

환기시스템이 적용된 히트펌프의 난방시 급기효율 평가에 관한 연구

권 용 일[†], 한 화 텍^{*}, 김 경 환^{**}, 정 백 영^{**}, 이 감 규^{**}
신흥대학 건축설비과[†], 국민대학교 기계자동차공학부^{*}, LG 어플라이언스 연구소^{**}

A Study on the Evaluation of Air Change Efficiency of Multi-Air-Conditioner with Ventilation System for Heating Season

Yong-II Kwon[†], Hwataik Han^{*}, Kyung-Hwan Kim^{**},
Baik-Young Chung^{**}, Gam-Gue Lee^{**}

[†] Department of Building Mechanical Engineering, Shinheung College, Euijungbu, 480-701, Korea

^{*} School of Mechanical & Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul, 136-702, Korea

^{**} LG Digital Appliance Research Laboratory, Seoul, 135-023, Korea

(Received April 2, 2004; revision received November 10, 2004)

ABSTRACT : Indoor air quality becomes of a concern recently in view of human health. This study investigates the air diffusion performance and the air change efficiency of a classroom, when outdoor air is introduced in addition to the heating/cooling operation of a ceiling-mounted heat pump. A CFD analysis has been performed to investigate the effect of the discharge angle of the air jets from the heat pump for both parallel and series types of outdoor air system. It is observed that the series type creates more uniform indoor environment compared to the parallel type in general. It can be concluded the discharge angle should not be larger than 40o for the parallel type, in order not to generate thermal stratification in the room.

Key words : Air change efficiency(환기효율), Four-way-cassette heat pump(4way 히트펌프), Air diffusion performance index(기류분포성능지표)

———— 기 호 설 명 ————— Z : 축방향 수평좌표 [m]

ADPI: 기류분포성능지표 [%]	그리스 문자
Vx : 실내지점에서의 기류속도 [m/s]	
Tx : 실내지점에서의 건구온도 [°C]	a : 기류토출각도 [deg]
Tc : 실내설정온도 [°C]	ε : 급기효율 [%]
X : 폭방향 수평좌표 [m]	φ : 유효드래프트온도 [°C]
Y : 수직좌표 [m]	tn : 명목시간상수 [s]
	tp : 국소평균연령 [s]

[†] Corresponding author
Tel.: +82-031-870-3319; fax: +82-031-870-3742
E-mail address: yikwon@shc.ac.kr

1. 서론

최근, 히트펌프를 이용하여 냉난방을 동시에 수행하는 중소형건물과 외벽체에 설치된 창문을 쉽게 개폐할 수 없는 초고층건물의 건축이 동시에 증가되고 있다. 또한 2004년도부터 신축되는 다중이용시설 및 공동주택¹⁾에 적용되는 다중이용시설의 실내공기질관리법의 시행되고 이로 인해, 공랭식 히트펌프가 설치되는 중소규모의 신축 상업용 건물 및 초고층주택에서 환기설비를 설치하지 않을 경우, 환기불량으로 인하여 청정도가 낮은 실내공간을 유지하게 된다. 그러므로 본 연구는 중소형건물의 냉방 및 난방을 수행하기 위해 설치하는 천정형 4way 히트펌프에 부가적으로 환기설비를 적용할 경우, 환기설비가 기류분포성능지표(ADPI) 및 환기효율에 미치는 영향을 환기방식별로 구분하여 난방조건에 대해 수치해석 방법으로 평가하고자 한다.

2. 수치해석

2.1 수치해석조건

본 연구를 위해, 천정설치형 4way히트펌프를 설치한 대상실은 초등학교의 교실이다. 천정에 설치된 4way 히트펌프의 중심은 x축 방향의 중심(x = 3.6 m)에 위치하고, z축 방향으로는 한쪽으로 약간 치우친(z = 4.8 m) 위치에 부착되어 있다. 대상실의 규격은 Fig. 1과 같이 11.4 m × 7.2 m × 2.7 m (222 m³)이다. 교실에서 발생하는 오염물질로서 제어해야 될 대상은 이산화탄소(CO₂)이며 허용기준치는 1시간 평균 1000 ppm이다. 그러나 교실의 재실밀도는 대략 0.5 인/m³로서 이산화탄소 발생량이 사무소 건물보다 약 2.5배 많은 조건이다. 본 연구에서 난방을 위해 천정면에 설치되는 난방시스템은 환기방식에 따라 병렬형(parallel)과 직결형(series, direct-coupled)으로 Fig. 2와 같이 구분하여 해석하였다. 환기방식이 병렬형인 경우는 외기도입과 히트펌프가 독립적으로 설치, 운전되는 방식으로 환기를 위해 설치된 신선외기 도입구와 배기구는 4way히트펌프 주변에 Fig. 1과 같이 배치되었다. 환기방식이 직결형인 경우는 외기를 히트펌프에 직접 연결하여 공급하는 방식으로 배기구의 설치 위치는 병렬형과 동일

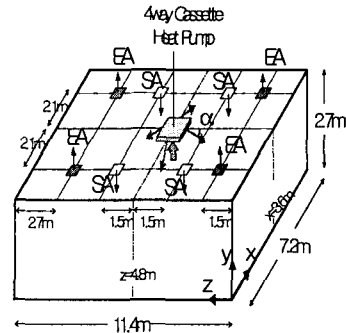


Fig. 1 Schematic drawing of the model room.

Table 1 Boundary conditions for numerical analysis

Air volume rate of heat pump	29CMM(1740CMH)
OA volume rate	700CMH(3.15ACH)
Setup temperature	20°C at α=50°
Skin load	11300W (9748kcal/h)
OA intake dimension	305mm × 305mm
OA discharge angle	50°

Table 2 Discharge and outdoor air conditions

	Heat pump discharge		Outdoor air	
	Temp.	Velocity	Temp.	Velocity
Parallel	38.7°C	5m/s	13°C	0.5m/s
Series	31.3°C	7m/s	-	-

하지만 신선외기 도입구는 천정면에 설치되지 않고 4way 히트펌프를 경유하여 실내로 공급된다. 본 연구 대상실의 난방을 위해 설치된 4way 에어컨에서 토출하는 풍량, 외기도입량 및 벽체 부하(skin load)는 Table 1과 같이 적용하였다. 또한 4way 히트펌프의 토출구와 신선외기 도입구에 적용된 수치해석 조건은 병렬형과 직결형 환기방식으로 구분하여 Table 2와 같이 적용하였으며 압력경계조건이 적용된 배기구로 배기되는 풍량은 재순환을 위해, 강제적으로 급기량만큼 실내기로 환기되는 풍량을 제외하고 배기된다. 여기서, 직결형 환기방식은 신선외기가 히트펌프를 경유하여 가열된 후, 실내에 공급되므로 병렬

형 환기방식보다 토출풍속이 증가하고 토출온도는 감소된다.

2.2 수치해석방법

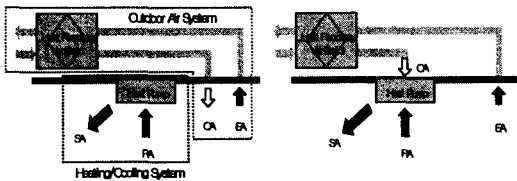
본 연구의 목적인 난방 대상실의 환기효율 및 기류분포성능지표를 평가하기 위해 상용프로그램을 사용하여 온도장, 오염장 및 속도장을 해석하였으며 격자수는 78 × 50 × 105의 비균일격자계를 사용하였다. 여기서는 상세한 지배방정식 및 경계조건에 대한 설명은 생략한다. 히트펌프와 더불어 설치된 환기시스템에서 제공되는 신선외기의 환기효율²⁾은 식(1)와 같이 구하였다. 이 경우, 명목시간상수 t_n 은 1139.7 s이다. 국소평균 공기연령은 균일 오염발생에 의한 정상상태 오염농도로부터 구하였으며³⁾ 이를 전체 실내공간 또는 재실영역에 대하여 평균함으로써 평균공기연령을 구하였다.

$$\epsilon = \frac{t_n}{\langle \tau_p \rangle} \times 100 \quad (1)$$

히트펌프의 토출구를 통하여 실내로 공급되는 가열공기의 기류분포성능지표(ADPI)는 식(2)의 유효드래프트온도⁴⁾(ϕ)를 산정하여 $-1.7^\circ\text{C} < \phi < 1.1^\circ\text{C}$ 범위에 존재하는 비율을 계산하였으며 호흡선과 재실영역으로 구분하여 평가하였다.

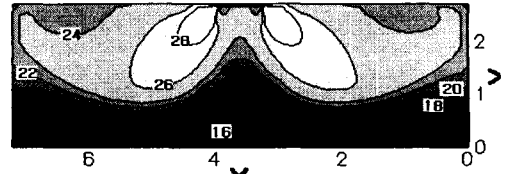
$$\phi = (t_x - t_c) - 8(V_x - 0.15) \quad (2)$$

여기서, t_x 는 임의지점(x지점)의 건구온도($^\circ\text{C}$)이고, t_c 는 실내 설정온도($^\circ\text{C}$)이다. 또한 V_x 는 임의지점의 기류속도(m/s)이다.

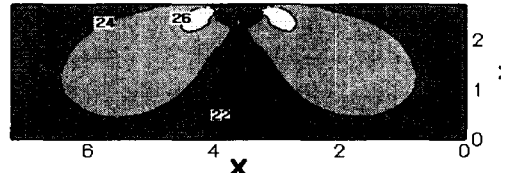


(A) Parallel type (B) Series type

Fig. 2 Schematic drawing of the heat pump coupled with an outdoor air system.

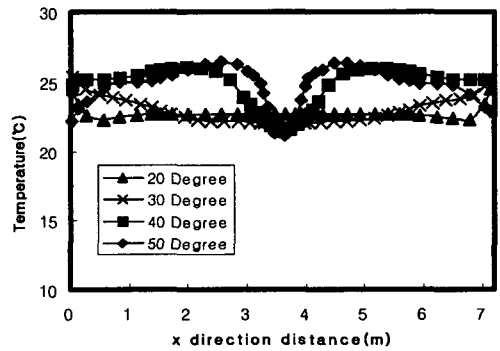


(a) Parallel type

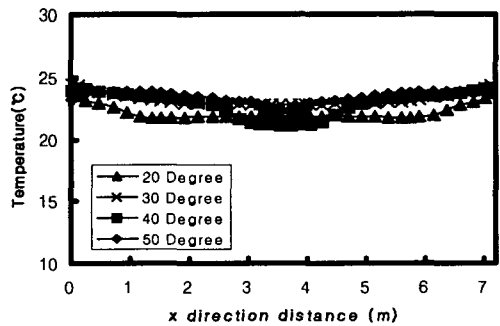


(b) Series type

Fig. 3 Temperature distributions of the vertical cross-sectional plane at x=3.6m ($\alpha = 50^\circ$).



(a) Parallel type



(b) Series type

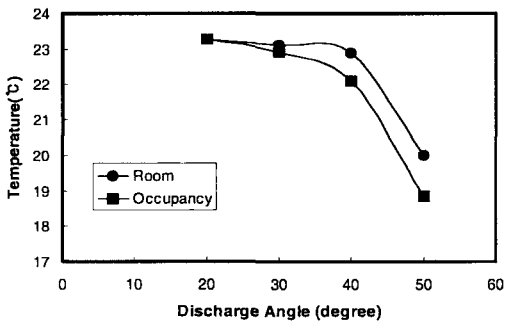
Fig. 4 Temperature distributions along x direction at y=1.6m and z=4.8m.

3. 결과 및 고찰

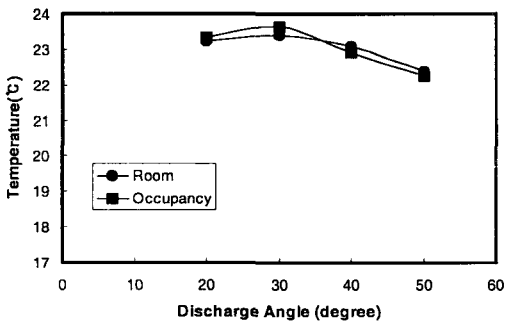
Fig. 3은 토출각도가 50°이고 환기방식이 직결형과 병렬형인 경우, z=4.8 m지점의 온도분포를 나타내고 있다. 히트펌프의 토출온도가 상대적으로 높은 병렬형은 히트펌프 하부의 재실영역과 천정면 부근의 온도가 바닥면 부근의 온도보다 높게 유지되는 열성층화현상이 발생된다. 그러나 직결형은 병렬형보다 재실영역의 평균온도를 약 5°C 이상 증가시키고 온도균일도를 높게 유지한다. 이는 재실영역의 평균온도와 온도균일도가 실내기에서 가열되어 토출되는 공기온도에 지배적으로 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 또한 토출온도가 일정한 경우, 토출각도에 따른 영향은 Fig. 4에 나타내고 있다. 즉, 병렬형인 경우, 토출각도를 40°, 50°로 운전하면 실내기 하부의 재실영역(x=3.6 m지점)에서 온도가 높게 상승하여 주위공기와 급격한 온도편차가 발생하고 있다.

Fig. 5(a)는 환기방식이 병렬형인 경우, 실내기

의 토출각도 변화에 따른 실(room)과 재실영역(occupancy)의 평균온도분포를 나타내고 있다. 토출각도가 20°인 경우는 실과 재실영역의 평균온도가 유사하여 온도균일도가 높은 것을 입증하고 있으며 토출각도가 50°인 경우, 재실영역 평균온도 최대 3°C 이상 높은 평균온도를 나타내고 있다. 그러나 토출각도가 증가함에 따라 실전체와 재실영역의 평균온도차이가 증가하여 토출각도가 50°인 경우, 약 1°C 이상의 온도편차를 나타내고 있다. 이는 토출각도가 증가되면 Fig. 4에서 나타난 열성층화현상에 의해, 실평균온도보다 재실영역의 평균온도가 낮게 유지되기 때문이다. Fig. 5(b)는 직결형일 때, 평균온도를 나타내고 있다. 토출각도가 30°인 경우, 최대값을 나타내지만 재실영역과 실전체의 평균온도가 토출각도에 관계없이 유사하게 나타나지만 토출각도변화에 따른 이 값은 최대 1.5°C의 온도차이를 나타내어 병렬형보다 작게 나타나고 있다. 토출각도가 40°, 50°인 경우는 실평균온도가 재실영역의 평균온도보

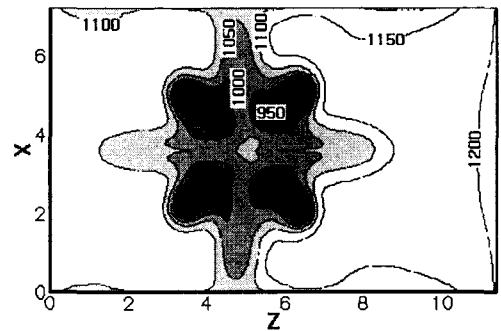


(a) Parallel type

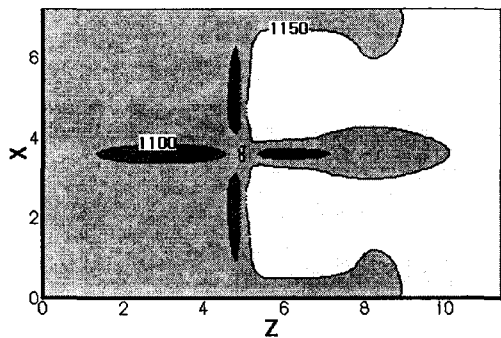


(b) Series type

Fig. 5 Mean temperature as a function of the discharge angle of the heat pump.



(a) Parallel type



(b) Series type

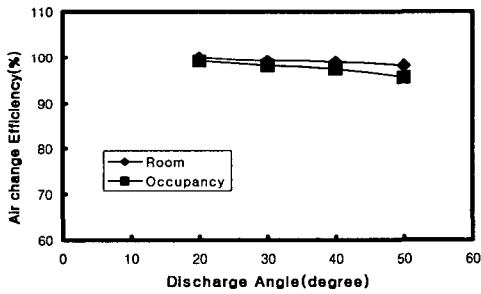
Fig. 6 Local mean age contours of the horizontal plane at y=1.6m(α=50°).

다 미소하게 증가하지만 토출각도가 20°, 30°인 경우는 실평균온도보다 재실영역평균온도가 미소하게 높게 유지되는 반전현상이 발생하고 토출각도가 동일한 병렬형보다 최대 3°C 이상 높은 평균 온도를 유지하였다. 이는 직결형이 병렬형보다 실내기에서 토출되는 기류의 온도가 감소되지만 토출풍량이 증가되어 열성층화현상을 현저히 둔화시키기 때문이다.

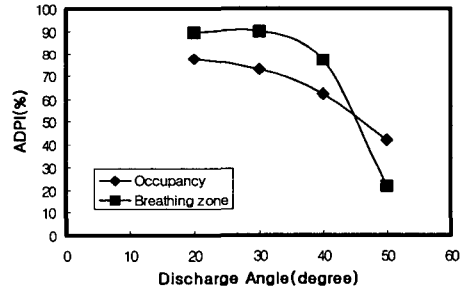
Fig. 6은 히트펌프에서 토출되는 가열공기의 토출각도가 50°인 경우, y=1.6 m(호흡선)지점의 국소평균 공기연령을 나타내고 있다. 환기방식에 관계없이 실내기 하부영역에서 낮은 공기연령을 나타내고 있지만 최소값을 나타내는 지점이 직결형인 경우, 실내기 토출구 사이에서 발생하고 병렬형인 경우, 실내기 토출기류가 도달하는 영역에서 발생하지만 병렬형이 직결형보다 공기연령의 최소값이 10%정도 낮게 유지하는 영역과 명목시간상수보다 높은 1200 s를 나타내는 영역이 동시에 존재한다. 이는 환기방식이 병렬형인 경우가 직결형보다 신선외기를 광범위하게 확산시키

지 못하기 때문이다.

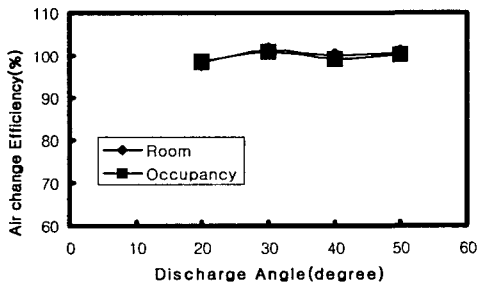
Fig. 7은 실내기의 토출각도변화에 따른 실과 재실영역의 급기효율을 나타내고 있다. 병렬형의 경우, 실평균 급기효율은 완전혼합을 의미하는 100%에 근사하게 나타나고 토출각도 변화에 큰 차이를 나타내지 않고 있다. 그러나 재실영역 평균급기효율은 토출각도가 증가함에 따라 실평균보다 감소 폭이 미소하게 증가하고 있다. 이는 토출각도가 재실영역의 급기효율에 큰 영향을 미치지 않지만 토출각도가 작을 때, 가열된 토출기류가 천정면에서 공급된 신선외기를 유인하여 하부에 위치한 재실영역에 광범위하게 확산시키는데 기여하는 것으로 판단된다. 반면 직결형의 경우, 실내기의 토출각도변화에 따른 실과 재실영역의 급기효율이 토출각도변화에 관계없이 100% 부근의 값을 유지하고 있으며 토출각도가 30°인 경우, 최대값을 나타내지만 토출각도가 동일한 상태에서 병렬형과 다르게 재실영역과 실의 평균급기효율의 오차가 거의 없다. 이는 실내기를 경유하여 실내로 공급된 신선외기의 확산력이 커서



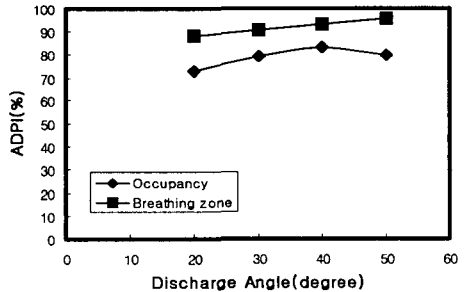
(a) Parallel type



(a) Parallel type



(b) Series type



(b) Series type

Fig. 7 Air change efficiency as a function of the discharge angle of the heat pump.

Fig. 10 ADPI as a function of the discharge angle of the heat pump.

실 및 재실영역에서 완전혼합 됨을 입증하는 것이다.

Fig. 8은 실내기의 토출각도변화에 따른 재실영역과 호흡선의 기류분포성능지표(ADPI)를 나타내고 있다. 병렬형의 경우, 재실영역의 이 값은 토출각도에 관계없이 80%이하의 값을 나타내지만 토출각도가 20°인 경우, 80%에 근사한 최대 값을 나타내고 토출각도의 증가에 따라 완만하게 감소하고 있다. 그러나 호흡선의 이 값은 토출각도가 40°, 50°인 경우를 제외하고 80%이상의 값을 나타내지만 토출각도가 50°인 경우를 제외하고 호흡선이 재실영역보다 높은 값을 나타내고 있다. 이는 재실영역의 하부의 온도가 열성층화에 의해 호흡선 부근보다 낮게 유지되기 때문이다. 환기방식이 직결형인 경우는 호흡선의 값이 80%이상을 유지하고 토출각도 증가에 따라 선형적으로 증가되어 토출각도가 40°, 50°인 경우, 병렬형보다 10%이상 높은 값을 유지하고 있다. 재실영역의 이 값은 병렬형보다 실전체와 재실영역의 온도균일도가 높지만 토출각도가 40°인 경우를 제외하고 병렬형과 동일하게 80%이하를 유지하고 있지만 토출각도변화에 따라 큰 차이를 나타내지 않고 있으며 토출각도가 20°인 경우를 제외하고 병렬형보다 7%이상 높은 값을 나타내고 있다. 이는 토출각도가 큰 경우, 직결형이 병렬형보다 열성층화 현상을 감소시켰고 이로 인해, 재실영역과 호흡선의 온도차를 감소시켰지만 실내기 토출유속이 병렬형보다 증가하여 재실영역의 기류분포성능지표를 80%이상 유지시키는 효과는 둔화되었다.

4. 결론

천정에 설치하는 4way 히트펌프는 재실영역의 냉난방 부하처리와 더불어 재실영역에서 존재하는 오염물질을 제거하는 환기기능을 보유하도록 요구되고 있다. 병렬형과 직결형의 외기도입방식에 따라 가열공기의 토출각도를 변화시키면서 열환경 특성 및 환기성능을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 외기도입량에 비하여 실내기를 통한 재순환

량이 크기 때문에 실내 공기의 회석효과가 커서 실내기 토출각도 변화에 따른 실, 재실영역의 평균 급기효율은 환기방식에 관계없이 유사한 값을 나타내고 있다.

2) 환기방식이 병렬형인 경우, 토출각도가 증가함에 따라 실과 재실영역의 평균온도차이가 증가하고 평균온도가 낮아진다. 그러므로 동일한 난방부하를 제거하기 위해, 병렬형으로 운전할 경우, 토출각도를 30° 내외로 수평방향에 가깝게 설정하는 것이 에너지 측면에서 유리할 것으로 판단된다. 그러나 직결형은 토출각도변화에 따라 실과 재실영역의 평균온도의 변화가 병렬형보다 작고 특히 토출각도가 40°, 50°인 경우, 병렬형에서 나타난 열성층화현상이 현저히 둔화되는 것으로 나타나고 있다.

3) 재실영역의 기류분포성능지표는 직결형이고 토출각도가 40°인 경우를 제외하고 80%이하로 나타났다. 그러나 직결형이 병렬형보다 토출각도에 관계없이 미소하게 높지만 개선효과가 크지 않다. 이는 직결형의 경우에는 히트펌프의 토출속도가 높고, 병렬형의 경우에는 히트펌프의 토출온도가 높기 때문이다. 이러한 문제를 개선하기 위해, 병렬형은 직결형과 유사하게 풍량을 증가시켜 토출온도를 감소시키고 히트펌프 토출구의 면풍속을 낮추기 위해, 환기방식 구분없이 토출구 면적을 조정해야 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Ministry of Environment of Korea, 2003, The Act of Indoor Air Qualities for Multiple-Use Facilities, Ministry of Law, Korea.
2. Sandberg, M., 1981, What is Ventilation Efficiency, Building and Environmental, Vol. 16, No. 2, pp. 123-135.
3. Han, H., 1994, Numerical Analysis of Ventilation Effectiveness using Turbulent Airflow Modeling, J. of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 2, pp. 41-49.
4. TITUS, 1996, Engineering Guidelines in Titus Catalog T96.