

PMV 지표에 의한 개별 공조시스템(PACS)의 쾌적성 평가에 관한 연구

최익순[†], 정광섭, 박영철^{*}, 한화택^{**}, 이정재^{***}

서울산업대학교 건축공학과, ^{*}서울산업대학교 제어계측학과, ^{**}국민대 기계자동차 공학부, ^{***}동아대 건축공학과

Evaluation of Thermal Comfort in Task Area with Personal Air-Conditioning System (PACS) by PMV Index

Ik-Soon Choi[†], Kwang-Seop Chung, Young-Chil Park^{*}, Hwa-Taik Han^{**}, Jurng-Jae Lee^{***}

Department of Architectural Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

**Dept. of Control & Instrumentation Eng., Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea*

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

****Department of Architectural Engineering, Dong-a University, Pusan 604-714, Korea*

(Received January 5, 2001; revision received May 18, 2001)

ABSTRACT: The thermal comfort of indoor spaces is very important factor in our life. Regions, cultures, climates and individual differences for establishing thermally comfortable environments should be considered carefully because these factors have a large influence on the thermal comfort doing some complicated interactions with environmental, psychological and physical elements. Recently, predicted mean vote (PMV) based on the heat transfer theory between environmental factors and human bodies has evaluated by many researchers and widely used nowadays.

The objective of this study is to evaluate the thermal comfort in workspaces with personal air conditioning system using the measurements of environmental comfort parameters and the questionnaire survey of occupant's thermal senses with response to the environment.

Key words: Personal air-conditioning system(개별 공조시스템), Thermal comfort(쾌적), PMV (예상온열감 반응), Thermal sensation vote(응답온열감)

1. 서 론

대부분의 시간을 고기밀·고단열의 실내공간에서 생활하고 있는 현대인에게 있어 쾌적한 실내 환경은 일의 효율성을 증대시키고 나아가 건강한 삶을 유지하는 데 있어 매우 중요하다. 따라서, 쾌적한 실내환경의 창출은 건물 소유자·거주자·

관리자 모두에게 중요한 과제로 인식되고 있다.⁽¹⁾ 여기에 더하여 최근 건물의 인텔리전트(Intelligent)화가 보편화되고 가속화되면서, OA기기 및 통신기기에 따른 내부발열 증가와 개인적 공간구획을 위하여 설치된 파티션에 의해 오피스 공간의 온열환경의 국부적 불균형이 나타나고 있고, 이는 쾌적한 실내환경 조성에 걸림돌이 되고 있다. 또한 쾌적환경은 환경적, 물리적, 심리적 요소들의 복합적 관계에 의하여 좌우되는 주관적인 것으로, 쾌적환경의 기준은 물리적 요소뿐만 아니라, 지역, 문화, 계절, 개개인의 심리적 차이에

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6580; fax: +82-2-974-1480

E-mail address: cis@ancit.co.kr

따라 다르게 설정된다. 따라서 실내공간을 쾌적 환경으로 조성하고 유지하기 위해서는 쾌적환경에 영향을 미치는 수많은 요소들에 대한 충분한 이해가 요구되고 있다.⁽²⁾

따라서, 본 연구에서는 최근 쾌적 공조시스템의 발전적 형태인 개별 공조시스템을 적용한 인공기후 실험실에서, 공조방식 차이에 따른 쾌적성을 평가하고, PMV와 온열환경 지표의 상관성 파악을 통하여, 국내 실정에 적합한 적정 쾌적범위 선정 및 쾌적성 평가를 위한 기초자료의 제시를 목적으로 하였다.

2. 기존의 연구

쾌적한 온열환경 충족을 목적으로 인간의 온열감과 주위 온열환경과의 관계를 파악하기 위한 연구는 19세기말부터 미국, 유럽 등에서 시작되었다. 1970년에 덴마크의 Fanger⁽³⁾ 등은 1,300여명의 피험자를 대상으로 건구온도, 평균복사온도, 기류속도, 속도, 수증기 분압 등의 물리적 온열환경요소뿐 아니라 작업량, 착의량 등의 변수를 포함하는 종합적 온열환경 쾌적지표를 제안하였고, 이는 수차의 개량을 거쳐 현재 ISO-7730으로 국제 규격화되었다. 국내에서는 1970년대 후반부터 일부 대학, 연구소에서 실내 온열환경의 쾌적성에 관한 연구가 시작되었다. 이들은 주로 주거시설을 대상으로 난방시 한국인의 온열감을 밝혀내려는 연구로, 최근에는 오피스 건물에까지 범위가 확대되었고, 외국 기준 및 다른 실험결과와 비교하여 한국인의 온열감 특성을 규명하려는 목적으로 실시되었다.

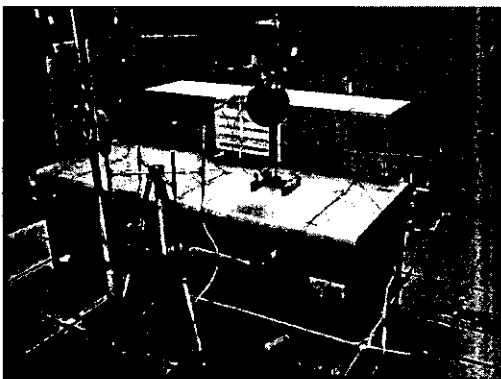


Fig. 1 PAC system present study.

3. 측정 및 온열감 조사

3.1 측정 개요

본 연구는 바닥급기 공조시스템과 개별 공조시스템을 적용한 인공기후 실험실에서 온열환경의 쾌적성을 평가하고 온열환경 쾌적 종합지표인 PMV와의 상관관계를 조사하기 위한 실험으로 다음과 같은 측정을 실시하였다. 본 연구의 측정 대상은 부산직할시 D대학 건축공학과 건물 4층에 설치된 인공기후 실험실(500^W×345^L×225^Hcm)로서, 기본적으로는 바닥급기 공조시스템이 설치되어 있다. 이때 전체 풍량은 유지하면서 풍량비 조절을 통하여 일부를 PEM을 통한 작업영역으로의 취출이 가능하도록 구성되었다.

Fig. 1~2는 인공기후 실험실 내 PEM의 설치 상황과 상세를 나타내며 취출풍량 조절을 위한 멤피와 압력계, 작업영역으로의 취출을 위한 팬과 디퓨저로 구성되어 있다.

측정대상의 온열환경을 파악하기 위하여 실험실 내 작업영역에 설치된 열전대와 중앙점의 계측기를 이용하여 실내온도, 상대습도, 기류속도, 작용온도, 신 유효온도를 측정하였다.

Table 1은 실험 설정조건을 보여주는 것으로, 취출공기의 전체 풍량은 300 CMH로 설정하였고, 개별 공조의 경우에는 전체의 30%를 PEM을 통해 취출되도록 하였다. 취출공기의 온도조건은 22℃, 24℃, 26℃로 2℃씩 변화를 주었고, 외기 설정은 온도만을 30℃로 제어하였다. 그 외 실험을 위한 설정값들은 일정 범위의 값을 갖도록 설정하였다.

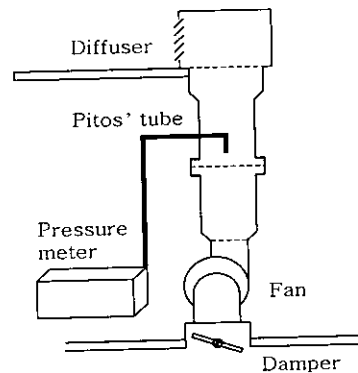


Fig. 2 Details of PEM.

Table 1 Experimental condition

Case	Room air temperature [°C]	Relativ humidity [%]	Air velocity [m/s]	Ratio
A	22	40~60	1.0~1.2	7 : 3
	24			
	26			
B	22	40~60	1.0~1.2	10 : 0
	24			
	26			

* Case A : UFAC+PAC, Case B : UFAC.

3.2 피부온도 및 온열감 측정

실내온열환경에 대한 피험자의 주관적 온열감을 파악하고, 그 결과를 PMV와 비교하기 위하여 피험자를 대상으로 피부온도 측정 및 온열감 조사를 실시하였다. 실험은 사무소 근무시간대에 해당되는 오전 9시부터 오후 7시까지를 대상으로 하루 총 10시간 동안 실시하였다. 그러나 개별 공조시스템의 특성으로 인해 2시간이 소요되는 매번의 실험에 한 명의 피험자만이 실험에 참여할 수 있었고, 또한 공조기의 정밀제어가 어려운 현실과 실험에 참여하는 피험자에게 동일한 환경의 제공이 무엇보다도 주요한 문제로 지적되었다. 따라서 본 실험에서는 참여하는 피험자들로 하여금 동일 조건에서 피부온도 측정 및 설문 조사를 받기 위하여 하루 동안 실험 가능한 인원수에 해당하는 5명의 피험자에 한하여 실험을 실시하였다. 이때 피험자는 매 실험당 1명을 입실토록 하였고, 착의량 및 활동량에 엄격한 제한을

Table 2 Time table of thermal sensation vote

	1	2	3	4	5	6	7
Period for stability of occupants	----- ----- ----- ----- ----- ----- -----						
	30	40	50	60	70	80	90

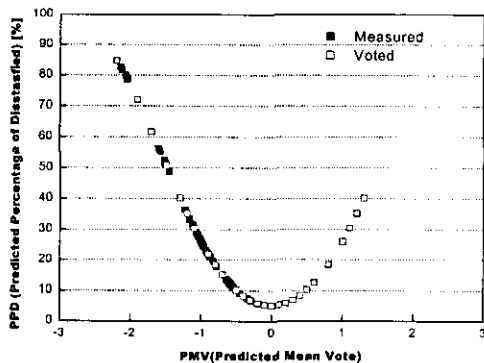
두어 복장은 하절기 실내 정상복인 팬티, 런닝셔츠, 반팔 티셔츠, 바지를 착용하였으며 의복 열저항 단위인 clo 값은 0.49 clo이다. 실험 중 피험자의 활동은 가만히 앉은 자세의 가벼운 움직임만 허용하였고, 이때 대사량은 1.0 met 정도이다. 피부온도 측정은 피험자 신체 9점(얼굴, 가슴, 등, 복부, 팔, 손등, 대퇴, 종아리, 발등)에 열전대를 부착하여 신체 부위별 피부온도와 평균 피부온도를 측정하였다.

피부온도 측정 동안 피험자는 주관적 온열감 조사를 위한 설문을 받았는데 이는 ASHRAE에서 제시한 온열감 7단계 척도⁽⁴⁾를 사용하였다. 또한 Table 2는 주관적 설문을 실시하는 시간간격을 보여주는 것으로, 실험이 시작되는 시점부터 30분간은 피험자의 급기 온도조건에 적응하는 시간으로 보아서, 30분 이후부터 10분 간격으로 60분 동안 매 실험마다 총 7번의 설문 신고를 받았다.

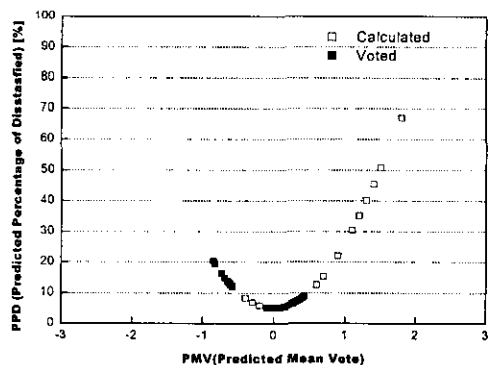
4. 측정결과 및 고찰

4.1 PMV와 PPD의 분포

Fig. 3의 (a)는 개별 공조시스템에서의 계측기를 통하여 실측된 PMV와 PPD를 설문조사에 의하여 조사된 TSV와 DP(Dissatisfied Percentage)



(a) PAC system [Case-A]



(b) PAC+UFAC system [Case-B]

Fig. 3 Distribution of PMV with PPD.

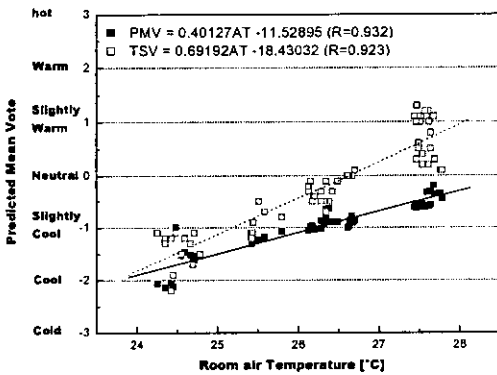
와의 분포를 나타낸 것이다. 실측된 PMV의 범위는 $-0.18 \sim -2.14$ (평균 -0.99)로써 전체적으로 약간 서늘하다는 쪽으로 조사되었으나, 피험자 설문에 의한 TSV는 $-2.20 \sim 1.30$ (평균 -0.25)의 범위로 약간 서늘하다거나, 따뜻하다고 응답했으나 비교적 쾌적에 가까운 응답을 나타냈다. 또한, 온열적 중립($PMV=0$)을 기준으로 따뜻한 쪽에서의 불만족보다 서늘한 쪽에서의 불만족이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

Fig. 3의(b)는 바닥급기 공조시스템에서의 결과이며, PMV가 $-0.85 \sim 0.43$ (평균 -0.09)의 범위로 쾌적에 근접한 응답을 보였고, TSV의 경우에는 $-0.4 \sim 1.8$ (평균 0.4)의 범위로 약간 따뜻한 쪽으로 조사되었다. PMV, TSV 모두에서 공조방식에 따른 중립온도의 차이를 발견할 수 있는데, 이는 피험자 가까이에서 신체로 직접 취출되는 냉기의

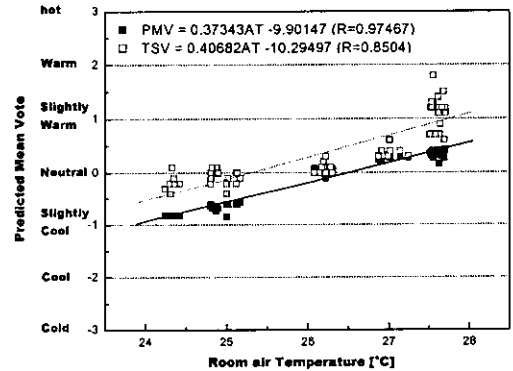
영향으로, 다소 높은 실내온도에서도 쾌적을 느끼기 때문인 것으로 사료된다. 또한 두 가지 공조시스템에서 공통적으로 PMV의 경우 서늘한 쪽으로, TSV의 경우 중립이거나 따뜻한 쪽으로 나타났다.

4.2 온열환경 요소와 PMV

Fig. 4의 (a)는 Case-A에서 실내온도(Room air Temperature, RT)와 PMV(TSV)의 상관관계를 나타낸 것이다. ISO 권장 쾌적범위($-0.5 < PMV < 0.5$)⁽⁶⁾에서 중립을 나타내는 RT는 PMV인 경우 28.83°C ($27.55 \sim 30^{\circ}\text{C}$)로 TSV인 경우의 26.71°C ($25.98 \sim 27.4^{\circ}\text{C}$)보다 2.12°C 높게 나타났다. 또한 기술기의 정도로 보아 TSV의 경우에서 더 민감한 반응을 보이는 것으로 나타났다.

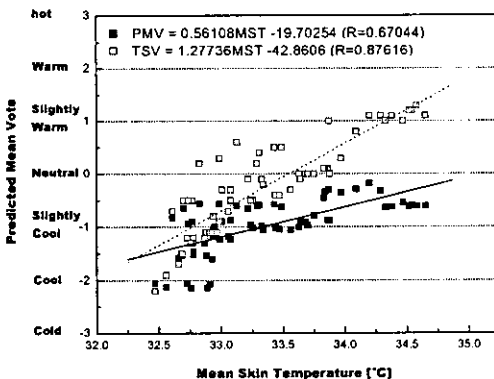


(a) PAC system [Case-A]

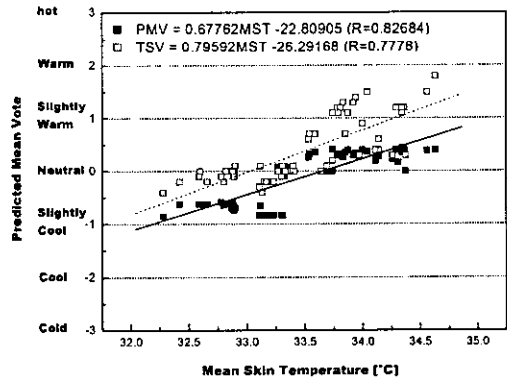


(b) PAC+UFAC system [Case-B]

Fig. 4 Correlation of PMV (TSV) with RT.

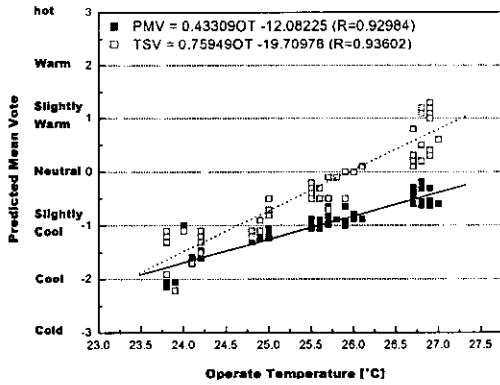


(a) PAC system [Case-A]

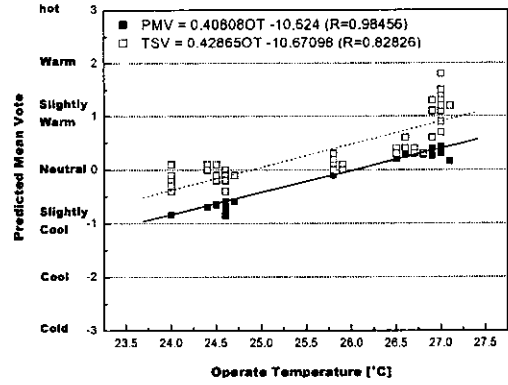


(b) PAC+UFAC system [Case-B]

Fig. 5 Correlation of PMV (TSV) with MST.



(a) PAC system [Case-A]



(b) PAC+UFAC system [Case-B]

Fig. 6 Correlation of PMV (TSV) with OT.

Fig. 4의 (b)는 Case-B의 경우로써, PMV의 경우 온열 중성점은 26.7℃(25.41~28.1℃)로 TSV의 25.1℃(23.87~26.31℃)보다 1.6℃ 정도 높게 나타났지만, PMV, TSV의 기울기 정도가 비슷하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

Fig. 5는 평균 피부온도(Mean Skin Temperature, MST)와 PMV(TSV)의 상관관계를 나타낸 것으로, Case-A에서 PMV의 경우 중성점 온도는 35.18℃(34.29~36.07℃)로 TSV일 때의 33.55℃(33.13~33.9℃)와 1.68℃ 차이가 있고, 역시 TSV의 경우에서가 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. Case-B일 때 PMV의 중성 온도는 33.54℃(32.80~34.28℃)로 TSV의 33.03℃(32.25~33.5℃)와 0.51℃의 근소한 차이를 보였다. 그러나 PMV와 MST의 경우 다른 지표와 비교하여 상관성이 다소 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 신체부위에 가깝게 위치한 취출구에서 피험자에 직접 전달되는 냉기가 피부온도의 증감과 피부에 부착된 센서에 직접 영향을 미친 것으로 보여진다.

Fig. 6의 작용온도(Operate Temperature, OT)와 PMV의 관계에서는 Case-A의 PMV 경우는 28.09℃(26.93~29.26℃)로 TSV의 25.93℃(25.28~26.59℃)보다 2.16℃의 중성점 온도차를 나타냈다. Case-B의 PMV는 25.9℃(24.68~27.12℃)로 TSV의 24.81℃(23.65~25.98℃)보다 1.09℃ 높은 온도에서도 쾌적(TSV=0)을 신고하는 것으로 나타났다.

온열 환경지표들과 PMV(TSV)와의 관계에서 살펴보면, TSV는 PMV에 비하여 공조방식에 따른 영향을 크게 받는 것으로 나타났고, 또한 더

넓은 범위를 가지면서 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 이는 온열환경요소의 중립온도값의 차이뿐 아니라 값의 변동폭 및 정도에도 영향을 끼쳐 거주자의 쾌·불쾌감이 크게 작용을 할 수 있기 때문에 개별 공조시스템에서 사용된 PEM의 위치 및 거주자와의 거리 등에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 여름철 바닥급기 공조시스템과 개별 공조시스템을 적용한 인공기후 실험실에서 온열환경의 쾌적성을 평가하고 온열환경 쾌적 종합지표인 PMV와의 상관관계를 조사하기 위한 실험으로 다음과 같은 결과를 얻었다

(1) 두 가지 공조시스템에서 공통적으로 PMV의 경우 약간 서늘한 쪽으로, TSV의 경우 중립이거나 약간 따뜻한 쪽으로 나타나, PMV에 의한 쾌적범위를 적용할 경우 TSV의 경우 다소 고온 쪽에서 불만족률이 증가함을 보였다.

(2) 개별 공조시스템과 바닥급기 공조시스템의 공조방식 차이에 따른 온열감의 영향은 실측 온열감인 PMV보다 응답온열감인 TSV에서 더 크게 나타나고, 온열환경요소 변화에 민감하게 반응하며, 넓은 범위를 가지고 변하는 것으로 나타났다.

(3) PMV와 온열감 조사에 의한 TSV와의 비교에서, 전체적으로 PMV에 의한 쾌적범위가 TSV에 의한 범위보다 높게 나타났다. 그리고 개별 공조의 경우 TSV는 PMV에 비해 온열환경요소의 변화에 민감한 것으로 나타났고, 바닥급기 시

스텝의 경우 중성점 값의 차이는 보이지만, PMV와 비슷한 기울기로 나타났다.

후 기

본 연구는 1999년도 한국과학재단 연구지원(과제번호 : 1999-2-31000-003-3)에 의한 연구의 일부로서, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Chung, K. S., 2000, A study on the design prototype development of underfloor air-Conditioning system (UFAC) for improving indoor environment, SAREK, Vol. 12.4, pp. 325-336.
2. Kum, J. S. etc., 1998, Experimental study on thermal comfort sensation of korean, Korean Journal of The Science of Emotion & Sensibility, Vol. 1, pp. 199-211.
3. Fanger, P. O., 1982, Thermal comfort-analysis and application in environmental engineering, McGraw-Hill Book Company.
4. ASHRAE, 1992, Thermal environmental conditions for human occupancy, ANSI/ASRAE Standard 55-1992.
5. ISO 7730, 1995, Moderate thermal environmental-determination of the PMV and PPD indices and specification of conditions for thermal comfort.