

급·배기 일체형 디퓨저의 환기 및 온열환경 유지성능에 대한 연구

A Study on The Performance of Ventilation and Maintaining Thermal Environment for a Combined Type Diffuser

임석영(Seok-Young Lim)¹, 장현재(Hyun-Jae Chang)^{2*}

¹홍익대학교 건축공학과 대학원, ²홍익대학교 건축공학과

¹Department of Architectural Engineering, Graduate school, Hongik University, Sejong, 30016, Korea

²Department of Architectural Engineering, Hongik University, Sejong, 30016, Korea

(Received February 4, 2016; revision received May 9, 2016; Accepted: May 23, 2016)

Abstract Installing a ventilator for an apartment house composed of over 100 dwelling units was mandated in 2006 to improve indoor air quality. In the case of mechanical ventilators, the air change rate is kept stable, however 68% of dwellers do not operate their ventilator because of an increased electrical bill and noise. In the case of natural ventilators, the former problems are settled, but there are concerns about cold draught and an increase of heating/cooling cost. Authors are developing a heat recovery type natural ventilator which is a natural ventilator equipped with total heat recovery element, and it is expected that those problems of mechanical ventilator and natural ventilator are resolved by this. The combined type diffuser of this study is an under developed fit to the heat recovery type natural ventilator above. There are no standards to evaluate the performance for this type of diffuser. Due to this issue this study investigated the performance of the ventilation and maintained a thermal environment for the combined type diffuser by comparing it with existing diffusers. The results revealed that the performances of the combined type of diffusers showed different features from the existing ones, and was estimated to be high enough in the performances above.

Key words Combined type diffuser of supply and exhaust(급·배기 일체형 디퓨저), Heat recovery type natural ventilator(폐열회수형 자연환기설비), Effective draft temperature(유효드래프트 온도), ADPI(공기 확산 성능지표), Age of air(공기령)

* Corresponding author, E-mail: changhj@hongik.ac.kr

기호설명

Br : 실의 너비 [m]
 Hr : 실의 높이 [m]
 Lr : 실의 길이 [m]
 $\theta_{eff \cdot cool}$: 유효드래프트 온도-냉방조건 [m]
 $\theta_{eff \cdot heat}$: 유효드래프트 온도-난방조건 [°C]
 T_r : 실 평균 온도 [°C]
 T_p : 측정점 온도 [°C]
 V_x : 측정점 풍속 [m/s]
 k_{eff} : θ_{eff} 의 보정계수
 N_t : 실 전체의 측정점 개수
 N_S : 실 측정점 중, θ_{eff} 의 채택범위를 만족하는 측정점의 개수

PMV : 평균 예상 온열감
 Clo : 착의량(1 Clo = 0.155 [$m^2 \cdot K/W$])
 Met : 활동량(1 Met = 58.2 [W/m^2])
 k : 난류운동에너지 [m^2/s^2]
 ε : 난류운동에너지 소산률 [m^2/s^3]
 V_{ref} : 기준 풍속 [m/s]
 TI : 난류강도
 C_μ : 유량계수
 L : 특성길이 [m]
 ADPI : 공기 확산 성능 지표 [%]
 $\bar{\tau}$: 무차원 공기령 [-]
 $\bar{\tau}_e$: 배기구 평균 공기령 [s]
 $\bar{\tau}_p$: 국소 평균 공기령 [s]

1. 서론

새집증후군의 개선을 위해서 2006년 ‘건축물의 설비 기준 등에 관한 규칙’이 개정되었으며, 100세대 이상의 공동주택에서는 기계 또는 자연환기설비의 설치를 통해서 환기량 0.7 ACH(2013년 0.5 ACH로 개정)를 확보하도록 의무화 하였다.⁽¹⁾

기계환기설비를 이용하여 실내를 환기하는 경우, 팬을 통해 필요 환기량 만큼의 풍량을 지속적으로 실내에 공급할 수 있지만, 가동시 발생하는 에너지 비용 및 소음 문제로 인하여, 거주자의 68%가 기계환기설비를 사용하지 않는 실정이다.⁽²⁾

반면에, 자연환기설비를 이용하여 실내를 환기 할 경우, 앞에서 언급한 기계환기설비의 문제점을 해결할 수 있지만 폐열회수가 불가능하기 때문에 콜드 드래프트(Cold draft)의 발생 및 냉·난방비용 증가 등의 추가적인 문제점이 발생한다.

이와 같은 환기장치의 문제점을 해결하기 위해 본 연구의 저자 등은 폐열회수가 가능한 자연환기설비⁽³⁾를 개발하고 있다(이하, ‘개발 자연환기설비’, Fig. 1 참조). 개발 자연환기설비는 건물 주변에 부는 외부풍의 풍압력을 환기의 동력원으로 이용하는 방식이며, 외부 급·배기 유닛, 전열교환소자 그리고 급·배기 일체형 디퓨저로 구성된다. 건물 주변의 외부풍에 의해 건물의 외벽 근처에서는 벽면을 따라 흐르는 기류가 형성된다. 이러한 공기유동에 의해서 Fig. 1과 같이 외부 급·배기 유닛의 상류 쪽에서는 “+” 압력이 형성되며 하류 쪽에서는 “-” 압력이 형성된다. 이로 인해 상류 쪽에 면한 외부 급·배기 유닛의 개구부에서는 급기, 하류 쪽에 면한 개구부에서는 배기가 이루어지게 되며, 이에 전열교환기와 디퓨저를 하나의 환기시스템으로 구성하여 폐열회수가 가능한 자연환기설비를 개발 중이다. 급·배기 풍량은 외부 급·배기 유닛의 형상과 크기 및 외부 풍속 등에 따라 달라지게 되며, 이에 대해서는 관련 연구가 진행 중이다. 개발 자연환기설비는 1대의 환기설비가 하나의 실을 담당하는 형태를 기본으로 하며(예 : 1대의 설비로 주택 내의 1개실을 환기), 계절의 변화 등에 의해 건물주변의 풍향이 바뀔 경우에는 외부 급·배기 유닛의 급기구와 배기구가 서로 역할을 바꾸게 되는 것이 특징이다.

본 연구에서는 Fig. 1의 전체 시스템 중, 디퓨저 부분만을 연구의 범위로 한다. 급·배기 일체형 디퓨저는 외부 급·배기 유닛의 급기구와 배기구의 역할이 전환될 때에 급기 디퓨저와 배기 디퓨저도 이에 대응하여 역할 전환이 가능해야 하며, 압력손실을 최소화하기 위해 연결 거리를 최소화할 필요가 있다. 이를 위해 급기 디퓨저와 배기 디퓨저가 서로 맞닿아 있는 형태인 Fig. 1과 같은 급·배기 일체형 디퓨저를 개발하게 되었다.

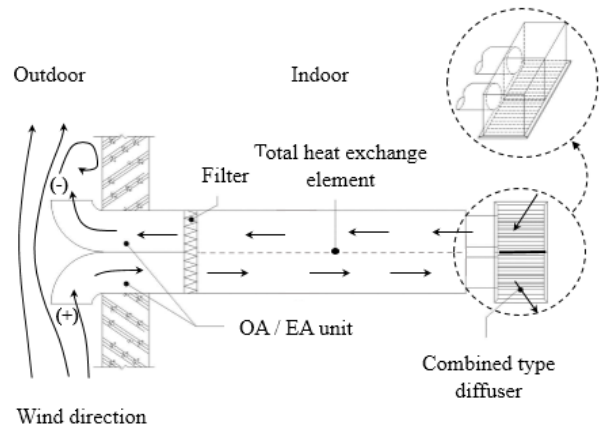


Fig. 1 Conceptual diagram of natural ventilation system developing(Plan).

디퓨저에 관한 선행연구로서, cho et al.⁽⁴⁾은 라인형 디퓨저를 대상으로 ADPI(air diffusion performance index)를 이용하여 디퓨저의 성능평가를 수행하였다. Shichao et al.⁽⁵⁾은 그릴형 디퓨저에 대해서 냉·난방 조건 하에서 풍량과 ADPI 간의 상호관계를 분석하는 연구를 수행하였다. Seok et al.⁽⁶⁾은 등온조건하에서 세 가지 형태의 디퓨저에서 배출된 배출기류의 풍속측정 결과를 바탕으로 CFD 시뮬레이션의 신뢰성을 검증하는 연구를 수행하였다.

본 연구에서 개발한 급·배기 일체형 디퓨저는 개발 자연환기설비에 적합한 형태로 고안된 디퓨저로서, 이를 위한 별도의 성능평가 기준이 마련되어있지 않다. 따라서 본 연구에서는 급·배기 일체형 디퓨저를 기존의 디퓨저와 비교·분석을 통해 그 성능을 확인하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구에서는 급·배기 일체형 디퓨저의 성능검토를 위해서 CFD(Computational fluid dynamic) 시뮬레이션을 이용한다. 기류확산 성능은 디퓨저의 성능평가 기준인 ‘SPS-KARSE B 0008-170 : 2004’,⁽⁷⁾ ‘KS B 6386 : 2011’⁽⁸⁾의 기준에 따라 해석 영역의 크기와 풍량을 산정하며, 환기효율은 공기령 분포를 이용한다. 온열환경 유지성능은 온도분포, 유효드래프트 온도분포, ADPI(Air diffusion performance index)⁽⁹⁾ 등을 이용하여 검토한다.

2.1 디퓨저 성능시험 기준

디퓨저의 성능시험에 필요한 해석 영역의 사이즈는 ‘SPS-KARSE B 0008-170 : 2004’⁽⁷⁾에 따라서 식(1)을 만족하도록 선정한다.

$$1.5 < (Br/Hr) < 2.2 \quad (1)$$

식(1)의 Hr 은 2.8 m 이상이 요구된다. 실험실의 길이는 디퓨저에서 취출된 취출기류의 방향과 평행한 방향으로, 7.5 m 이상이 요구된다. 따라서 식(1)에 의해서 산정된 해석 영역의 최소 사이즈는 너비 5.6 m, 길이 7.5 m, 높이 2.8 m이며, 본 연구에서는 충분한 해석 공간을 확보 위해서 너비 8 m, 길이 8 m, 높이 3 m로 선정하였다(Fig. 7 참조).

2.2 공기령(Age of Air)

공기령은 실내에 유입된 신선외기가 실내 체류시간이 길어질수록 내부 오염물질과 혼합되어 오염 농도가 상승한다는 개념에 입각한 것으로서, 본 연구에서는 식(2)와 같이 실내 각 지점의 평균 공기령($\bar{\tau}_p$)을 배기구에서의 평균 공기령($\bar{\tau}_e$)으로 무차원화 함으로써 공기령 분포($\bar{\tau}$)를 나타낸다.

$$\bar{\tau} = \frac{\bar{\tau}_p}{\bar{\tau}_e} \quad (2)$$

2.3 디퓨저의 온열환경 유지 성능

본 연구에서는 디퓨저의 온열환경 유지성능⁽⁹⁾에 대한 평가 지표로서 유효드래프트 온도와 ADPI를 이용한다.

유효드래프트 온도($\theta_{eff \cdot cool}$) 및 ADPI는 각각 식(3)과 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{eff \cdot cool} = (T_p - T_r) - 7.73(V_x - 0.15) \quad (3)$$

$$\frac{N_s}{N_t} \times 100\% \quad (4)$$

유효드래프트 온도($\theta_{eff \cdot cool}$)는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 ‘ $-1.7^\circ\text{C} < \theta_{eff \cdot cool} < 1.1^\circ\text{C}$ ’의 범위에 해당하고 V_x 가 0.35m/s이하일 때, 해당 측정점의 온열환경이 쾌적범위를 만족한다고 판단한다.

ADPI는 실내 전체의 측정점 수(N_t)에 대해서 유효드래프트 온도가 쾌적하다고 판단된 측정점의 수(N_s)의 비율을 백분율로 나타낸다.

유효드래프트 온도($\theta_{eff \cdot cool}$) 및 ADPI는 냉방조건하에서 적용하기 위해 개발된 지표로서, 난방조건하에서 적용하기 위해서는 추가적인 고려가 필요하다. Shichao et al.⁽⁵⁾은 냉방조건에 대한 유효드래프트 온도와 PMV

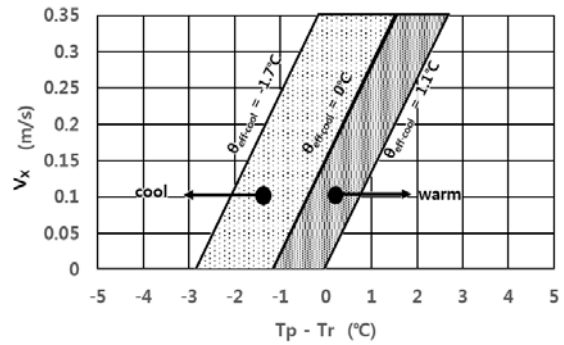


Fig. 2 Effective draft temperature in cooling mode.⁽⁵⁾

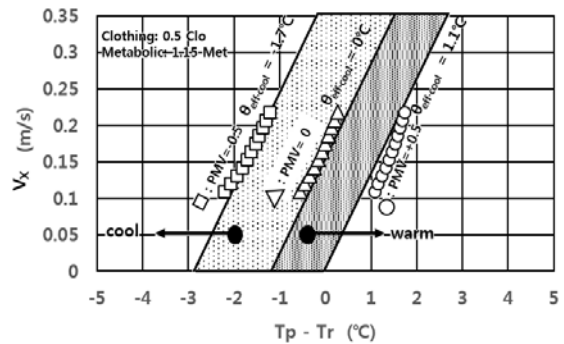


Fig. 3 PMV(-0.5~0.5) with effective draft temperature in cooling mode.⁽⁵⁾

의 관계를 검토하고 이를 바탕으로 하여 난방조건하에서 적용 가능한 유효드래프트 온도의 관계식을 유도하였다.

냉방조건시의 유효드래프트 온도($\theta_{eff \cdot cool}$)의 쾌적범위 중, 온열감각이 중립을 나타내는 ‘ $\theta_{eff \cdot cool} = 0^\circ\text{C}$ ’(Fig. 2 참조)와 PMV의 온열감각이 중립을 나타내는 ‘PMV = 0’⁽¹⁾인 경우를 기준으로, 두 지표간의 관련성을 분석하면 Fig. 3과 같이 유효드래프트 온도의 쾌적범위가 PMV의 쾌적범위(PMV = -0.5~+0.5)와 매우 유사한 범위를 나타낸다. 동일한 방법으로 난방조건하에서 적용 가능한 유효드래프트 온도($\theta_{eff \cdot heat}$)를 산정하기 위해서, PMV의 쾌적범위(PMV = -0.5~+0.5,⁽²⁾ (Fig. 4 참조))를 바탕으로 유효드래프트 온도의 쾌적범위가 같도록 하기 위한 관계식을 유도할 수 있다. 난방조건하에서 유효드래프트 온도($\theta_{eff \cdot heat}$)의 식은 식(3)으로부터 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

1) According to ‘KS A ISO 7730(2010),’⁽¹⁰⁾ ‘ASHRAE Standard 55 (2009),’⁽¹¹⁾ Relative humidity : 50%, air velocity : ‘0.1 m/s~ 0.2 m/s’, Clothing : 0.5 Clo, Metabolic : 1.15 Met and Mean radiant temperature = Local Dry-bulb Temperature.⁽¹²⁾

2) 0.5 Clo of Clothing is replaced by 1.0 Clo in heating mode.

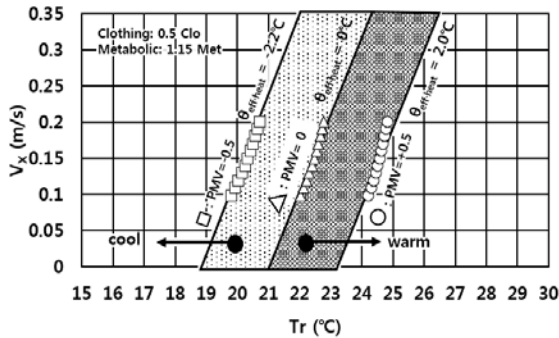


Fig. 4 PMV(-0.5~0.5) with effective draft temperature in heating mode.

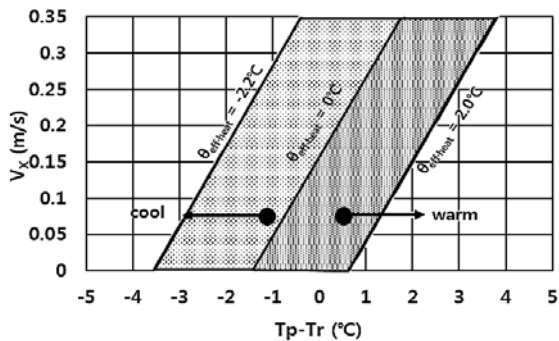


Fig. 5 Effective draft temperature in heating mode.

$$\theta_{eff \cdot heat} = (T_p - T_r) - k_{eff} (V_x - 0.15) \quad (5)$$

식(5)의 k_{eff} 는 난방조건시의 유효드래프트 온도($\theta_{eff \cdot heat}$)의 구성 요소인 온도와 기류속도 중, 기류속도가 온열환경의 쾌적범위에 미치는 영향을 나타내는 것으로서, ' $k_{eff} = 9.1$ '⁽⁵⁾일 때, Fig. 4의 PMV 쾌적범위와 $\theta_{eff \cdot heat}$ 의 쾌적범위가 가장 유사한 범위를 나타낸다.

따라서 난방조건하에서 유효드래프트 온도($\theta_{eff \cdot heat}$)의 쾌적범위는 Fig. 5에 나타낸 바와 같은 ' $V_x < 0.35 \text{ m/s}$ ', ' $-2.2^\circ\text{C} < \theta_{eff \cdot heat} < 2.0^\circ\text{C}$ '이 된다.

2.4 검토 대상 디퓨저

본 연구에서 개발한 디퓨저는 급·배기 일체형 디퓨저로서, 급기 디퓨저와 배기 디퓨저가 서로 인접하는 구조로 되어 있다(Fig. 6(c) 참조). 하나의 몸체 안에서 서로 분리된 급·배기 챔버를 갖고 있으며, 각각의 챔버는 폐열 회수형 자연환기설비의 급·배기구와 연결된다. 따라서 폐열 회수형 자연환기설비의 외부 급·배기 유닛이 외부풍의 풍향이 바뀔 때 따라 급기구와 배기구의 역할이 전환될 때, 실내의 급·배기 디퓨저도 이에 상응하여 급기구와 배기구의 역할을 전환할 수

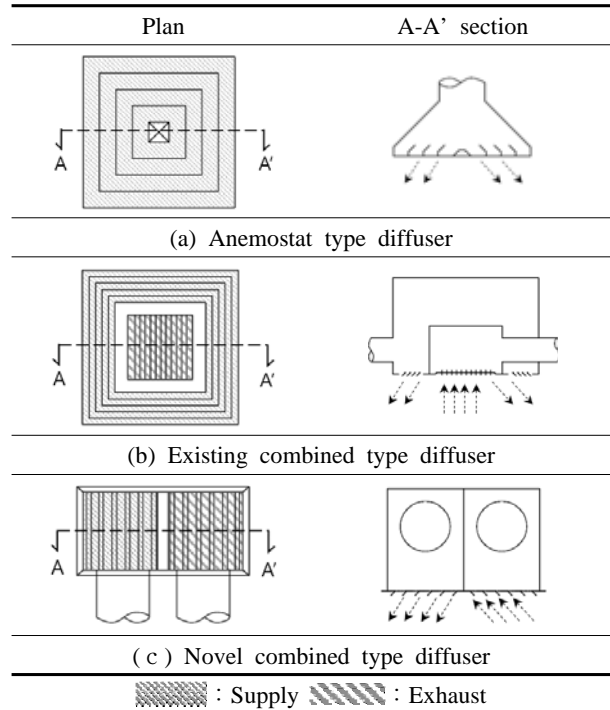


Fig. 6 Diffuser's plan and section.

있는 구조로 되어 있다.

본 연구에서 개발한 디퓨저의 성능을 비교·분석하기 위해 기존의 아네모스탯형 사각디퓨저 및 기존의 특허품인 '일체형 급·배기 공급장치를 갖는 공기조화 시스템'⁽¹³⁾의 급·배기 일체형 장치에 대한 성능도 함께 검토하였다. 검토 대상 디퓨저의 평면 및 단면을 Fig. 6에 나타낸다. Fig. 6(a)는 기존의 아네모스탯형 사각디퓨저, Fig. 6(b)는 기존 특허의 급·배기 일체형 장치이며 이들은 급·배기구의 역할 전환을 전제로 개발되지 않았다.

'KS B 6386 : 2011'⁽⁸⁾을 기준으로 하여 아네모스탯형 사각디퓨저는 크기가 300 mm×300 mm이며, 허용풍량인 195 CMH~295 CMH의 중간 값인 250 CMH를 급기 및 배기 풍량으로 선정하였다.

본 연구의 개발 디퓨저와 기존의 급·배기 일체형 장치의 경우, 일반적인 형태의 디퓨저가 아니기 때문에 사이즈 및 풍량과 관련된 기준이 마련되어 있지 않다. 따라서 아네모스탯형 디퓨저에 대해서 선정한 사이즈와 풍량을 기준으로 평균 취출 풍속을 산정한 후, 해당 풍속을 개발 디퓨저 및 기존의 급·배기 일체형 장치에 동일하게 적용하고 'KS B 6386 : 2011'⁽⁸⁾에 따른 250 CMH의 풍량을 갖도록 취출구의 면적을 조정하여 모든 검토 대상 디퓨저가 동일조건하에서 비교·검토 되도록 하였다. 각 디퓨저의 급·배기구 면적 및 취출각도를 Table 1에 나타낸다.

Table 1 Boundary condition in diffusers supply and wall

Diffuser type	Location (Fig. 7)	Air direction	Heating or cooling mode	Temperature [°C]			Air velocity [m/s]	Free area [m ²]	Air supply angle [°]	k* [m ² /s ²]	ε** [m ² /s ³]
				Wall surface	Supply air	Room average					
Anemostat type	A, C	Four way	Heating	16.1	25	20	0.772	0.085	45	0.0022	0.0002
			Cooling	34.7	15	26					
Existing combined type	B	Four way	Heating	15.5	25	20	0.772	0.085	45	0.0022	0.0015
			Cooling	35.4	15	26					
		(-)Z	Heating	15.1	25	20					
			Cooling	36.8	15	26					
Novel combined type	B	(+)Y	Heating	16.0	25	20	0.772	0.085	45	0.0022	0.0006
			Cooling	33.5	15	26					

$$k = \frac{3}{2} (V_{ref} \times \Pi)^2$$

$$\epsilon = (C_\mu \times k^{3/2}) / (L/7)$$

V_{ref} = Reference velocity, $C_\mu = 0.09$, L = Characteristic Length, Π (Turbulence Intensity) = 5%.

3. CFD 시뮬레이션 개요

CFD 시뮬레이션을 위한 해석 영역과 메쉬 분할을 Fig. 7에 나타낸다. 메쉬는 육면체 메쉬 약 1,500,000개로 구성하였다.

CFD 프로그램은 상용 프로그램인 ‘ANSYS 14.5.7’의 ‘FLUENT’를 사용하였으며, 난류 모델은 ‘Standard k-ε’⁽¹⁴⁾ 모델을 적용하였다. CFD 시뮬레이션의 수렴 관정은 각 계산 스텝에서의 Residual을 기준으로 하였으며, Conti-

nuity, X-Y-Z Velocity, k , ϵ 은 1×10^{-5} , Energy는 1×10^{-6} 을 수렴판정조건으로 하였다.

개발 디퓨저와 급·배기 일체형 장치는 Fig. 7에서 실의 중앙인 B위치에 디퓨저를 설치하였으며, 아네모스탯형 디퓨저는 A위치에 급기 디퓨저를, C위치에 배기 디퓨저를 설치하였다.

검토대상 디퓨저의 시뮬레이션 경계조건을 Table 1에 나타낸다. Table 1의 ‘Wall surface temperature’는 실내의 평균 온도를 냉방시 26°C, 난방시 20°C로 유지하기 위한 벽체의 표면 온도이며, 바닥면과 천장면은 단열 조건으로 설정하였다.

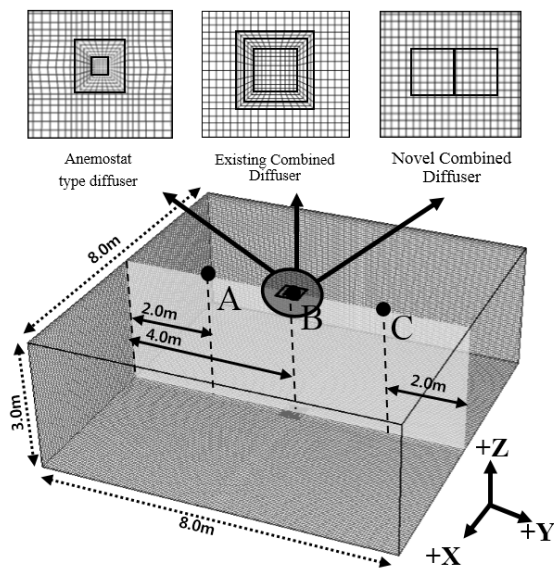


Fig. 7 Computational domain of test room.

4. 결과 분석

4.1 냉방조건에서의 디퓨저 특성

4.1.1 아네모스탯형 디퓨저

검토 대상 디퓨저에 대한 냉방시와 난방시의 기류 분포, 온도분포, 유효드래프트 온도분포, 공기령분포에 대한 CFD 해석 결과를 Fig. 8과 Fig. 9에 나타낸다.

Fig. 8(a)는 냉방조건하에서의 아네모스탯형 디퓨저의 해석결과로서, 천장면에 대해 45° 방향으로 취출된 기류는 바닥면까지 도달하고, 취출기류의 우측에서는 반시계 방향의 순환류가 발생한다. 바닥높이 ‘+1.2 m’의 평면상에서, 디퓨저 상부에서는 시계방향의 순환류가 발생하고, 디퓨저 하부에서는 반시계방향의 순환류가 발생한다.

급기 디퓨저에서 취출된 냉각기류(15°C)에 의해 실

의 중앙하부와 좌측에서는 26℃ 미만의 온도분포를 나타내며, 배기 디퓨저가 설치된 실의 우측은 26℃ 이상의 온도분포를 나타낸다. 우측 벽면 근처에서는 28℃ 이상의 상대적으로 고온인 온도분포를 나타낸다.

실의 좌측 천장에 설치된 급기 디퓨저의 취출구 영역에서 유효드래프트 온도의 쾌적범위에 대한 하한치 '-1.7℃'보다 낮은 영역이 '8'자 모양으로 나타난다. 이는 취출기류의 온도가 15℃로서 주위 공기에 비해 상대적으로 낮기 때문인 것으로 사료된다. 이에 비해 배기 디퓨저의 하부에 해당하는 실의 우측 영역은 쾌적범위의 상한치인 '+1.1℃' 범위를 상회하고 있다.

공기령 분포는 급기 디퓨저의 하부와 실 우측의 상

부에서 '1.0' 이상의 분포를 나타내며, 나머지 영역에서는 '1.0' 미만의 분포를 나타낸다.

4.1.2 기존의 급·배기 일체형 장치

Fig. 8(b)는 냉방조건하에서의 기존 급·배기 일체형 장치의 측면급기/중앙배기의 경우이다.

디퓨저를 중심으로 좌우방향 45°로 취출된 냉각기류는 좌·우측 하부의 모서리까지 도달하며, 실 중앙에서는 천장에 설치된 배기구를 향해 느린 풍속으로 상승하는 상승기류가 나타난다.

온도분포는 기류분포의 특성이 반영되어, 실의 중앙을 중심으로 26℃ 미만의 영역이 넓게 분포한다.

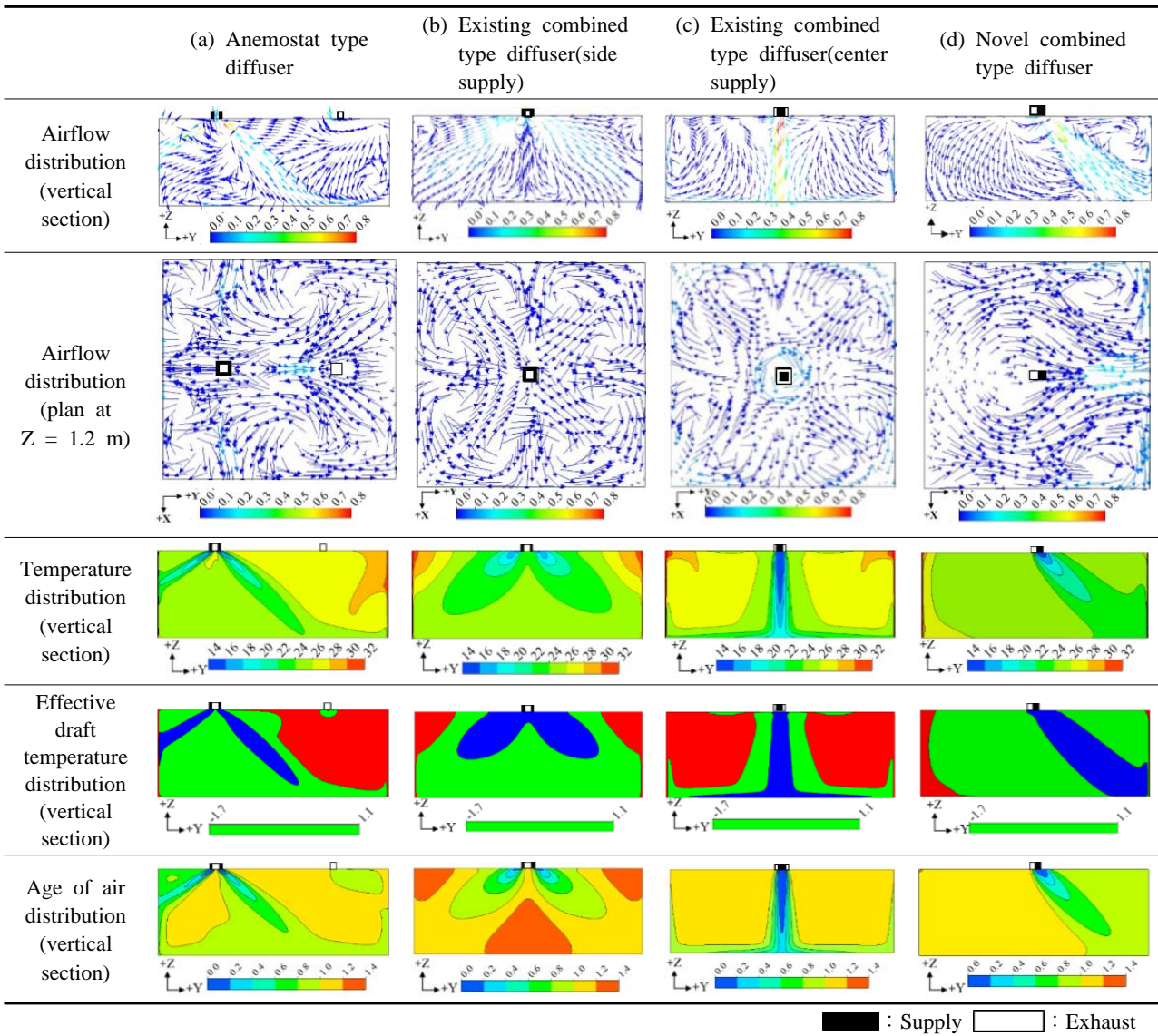


Fig. 8 Vertical section and plan of CFD simulation results(cooling mode).

유효드래프트 온도의 분포 역시, 기류의 특성이 반영되어 디퓨저를 중심으로 취출구 영역과 좌우측의 상부 모서리에서 쾌적범위의 하한치인 '-1.7℃'와 상한치인 '+1.1℃'를 벗어나는 영역이 나타나지만, 이외의 영역에서는 쾌적범위를 만족한다.

공기령 분포는 실의 중앙 하부에서 '1.0'을 초과하는 영역이 나타난다.

Fig. 8(c)는 냉방조건하에서의 기존 급·배기 일체형 장치의 중앙급기/측면배기의 경우를 나타낸다. 기존의 급·배기 일체형 장치는 측면급기/중앙배기 만을 고려하여 제작된 것으로 사료되나, 급·배기구의 역할 전환에 따른 특성을 파악하기 위해 중앙급기/측면배기의 경우에 대해서도 검토한다.

실의 천장 중앙에서 수직 하향으로 취출된 냉각기류는 바닥면 근처에서도 0.6 m/s 내외의 비교적 빠른 풍속을 유지하며, 바닥면에 닿은 후 좌·우측 벽면을 향해서 선회한다. 이로 인해, 실의 좌측과 우측 공간에서는 각각 시계방향과 반시계 방향의 선회류가 발생한다.

온도분포는 실 중앙의 디퓨저 직하부에는 16℃ 내외의 상대적으로 낮은 온도영역이 존재하며, 온도구배가 매우 크다. 이에 비해 실의 좌우측 공간은 26℃~28℃의 분포를 나타내어 전체적으로 불균일한 온도분포를 나타낸다.

유효드래프트 온도는 기류의 특성이 반영되어, 실 중앙의 디퓨저 아래쪽에서 쾌적범위의 하한치를 벗어나는 영역이 상하로 길게 존재하며, 실의 우측은 쾌적범위의 상한치를 초과하는 영역이 넓게 나타난다.

공기령 분포는 실의 좌우측에서 '1.0'을 초과하는 영역이 매우 넓게 나타난다.

4.1.3 개발 급·배기 일체형 디퓨저

Fig. 8(d)는 냉방조건하에서의 개발 급·배기 일체형 디퓨저에 대한 해석 결과이다.

천장면에 대해 45°, '+Y' 방향으로 취출된 기류는 오른쪽 하부 모서리까지 도달하며, 우측 상부에서는 반시계방향의 선회류가 발생한다. 바닥높이 '+1.2 m'에 대한 평면상의 기류분포에서, 우측 하부 벽면에 도달한 기류는 상하 양쪽으로 나뉘어진 후, 서로 반대방향의 선회류를 형성한다.

온도분포는 좌측 벽면근처를 제외한 대부분의 영역에서 26℃ 이하의 분포를 나타낸다.

유효드래프트 온도는 기류의 특성이 반영되어, 취출기류의 방향을 따라 유효드래프트 온도의 하한치인 '-1.7℃'를 벗어나는 영역이 존재하고, 좌측 벽면근처에서는 상한치를 벗어나는 영역이 존재하며, 이외의 영역에서는 쾌적범위를 만족한다.

공기령 분포는 취출기류 방향인 실의 우측에서 '1.0'

미만의 공기령 분포를 나타내며, 실의 좌측에서는 '1.0~1.2'를 나타낸다.

4.2 난방조건에서의 디퓨저 특성

4.2.1 아네모스탯형 디퓨저

Fig. 9(a)는 난방조건하에서의 아네모스탯형 디퓨저의 시뮬레이션 결과이다.

기류분포는 냉방조건과 매우 유사한 분포를 나타낸다.

온도분포는 기류분포의 특성이 반영되어 실의 좌측 및 하부영역에서 20℃ 이상의 온도분포를 나타내며, 배기 디퓨저가 설치된 우측 상단에서는 18℃~20℃의 온도분포를 나타낸다.

유효드래프트 온도는 전체적으로 난방조건에 대한 유효드래프트 온도의 쾌적범위를 만족한다.

공기령 분포는 냉방시와 유사한 분포를 나타낸다.

4.2.2 기존의 급·배기 일체형 장치

Fig. 9(b)는 난방조건에서 기존 급·배기 일체형 장치의 측면급기/중앙배기의 해석결과를 나타낸다.

기류분포는 냉방조건과 유사한 결과를 나타낸다.

온도분포는 실 전반에 걸쳐 20℃ 이상의 온도분포를 나타내며, 실 상부의 좌·우측 코너부에서 20℃ 미만의 온도분포를 나타낸다.

유효드래프트 온도는 벽면과 인접한 영역에서 쾌적범위를 만족하며, 실의 중앙부에서는 상한치인 '+2.0℃'를 초과하는 영역이 넓게 분포한다.

공기령 분포는 전반적으로 냉방조건과 유사한 결과를 나타내나, 난방조건에서 나타났던 실 중앙하부의 '1.2'를 초과하는 영역은 나타나지 않는다. 이는 냉방조건시 배기구가 위치한 실의 중앙을 향해서 선회하던 기류가 난방조건시에는 취출기류(25℃)의 부력에 의해 실의 중앙하부로 향하는 선회류의 양이 줄어들기 때문으로 사료된다.

Fig. 9(c)는 난방조건하에서의 기존 급·배기 일체형 장치의 중앙급기/측면배기의 경우를 나타내낸다. 기류분포 및 공기령분포는 냉방조건과 매우 유사한 형태를 나타낸다.

온도분포는 기류분포의 특성이 반영되어 실의 중앙에서는 20℃ 이상의 온도분포를 나타내며, 실의 좌·우측 영역은 18℃~20℃의 온도분포를 나타낸다.

유효드래프트 온도는 전체적으로 쾌적범위를 만족하며, 공기령분포는 냉방시와 매우 유사한 분포를 나타낸다.

4.2.3 개발 급·배기 일체형 디퓨저

Fig. 9(d)는 본 연구를 통해 개발한 급·배기 일체형 디퓨저의 난방조건하에서의 해석 결과를 나타낸다.

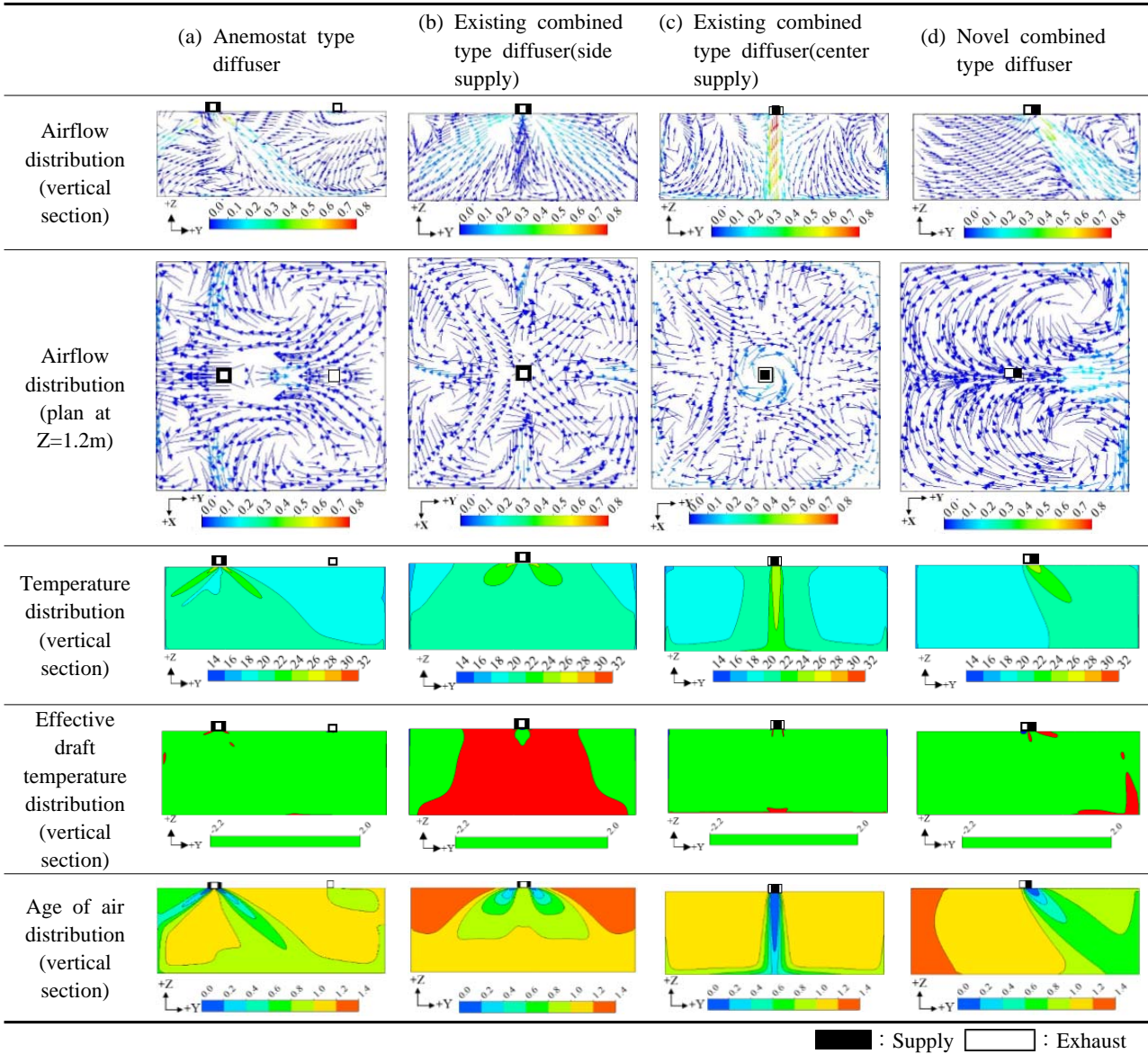


Fig. 9 Vertical section and plan of CFD simulation results(heating mode).

기류분포는 수직단면상에서는 냉방조건과 비교해 보았을 때 큰 차이를 나타내지 않지만, 평면상에서는 취출기류의 상하 부분에 발생하는 선회류의 반경이 냉방조건시에 비해 크게 형성되는 특징을 나타낸다.

온도분포는 실의 우측에서 20℃ 이상의 온도분포를 나타내며, 실의 좌측에서는 18℃~20℃의 온도분포를 나타낸다.

유효드래프트 온도분포는 전체적으로 쾌적범위를 만족한다.

공기령 분포는 냉방시와 유사하나, 취출기류(25℃)의 부력에 의한 영향으로 냉방조건에 비해 '0.6~0.8'의

영역이 실의 우측 상부 방향으로 확대되며, 실의 좌측 벽면 근처에서는 '1.2'를 초과하는 영역이 나타난다.

4.3 ADPI

4.3.1 냉방조건에서의 높이에 따른 ADPI 분포

Fig. 10(a)는 냉방조건하에서의 높이에 따른 ADPI 분포를 나타낸다. 아네모스팅팅 디퓨저는 실의 하단으로부터 높이 1.5 m지점까지는 75% 이상의 분포를 나타내나, 높이 1.5 m를 초과하는 지점부터 ADPI가 급격히 감소하는 경향을 보인다.

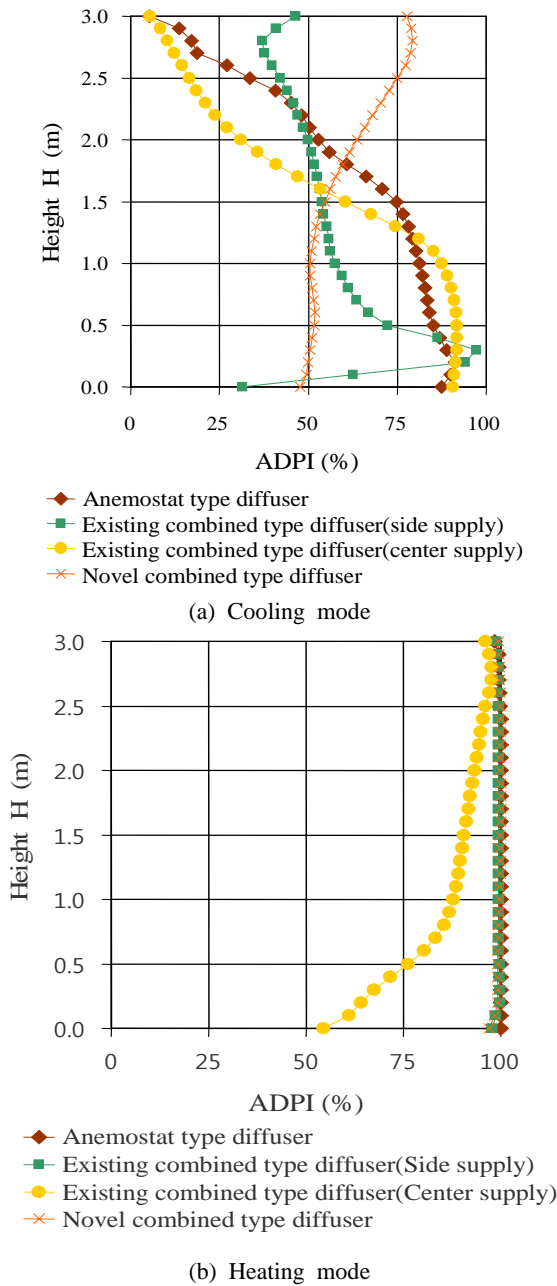


Fig. 10 ADPI Distribution according to height.

기존 급·배기 일체형 장치의 측면급기/중앙배기의 경우는 실의 하단으로부터 높이 0.5 m까지는 ADPI가 급격히 변화하며, 높이 1.5 m까지는 55% 이상의 ADPI를 나타내나, 그 이상의 높이에서는 높이가 높아질수록 ADPI가 감소하는 경향을 나타낸다.

기존 급·배기 일체형 장치의 중앙급기/측면배기의 경우는 실의 하단으로부터 높이 1.0 m지점까지는 90% 내외의 ADPI를 나타내나, 그 이상의 높이에서는 ADPI

가 급격히 감소하는 경향을 나타낸다.

본 연구에서 개발한 급·배기 일체형 디퓨저는 높이 1.5 m지점까지는 50% 전후의 ADPI 분포를 나타내며, 높이 1.5 m를 초과하면 ADPI가 증가하는 경향을 나타낸다.

4.3.2 난방조건에서의 높이에 따른 ADPI 분포

Fig. 10(b)는 난방조건시의 높이에 따른 ADPI를 나타낸다.

아네모스탯형 디퓨저, 기존 급·배기 일체형 장치(측면급기/중앙배기), 개발 급·배기 일체형 디퓨저는 높이에 상관없이 100%에 가까운 ADPI를 나타낸다.

기존 급·배기 일체형 장치의 중앙급기/측면배기의 경우는 바닥면 근처에서 약 50%의 ADPI를 나타내며, 높이가 증가함에 따라 ADPI가 증가하는 경향을 나타낸다.

5. 결론

본 연구에서는 개발 자연환기설비에 적용하기 위해 개발한 급·배기 일체형 디퓨저를 대상으로 기존의 아네모스탯형 디퓨저, 급·배기 일체형 장치와 비교·분석을 통해 기류분포, 온도분포, 유효드래프트 온도분포, 공기령 분포 및 높이에 따른 ADPI 분포 특성에 대해 검토하였다. 검토 대상 디퓨저들은 각각의 설치조건, 급기구와 배기구의 구성 형태에 따라 서로 다른 분포 특성을 나타내었으며, 본 연구에서 개발한 급·배기 일체형 디퓨저도 기존의 디퓨저에 비해 환기 및 온열환경 유지성능 면에서 그 활용도가 충분한 것으로 판단되었다.

금후에는 적용 공간의 변화, 디자인을 고려한 형상의 변화, 온도 및 취출 풍량의 변화 등 다양한 조건하에서의 특성을 파악하고, 그 성능을 향상시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 : 2012R1A1A2003647).

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Law of building for facility, 2013, Article, 11.
2. Park, J. S. and Kim, H. J., 2012, A field study of occupant behavior and energy consumption in apart-

- ments with mechanical ventilation, *Energy and Building*, Vol. 50, pp. 19-25.
3. Chang, H. J., 2014, Heat recovery type natural ventilator, kr patent 10-1447097.
 4. Cho, Y. J., Kang, S. Y. et al., 2004, ADPI Characteristics of Line Diffuser in a Room with Perimetric Heating Load, *Proceeding of SAREK*, Vol. 16, pp. 1204-1211.
 5. Liu, S. and Novoselac, A., 2015, Air Diffusion Performance Index (ADPI) of diffusers for heating mode, *Building and Environment*, Vol. 87, pp. 215-223.
 6. Seok, H. T., Choi, D. H., Kim, H. J., and Yang, J. H., 2010, A Study on the Modeling and Analysis Method according to the Diffuser Shape, *Journal AIK*, Vol. 26, pp. 341-348.
 7. SPS-KARSE B 0008-170 : 2004, Diffuser Performance Testing method.
 8. KS B 6386 : 2011, Air Diffuser.
 9. ASHRAE, Handbook-HVAC Applications, Room air diffusion, This part is based on the findings as follows : Rydberg, J. and P. Norback, Air distribution and draft, 1949 *ASHVE Transactions* 55 : 225, Straub, H. E., S. F. Gilman, and S. Konzo, Distribution of air within a room for tear-round air conditioning-part 1, 1956, *University of illinois Engineering Experiment Station bulletin*, 435, and Straub, H. E., M. M. Chen, Distribution of air within a room for tear-round air conditioning-part 2, 1957, *University of illinois Engineering Experiment Station bulletin*, Vol. 442, pp. 57.5-57.10.
 10. KS A ISO 7730, 2010, Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
 11. ASHRAE, standard 55, 2009, Thermal Environmental conditions for human occupancy.
 12. Huang, Y. and Zhang, H., 1997, commercial heating and cooling loads component analysis, *Energy analysis program*, Vol. 7.
 13. Gwon, Y. H., 2009, Air conditioning system with Combined type equipment, kr patent 10-0905296.
 14. Chang, H. J., 2002, Effects of air-conditioning and interior of office on indoor environment air conditioned by hybrid system utilizing natural ventilation, *Journal AIK*, Vol. 18, pp. 223-230.
 15. ASHRAE, standard 113, 2009, Method of Testing for Room Air Diffusion.
 16. Park, S. I., Lee, S. H., and Park, H. S., 2002, Computer simulation on the Thermal Environment by Diffusion Angle of Packaged Type Air Conditioner in Classroom, *Journal AIK*, Vol. 18, pp. 243-250.
 17. Chang, H. J. and Lee, H. Y., 2012, A Study on the Improvement of Indoor Thermal and Air Environment Made by Ceiling Cassette Type Cooling and Heating Unit in Classrooms, *Journal KSES*, Vol. 32, pp. 141-148.
 18. REHVA, Ventilation Effectiveness Guidebook, Vol. 2, pp. 23-26.
 19. ASHRAE, Handbook-Fundamentals, Indoor environmental Health, pp. 10.1-10.9.