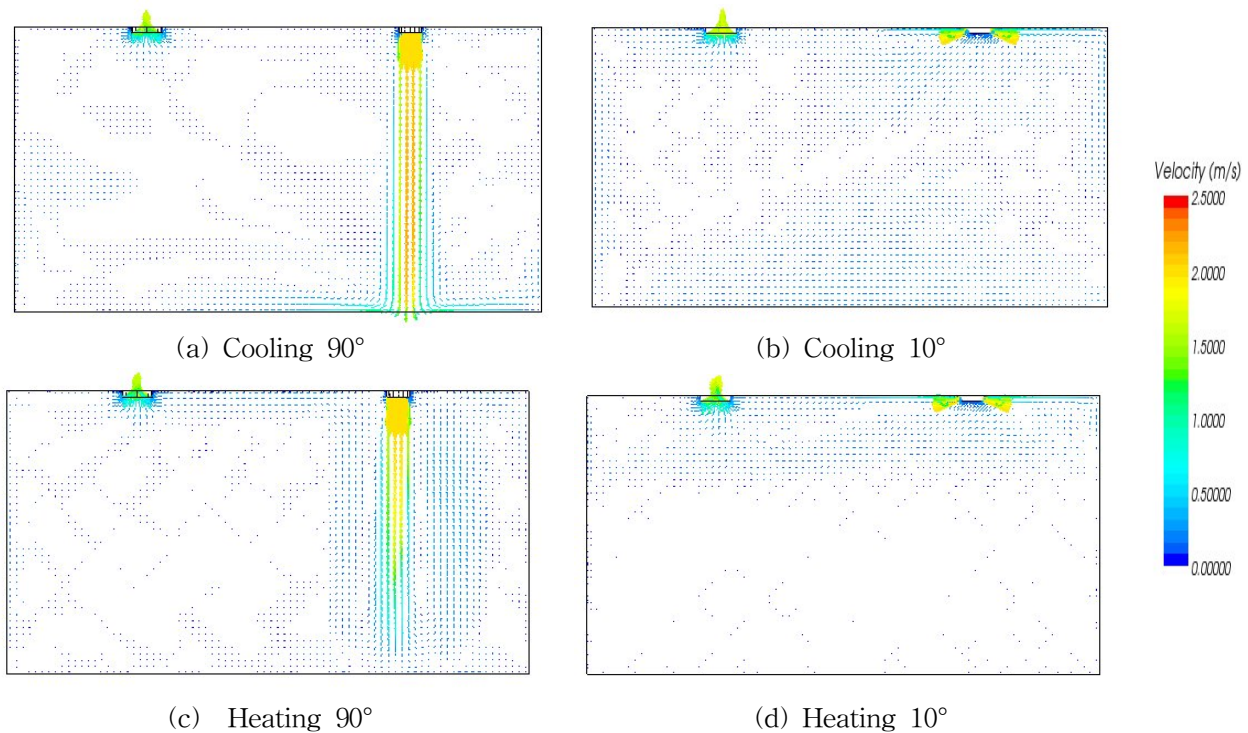


Fig. 3 Velocity vector (m/s).

냉방과 난방시 공간 내의 속도 벡터 분포를 Fig. 3에 나타냈었다. 먼저 냉방 조건시의 급기각도의 변화에 따른 급기된 공기의 기류를 살펴보면, 급기각도가 90°인 경우에는 급기된 공기가 관성력과 부력이 같은 방향으로 작용하고, 특히 수직으로 급기되는 공기의 영향으로 기류가 바닥면을 향하여 직선으로 작용하여 바닥에 닿은 후에 기류가 상승함을 볼 수 있고, 급기각도가 10°인 경우에는 90°인 경우와는 달리 공기가 수평으로 급기되기 때문에 기류가 천장에서부터 넓게 형성된 후에 부력과 관성력의 영향으로 실의 모든 영역에서 바닥으로 균일하게 하강함을 볼 수 있다. 따라서 냉방시에는 급기각도가 수직보다는 수평으로 하였을 때 실의 전체를 균일하게 유지하면서 실의 부하를 처리할 수 있는 유동을 형성함을 볼 수 있다.

난방 조건시의 급기각도의 변화에 따른 급기된 공기의 기류를 살펴보면, 급기각도가 90°인 경우에는 급기된 공기가 관성력과 부력이 역 방향으로 작용하지만 수직으로 급기되는 공기의 영향으로 기류가 바닥면 약 0.5 m 높이까지 하강기류를 형성하면서 실을 순환함을 볼 수 있다. 그러나 급기각도가 10°인 경우에는 90°인 경우와는 달리 공기가 수평으로 급기되기 때문에 급기된 공기가 하강기류를 형성하지 못하고, 기류가 바닥부분에 도달하지 못하고 부력에 의해서 실의 위쪽에서만 순환되고 있는 특성을 보이고 있어서 실의 부하를 처리할 수 있는 유동을 형성하지 못하고 있다.

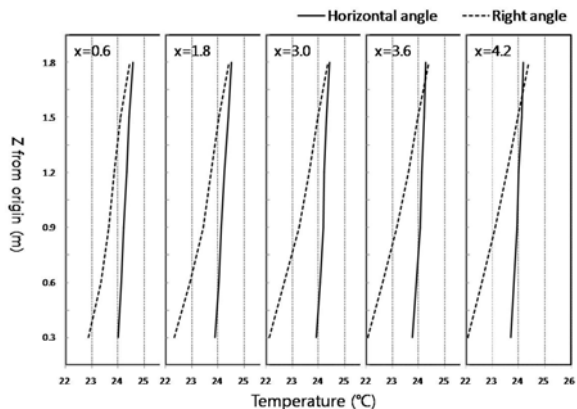


Fig. 4 Temperature distribution at $y = 4$ m (cooling)

Table 3 Results of temperature and velocity

	Z (m)	case	T(°C)		V(m/s)	
			Mean	STD	Mean	STD
Cooling	0-	I	22.95	0.92	0.06	0.04
	1.8	II	23.47	0.25	0.07	0.04
	ΔT	I	2.18	-	-	-
		II	0.43	-	-	-
Heating	0-	I	26.19	0.86	0.06	0.06
	1.8	II	23.34	0.98	0.01	0.01
	Δ	I	1.03	-	-	-
		II	2.34	-	-	-

3.2 온도 분포

냉·난방의 온도분포를 Table 3에 정리하였다. 냉방시 높이 0.3~1.8 m 사이에서 급기각도가 90°인 경우의 온도차는 2.18°C, 10°인 경우에는 0.43°C로 보인다. 쾌적감을 위한 상하온도 차이는 3°C 이내로 ISO에서 명시하므로, 수평과 수직각도 모두 ISO 규준을 만족하지만 수평급기각도의 경우가 더 유리하다고 볼 수 있다. 난방시에는 급기각도가 90°인 경우에는 1.03°C, 10°인 경우에는 2.34°C로 수직급기가 더 유리한 값을 나타낸다. 유속의 크기는 급기각도가 수직인 경우 급기구 바로 아래를 제외하고는 거주 구역에서 0.1 m/s 이하로 쾌적성에 큰 영향을 미치지 않는다.

Fig. 5~6은 급기구의 영향이 적은 세로축의 중심 단면($y = 4.0$ m)에서의 x 방향에 따른 각도 변화에 따른 냉·난방시의 실내온도 분포를 보여

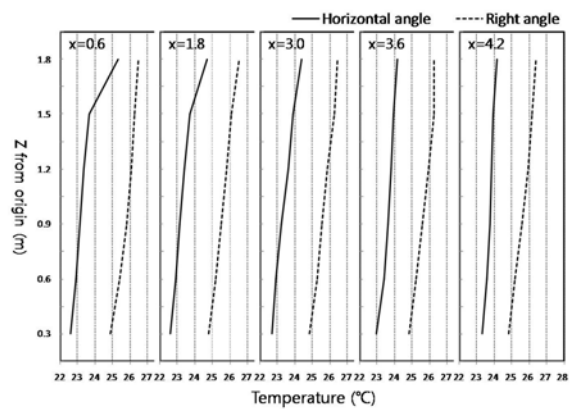


Fig. 5 Temperature distribution at $y = 4$ m (heating)

준다. Fig. 4의 냉방시에는 급기구의 각도가 수평인 경우가 수직인 경우보다 높은 온도를 유지하나 상하온도차가 적고, 수직급기인 경우는 낮은 온도를 유지하나 온도의 성층화 현상이 뚜렷이 나타난다. 수평·수직급기 모두 바닥면에서의 온도 변화가 적음을 볼 수 있는데 실의 바닥면에서는 벽면의 영향을 크게 받지 않음을 알 수 있다. Fig. 5의 난방시에는 급기구의 각도가 수직인 경우가 수평인 경우보다 높은 온도를 유지하면 상하온도차가 적고, 반면 수평급기인 경우는 온도가 낮으면서 상하온도차가 더 커지는 것을 볼 수 있다. 수평·수직급기 모두 바닥면에서는 온도변화 없이 거의 일정하지만, 수평급기인 경우는 특히 급기구 주변에서 상승폭이 커져서 배기구 보다 성층화 현상이 심화되었음을 알 수 있다.

4. 결론

실내 열환경은 급기방식에 따라 많은 차이를 보이며 본 연구에서는 수치해석을 통하여 냉방과 난방시의 급기각도의 변화를 사무실 공간에 적용하여 비교하였다.

(1) 냉방시에 수평으로 급기되는 경우가 수직으로 급기되는 경우보다 실내의 평균 온도가 23.47℃로 높았으나, 상하온도차와 온도의 표준편차의 값이 더 적음을 알 수 있었다.

(2) 난방시에 수직으로 급기되는 경우가 수평으로 급기되는 경우보다 실의 평균 온도가 26.19℃로 높고, 상하온도차와 표준편차의 값이 작음을 확인할 수 있었다.

(3) 급기되는 공기의 온도에 따른 부력의 효과로 난방시에 수평으로 급기되는 경우, 기류가 실내로 순환하지 않고 상부에만 체류하다가 급기되어 실내의 부하에 효과적으로 대응하지 못하고 있음을 볼 수 있었다.

지금까지 수행한 수평과 수직각도에 대한 해석에 추가로 급기각도를 변화를 주어 실의 온도분포를 살펴보고, 또한 급기각도에 따른 에너지 손실을 계산하여 비교하여 각도변화에 따른 에너지 효율 계산에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Han, H.T., Shin, M.W., Yom, C.M., Choi,

S.H., 2006, Air Distribution Performance According to the Gag Opening of a Temperature Controlled Diffuser, J. of SAREK 18 (2): 180-185.
 2. Noh, K.C., Oh, M, D., 2004, Analysis on the Optimal Discharge Angle of the 4-way Air Conditioner by Thermal Comfort and Ventilation Indices, Proc. of SAREK 2004 Summer Annual Conference, pp. 656-661
 3. Kim, D. H., Yu, K.H., Seo, J.S., Han, S.P., 2007, Experimental Study on Thermal Stratification of Pressurized Plenum Underfloor Air Distribution System during Cooling, Proc. of SAREK 2004 Winter Annual Conference, pp. 340-345.
 4. Myong, H. K., 2004, A guide of CFD, Munundang.