

## 인간의 열적 적응성을 고려한 퍼스널 공조시스템의 개발

송 두 삼<sup>†</sup>

동경대학교 생산기술연구소

### Study on the Personal Air-Conditioning System Considering Human Thermal Adaptation

Doosam Song<sup>†</sup>

*Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Tokyo 153-8505, Japan*

*(Received May 7, 2003; revision received May 20, 2003)*

**ABSTRACT:** In this paper, a personal air-conditioning system considering the human thermal adaptability is analyzed. Although the conventional personal air-conditioner was proofed to be satisfactory in providing for the thermal comfort, it is being questioned on the term of its energy efficiency. Therefore, it is important and urgent to develop new types of personal air-conditioning system with sustainable control strategy that can ensure energy saving and thermal comfort simultaneously. In this study, we first examined the problems of the conventional personal air-conditioning system with field interview and laboratory experiment in terms of usage, management and thermal comfort, and proposed the energy-saving personal air-conditioning system considering the human thermal adaptation. Then a laboratory experiment was performed to analyze the characteristics of the human thermal comfort under severe indoor thermal conditions, which were controlled using a new personal air-conditioning unit designed according to the proposal. The results help to illustrate the alleviation effect of the new personal air-conditioning system, and indicate that the thermal alleviation time is useful to maintain the thermal comfort with efficient usage of energy.

**Key words:** Personal air-conditioning(퍼스널 공조), Thermal adaptation(열적 적응성), Alleviation-time(완화시간)

#### 1. 연구의 배경

일반적으로 오피스 환경에서 동일한 온열환경에 거주하는 작업자의 경우 연령 및 성별, 복장, 컨디션, 작업상황 등에 따라 온냉감의 개인적인 차이가 발생하게 된다. 또한 최근 오피스 공간의 OA화 및 작업공간의 단일화에 따른 파티션의 증

가로 인하여 실내환경을 일정하게 제어를 한다 하더라도 오피스 공간 내에 온열환경은 불균일하게 된다. 따라서 현재의 실온 일정제어시스템으로는 오피스 근무자 개개인의 열적 쾌적성을 보장하는 것은 한계가 있다. 이러한 오피스 근무자 개개인의 열적 불쾌감은 결국 생산성 저하로 연결될 수 있는 가능성이 있다. 이러한 배경에서, 주로 미국을 중심으로 개개인의 열적인 선호도에 의해 제어가 가능한 퍼스널 공조시스템이 보급되기 시작하여, 최근 수년간 일본에서도 적극적으로 실내환경 조절시스템으로서 퍼스널 공조시스템에 대해 검토를 시작해 몇몇 건물에 적용된 예

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +81-3-5452-6431; fax: +81-3-5452-6432

E-mail address: daniel@iis.u-tokyo.ac.jp

가 보고되고 있다.<sup>(1)</sup> 그러나 이제까지 소개된 퍼스널 공조시스템은 주로 생산성 향상에 중점을 두고 있으며 제어논리나 시스템 구성은 매우 서양적인 사고로 되어 있어 동양인이 가지는 특성을 반영하지 못하고 있는 것이 사실이다. 또한 퍼스널 공조를 통해 열적 쾌적성과 에너지 절약 효과를 모색하려고 하는 시스템 설계자 입장에서 기존의 퍼스널 공조시스템을 적극적으로 도입하기에는 아직까지 어려운 실정이다.

최근 지구환경문제의 일환으로 특히 일본의 경우, 여름철 실내설정온도를 26℃에서 28℃로 변경하는 대책을 추진하고 있다. 그러나 기존 공조시스템의 조건에서는 재실자에게 큰 열적 불쾌감을 초래할 것이 명확하기 때문에, 이러한 배경에서 최근 퍼스널 공조시스템이 새롭게 검토되고 있는 실정이다.<sup>(2)</sup>

따라서 본 연구에서는 새로운 쾌적하면서 에너지 절약적인 퍼스널 공조시스템 및 시스템 제어논리를 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 특히 본 논문에서는 기존의 퍼스널 공조시스템의 문제점을 실제 사용자 및 시스템 설계자에 대한 현장 설문조사를 통해 조사하고, 또한 실험실에서 피험자실험을 통해 기존의 퍼스널 공조시스템에 대한 이용형태와 문제점 등을 분석한다. 그리고 이러한 결과를 바탕으로 새로운 퍼스널 공조제어논리를 제안하고자 한다.

## 2. 기존형 퍼스널 공조시스템에 관한 분석

### 2.1 설문조사에 의한 기존의 퍼스널 공조시스템의 문제점의 도출

오피스의 OA화 및 인텔리젠트화에 따라 일본에서는 1990년대에 퍼스널 공조시스템의 도입이 유행처럼 퍼졌었다. 그러나 실제로는 시스템의 운영 및 설계방법 등의 여러 가지 문제점이 도출되면서 일반적인 보급에는 성공하지 못하였다.

본 연구에서는 실제 퍼스널 공조시스템을 사용하고 있는 재실자 및 퍼스널 공조시스템 관리자들에 대해 설문조사를 통해 기존의 퍼스널 공조시스템의 문제점에 관하여 조사하였다.

#### 2.1.1 설비관리자측에서의 문제점

퍼스널 공조시스템은, (1) 1인에 하나의 시스템

이 필요하기 때문에, 초기 투자비, 운용비가 비싸다. (2) 일반적이기 못하기 때문에 수리에 번거로움이 있고, 유지관리비가 비싸다. (3) 취출구용 덕트배관의 변경이 용이하지 않아 오피스의 레이아웃 변경이 어렵다.

#### 2.1.2 사용자측에서의 문제점

(1) 국소적으로 풍속이 빠르고 온도의 확산을 기대하기 어렵기 때문에 드래프트감을 느끼기 쉽다. 또한 심리적으로도 (2) 취출구가 직접 보이고 만질 수 있는 거리에 있기 때문에 심리적으로 불안정해질 수 있는 가능성이 있다. (3) 가정용 에어컨에 비해 제어성이 떨어지기 때문에 사용상 불편함이 많다.

## 2.2 새로운 퍼스널 공조시스템의 구비조건

2.1을 근거로 하여, 본 연구에서는 쾌적하면서 에너지 절약적인 퍼스널 공조시스템의 구비조건으로 다음 사항을 제안하며 지속적인 연구를 통해 이러한 사항들을 반영한 새로운 퍼스널 공조시스템을 개발하고자 한다.

### 2.2.1 인간의 열적 적응성을 제어논리에 도입

(1) 인간은 자기 자신을 열적으로 쾌적하게 유지하게 위해 스스로 조절할 수 있는 능력을 가지고 있다. 이것은 온열환경에 대한 인체생리모델에 기존의 Fanger 등에 의해 제안된 열평형모델의 개념과 달리 어댑티브 모델(adaptive model)<sup>(3)</sup>이라 한다. 어댑티브 모델에 대한 연구는 1970년대부터 지속되어 왔으나 최근에 많은 주목을 받고 있으며 ASHRAE에서도 공조제어에 어댑티브 모델을 적용하려고 적극적으로 검토하고 있는 단계이다. 이러한 어댑티브 모델은 인간이 가지는 열적 적응성(예를 들면 외기변화에 따른 쾌적범위의 변화, 착의조절, 지역적 적응 등 열쾌적을 위한 인간의 심리, 생리, 행동적 적응)을 고려한 것으로 기존의 열평형모델은 이러한 인간의 열적 적응성을 고려하지 않음으로써 실내설정온도를 과다하게, 또는 지나치게 안전하게 설정하는 경향이 있었다. 따라서 어댑티브 모델을 공조제어논리에 적용함으로써 기존의 설정온도를 완화하여도 열적으로 쾌적성을 유지할 수 있다. 단지 제일 중요한 요소는 이러한 인간의 열적 적응성

을 적극적으로 발휘할 수 있는 건축설계, 시스템 설계(예를 들면 하이브리드 시스템과 같은)가 전제되어야 한다는 것이다. (2) 특히 퍼스널 공조시스템은 목적상 개개인에 대응하며 빠른 시간 내에 열적인 쾌적성을 유도하는 게 목적이라는 점에서 더더욱 이러한 인간의 열적 적응특성을 적극적으로 고려할 필요가 있다.

2.2.2 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 공조제어논리로서 사용한다면 보다 효율적으로 쾌적성을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

2.2.3 일체형 퍼스널 공조시스템의 개발

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 공조채버와의 연결성이 보다 자유롭게 이루어질 수 있도록 시스템을 설계하는 것이 요구된다.

3. 피험자 실험에 의한 기존형 퍼스널 공조시스템의 온열쾌적성 및 제어특성 파악

본 실험은 기존형 퍼스널 공조시스템의 온열쾌적성 및 제어특성을 파악하고, 그의 문제점을 유출하여 보다 효율적인 퍼스널 공조시스템을 설계하기 위한 기초적 데이터를 구축하는 것을 목적으로 한다.

3.1 실험개요

실험은 Fig. 1에 나타내는 바와 같이 실온/습도가 일정하게 조절되는 온열환경실험실에서 이루어졌다. Table 1은 실험실 조건을 보여주고 있다. 실험실은 엠비엔트 공조로써 실내온도를 28℃, 상대습도를 50% 일정하게 조절하며, 피험자는 필요에 의해 책상에 설치된 퍼스널 공조시스템을 조절함으로써 자신의 온열감을 조절하도록 하였다. 본 실험의 퍼스널 시스템은 가장 일반적인 시스템으로 미국에서 제작된 J사의 시스템을 이용하였다.<sup>(4)</sup> 실험기간은 2002년 10월 16일부터 11월 2일까지이며, 피험자는 20~25세까지 건강한 남녀 대학생 15명씩 총 30명을 대상으로 하였고, 착의량은 남자 0.7 clo, 여자 0.55 clo로 했다.

실험순서는 Fig. 2와 같다. 피험자는 실험실에 입실 후 30분간 28℃의 환경에 대기한다. 입실 후 25분에 28℃ 환경에 있어서 환경수용도, 온열감, 쾌적감의 설문(온열감, 쾌적감 신고)을 실시한다. 입실 후 30분부터 퍼스널 공조 유닛을 작

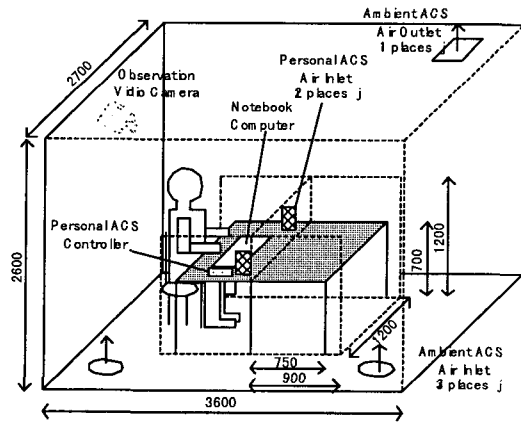


Fig. 1 Concept diagram of the experiment.

Table 1 Experiment conditions

Room conditions		28℃, 50% RH
Ambient system type		Floor inlet, ceiling outlet
Ambient system airflow velocity		0.5 m/s
Personal system control range	Air velocity (m/s)	1.18, 1.51, 2.47, 2.93, 3.15
	Temperature (℃)	24, 25, 26
	Air direction	Up, straight, down
	System operation	On/off
Clothing	Male	Short-sleeves shirt with tie Short-sleeves, skirt and stockings
	Female	

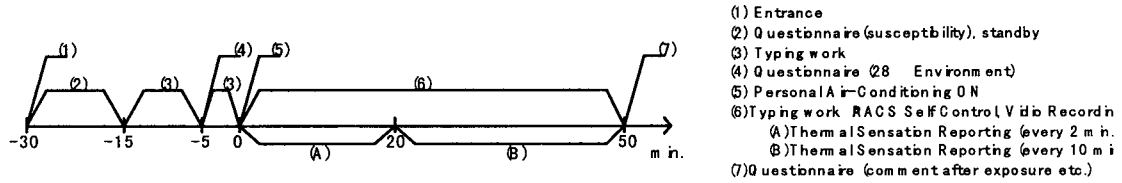


Fig. 2 Experiment procedure.

동하며, 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.

3.2 실험결과 및 고찰

3.2.1 온열쾌적성의 검토

(1) 설정온도 28℃ 환경에 대한 수용도(Fig. 3)

설정온도 28℃ 환경에 대한 온열환경 수용도를

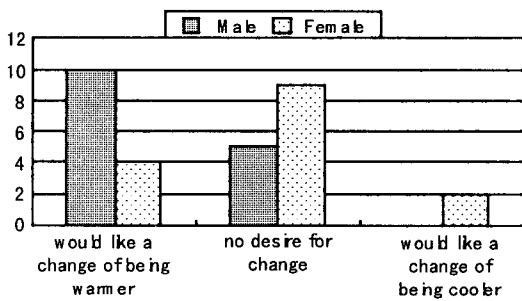


Fig. 3 Thermal preference (temp. 28℃).

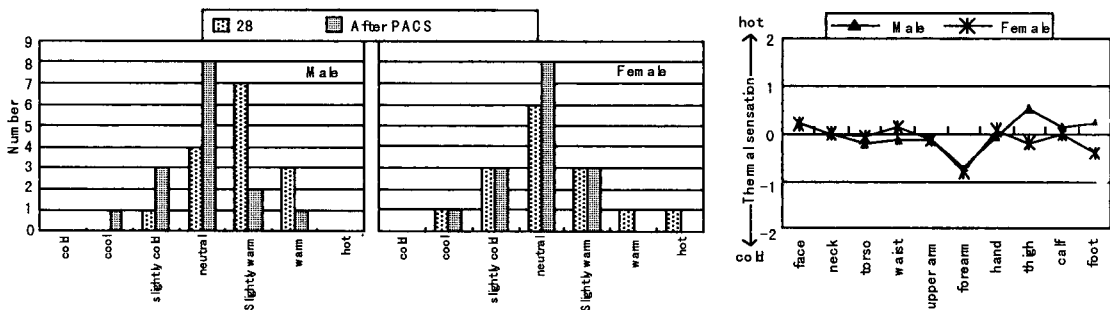
Fig.3에 나타낸다. 남자의 30%, 여자의 약 60%가 28℃ 환경을 수용할 수 있다는 것으로 나타났다. 그러나 이 결과는 여자의 착의량이나 인체대사량이 일반적으로 남자보다 적다는 것과 실제 오피스 환경의 경우 복사열의 영향에 의해 공기온도가 설정 28℃로 설정하였다 하더라도 복사의 영향을 고려하는 작용온도(Operature Temperature)는 본 실험조건보다 높을 것으로 생각되어 실제 오피스에서 28℃ 환경에 대한 수용도는 훨씬 낮을 것으로 생각된다.

(2) 온냉감(Fig. 4)

온냉감에 대한 결과는 Fig.4에서 보여주고 있다. 28℃ 환경과 퍼스널 공조 사용 전후의 온냉감을 비교하면, 남녀 모두 “덥다”에 회답하고 있는 비율이 감소하였고, “중립”에 신고를 한 비율은 여자는 퍼스널 공조 사용 전의 약 1.5배, 남자는 약 2배로 증가하였다(Fig.4(a)). 인체의 부위별 평균 온냉감의 경우, 남녀간의 차는 거의 보이지 않으나, 착의량의 영향에 의해 여자의 경우 하반신에서 남자에 비해 보다 춥게 느끼는 경향을 보였다(Fig.4(b)). 팔 부분은, 취출기류에 직접 노출되며, 또한 반소매셔츠의 착용으로 인해 남녀 모두 가장 춥게 느끼는 부위로 밝혀졌다.

(3) 쾌적성(Fig. 5)

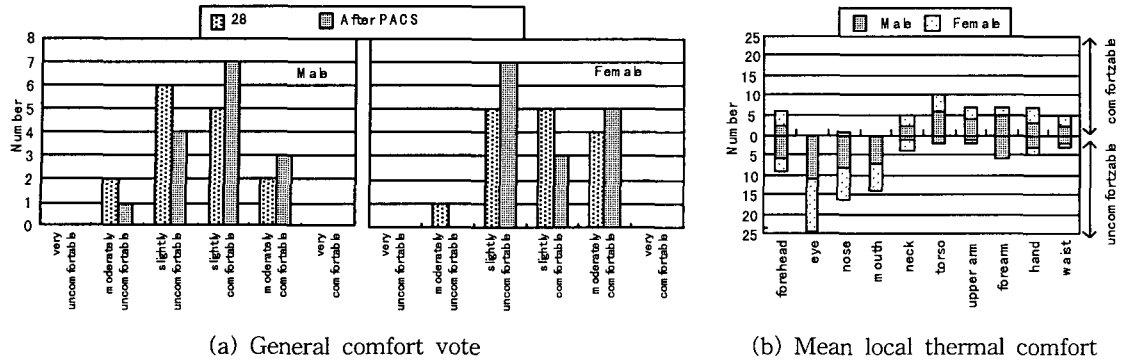
쾌적성에 대한 결과는 Fig.5에서 보여주고 있



(a) Thermal sensation vote

(b) Mean local thermal sensation

Fig. 4 Thermal sensation of before and after using PACS



(a) General comfort vote (b) Mean local thermal comfort  
 Fig. 5 Thermal comfort of before and after using PACS

다. 설정온도 28℃ 환경과 퍼스널 공조에 따른 “쾌적”에 회답한 비율을 비교해 보면, 남자는 사용 전의 약 1.5배 정도 쾌적성이 향상된 것으로 나타났다(Fig.5(a)). 그러나 여자의 경우 퍼스널 공조 사용에 의해 다소 불쾌감을 느끼는 것으로 나타났으며, 그 원인은 여자의 경우 얼굴 부분에 직접 기류가 느껴지는 것에 크게 민감하고(Fig. 5(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.

(4) 퍼스널 공조시스템 사용상의 생리/심리적 문제점(Fig. 6)

피험자의 1/3이 “복부와 등 부분의 온냉감(전후 비대칭온냉감) 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 0.5m/s 보다 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.

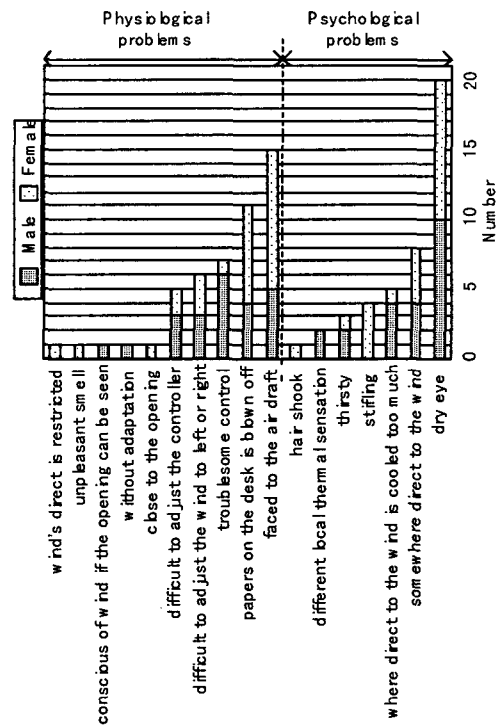


Fig. 6 Problems in using the PACS.

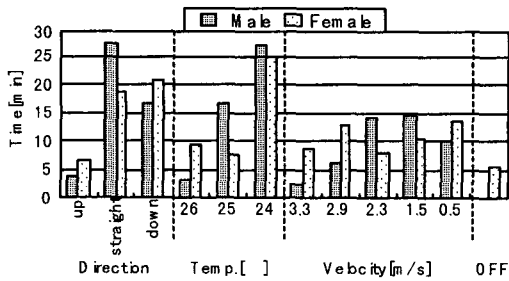


Fig. 7 Average usage time of PACS.

“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 맡기기보다는 어느 정도는 자동제어를 구비한 시스템을 개발할 필요가 있다고 사료된다.

3.2.2 제어특성의 검토

관찰용 비디오카메라를 이용한 실험관찰기록의 결과를 검토하면 다음과 같다.

(1) 퍼스널 공조 유닛의 평균 사용시간(Fig. 7)

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

(2) 퍼스널 공조 유닛의 평균 조절횟수(Fig. 8)

퍼스널 공조 유닛의 전 사용시간(50분간)을 통

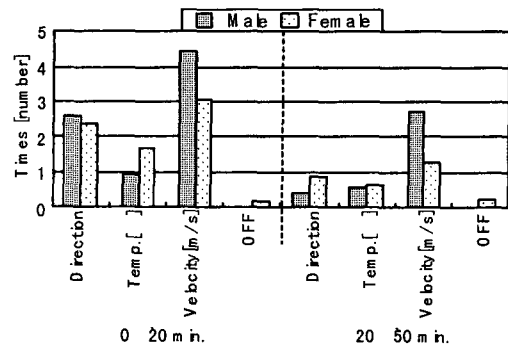


Fig. 8 Average control times of PACS.

해서, 남녀 모두 풍속의 조절 횟수가 많았고, 특히 남자에 있어서 그러한 경향이 현저하였다. 또한, 최초의 20분간에 있어서 풍속조절 횟수가 치중되어 있었다. 이러한 결과에 의해, 최초의 풍향, 온도, 풍속에 관해서는 개인의 열적 취향을 모색하고, 그 이후에는 주로 풍속을 미세조정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4. 새로운 퍼스널 공조시스템의 검토

본 연구에서는 2장과 3장에서 검토한 결과를 바탕으로 새로운 퍼스널 공조시스템의 개발을 추진중에 있으며, 본 장에서 보여주는 결과는 시스템 개발의 일환으로 퍼스널 공조의 제어성능의 개선 및 인간의 열적 적응능력을 퍼스널 공조제어에 적용하기 위한 기초적인 적용함으로써 퍼스널 공조시스템 사용에 따른 에너지 소비를 줄이기 위한 전략의 일부이다.

4.1 퍼스널 공조 유닛의 개요(Fig. 9)

오피스 근무자 개개인을 열적으로 쾌적하게 하면서 에너지 절약성을 가지기 위해서는 퍼스널 공

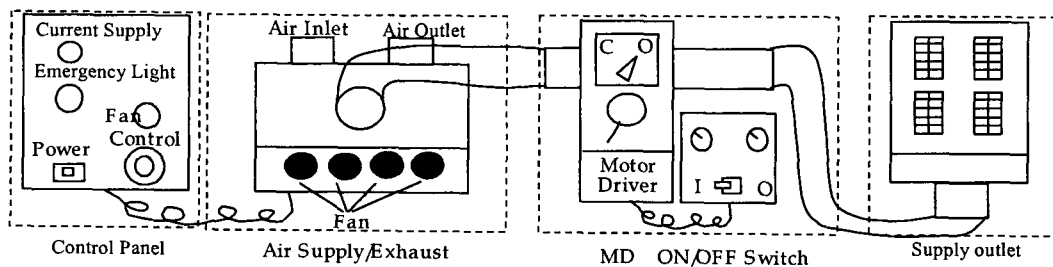


Fig. 9 Revised layouts of the proposed PACS.

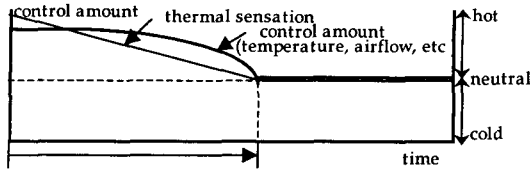


Fig. 10 Definition of alleviation time.

조시스템에 인체의 생리특성을 고려할 필요가 있다. 이를 위해서는, 인간의 열적 적응성(Thermal adaptability)을 의식하여 제어방법을 보다 간단하고 개별제어성을 중시한 유닛의 작성을 검토하였다. 새로운 퍼스널 공조 유닛은 탁상용 취출구, 동작시간 조절용 MD 개폐장치, 흡기/배기 장치 및 컨트롤러, 이상의 4부분으로 구성되어 있다.

탁상용 취출구는 책상 위의 피험자 정면측의 중간부분에 고정하였다. 본 실험의 목적상 취출구를 단순화하고 있으나 향후 취출구에 대해 보다 상세한 검토를 행할 예정이다. 취출구 풍향 및 취출구의 개폐는 거주자가 수동으로 조절 가능하도록 하였다. 취출풍속과 취출온도는 퍼스널 공조시스템의 관리자에 의해 설정된다.

가장 큰 특징으로써, 본 연구에서는 MD 개폐장치를 사용함으로써 취출풍량에 대해 자동적으로 시간조정이 가능하다는 것과, 개방장치를 조작할 경우 동작시간 약 3초 후에 전폐쇄→전개방이 되며, 폐쇄장치를 조작할 경우, 동작시간 30초~5분 후(시간은 조절 가능)에 전개방→전폐쇄가 가능한 시스템이다. 이것은 옥외로부터 입실하여 착석한 직후와 더위를 느낄 경우, 체온을 급히 낮출 필요가 있을 경우에 필요에 따라 냉기를 단시간에 공급 가능하다는 것과 자동시간 조절모드를

적용함으로써 냉기를 지속적으로 공급함으로써 쾌적선을 넘어 추위를 느끼기 전에 시스템 가동을 조절함으로써 에너지 절약을 도모하고자 하는 의도에서 개발되었다.

4.2 완화시간의 개념도입

인간의 온열환경에의 적응능력을 고려하여, 퍼스널 공조시스템의 온열감 완화시간(Alleviation-time)이라고 하는 개념을 도입하였다. 완화시간이란, 인체가 옥외환경 또는 열적으로 불쾌한 상태에서 실내 작업영역으로 들어온 후, 어떠한 공조 조건에서 온열감이 중립상태가 될 때까지 소요되는 시간을 의미하고 있다. 완화시간을 이용함에 따라 공조제어에 시간의 축을 결정할 수 있고, 필요한 냉방의 공급과 과다한 냉방의 정지를 도모할 수 있는 것을 특징으로 하고 있다.

4.3 피험자 실험에 완화시간의 측정

완화시간을 측정하기 위하여 피험자 실험을 실시하였다. 실험은 실온/습도 일정의 온열환경실험실에서 실시되었다. 실험은 하기의 옥외환경(30℃, 60%)과 오피스 환경조건을 가정하여 실시하였다. 검토 케이스는 퍼스널 공조를 사용하지 않은 경우(case1), 즉 옥외환경에서 이동으로 인하여 열적으로 불쾌한 피험자가 설정온도 28℃ 기존의 공간에 있는 경우와 퍼스널 공조시스템을 사용하지만 취출온도는 엠비엔트 온도와 동일(28℃)하게 설정하여 기류감만을 이용하는 경우(case2), 그리고 퍼스널 공조의 취출온도 26℃로 설정하여 온

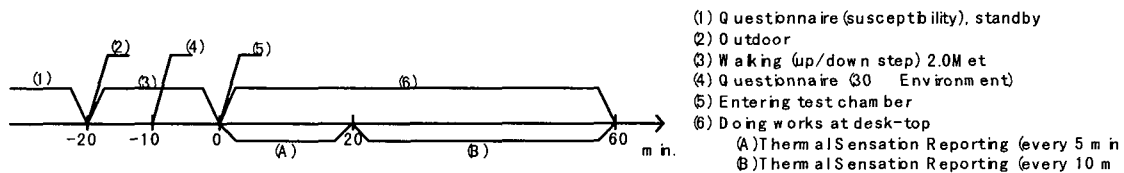


Fig. 11 Experiment procedure.

Table 2 Methodology and contents of experiment

	Indoor environment	Works	Clothing level	PACS settings
Case1	Room temp. : 28℃ Humidity : 60%RH	Content : Typing Metabolism : 1.2 Met	Male :	Off
Case2			Short-sleeves shirt with tie	Supply air : 8℃, 2.0 m/s
Case3			Female : Short-sleeves shirt, skirt and stockings	Supply air : 26℃, 2.0 m/s

도변화를 허락한 경우(case3)에 대한 열적 특성을 검토하였다. 실험기간 중 퍼스널 공조의 취출 풍속은 2.0 m/s를 유지하였고, 상시 수평방향 취출로써 피험자의 얼굴에는 기류가 노출되지 않도록 고려하였다. 엠비엔트 공조는 바닥취출공조를 사용하였고, 냉기가 바닥에서 취출되어 천정을 통해 배출시킴으로써 실온을 28℃ 일정하게 유지하도록 하였다.

피험자는 20~28세의 건강한 대학생 남녀 5명씩 총 10명을 대상으로 하였으며, 착의량은 남자 0.7 clo, 여자 0.55 clo로 설정하였다. 피험자는 옥외환경을 가정한 전실(30℃, 60%)에서 20분간 보행을 한 후, 실험실에 입실, 60간의 테스트 워크를 실시하였다. 온냉감에 대한 설문은 전실에서는 보행개시 후 10분 경과한 시점에서 1회, 입실 후, 전반의 20분간은 5분씩 온냉감 신고를 실시하였으며, 후반 40분간은 10분 간격으로 온냉감 신고를 하도록 하였다. 또한, 피부온측정용 열전대를 이용하여 피험자의 피부온도를 측정하여 온열환경에 대한 심리적, 생리적 변화를 연속적으로 기록하였다. 온냉감 신고 스케일은 ASHRAE의 7단계 스케일을 채용하였다. 또한, 피부온도는 Hardy & Dubios의 7점법(머리( $T_1$ ), 상완( $T_2$ ), 손( $T_3$ ), 발( $T_4$ ), 종아리( $T_5$ ), 허벅지( $T_6$ ), 몸통( $T_7$ ))을 이용하여, 10초 간격으로 연속적으로 측정하였다. 다음 식(1)은 Hardy & Dubios의 7 점법에 의한 인체 평균 피부온도( $T_{skin}$ )를 산출하는 식이다.

$$T_{skin} = T_1 \times 0.07 + T_2 \times 0.14 + T_3 \times 0.05 + T_4 \times 0.07 + T_5 \times 0.13 + T_6 \times 0.19 + T_7 \times 0.35 \quad (1)$$

4.4 실험결과

4.4.1 인체 평균 피부온도의 시간변화(Fig. 12)

실험실에 입실 전, 피험자는 옥외 환경을 가정한 30℃의 전실에서 보행(0.9 m/s, 2.0 met)을 함으로써 발한(땀을 흘림)을 하게 되고, 실험실에 입실 직후의 2,3분간은 땀을 증발시키기 위해 평균 피부온도가 급속히 0.3℃ 정도 낮아지는 것을 알 수 있다. 그 이후에는 평균 피부온도가 서서히 상승하며 일정시간이 지난 후에 정상상태에 달하게 된다. 여자 피험자의 평균 피부온도는 남자 피험자에 비해 전체적으로 약 0.6℃ 낮게 나타났다.

4.4.2 인체 온냉감의 시간변화(Fig. 13)

입실 직후의 피험자는 'warm' 및 'slightly warm' 이라고 신고하나, 발한으로 인해 피부온도가 떨어진 것과 대사량이 낮아진 것, 상대적으로 시원한 주위온도(32℃에서 28℃ 공간으로 이동할 경우) 등의 이유에 의해 온냉감 신고치가 서서히 중립

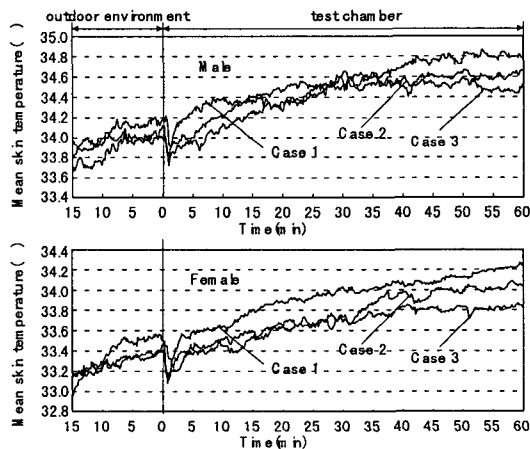


Fig. 12 Fluctuation of mean skin temperature over time.

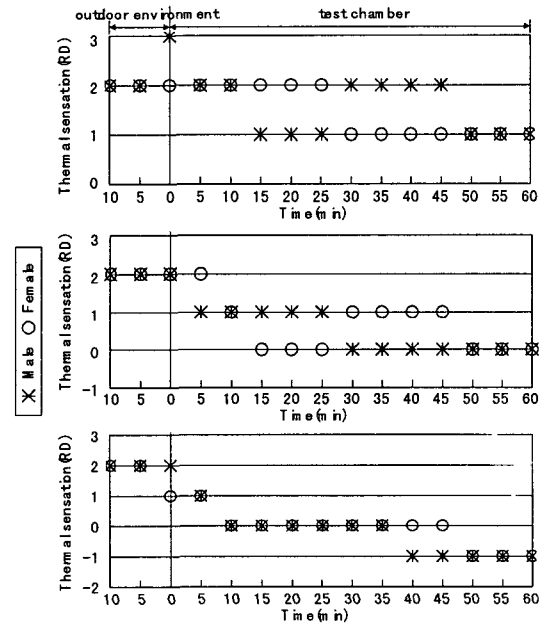


Fig. 13 Fluctuation of the thermal sensation over time.



에 근접하게 된다. 그러나, 퍼스널 공조를 사용하지 않는 경우(case1)에서는 좀처럼 온냉감이 증립, 정상상태에 이르지 못하며, 역으로 빠르게 증립상태를 다다른 case3의 경우는 시간의 경과와 함께 40~50분 경과 후에는 남녀 모두가 "slightly cool, 약간 춥다"라고 느끼는 것으로 나타났다. 이런 경우에는 퍼스널 공조의 온열 완화의 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 4.4.3 완화시간

이 실험을 통해 도출된 완화시간, 즉 인체의 온냉감이 증립인 상태(=0)가 되기까지 소요되는 시간은 case2의 경우 남자는 30분, 여자는 10분이 소요되었다. 또한, case3의 경우 남자는 15분, 여자는 10분이 소요되었음을 알 수 있다. 이는 퍼스널 공조의 냉각능력을 증가시킬 경우 완화시간 또한 단축된다는 것을 보여주고 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 기존형 퍼스널 공조시스템 관리/사용상의 문제점을 설문조사 및 피험자 실험을 통해 규명하고 그 개선안으로 새로운 퍼스널 공조시스템을 제안하였다.

(1) 설문조사 결과, 기존형 퍼스널 공조시스템의 문제점으로 사무소의 레이아웃 변경에 대응하지 못하는 점, 유지관리비가 많이 소요되는 점 등 관리상의 문제점과 국부적인 인체냉각으로 인한 드래프트, 제어성의 취약 등 사용상의 문제점 등이 보고되었다.

(2) 피험자 실험을 통해 엠비엔트 설정온도 28℃에 대한 환경수용도 및 퍼스널 공조 사용 전후에 대한 온냉감을 비교하였다. 퍼스널 공조를 도입함으로써 열적으로 '증립'에 신고한 비율은 여자가 퍼스널 공조 사용 전의 약 1.5배, 남자가 약 2배로 증가하였다. 즉, 퍼스널 공조를 도입함으로써 엠비엔트 영역의 온도를 높게 설정하여도 거주자의 온열감을 보장할 수 있는 것으로 나타났다.

(3) 기존형 퍼스널 공조시스템 사용상 온열생리/심리상의 문제점을 피험자 실험을 통해 분석하였다. 실험 결과 약 1/3의 피험자가 퍼스널 공

조시스템을 사용할 경우 부위별 온냉감 차이로 인해 불쾌감을 느끼는 것으로 나타났다. 이것은 상반신의 전면부에만 기류를 공급하는 기존형 퍼스널 공조시스템에 있어서 해결해야 할 과제로 사료된다. 또한, 생리적인 문제점으로 남녀 모두 얼굴에 직접 기류가 공급됨으로써 초래되는 눈의 건조증을 호소하였다.

(4) 제어특성에 관해 조사한 결과 남녀 모두 풍속조절이 제일 높은 조절횟수를 나타냈다. 남자가 여자보다 제어성에 불만족하는 것으로 나타났다.

(5) 위의 연구결과를 바탕으로 본 연구에서는 인간의 열적 적응특성을 고려한 '완화시간'이라는 개념을 이용하여, 퍼스널 공조시스템의 제어를 보다 면밀하게 함으로써 불필요한 에너지 낭비를 방지하면서 열적으로도 쾌적함으로 도모할 수 있는 시스템을 제안하였다.

## 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., Song, D. and Matsu-moto, S., 2003, Study on personal air-conditioning system considering the human thermal adaptaion (part 1), Summary of the Technical Paper of Kanto Chapter, Architectural Institute of Japan.
3. Song, D., Kato, S., Murakami, S. and 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.