기존의 퍼스널 공조시스템의 문제점 및 그 개선방안

기존의 퍼스널 공조시스템의 문제점을 파악하고, 이용자의 쾌적성 및 에너지절약성을 향상시키기 위한 개선방안을 제안한다.

송두삼 / 편집위원
성균관대학교 건축공학과(dssong@skku.edu)

머리말

최근 국내에서도 개별제어를 지향하는 공조시스템의 오피스건물에의 적용이 적극적으로 검토되고 있으며 또 몇몇 실제 적용된 사례가 보고되고 있다. 그 내용을 보면, 바닥취출공조시스템이나 시스템에어콘이 대부분으로 어떤 의미에서 본격적인 개별공조(personal air-conditioning system)라고 할 수 없으며, 오히려 실의 공조죠닝을 세분화해 국부적인 제어성을 향상시킨 쾌적성향상 또는 에너지절약 시스템이라고 할 수 있다. 그러나, 비록 제한된 범위이긴 하지만 개별제어시스템이 국내 오피스건물에 도입되었다는 것은 국내의 공조기술력이 그 만큼 성숙되었다는 것과 향후 이 분야의 발전가능성이 높다는 것 등 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

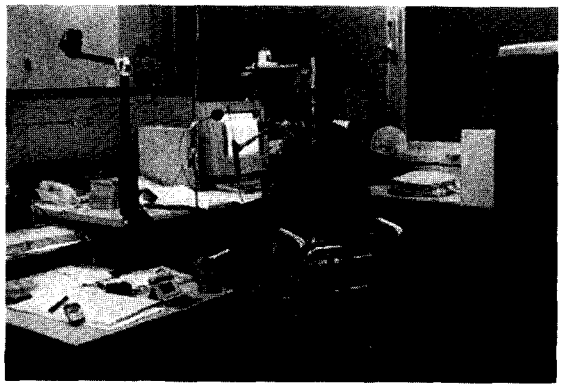
생산성향상을 목적으로 도입된 개별공조시스템은 1990년대 초반에 유행처럼 미국, 유럽, 일본등의 선진국을 중심으로 오피스의 첨단화 설비시스템으로 도입되었으나, 최근 오피스환경의 변화 및 관리, 운용상의 문제점으로 인해 당초의 기대와는 달리 그다지 폭넓게 보급되지 못하고 있는 실정이다.

최근 대두되고 있는 에너지문제 및 지구온난화 현상등은 에너지 절약적이면서 환경 친화적인 새로운 실내 환경조절시스템의 개발을 요구하고 있다. 그 대안의 하나로 퍼스널공조시스템은 많은 에너지절약 가능성을 가지고 있다고 할 수 있다. 본고에서는 기존의 퍼스널공조시스템(주로 탁상형)이 가지는 한계를 분명히 하고 이를 바탕으로 새로운 시스템안을 제시하고자 한다.

기존의 퍼스널공조시스템의 문제점

현장조사를 통해 보고된 기존의 퍼스널공조시스템의 문제점

오피스의 OA화 및 인텔리젠트화에 따라 일본에서는 1990년대에 퍼스널공조시스템이 여러 신축오피스에서 시도되었다. 그러나 시스템의 운영 및 설계방법 등의 여러 가지 문제점이 도출되면서 일반적인 보급에는 성공하지 못하였다. 본 장에서는 실제 퍼스널공조시스템를 사용한 경험을 가지고 있는, 현재 사용하고 있는 재실자 및 시스템 관리자들에 대한 현장설문조사를 통해 기존의 퍼스널공조시스템의 문제점을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.



[그림 1] 기존의 퍼스널시스템의 사용자에 대한 의식조사

1) 설비관리측면에서 문제점

• 초기투자비용이 종래의 공조시스템보다 비싸다.

탁상형 시스템으로 널리 알려진 미국 Johnson control의 PEM(personal Environmental Module)의 경우, 1인용 퍼스널공조시스템의 설치비용이 소규모사무소 1실의 공조비용과 비슷하다.

• 운용비가 비싸다.

퍼스널공조시스템은 효율적인 운전을 통해 종래의 공조시스템에 비해 에너지비용을 절감할 수 있다는 것이 장점이었으나 실제 개개인의 미숙한 사용으로 인해 에너지 비용이 오히려 종래의 전반공조시스템보다 상승하는 경우가 많이 보고되고 있다.

• 유지관리비가 비싸다.

제어성을 높이기 위해 팬 및 덕트등이 증가하여, 유지관리/보수비가 높아지게 된다. 또한 특수한 시스템이기 때문에 수리를 하는데 비용이 많이 든다.

• 오피스의 레이아웃 변경에 대응하지 못한다.

바닥챔버방식의 탁상형 시스템의 경우, 취출구용 덕트가 바닥면에 연결되어 있기 때문에 오피스의 레이아웃 변경에 대응하지 못하고 철거되는 경우가 많다. 실제 일본의 오피스에서 퍼스널공조시스템이 철거된 주 원인이 이 문제이었다.

2) 사용자측면에서 문제점

• 국소기류에 의한 콜드드래프트(Cold-draft)

탁상형 퍼스널공조시스템의 경우, 취출구로부터 인체까지의 거리가 매우 짧아 비교적 강한 풍속의 냉기가 인체의 일부분에 지속적으로 도달함으로써 장시간 사용할 경우 콜드드래프트를 느끼기 쉽다. 또한 취출구가 직접 보이고 만질 수 있는 거리에 있기 때문에 심리적으로 불안정해질 수 있는 가능성이 있는 것으로 나타났다.

• 제어성이 떨어지기 때문에 사용상 불편함이 많다.

퍼스널공조시스템의 경우 제어성이 중요한 요소임에도 불구하고, 최근 주택이나 사무실에서 사용하는 에어컨의 경우 상세한 콘트롤이 가능한 것에 비해 종래의 퍼스널공조시스템은 제어 가능범위가 한정되어 있어 사용자들이 사용상 불편함을 호소하였다.

• 책상의 사용제한

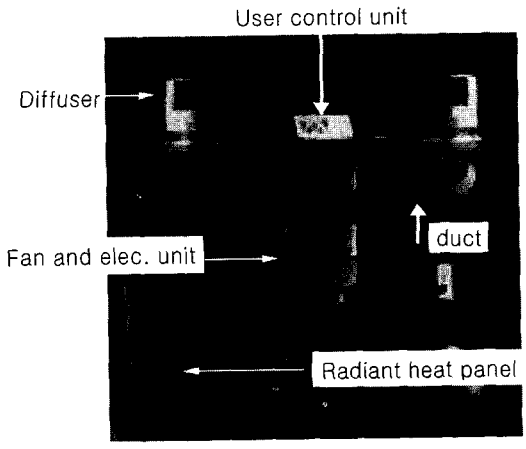
탁상형의 경우 책상위에 취출용유닛이 설치됨으로써 책상의 사용상 불편함을 호소하였다.

피험자실험을 통해 나타난 기존형퍼스널시스템의 사용실태 및 문제점

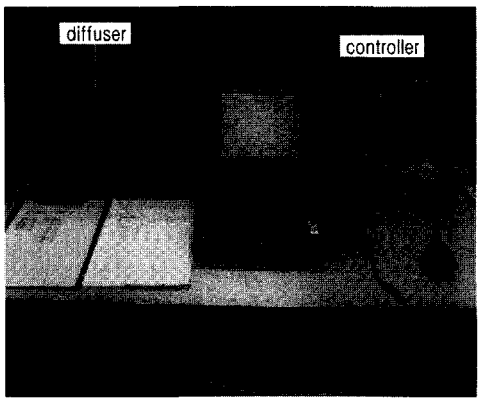
본 실험은 기존형 탁상형 퍼스널공조시스템의 대표격인 Johnson control사의 PEM(personal environmental module) **그림 2**의 사용실태 및 온열쾌적성, 그 문제점을 파악하여 보다 효율적인 퍼스널공조시스템을 설계하기 위한 기초적 데이터를 구축하는 것을 목적으로 실시되었다.

1) 실험의 개요

실험은 **그림 3**에 나타내는 바와 같이 온/습도가 일정하게 조절되는 온열환경실험실에서 이루어졌다. 실험실은 주변온도가 28℃, 상대습도를 50% 일정하게 조절되며, 피험자는 자신의 필요에 따라 책상에 설치된 퍼스널 공조시스템을 조절함으로써 자신의 온열감을 조절하도록 하였다. 실험기간은 2002년 10월 16일부터 11월 2일까지이며, 피험자는 20~25세까지 건강한 남녀 대학생 15명씩 총 30명을 대상으로 하였고, 착의량은 남자 0.7 clo(반소매셔츠+긴바지+넷타이+속옷+양말), 여자 0.55 clo(반소매셔츠+스커트+스타킹+속옷)로 했다.

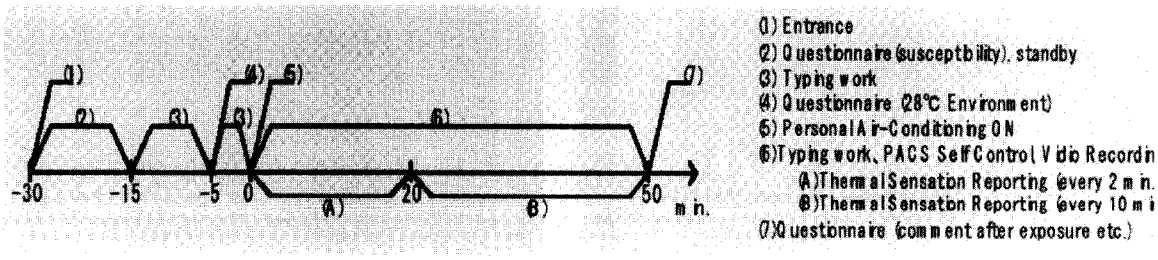


[그림 2] 미국 Johnson Control의 PEM(Personal Environmental Module)



[그림 3] 실험용 퍼스널시스템

[그림 4] 피험자실험 전경



[그림 5] 실험순서

실험은 먼저 피험자가 실험실에 입실 후 약 30분간 28℃의 환경에 대기한다. 입실 후 25분경과한 후에 28℃ 환경에 있어서 환경수용도, 온냉감, 쾌적감의 설문을 실시한다. 입실 후 30분부터 퍼스널 공조 유닛을 작동하며, 피험자는 자신의 취향에 따라 자유롭게 제어를 할 수 있도록 하였다. 실험실에서의 피험자의 행동은 실험실 천정에 설치된 관찰용 비디오 카메라에 의해 기록되며, 이것은 실험 후 피험자의 제어특성을 분석하는 자료로 사용되었다. 퍼스널 공조 작동개시 후 20분간은 2분 간격으로, 그 이후에는 10분 간격으로 온냉감, 쾌적감에 대한 설문을 실시하였다.

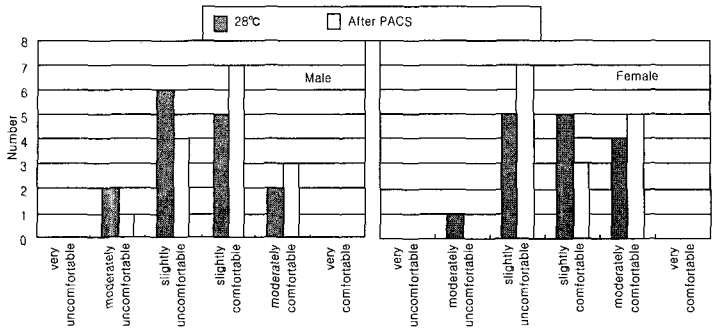
2) 실험결과 및 고찰

a) 온열쾌적성의 검토

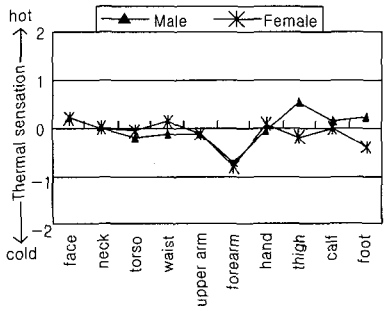
본 실험에서는 피험자가 28℃ 환경에서 약 30분간 대기한 후, 30분이 지난 시점부터 퍼스널공조시스템을 사용함에 따라 사용전후의 온냉감변화를 살펴보았다. **그림 6**과 같이, 28℃ 환경과 퍼스널 공조 사용 전후의 온냉감을 비교하면, 사용후 남녀 모두 "덥다"에 회답하고 있는 비율이 감소하였고, "중립(neutral)"에 신고를 한 비율은 여자는 퍼스널 공조 사용 전의 약 1.5배, 남자는 약 2배로 증가하였다(**그림 6**의 (a)). 퍼스널 공조시스템의 사용에 따른 인체의 부위별 평균 온냉감의 경우, 남녀간의 차는 거의 보이지 않으나, 착의량의 영향에 의해 여자의 경우 하반신에서 남자에 비해 보다 춥게 느끼는 경향을 보였다. 팔 부분은, 취출기류에 직접 노출되며, 또한 반소매셔츠의 착용으로 인해 남녀 모두 가장 춥게 느끼는 부위로 밝혀졌다(**그림 6**의 (b)).

b) 쾌적성평가

쾌적성에 대한 결과를 **그림 7**에서 보여주고 있다. 설정온도 28℃ 환경과 퍼스널 공조에 따른 "쾌적"에 회답한 비율을 비교해 보면, 남자는 사용 전의 약 1.5배 정도 쾌적성이 향상된 것으로 나타났다(**그림 7**(a)). 그러나 여자의 경우 퍼스널 공조 사용에 의해

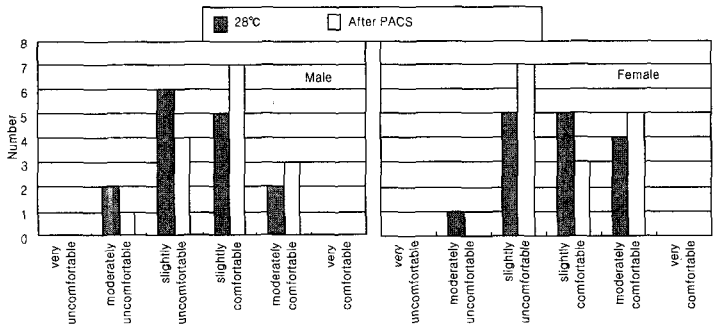


(a) 온냉감

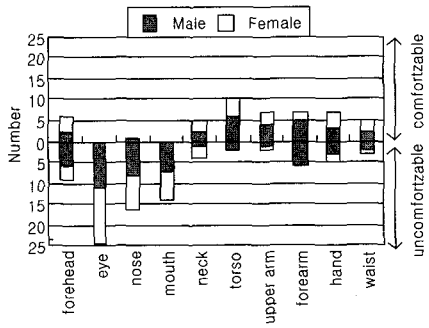


(b) 인체주위별 온냉감

[그림 6] 퍼스널공조시스템 사용전후의 온냉감 변화



(a) 쾌적감(전신)



(b) 쾌적감(인체부위별)

[그림 7] 퍼스널공조시스템 사용전후의 쾌적성 변화

다소 불쾌감을 느끼는 것으로 나타났으며, 그 원인은 여자의 경우 얼굴 부분에 직접 기류가 느껴지는 것에 크게 민감하고(**그림 7**(b)), 얼굴에서 느끼는 불쾌감이 전신의 쾌적감에 크게 영향을 끼치게 되었다고 판단된다. 남자 또한 얼굴에 불쾌감이 집중되어 있고, 남녀 모두 기류가 얼굴에 직접 닿는 것은 상당히 불쾌감을 초래할 가능성이 높은 것으로 나타났다.

c) 퍼스널 공조시스템 사용상의 생리/심리적 문제점(**그림 8**)

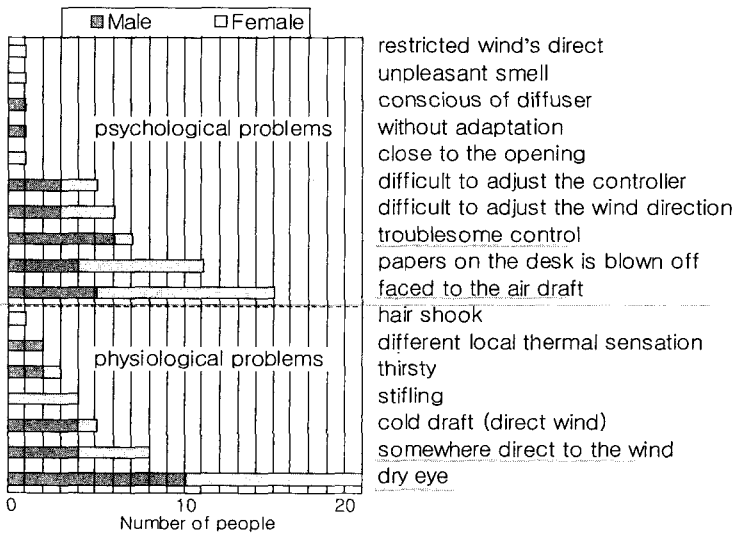
피험자의 1/3이 "복부와 등 부분의 온냉감(전후비대칭온냉감) 차이가 불쾌하다"라고 회답한 것으로 미루어 봐서, 국소적으로 바람을 공급할 경우에는 부위별로 온냉감 차이가 발생하여 불쾌하게 될 가능성이 있다. 이것은, 상반신의 전면부에만 기류를 공급하는 탁상식 퍼스널 공조시스템에 있어서 해결해야 할 과제로 생각된다. 또한, 피험자의 과반수가 "조금 더 약한 바람이 좋다"라고 회답하고 있고, 퍼스널 공조를 장시간 사용할 경우는, 본 실험에서 적용한 최저 취출풍속 0.5 m/s보다 낮은 풍속이 필요할 것으로 생각된다.

생리적으로는 "눈이 건조해진다"가 가장 큰 문제점으로 제시되고 있다. 눈 건조증의 원인으로 컴퓨터 작업에 따른 복사열 및 상승기류의 영향과 함께 퍼스널 공조를 적용할 경우 직접 취출기류에 안면부가 노출됨으로써 더욱 피험자에게 부담을 안겨 주는 것으로 나타났다. 또한, 극단적인 불쾌감의 표현으로 "바람에 노출되어 있는 것이 불쾌하다", "전면에 취출기류가 있다는 것만으로도 불쾌하다" 등이 있었으며, 이것은 취출구가 전면에 있기 때문에 얼굴에 불쾌감을 느끼고, 취출구가 보이고 의식되는 것이 기류감에 대한 혐오감을 더욱 부추기는 결과를 초래했다고 생각된다. 이 문제에 대한 해결책으로, 취출구를 전면부 이외의 방향에 설치하는 것을 생각할 수 있다. "책상 위의 서류가 날아간다"라고 하는 불쾌감은 여성피험자에 의해 특히 많이 보고되었다.

"조작성이 나쁘다"라는 불만은 거의 남자피험자에서 나왔다. 일반적으로 작업에 집중할 경우 퍼스널 공조의 조작을 잊어버릴 수 있으며, 그로 인해 에너지를 낭비할 가능성이 있다는 것을 시사하고 있다. 퍼스널 공조시스템에 에너지 절약성을 추구하기 하기 위해서는, 사용자에게 전면적으로 제어를 맡기기 보다는 어느 정도는 자동제어를 구비한 시스템을 개발할 필요가 있다고 사료된다.

e) 제어특성의 검토

관찰용 비디오카메라를 피험자가 퍼스널공조시스템을 조절하는 것을 기록/검토한 결과는 다음과 같다.



[그림 8] 기존의 퍼스널시스템 사용상 생리적/심리적 문제

• 퍼스널 공조 유닛의 평균 사용시간(**그림 9**)

풍향의 사용경향은, 남자는 수평방향 풍향이 많았고, 여자는 수평방향과 바닥방향의 풍향을 사용하는 빈도가 같았다. 따라서, 설계자는 여자사용자를 위해 얼굴에 기류가 닫지 않도록 주의하는 것이 바람직하다. 온도는, 남녀 모두 24 를 사용하는 시간이 길었다. 여자는 추위와 기류에 민감하게 반응하기 때문에, 전원을 OFF하거나 2종류 정도의 풍속 레벨을 비교적 장시간씩 이용하는 경향이 관찰되었다. 남자는 취출풍속이 약 2 m/s 전후의 기류를 선호하였다.

• 퍼스널 공조 유닛의 평균 조절횟수 (**그림 10**)

퍼스널 공조 유닛의 전 사용시간(50분간)을 통해서, 남녀 모두 풍속의 조절 횟수가 많았고, 특히 남자에 있어서 그러한 경향이 현저하였다. 또한, 최초의 20분간에 있어서 풍속조절 횟수가 치중되어 있었다. 이러한 결과에 의해, 최초에는 풍향, 온도, 풍속을 조절하여 개인의 열적 취향을 모색하고, 그 이후에는 주로 풍속을 미세조정하 것이 바람직하다고 판단된다.

새로운 퍼스널 공조시스템의 구비조건

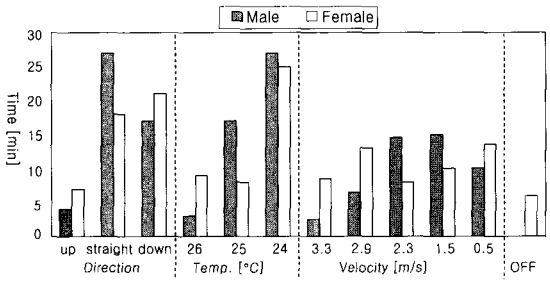
위의 연구결과를 근거로 하여, 본 고에서는 쾌적하면서 에너지 절약적인 퍼스널 공조시스템의 구비조건으로 다음 사항을 제안하며 지속적인 연구를 통해 이러한 사항들을 반영한 새로운 퍼스널 공조시스템을 개발하고자 한다.

인간의 열적 적응성을 제어논리에 도입

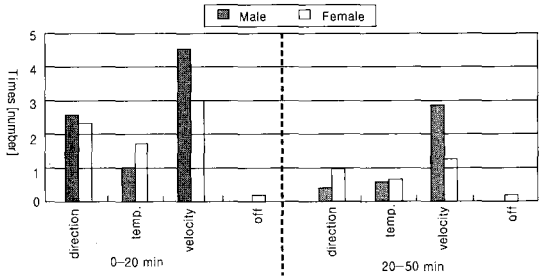
인간은 자기 자신을 열적으로 쾌적하게 유지하게 위해 스스로 조절할 수 있는 능력을 가지고 있다. 이것은 온열환경에 대한 인체생리모델로써 Fanger 등에 의해 제안된 열평형모델의 개념과 달리 어뎁티브 모델(adaptive model)이라 한다. 어뎁티브 모델에 대한 연구는 1970년대부터 지속되어 왔으나 최근에 많은 주목을 받고 있으며 ASHRAE에서도 공조제어에 어뎁티브 모델을 적용하려고 적극적으로 검토하고 있는 단계이다. 이러한 어뎁티브 모델은 인간이 가지는 열적 적응성(예를 들면 외기변화에 따른 쾌적범위의 변화, 착의조절, 지역적 적응 등 열쾌적을 위한 인간의 심리, 생리, 행동적 적응)을 고려함으로써, 기존의 열평형모델에 의해 설정된 실내온도를 다소 완화시켜도 인간은 열적으로 쾌적성을 유지할 수 있으며, 그 만큼 에너지절약을 꾀할 수 있다. 단지 제일 중요한 요소는 이러한 인간의 열적 적응성을 적극적으로 발휘할 수 있는 건축설계, 시스템 설계(예를 들면 자연환기를 도입하는 하이브리드 시스템과 같은)가 전제되어야 한다는 것이다. 특히 퍼스널 공조시스템은 목적상 개개인에 대응하며 빠른 시간 내에 열적인 쾌적성을 유도하는 게 목적이라는 점에서 더더욱 이러한 인간의 열적 적응특성을 적극적으로 고려할 필요가 있다.

인간의 부위별 온열감 특성을 제어논리에 도입

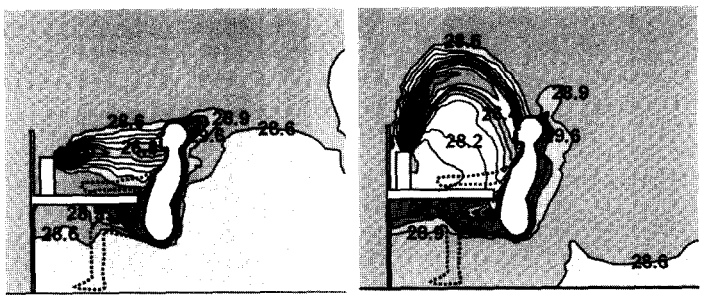
퍼스널 공조시스템은 인체 전체부위를 대상으로 하는 것이 아니며 국소적으로 열적 자극을 완화시키는 공조시스템이다. 따라서, 인체부위별 온열특성을 파악한 후에 이것을 공조제어논리로써 사용한다면 보다 효율적으로 쾌적성을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 장시간 국부적으로 냉기에 노출될 경우 콜드드래프트의 위험이 있기 때문에, 제어목적에 따라 취출공기의 패턴을 조절할 수 있도록 시스템을 설



[그림 9] 퍼스널 공조 유닛의 평균 사용시간



[그림 10] 퍼스널 공조 유닛의 평균 조절횟수



[그림 11] 퍼스널시스템의 새로운 제어논리

계하는 것이 중요하다. 예를들면, 한 여름에 오피스 재실자가 외부에서 실내로 들어왔을 경우에는 외부에서 받은 열적충격을 순간적으로 완화할 수 있는 국소의 빠른 풍속이 요구되며, 일정시간이 지나 재실자가 열적으로 안정이 된 경우에는 인체 전반에 걸쳐 균일한 온열환경이 확보될 수 있도록 취출공기를 형성하도록 시스템을 설계하는 것이 중요하다.

무덕트방식의 일체형 퍼스널 공조시스템의 개발이 필요

기존형 퍼스널 공조시스템은 레이아웃의 변경에 대응할 수 없다는 단점으로 인해, 코스트 증가의 원인이 되기도 하고, 예를 들면 실내 개보수에 대응하지 못하고 철거되는 경우가 보고되고 있다. 따라서 새로운 공조시스템은 덕트 등을 제거한 일체형 시스템 또는 공조챔버와의 연결성이 보다 자유롭게 이루어질 수 있도록 시스템을 설계하는 것이 요구된다.

맺음말

본고에서는 기존의 탁상형 퍼스널 공조시스템의 관리/사용상 문제점을 설문조사 및 피험자 실험을 통해 규명하고 그 개선안으로 새로운 퍼스널 공조시스템의 구비조건을 제시하였다.

위의 연구결과를 바탕으로 볼 때 퍼스널공조의 제어논리로 인간의 열적 적응특성을 고려함으로써 사용자의 쾌적을 보장하면서 에너지절약을 도모할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 무덕트방식의 단일형 퍼스널 공조 시스템의 개발은 퍼스널공조 시스템의 실용화 및 일반에의 보급을 위한 가장 요구되는 항목이며, 이에 대한 지속적인 검토가 필요할 것으로 생각된다.

국내에서 퍼스널 공조시스템에 관한 연구나 설계실적은 아직 미비하지만 에너지절약이나 쾌적성, 생산성에 대한 요구가 점점 증가하고 있는 세계적인 추세에 비추어 볼 때 퍼스널공조(개별공조)는 향후 중요한 온열환경 조절수단으로 부각될 전망이다.

참고문헌

1. Special Issue－Personal Air-conditioning System, 1991, Transactions of the Society of Heating, Air Conditioning and Sanitary Engineering of Japan.
2. Murakai, S., Kato, S. and Song, D., Matsumoto, S., 2003, Study on Personal air-conditioning system considering the human thermal adaptaion (part1), Summary of the Technical Paper of Kanto Chapter, Architectural Institute of Japan.
3. Song, D., Kato, S. and Murakami, S., Shiraihi, S., 2000, Study on Adaptive Control System under Hot and Humid－Literature Review of Adaptive Model using Human Thermal Adaptation, Summary of Technical Paper of The Society of Heating, Air Conditioning and Sanitary Engineering of Japan.
4. Bauman, F.S., Zang, H., Arens, E. and Benton, C., 1993, Localized comfort control with a desktop task conditioning system: laboratory and field measurements, ASHRAE Transactions, Vol.99, Pt.2.