

외기도입 히트펌프의 난방시 급기효율 평가

한 화 택 / 국문논문집 편집장

국민대학교 기계시스템공학부(hhan@kookmin.ac.kr)

들어가며

히트펌프는 실내공간의 냉난방 부하를 감당하기 위하여 설치되고 있다. 여기에 환기부하를 처리하기 위하여 외기도입을 해야 하는데, 히트펌프와 분리하여 별도로 환기전담 시스템을 설치하는 방법이 있고 히트펌프에 외기를 통과시켜 냉난방과 환기를 동시에 해결하는 방법이 있다.

본 논문에서는 겨울철 천정형 4방향 히트펌프로 난방을 하는 교실 공간에 추가로 외기도입을 하려 할 때, 독립적인 환기시스템을 통하여 외기를 개별적으로 도입하는 경우와 외기를 히트펌프에 연결하여 실내로 공급하는 경우에 대하여 실내 온열환경의 특성과 환기효율의 변화에 관하여 수치해석적으로 살펴보기로 한다.

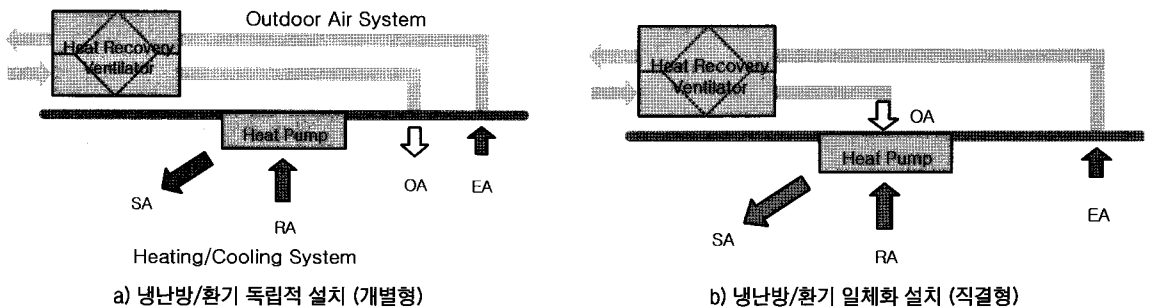
그림 1 a)와 같은 개별형의 경우, 개별운전이 가능하기 때문에 냉난방 부하만 존재하는 경우와 환

기부하만 존재하는 경우에 대하여 독립적인 대응이 가능하다. 외기도입구가 실 전체에 분포하기 때문에 외기를 원하는 실내 공간으로 공급할 수 있다. 그러나 급기구로 외기를 직접 들이기 때문에 급기구 주변에 겨울철 콜드드래프트가 발생할 수 있고 여름철 결로가 발생할 수 있다.

반면, 그림 1 b)의 직결형의 경우, 외기가 히트펌프를 통과하면서 실내공기와 혼합된 후 토출되므로 풍량이 많아지고 온도가 실내온도에 가깝게 형성되어 열적 불쾌감을 유발하지 않는다. 그러나 풍량 증가에 따라 히트펌프의 송풍기 성능과 공기 유동 통로 면적이 충분히 확보되어야 한다.

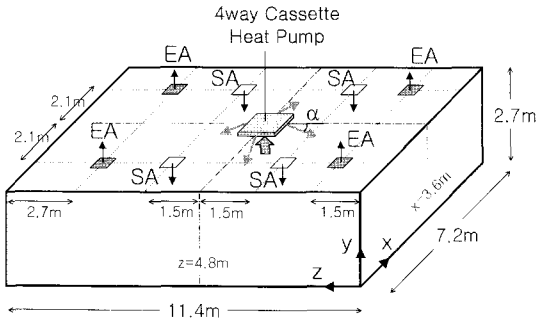
수치해석 모델

본 연구에서 천정설치형 4방향 히트펌프를 설치한 대상실은 초등학교 교실이다. 교실에서 발생하는 오염물질로서 제어해야 될 대상은 이산화탄소



[그림 1] 냉난방시스템과 환기시스템의 설치 방법

외기도입 히트펌프의 난방시 급기효율 평가



[그림 2] 4방향 히트펌프와 환기용 급배기구가 설치된 교실 공간

(CO₂)이며 허용기준치는 1시간 평균 1,000 ppm이다. 교실의 채실밀도는 대략 0.5인/m²로서 이산화탄소 발생량이 사무소 건물보다 2.5배 정도이므로 실내허용기준치 이하로 오염물질농도를 제어하기 위해서는 사무소 건물보다 많은 신선외기를 필요로 한다.

개별형의 신선외기 도입구와 배기구는 4방향 히트펌프 주변에 그림 2와 같이 배치되어 있다. 직결형은 외기를 히트펌프에 직접 연결하여 공급하는 방식이므로 급기구는 별도로 존재하지 않으며, 배기구 위치는 개별형과 동일하다.

본 연구 대상실의 난방을 위해 4방향 히트펌프가 토출하는 풍량은 강풍으로 세팅되어 있으며 벽체에서 발생하는 난방부하 11,300 W(9,748 kcal/h)를 제거하기 위해, 29 CMM의 풍량을 토출한다. 실내에서 발생하는 오염농도를 감소시키기 위해, 공급되는 신선외기량은 700 CMH이고 환기횟수는 3.15 ACH(20 CMH/인)이다. 겨울철 조건에서 신선외기 토출 온도는 13℃이다. 또한 개별형에 사용된 신선외기 도입구는 305 × 305 mm인 사각 디퓨저이며 토출각도는 50°이다. 실내 설정온도는 20℃이다. 천정에 설치된 히트펌프의 토출구와 신선외기 도입구의 수치해석 조건은 표 1과 같다.

실내환경 평가 지표

공기교환효율 (ACE)

환기시스템에 의한 실내 환기효율은 식 (1)과 같

<표 1> 히트펌프 토출조건과 외기 조건

	히트펌프 토출 조건		외기 조건	
	온도	속도	온도	속도
개별형	38.7℃	5 m/s	13℃	0.5 m/s
직결형	31.3℃	7 m/s	-	-

이 계산된다. 이 경우 명목시간 상수 τ_n 은 1139.7s이다. 국소평균 공기연령은 균일 오염발생에 의한 정상상태 오염농도로부터 구하였으며 이를 호흡선 또는 채실영역에 대하여 평균함으로써 평균공기연령을 구하였다. 호흡선은 바닥으로부터 1.6 m 되는 평면을 의미하며 채실영역은 1.6 m 이하의 공간으로 설정하였다. $\langle \tau_p \rangle$ 는 공간적 평균값을 의미한다.

$$\varepsilon = \frac{\tau_n}{\langle \tau_p \rangle} \times 100 \quad (1)$$

기류분포 성능지표 (ADPI)

히트펌프의 토출구를 통하여 실내로 공급되는 가열공기의 기류분포성능지표(ADPI)는 식 (2)의 유효드래프트온도(Φ)를 산정하여 -1.7℃ < Φ < 1.1℃ 범위에 존재하는 비율을 계산하였으며 호흡선과 채실영역으로 구분하여 평가하였다.

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

여기서, t_x 는 임의지점(x지점)의 건구온도(℃)이고, t_c 는 실내 설정온도(℃)이다. 또한 V_x 는 임의지점의 기류속도(m/s)를 나타낸다.

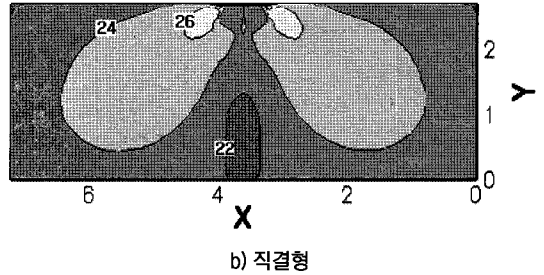
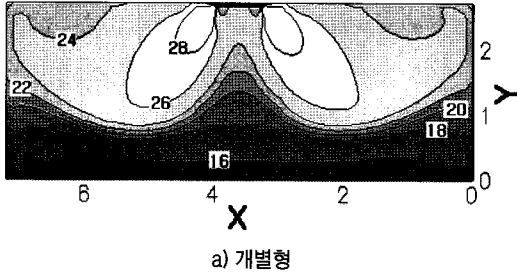
결과 및 고찰

두가지 경우에 대하여 토출 제트에 의한 유동형상이 그림 3에 보인다. 개별형인 경우 토출온도가 높아 부력 때문에 기류가 바닥까지 도달하지 못하는 것을 볼 수 있다. 반면 직결형의 경우 풍량이 증가하고 토출온도가 상대적으로 낮아 실내공기와 잘 혼합되고 확산되는 것을 볼 수 있다.

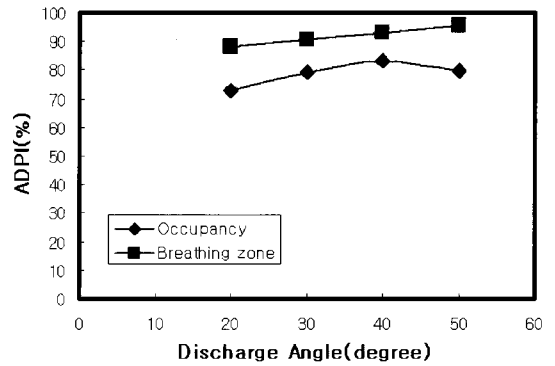
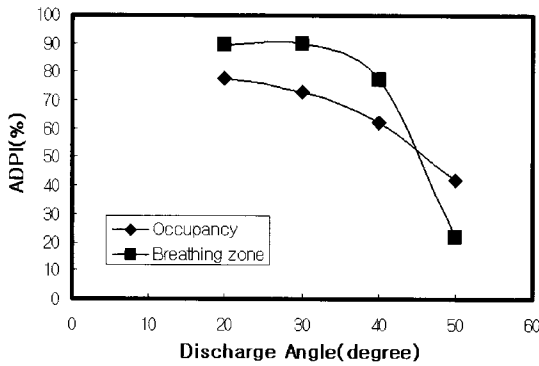


토출각도 변화에 따른 실내 전체의 ADPI를 비교한 그래프가 그림 4에 나타나 있다. 여기서 토출각도는 천정면으로부터 측정된 각도이다. 개별형

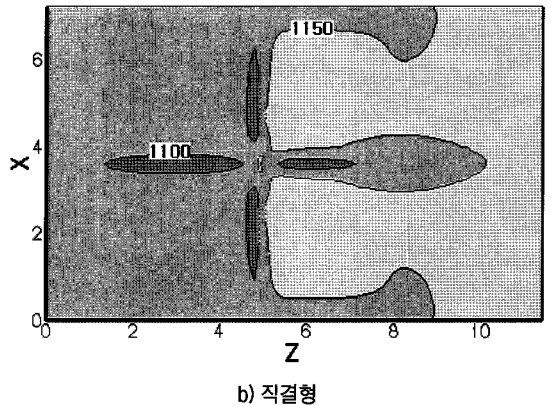
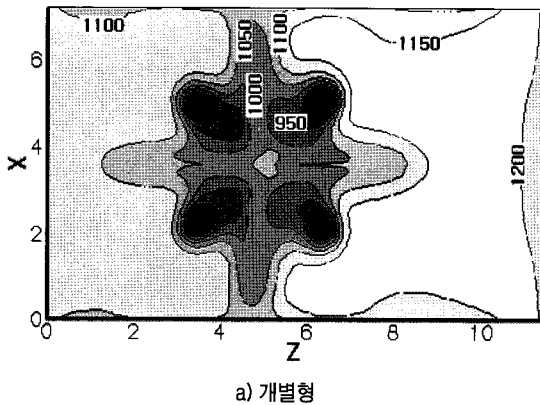
의 경우 토출각도가 40도까지는 ADPI값이 비교적 일정하다가 40도를 넘으면서 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있다. 호흡선의 ADPI값이 재실영역 보



[그림 3] 중앙단면에서의 온도분포(토출각도=50도)

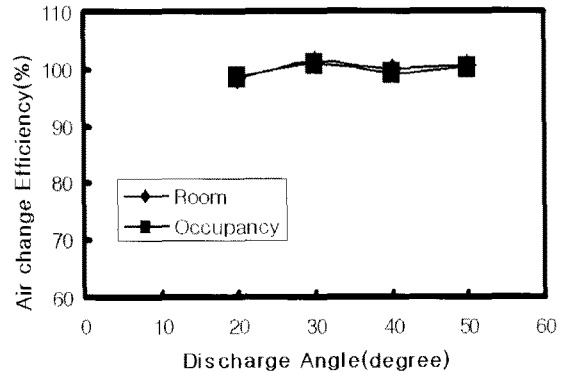
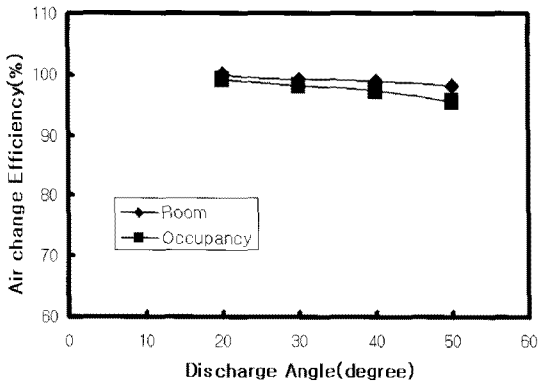


[그림 4] 히트펌프의 토출각도에 따른 실내 기류분포 성능지표(ADPI)



[그림 5] 호흡선 높이(바닥에서 1.6 m)의 국소평균연령의 분포(=50°)

외기도입 히트펌프의 난방시 급기효율 평가



[그림 6] 토출각도에 따른 실내 공기교환효율(ACE)

다 양호하게 나타나고 있다. 직결형의 경우에도 호흡선 ADPI값이 재실영역 보다 양호하게 나타나고 있으며 두 곡선 모두 토출각도에 따라서 ADPI 값이 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다. 외기와 리턴공기가 혼합되어 많은 풍량이 토출되므로 실내 공기의 혼합이 활발하게 이루어지는 것을 알 수 있다.

급기구로 토출되는 신선외기의 국소평균연령이 그림 5에 나타나 있다. 개별형의 경우에는 히트펌프 주위의 4개 급기구를 통하여 토출되며 직결형의 경우에는 신선외기가 히트펌프를 통과하여 실내로 토출된다. 개별형의 경우 4개의 급기구 주변으로 연령이 낮은 공기가 분포하고 있으며 나머지 공간은 비교적 균일하게 분포하고 있다. 참고로 급기구의 토출온도가 실내온도보다 낮기 때문에 급기구 하단에서 미약하나마 하강기류 양상을 보인다. 직결형의 경우에는 완전 혼합에 가까운 실내유동으로 전체 공간에 대하여 균일한 연령분포를 보인다.

그림 6에서 실 전체에 대한 공기교환효율은 두 경우 모두 각도에 따라서 크게 변화하지 않는 것을 알 수 있다. 직결형의 경우 히트펌프를 통과하면서 강한 토출기류에 실려 사방으로 분산되며, 개별형의 경우에는 급기구로 토출되는 저온의 외기는 히트펌프에 의한 토출기류에 의하여 실내로 충분히 분산되는 것으로 이해된다.

맺음말

냉난방을 위해 천정에 설치되는 4방향 히트펌프에 환기기능을 추가하도록 요구되고 있다. 이러한 관점에서 난방시스템은 개별형과 직결형으로 구분하여 최적 환기성능 및 기류분포성능을 보유한 난방시스템을 구성하는 방안을 연구하였다. 히트펌프에서 토출되는 가열공기의 토출각도를 변화시켜 기류분포성능지표와 환기효율을 이용하여 평가한 결과는 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 개별형은 성층화현상이 발생하는 토출각도가 50°인 경우에 재실영역의 평균온도, 환기효율이 많이 감소하는 현상을 나타내어 토출각도에 따른 의존성이 크게 나타났다. 개별형의 경우 토출각도를 40° 이내로 하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

둘째, 직결형의 경우, 기류분포성능지표, 환기효율 및 평균온도가 토출각도에 의한 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 개별형에 비하여 빠른 토출속도 때문에 토출각도를 30° 정도로 유지하는 것이 최적인 것으로 나타났다.

마지막으로 환기효율은 대체적으로 직결형이 개별형 보다 미소하게 높은 것으로 나타났다. 지금까지 신선외기 도입방식과 토출각도에 따라서 실내 기류패턴은 다양하고 복잡한 형태로 구성되며 수치해석적 방법을 통하여 기류분포성능지표 및 환기성능에 미치는 영향에 관하여 살펴보았다. 