

개인대응 공조 시스템의 열환경 및 쾌적성

신기식, 경남호
한국에너지기술연구원 에너지절약연구부

The Thermal Environment and Comfort in the space of Person based Air-conditioning System

Kee-Shik Shin, Nam-Ho Kyong
Department of Energy Conservation, Korea Institute of Energy Research(KIER)

1. 서론

최근에 건축되고 있는 인텔리전트빌딩 또는 자동화빌딩 등은 에너지절약 뿐만 아니라 정보화 시대에 대응하기 위한 사무 자동화, 통신 기능 등을 갖추고 있으며, 재실자의 쾌적성을 증대 시키기 위한 기법들이 다양하게 시도, 적용되고 있다. 즉, 건물내의 국부적인 발열, 내부공간 구성의 유연성, 실내 쾌적성 등을 이유로 공조시스템이 개별화로 발전되고 있는 추세로, 외국에서는 바닥공조시스템, PEM(personal environment module), TAM(Task Air Module), 칸막이를 이용한 개별공조 시스템 등이 연구 개발되어 상용화 되고 있으나, 국내에서는 바닥공조시스템만 삼성건설, 신성 ENG, 동아건설 등이 서로 상이한 모델을 국산화하여 극히 일부 적용되고 있는 실태이다.

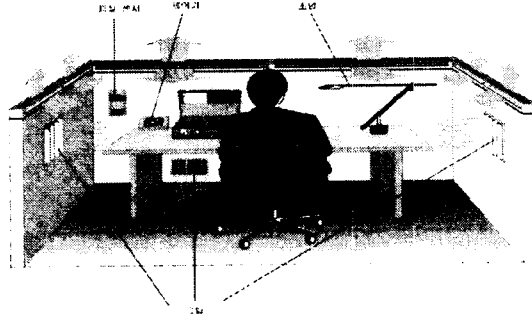
그러나, 개별공조의 경우 15 ~ 25 %의 에너지 절약을 가능하며 쾌적성 향상에 의한 생산성 제고 효과가 15 %에 달한다고 보고되고 있다.¹⁾ 미국의 경우 신축 사무소 건물의 60% 정도가 OA기기의 공급 등에 따라 개방평면형태의 준개실 개념의 개별작업공간으로 구성되고 있는 실정이다.²⁾

따라서 본 연구에서는 개방형 사무실에 적용 가능한 파티션을 이용한 급기와, 실내 거주역에서의 온도 분포가 균일하며 환기효율이 우수한 천장배기시스템을 결합하여 [그림 1]과 같은 개인개응형 공조시스템(PAS: Person based Air Conditioning System)을 구성하였다.

개인대응형 공조시스템은 거주자 인체에 직접 공조공기를 불어주기 때문에 기존의 공조공간에 대한 냉난방방식과는 개념이 상이하다고 할 수 있다. 따라서, 개인개응형 공조시스템은 인체 주변의 기류와 온도가 재실자의 쾌적성에 미치는 영향이 크기 때문에 급기풍량, 풍속, 급기온도에 따른 거주역에서의 온도 분포와 열적 쾌적감에 대해서 분석해 보고자한다. 에너지절약 및 실내 쾌적성 향상이라는 목적을 위하여 바닥공조시스템을 더 발전시킨 개인개응형 공조시스템은 지금까지의 전관공조의 개념을 바꾸어 사람을 대상으로 하는 공조시스템의 실현을 의미하며, 인체에 가까운 공간을 직접 공조함으로써 공조공간이 축소되고, 신체 주변에 직접적으로 신선공기를 공급하기 때문에 공기질도 상대적으로 개선하는 효과를 기대할 수 있다.

본 연구에서는 개인개응형 공조시스템의 설계 및 운용자료 도출을 위하여 수치해석 모델을 작성하고 수치해석 모델의 타당성을 검증하기 위하여 실험 모델을 구성하여 온도 및 기류 분포를 비교

하였다. 인체 주변에서의 평균온도를 24 °C, 기류속도를 0.5, 0.25, 0.15 m/sec로 유지하기 위한 급기구에서의 급기온도, 급기풍속, 풍량 간의 관계를 알아보고, 이때의 열환경에 대한 쾌적성을 PMV 방식으로 분석해 본다.



[그림 1] 개인대응형 공조시스템의 기본 개념도

2. 실험 및 방법

2-1. 개인대응 공조시스템의 실험모델

개인 대응공조시스템의 기본 특성을 이해하고 수치해석의 검증에 필요한 자료획득을 위하여 파티션을 이용한 급기 및 천장배기 형 PAS를 대상으로 실험을 수행하였다. 에너지기술연구소 인공기후실험동 내에 위치한 폭 6.8 m, 깊이 5.5 m, 높이 2.4 m의 환경실험실에 일반 OA 가구를 이용하여 1 모듈의 개인대응 공조공간을 구성하였다.

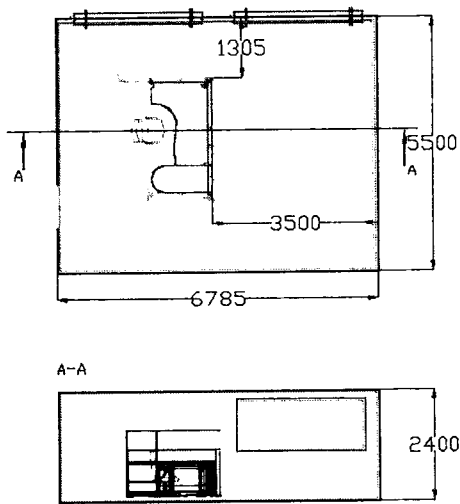
[그림 1]과 같은 형태로 1.2m 높이의 칸막이 패널을 이용하여 전면과 좌우 면의 3 면을 막았으며, 후면은 개방된 형태의 칸막이를 사용하였다. 공기 취출구는 전면 1.2m 높이에 0.2*0.1m 크기의 공기 방향을 상하좌우로 조절할 수 있도록 그릴을 설치하였고, 좌우측 칸막이의 책상면 상에 바닥면에서 80 cm 위치에 각각 0.1*0.1m의 상하좌우방향을 조절할 수 있는 그릴을 설치하였다. 거주자 뒷측 비거주역 부분에 바닥공조용 그릴을 1 개 설치하여 바닥과 60° 각도의 방향성을 가지고 거주자의 뒷면을 향하여 공기를 취출되도록 하였다. 바닥용 그릴은 선회류를 발생시키며 거주자 뒷면의 공조 및 비 거주역의 공조를 담당한다. 각 그릴에서 취출되는 공기의 기류속도는 공조기의 인버터형 팬을 이용하여 조절하며 온도는 공조기의 냉난방코일을 이용하여 PID 제어된다. 실험실의 배치도는 [그림 2]와 같다. 실험모델에서 온도 측정 위치는 [그림 3]과 같다. 총 96 개소의 온도를 측정하며 C-C 열전대를 이용하였다. 기류속도는 Hot-wire anemometer (TSI 1050)를 이용하였으며, 풍속센서는 Omni-directional probe (55R11, DANTEC)를 사용하여 인체의 목주위와 각 취출구 부위의 기류를 측정하였다.

2-2. 열환경 실험

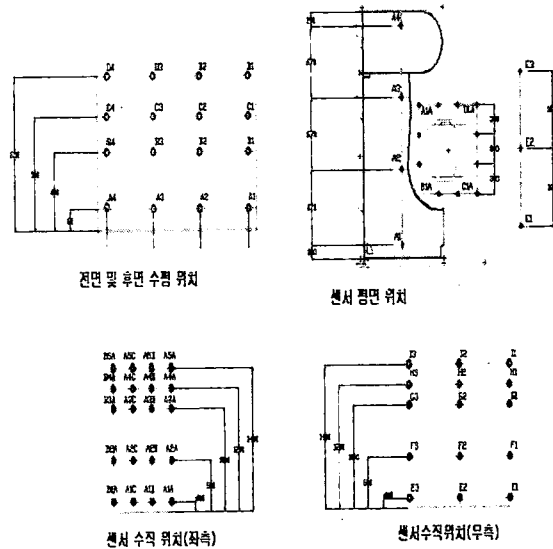
열쾌적환경에 영향을 미치는 인자는 온도, 습도, 기류속도 등이 있으며, 이러한 인자들이 거주자에게 미치는 영향을 합리적으로 정량화하기 위하여 다양한 지수들이 제안되었다.³⁾ 실내의 쾌적성을

나타내는 열환경 지수 중에서 예상평균온열감(PMV:Predicted Mean Vote)은 덴마크의 Fanger⁴⁾에 의해 정립되었다. 이것은 인체와 주위 환경과의 정상상태 열평형 모델에 근거하여, 약 1300명의 서구인을 대상으로 실시한 실험으로부터 인간이 느끼는 온열감을 -3에서 +3까지의 정수 즉, 7 단계로 지수화한 것이다. 피험자에 대한 직접적인 실험에 기초하였기 때문에 PMV는 다른 지수보다 널리 사용되고 있다. 제한적인 연구이지만 한국인의 경우에도 적용 가능하다는 연구 결과가 발표된 사실이 있다⁵⁾ 예측된 유동 및 온도장으로 부터의 PMV 계산식은 ISO 7726과 같으며, 계산과정은 ISO 7730에 프로그램이 구체적으로 제시되어있다.

중립인 0에서 멀어질수록 불쾌감이 증가한다. 온도, 습도, 평균복사온도(mean radiant temperature), 기류속도와 같은 환경적 인자와 착의량, 대사량과 같은 개인적 인자를 포함하여 환산한다. 본 연구에서는 온열 쾌적성을 Thermal Comfort Meter를 사용하여 PMV값을 측정하였다. Thermal Comfort Meter는 Type 1212로서 작업강도, 착의량, 수증기압력의 조건을 재실자의 조건에 따라 적절히 고려할 수 있게 하였다. 측정기의 감지부는 온열환경적 측면에서 볼 때 인체와 아주 유사하게 되어 있고, 내부발열도 조절할 수 있게 되어 있다. 본 실험을 위하여 Thermal Comfort Meter에 입력한 clo, met, pa의 값은 냉방조건에서의 값으로 <표 2>와 같다. 측정지점은 바닥으로부터 10, 60, 120, 170cm지점을 각각 실험 조건에서 측정하였다.



[그림 2] 실험실 배치도



[그림 3] 온도 측정점

<표 1> 내부 발열 조건

	발열량	수량
바닥	50W/m ²	37
컴퓨터	200W	2
조명	120W/set	4
인체	140W/인	2
합계		2970 W

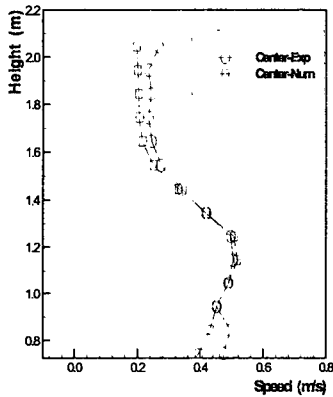
<표 2> Thermal Comfort Meter 입력값

Classification	Value
Clothing	0.5 clo
Activity	1.2 met
Vapour Pressure	0.9 kPa

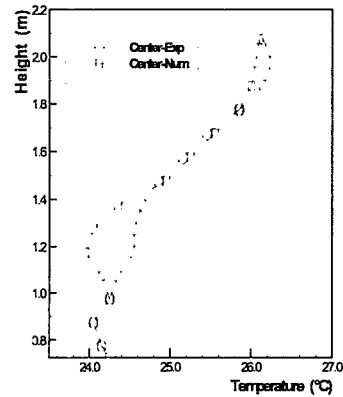
3. 결과 및 고찰

3-1. 수치해석모델의 타당성 분석

수치해석모델의 타당성을 확인하기 위하여 공기 취출구에서의 기류속도 3.5m/sec, 급기온도 22.1 °C인 경우에 대하여 인체 전면의 수직 온도 및 기류속도를 비교하였다. [그림 4]는 기류속도의 실험 및 수치해석 결과를 나타내고 [그림 5]는 온도의 실험 및 수치해석 결과를 보여준다. 기류속도의 경우 의자에 앉아서 근무하는 경우의 거주역 부근에서 매우 근사하게 나타나며, 1.7m 이상과 0.9m 이하 부분에서 최대 0.1m/sec 이하의 차이를 보이고 있다. 이러한 결과는 실험의 경우 급기를 수평방향으로 하고 수치해석의 경우 가슴과 얼굴 부분에 초점을 맞추어 급기한 이유로 분석된다. 그러나, 기류속도의 경우와는 달리 온도 분포의 경우는 1.5m 이상과 1.0m 이하 부분에서 두 경우의 결과가 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 이러한 이유는 실험의 경우 전면에서 수평으로 뿜어진 냉기가 하방으로 처져서 1.0m 이하 부분에 냉방효과가 보태지는 반면 수평위치에서는 냉방효과가 감소되는 이유로 판단되며 1.4m 이상 부분에서는 실전체의 대류효과가 주도적으로 나타나기 때문으로 보인다. 따라서 전면 및 측면의 급기 방향을 수치해석의 경우와 같이 약간 상방으로 조정하면 실험과 수치해석 결과가 기류속도 및 온도 분포 해석에 공히 매우 유사한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.



[그림 4] 기류속도 비교



[그림 5] 온도 비교

3-2 급기온도, 기류속도 및 풍량간의 관계

개인대응형 공조시스템의 설계 및 운용자료 도출을 위해 급기구에서의 급기온도, 풍량 및 거주자 주변의 기류속도 간의 관계를 알아보았다. <표 3>에 기류속도, 급기온도 및 풍량 간의 관계를 보여준다. 거주자의 보건을 위해 필요한 기본 풍량은 8 l/per · sec 또는 1 l/m² · sec로서 개인대응 공조를 할 경우 인체에 가까이 직접 신선공기를 제공하기 때문에 1 인 당 필요한 공기량인 시간당 약 30 CMH의 신선공기만 공급하면 된다. 그러나 전관공조를 할 경우 약 100 CMH가 필요하다. 기류속도가 0.5m/sec인 경우 급기온도를 22 °C 까지 높일 수 있으며, 0.25m/sec인 경우 20 °C 까지

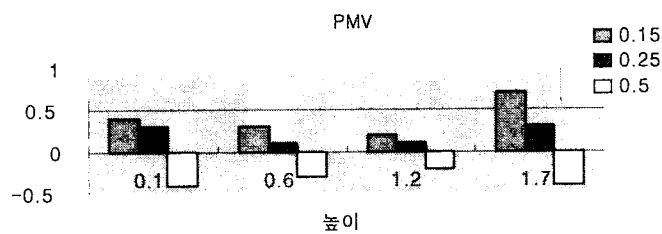
높일 수 있기 때문에 상당한 에너지절약 효과를 기대할 수 있다. 동일한 크기의 취출구를 사용하여 기류속도만을 증가시켜서 실험한 결과이며, 취출구의 크기를 필요 급기풍량에 맞추어 설치하면 기류속도를 0.5m/sec, 급기온도를 20 °C 정도로 할 경우 풍량을 50 CMH로 유지할 수 있어서 급기팬의 동력을 줄일 수 있을 것으로 기대한다.

<표 3> 기류속도, 급기온도 및 풍량 간의 관계

기류속도(m/sec)	0.15	0.25	0.5
급기온도(°C)	17.5	20.1	22.1
풍량(CMH)	30	50	100

3-3. 열환경 분석

인체 주변에서의 평균온도를 24 °C, 기류속도를 0.5, 0.25, 0.15 m/sec로 유지하는 경우의 열환경에 대한 쾌적성을 PMV 방식으로 측정된 결과는 [그림 6]과 같다. PMV 값이 -0.5 ~ 0.5 사이일 경우 쾌적한 상태로 판단하는데 바닥으로부터의 높이가 1.7m 위치에서 기류속도가 0.15m/sec의 경우 PMV 값이 0.5를 초과하는 것으로 측정되었으나 나머지의 경우는 모두 쾌적범위 내에 드는 것으로 나타났다.



[그림 6] PMV 값

4. 결론

개인대응형 공조시스템의 공조 조건을 도출하기 위하여 거주역에서 기류속도에 따른 열환경과 거주자들이 느끼는 쾌적감을 분석하였다. 실험 및 수치해석 결과에 따르면 거주역과 비거주역의 구분 공조가 가능함으로 공조공간을 15% 정도 축소할 수 있으며, 인체 주변에 직접 공기를 보내기 때문에 공급공기의 전달 경로가 짧아서 취출온도를 냉방의 경우 2~3 °C 정도 높일 수 있음을 확인할 수 있었다.

개인대응 공조시스템의 개인환경 제어용 제어기를 사용할 경우 재실센서에 의한 공조 및 조명 연동 작동으로 에너지절약 가능한 효과는 재실 상태에 달라질 수 있지만 일반적 재실을

70 %를 가정할 경우 약 10%의 에너지절약 효과를 기대할 수 있다.

작업구역에서의 개인 취향에 적합한 온도 및 기류속도 유지 및 신선공기의 인체 주변에 직접 공급에 의한 실내 공기질 개선효과 등으로 실내 쾌적성이 향상될 경우 생산성 향상 효과는 약 15%를 기대할 수 있다.

건물 공조기술이 에너지절약 및 쾌적성 확보, 사무공간 계획의 유연성 등의 이유로 개별화로 옮겨가는 추세를 감안하면 멀지않아 신축건물 뿐만 아니라 기존 건물의 개보수에 본 기술의 적용이 활성화 될 것으로 기대되며, 이에 따라 에너지 절약에 의한 온실가스저감 및 실내 쾌적성 향상을 기대할 수 있을 것으로 전망된다.

참고문헌

1. C. Lomonaco and D. Miller, Work station Comfort and Control, ASHRAE Journal, Vol. 38, No. 9, pp 50-56, 1997, 9.
2. 빌딩문화, “특집-에너지효율화를 위한 오피스 조명”, p. 106, 1994. 6.
3. 한국과학기술연구원, 실내환경 쾌적성 평가방법에 관한 연구(I)-온열 및 공기질에 대해서, 과학기술처, KIST UCN998-4939-2, 1993.
4. Fanger, P.O., Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering, Danish Technical Press, Copenhagen, Denmark, 1970.
5. 배귀남 등, 여름철 사무실내 한국인의 온열감 평가, 공기조화냉동공학회 논문집, 제7권, 제2호, pp.341-352, 1995.