대한설비공학회 2008 하계학술발표대회 논문집 pp. 0970 ~ 0975

08-S-159

급기구 형상에 따른 겨울철 실내 온열환경의 비교

한 화 택†, 정 영 균*
국민대학교 기계자동차공학부, *국민대학교 대학원

Comparison of Indoor Thermal Environments in Winter depending on Supply Vent Configurations

Hwataik Han†, Youngkyun Jeong*
School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea
**Graduate School, Department of Mechanical Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702 Korea*

ABSTRACT: This study considers indoor thermal comfort in an ondol space by supply vent configurations to prevent cold draft in winter. A specially-designed vent cap has been investigated in comparison with a round pan-type vent and a simple opening without a cap. Numerical simulations have been conducted using CFD to analyze thermal comfort indices such as Predicted Mean Vote (PMV) and Effective Draft Temperature (EDT) as well as air distribution index i.e. Air Diffusion Performance Index (ADPI). Results show the new vent cap provides improved thermal comfort conditions especially near ondol heated floor, as the cold outdoor air spreads upwards along the vertical wall before reaching occupant region near floor. This paper includes discussions on the flow and comfort distributions created by the thermal jets from the vents.

Key words: Predicted mean vote(예상온열감반응), Effective draft temperature(유효드래프트온도), Air diffusion performance index(공기확산성능지표), Thermal comfort(온열쾌적감), Cold draft(콜드드래프트)

기 호 설 명

T_a : 실내공기지점 온도 [℃]
T_t : 실내 설정온도 [℃]
T_r : 평균 복사 온도 [℃]
T_{cl} : 의복 표면 온도 [℃]
M : 인체 발열량 [Pa]
ρ : 공기 밀도 [kg/m^3]
Q : 풍량 [CMH]
V_t : 실 체적 [m^3]
V_s : 실내권장 EDT가 차지하는 체적

† Corresponding author
Tel.: +82-2-910-4687; fax: +82-2-910-4839
E-mail address: hhan@kookmin.ac.kr

1. 서 론

실내공기 오염문제를 해결하기 위해서 환경부에서는 다중이용시설등의 공기질관리법[1]을 제정하고 건설교통부에서는 공동주택의 환기설비 의무화 규정[2]을 마련하여 시행하고 있다. 공동주택의 환기기준으로 시간당 0.7회를 제시하고 있으며, 자연환기나 상시환기 개념의 기계 환기시스템을 적용할 수 있도록 하고 있다.[3] 현재 송풍에너지의 절감을 위한 방안으로 기계환기와 자연환기를 접목한 하이브리드 환기 등이 적극적으로 검토되고 있다. 그런데 겨울철 외기가 그대로 도입되는 경우, 결로문제나 콜드드래프트 문제 등이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해 외국에서는 방열기 상단이나 팬코일유닛 뒤쪽에 외기도

입구를 위치시켜 차가운 외기가 실내공간으로 공급되기 전에 가열된 공기와 서로 혼합되도록 조치하는 등 방법을 강구하고 있다. 우리나라와 같이 온돌 공간에서는 외기와 혼합할 방열기가 따로 없으며, 좌식생활을 하는 경우 콜드드래프트 문제에 더욱 민감할 수 있다.

선행 연구로서는 No and Kim[4]과 Jang and Lee[5]가 콜드드래프트를 방지를 위한 외기도입구의 위치에 대한 연구를 수행하였으며, Choi and Kim[6]은 수치해석을 이용한 자연환기설비의 환기량 해석에 관한 연구를 수행하였다. 디퓨저 형상 관한 연구로 Cho and Kang[7]은 공기확산성능지표 향상을 위한 일반적인 디퓨저의 설계 연구가 이루어졌고, Yi[8]는 공동주택에서의 하이브리드 환기 적용을 위해 외기도입구의 형상변화에 관한 연구를 수행한 바 있다. 다만 급기구와의 비교 및 실험조건이 너무 극단적인 경우에 대하여 연구를 수행하였다.

따라서 본 연구에서는 우리나라의 온돌환경 조건에서 차가운 외기가 도입되면서 부력에 의하여 직접적으로 하강기류가 형성되는 것을 방지하고 외기가 벽체를 타고 확산되어 오래 머물면서 가열될 수 있도록 외기 도입구에 관한 형상에 관한 연구를 수행하고자 한다. 전산유체역학적 방법을 이용하여 단순 개구부를 포함하여 3가지 형상의 급기구 형상에 따라 실내 온열환경에 영향을 미치는 평가 인자인 온도분포, ISO7730[9]의 예상온열감반응(PMV), 유효드래프트온도(EDT), 공기확산성능지표(ADPI)[10] 대해 해석을 수행하며, 이 인자들을 통해 각 급기구 형상에 따른 실내 온열환경에 대해 비교 및 평가를 하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 해석모델

실내 온열환경 평가를 위해 해석 모델을 선정하였으며 Fig. 1은 본 연구에서 수치해석에 사용된 대상 실내의 모델이다. 해석모델의 크기는 5 m(L) × 5 m(W) × 2.4 m(H)이고, 체적은 60 ㎥이며, 급기구와 배기구의 위치는 바닥에서 2 m 높이이고 각 벽면의 중앙에 위치한다. 환기량은 시간당 0.7회에 해당하는 42 CMH로 설정하였고, 온돌 바닥면에 15.33 W/㎡의 열량을 공급하였다.

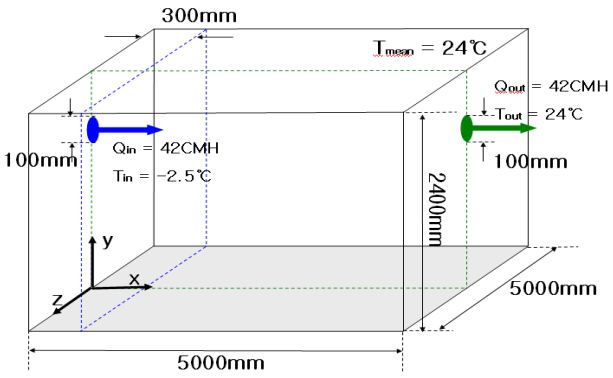


Fig. 1 Schematic diagram of the model room.

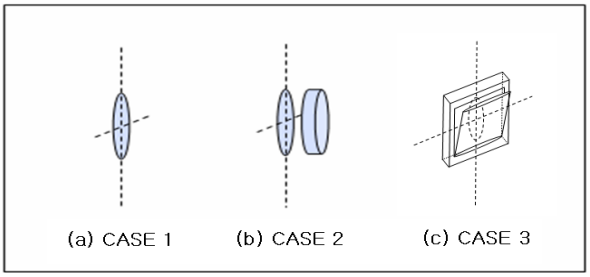


Fig. 2 Schematic diagram of supply vent cap.

바닥을 제외한 모든 면은 모두 단열되었다고 가정하였다.

급기구의 형상은 Fig. 2에 보이며 급기온도는 2006년도까지의 서울시 1월달 평균 온도인 -2.5 ℃로 설정하였으며 ISO7730에서의 동계 실내 권장온도인 24 ℃를 실내 목표 평균 온도로 설정하였다.

2.2 수치해석 방법

실내의 유동해석은 3차원 비압축성의 가정과 온도 변화에 따른 밀도변화 만을 고려한 Boussinesq가정을 사용하였다. 지배 방정식은 연속방정식과 운동량 방정식, 그리고 에너지 방정식이다. 난류항은 표준 k-ε 난류모델[11]을 사용하였으며, 실내의 속도와 압력의 상관관계를 SIMPLE[12] 알고리즘을 사용하여 온도차에 의한 부력항을 포함시켜 해석을 하였다. 지배방정식에 관해서는 본 연구에서는 상세한 설명을 생략한다. 수치해석을 위해 CFD상용 프로그램인 Fluent 6.2.16 을 사용하여 실내온도 및 기류 등을 해석하였다. 계산 영역내의 격자계는 각 CASE 모두 85000 여개이다. 해석에 사용된 경계조건은 Table 1과 같다.

2.3 열적 쾌적성 평가

실내 온열환경을 평가하는 척도로서 가장 널리 이용되고 있는 ISO7730의 PMV와 직접적으로 실내의 기류가 재실자가 불쾌감을 느낄 수 있다고 판단을 할 수가 있는 척도인 EDT를 이용하여 ADPI를 계산하여 실내 온열환경의 평가 및 비교를 할 수가 있다. 본 연구에서는 ISO7730에서 규정하고 있는 PMV계산법을 이용하였으며 계산식은 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} PMV = {} & (0.303e^{-0.36M}+0.028)[(M-W) \\ & -3.05\times10^{-3}\times5733-6.99(M-W) \\ & -P_a-0.42(M-W)-58.15f_{cl} \\ & -1.7\times10^{-5}M(5867-P_a) \\ & -0.0014M(34-T_a) \\ & -3.96\times10^{-8}f_{cl}(T_{cl}+273.15)^4 \\ & -(T_a+273.15)^4-f_{cl}h(T_{cl}-T_a)] \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, M은 재실자의 신진 대사율을 나타내고, W는 외부일, f_{cl}은 나체시 피부 표면적과 착의시의 의복 노출표면적비율, I_{cl}은 의복의 열저항, T_a은 실내의 측정부분의 온도, h는 대류열전달율, P_a는 수증기 분압을 나타낸다. 계산시 사용되는

Table 1 Boundary conditions

Category	Input Data
Insulated walls	$\partial t/\partial n$ = 0
Heat flux at floor	$\dot{Q}_f$ = 15.33 W/m^2
Supply airflow rate	Q = 30 CMH
Outdoor temperature	T_{out} = 270.65 K

인자들 중 신진대사량은 재실자의 착석상태의 대사율인 1 met을 적용하며, 착의 상태는 ISO7730의 동계 실내착의 기준인 1 clo를 사용하였다. 실내의 측정온도, 풍속등은 수치해석 결과를 바탕으로 사용하였다. 수증기 분압은 실내의 실내설정온도와 습도가 50 %라고 가정했을 때의 값으로 설정하였다. PMV는 -3<PMV<3의 범위의 수치로 나타내며 평가 척도는 Table 2 와 같다.

EDT는 건구온도와 공기의 속도에 의한 효과를 조합하여 제한한 실험식이며, 식(2)로 구해진다. -1.5 ℃ < EDT < 1 ℃의 범위에서 앉은 자세로 있는 재실자가 쾌적하다고 느낀다.

$$EDT = (T_a - T_t) - 8(V_a - 0.15) \quad (2)$$

여기서, T_a는 실내 임의의 지점에서의 측정온도이며, T_t는 실내 설정온도이다. ADPI는 거주역에 대한 전체 측정 지점 중에 실내기류속도를 고려하여 실내온도에 대한 재실자의 만족감을 통계적으로 나타낸 수치이며 0~100 %의 값을 가진다. 공기확산 성능지표의 값은 전체 실내거주공간의

Table 2 PMV index

Range	Thermal sensation
-3 ~ -2.5	Cold
-2.5 ~ -1.5	Cool
-1.5 ~ -0.5	Slightly cool
-0.5 ~ 0.5	Neutral
0.5 ~ 1.5	Slightly warm
1.5 ~ 2.5	Warm
2.5 ~ 3	Hot

부피에 대한 기류속도 0.35 m/s 이며 유효드래프트온도가 -1.5 ℃~1 ℃ 범위에 속하는 체적의 전체 거주 공간의 부피에 대한 비율로서 식(3)과 같다.

$$ADPI = \frac{V_s}{V_t}\times100 \quad (3)$$

3. 결과분석 및 토의

겨울철 실내의 콜드드래프트 현상을 검토하기 위해 중앙 단면적에서 외기도입구 주변의 온도분포를 Fig. 3에 보인다. CASE 1과 2의 경우 외기도입에 의하여 차가운 기류가 밀도차에 의하여 아래로 향한다. 좌식생활을 하는 바닥 부근까지 온도가 많이 하강하는 것을 볼 수 있다. CASE 3의 경우 측면과 상단으로 분출된 외기는 벽면을 타고 열을 흡수하여 재실영역으로 확산되기 전에 균일한 온도분포가 형성됨을 보인다.

Fig. 4는 급기구가 있는 벽면과 나란한 벽면(x=0.3)에서의 PMV분포를 보이고 있다. 정면에서의 PMV분포를 통해 각 CASE의 실내온열환경을 분석할 수 있다. 중립부분이 가장 넓은 CASE 3이 다른 CASE보다 PMV 지표 -0.5 이하인 부분이 바닥에서 좁게 나타난다. 특히 CASE 2의 경우는 급기구 형상 때문에 Fig. 4(b)에 보이는 것 같이 아래로 넓게 퍼지고 있어 콜

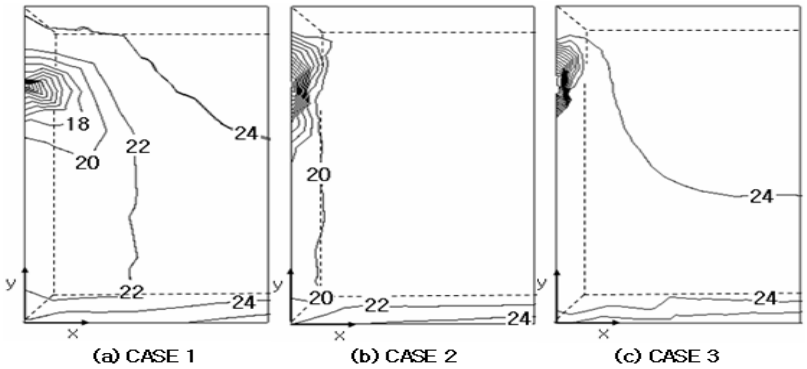
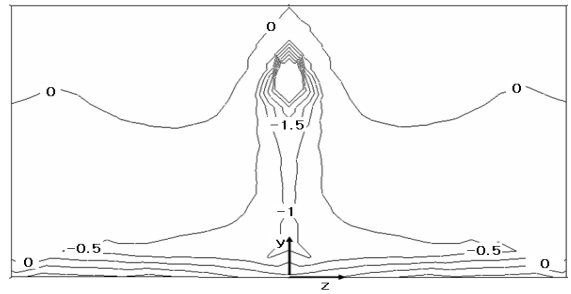
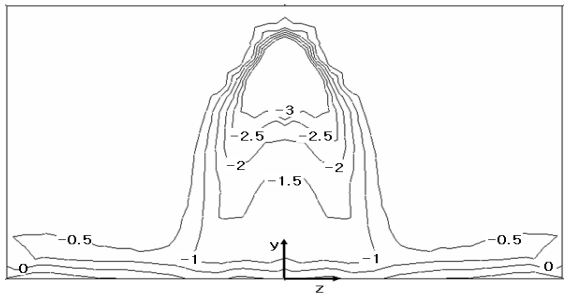


Fig. 3 Temperature distributions on the vertical center plane. (z=0 plane, x=0~1.5)

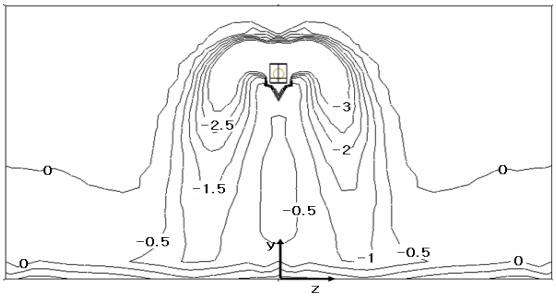
드드래프트가 가장 심한 것으로 보인다.



(a) CASE 1

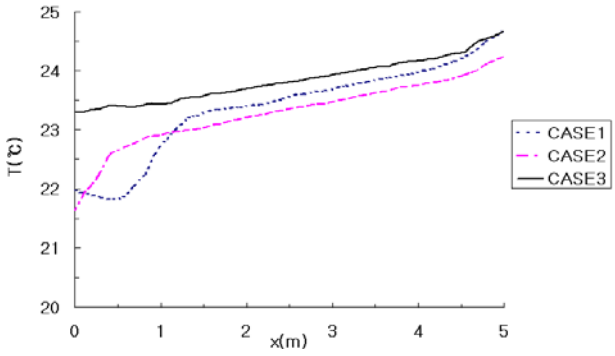


(b) CASE 2

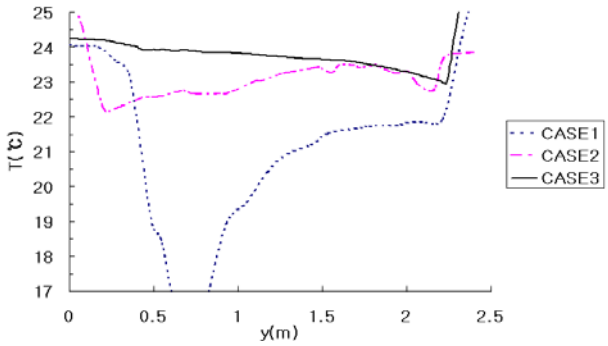


(c) CASE 3

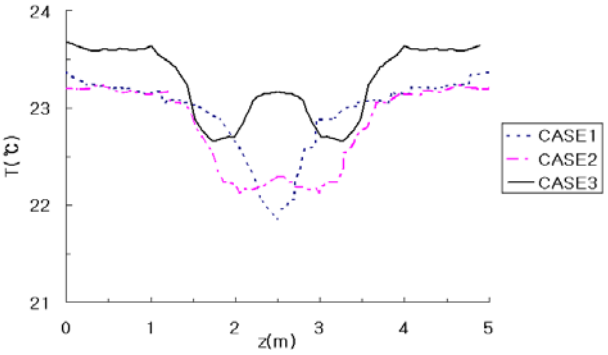
Fig. 4 PMV distributions on the parallel surface from the wall. (x=0.3 plane)



(a) Along x axis (y=0.3, z=0)



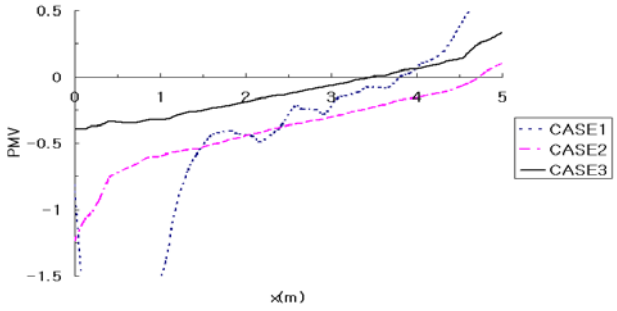
(b) Along y axis (x=0.3, z=0)



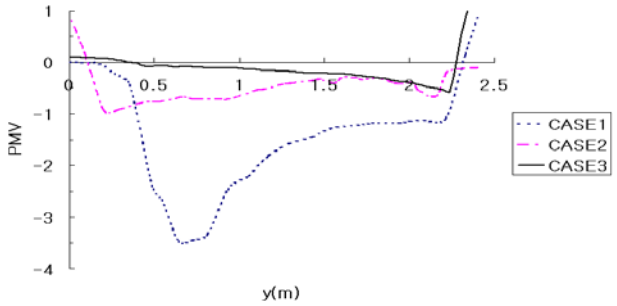
(c) Along z axis (x=0.3, y=0.3)

Fig. 5 Temperature distribution along axis.

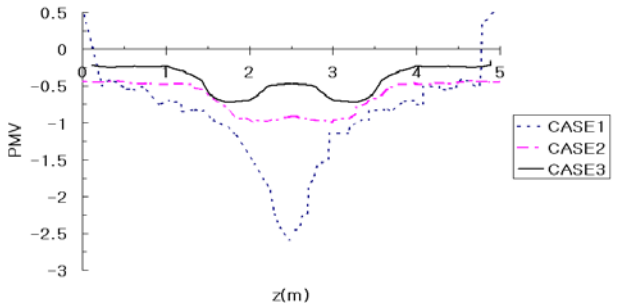
온도 및 쾌적성 분포를 좀더 정량적으로 비교하기 위하여 특정 축을 따라 일차원적인 분포를 고찰하였다. Fig. 5은 x, y, z방향으로의 온도분포를 비교해 보여주고 있다. CASE 3은 모든 방향으로의 온도분포가 균일하며 특히 x방향으로 CASE 1이나 2보다 급기구 방향으로의 온도가 높게 나타남을 볼 수 있다. Fig. 6과 Fig. 7에는 동일한 축을 따라 PMV와 EDT의 분포를 보인다. Fig. 6에서 CASE 3는 PMV의 수치가 -0.5 < PMV < 0.5 사이에 가장 폭 넓게 분포하고 있다. 마찬가지로 Fig. 7에서 EDT도 CASE3이 더 높고 실내 권장 EDT인 -1.5 ℃< EDT < 1 ℃에 가장 많이 분포되어 있음을 알 수가 있다. 특히 x방향으로의 분포에서 CASE 3은 콜드드래프트 현상이 이루어 지지 않음을 확인할 수 있다.



(a) Along x axis (y=0.3, z=0)

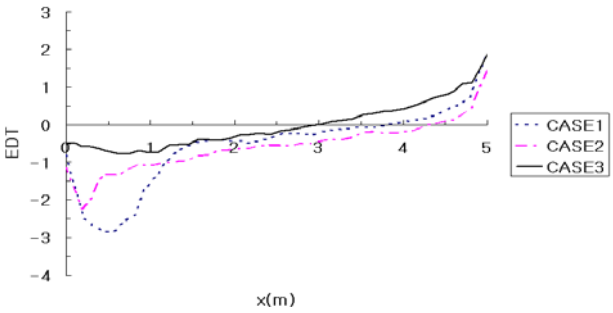


(b) Along y axis (x=0.3, z=0)

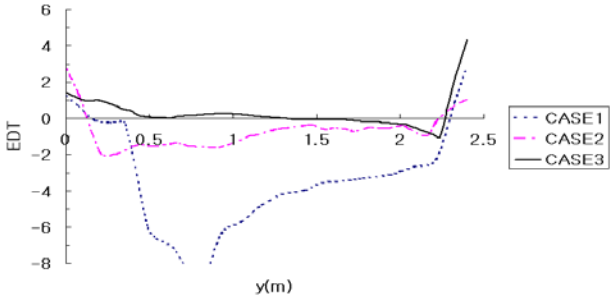


(c) Along z axis (x=0.3, y=0.3)

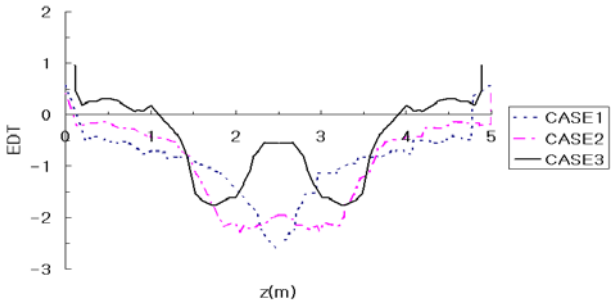
Fig. 6 PMV distributions along axis lines.



(a) Along x axis (y=0.3, z=0)



(b) Along y axis (x=0.3, z=0)



(c) Along z axis (x=0.3, y=0.3)

Fig. 7 EDT distributions along axis lines.

최종적으로 각 CASE에 따른 실내 온열환경의 종합적인 평가와 비교를 위해 실내 전체 체적에 대한 실내 체적에서 PMV값 중 중립값을 가지는 체적과의 비, 즉 열적 쾌적성을 보이는 체적 비와 ADPI를 Table 3에 비교해 보이고 있다.

Table 3 Comparison of fraction of volume of PMV in comfort range and ADPI.

	CASE1	CASE2	CASE3
Fraction of volume of PMV in comfort range (-0.5< PMV <0.5)	77%	72%	82%
ADPI (-1.5°C< EDT <1.0°C) (V < 0.35 m/s)	71%	73%	84%

Table 3에 따른 결과로 CASE 3이 실내에서 가장 쾌적한 온열환경을 제공하고 있으며, PMV, ADPI가 대략 8~10% 정도 향상되고 있고, 특히 ADPI 권장사항인 ADPI 80% 이상의 조건이 될 수 있는 것을 볼 수가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 콜드드래프트 방지 및 재실자에 쾌적한 조건을 제공할 수 있는 기능을 목적으로 설계된 외기도입구와 기존의 원형 급기구, 그리고 단순 원형 개구부에 의한 실내 온열환경을 비교 평가하였다. 수치해석을 통한 온도와 기류분포로부터 평가 인자인 PMV, EDT, ADPI 등을 해석하였다. 수치해석 결과 외기도입구의 형상 개선을 통해서 실내기류패턴을 형성함으로써 겨울철 온돌 공간에서 콜드 드래프트를 방지하고 실내온열환경을 개선할 수 있는 가능성을 보였다. 송풍에너지 사용량을 절감할 수 있는 하이브리드 환기시스템의 적용에 있어서 겨울철 환기의 문제점에 대한 대안을 제시할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 또한 국내 외기온도가 가장 추운달인 1월의 온도에서의 결과인 것을 고려 할 때, 환기설비로써 활용 가능성이 높은 것으로 평가된다. 추후에 다양한 변수 범위에 대한 수치해석적 고찰과 더불어 실험 및 현장 적용성 연구가 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(07건설핵심B02)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Ministry of Environment, 2003, Indoor Air Act for Public Building, Statute 6911
2. Ministry of Construction and Transportation, 2006, Building Construction Law, Standards for Building Facilities-Revised, Statute 497
3. Ministry of Construction, Standards for Ventilation Facilities for New Residential Apartment Buildings.
4. No S. T. and Kim, K. S., 2005, A Study on the Characteristics of Natural Airflow Through Single-sided Openings with Variable Position and Geometry, Korean Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 21, No. 8, pp. 227-234.
5. Jang, M. S. and Lee, C. S., 1992, 3 - Dimensional Analysis of Contaminant Distribution by Air-Inlet Position, Korean Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 12, No. 2, pp. 325-330.
6. Choi, T. H. and Kim, T. Y., 2007, A Study on Ventilation Rate Analysis of Natural Ventilation System by Numerical Analysis, Korean Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 23, No. 9, pp. 181-188.
7. Cho, Y. J. and Kang, S. Y., 2004, ADPI Characteristics of Line Diffuser in a Room with Perimetric Heating Load, Korean Journal of SAREK, Vol. 16, No. 12, pp. 1204-1212.
8. Yi, S. H., 2006, A Study of Hybrid Ventilation System Applying to an Apartment House, Proceedings of the SAREK, pp. 1137-1143.
9. ISO 7730, 1994, "Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort," ISO, Geneva
10. ASHRAE, 2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-2004
11. Shinsuke, K., Shuzo, M., Takeo, T. and Tomochika, G., 1997, Chained analysis of wind tunnel test and CFD on cross ventilation of large scale market buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 67 & 68, pp. 573-587.
12. Patankar, S,V., 1980, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, New York, Hemisphere Publishing Corporation.