

인체의 온열환경 적응을 고려한 여름철의 실온 쾌적변동 제어에 관한 연구

이 주 연[†]

LG전자 디지털 어플라이언스 연구소

A Study on the Room Temperature Control Methods Considering Human Thermal Comfort Under Hot and Humid Condition

Ju-Youn Lee[†]

Digital Appliance Research Lab. LG Electronics Inc., Seoul 153-802, Korea

(Received March 3, 2008; revision received April 7, 2008)

ABSTRACT: The purpose of this study is to investigate the effects of changing air temperature and the changing on/off periods of the air-conditioner system. Adding to that, this paper discuss is to consider the effects of air temperature with the air-conditioner system upon the human thermal comfort. The experiment is conducted during the summer. The subjects (6 young females) are exposed to the following conditions: combinations of 2 Swing and 2 Linear air control Conditions. (2 Swing during 40 min, 4 Swing during 40 min, Linear 40 min, Linear 60 min in still air and RH 50%). From the experiment, the following results are obtained; the thermal sensation vote is neutral after 90 minute. The mean skin temperature ranged about 34°C at all conditions. The skin temperature was greatly affected by 2 Swing big amplitude condition.

Key words: Airflow control(기류제어), Thermal environment evaluation(온열환경평가), Thermal sensation vote(온열감), Skin temperature(피부온도)

1. 서 론

쾌적한 냉방환경에 관한 많은 연구가 보고되고 있는데, 최근의 연구로는 에어컨에 의한 쾌적냉방 온도, Ceiling Fan 또는 선풍기에 의한 기류의 서열환경 완화효과, 천장면, 바닥면의 냉각에 의한 복사 냉방의 효과 등의 연구가 있다. 또한, 에너지 절약과 냉증대책의 관점에서 실온을 약간 높게 설정하든지, 선풍기의 기류에 의한 냉각효과를 이용하는 것 등이 권장되고 있다. 그러나, 냉방 시 단

순히 실온을 높게 설정하면 서열 환경에서 실외에서 입실 했을때 약간 덥게 느끼는 경우가 많고, 온열 감각적인 불만의 증가가 예상된다. 이러한 열적 불쾌감을 최소화하기 위해서는 처음에 약간 서늘하게 느끼는 약간 낮은 실온으로 조절하고, 인체의 열적적응을 고려하여 실온변화를 느낄 수 없도록 실온을 점차로 상승시키는 방법을 생각할 수 있다.

지금까지의 연구에서도 기류의 방향, 기류온도, Draft에 관련된 연구는 검토되어지고 있으나,⁽¹⁻³⁾ 그 온도조절 범위, 미세한 온도 변동에 관련된 논문은 Kubo,⁽⁴⁾ Terazawa⁽⁵⁾의 연구가 대부분이다.

본 연구는 여름철에 더운 실외로부터 실내로 이동하는 경우를 가정하여, 먼저 실온을 약간 저온으로 변화시켜, 점점 상승시키는 경우의 실온이

[†] Corresponding author

Tel.: +82-19-9144-7695; fax: +82-2-6915-1069

E-mail address: leejuyoun@lge.com

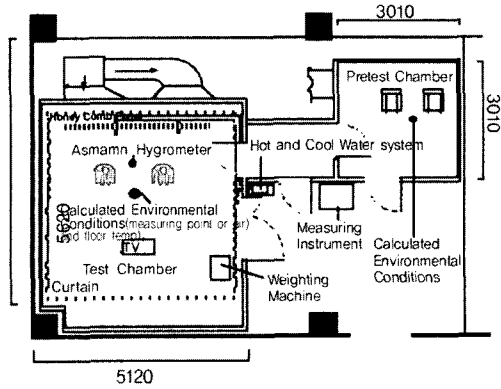


Fig. 1 Plan of climate chamber.

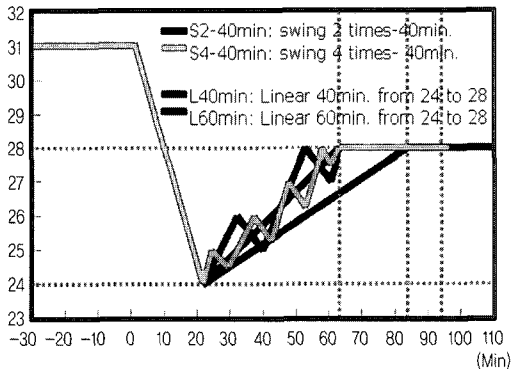


Fig. 2 Experimental conditions.

Table 1 Experimental conditions

Experimental Conditions	
S2-40 min	2 Swing during 40 min
S4-40 min	4 Swing during 40 min
L40 min	Linear 40 min
L60 min	Linear 60 min

인체에 미치는 영향에 관하여 변동시간, 변동온도의 효과를 검토하고, 인체의 열적적응을 포함한 여름철의 쾌적실온 제어법의 제안을 의도하고 있다. 그리고, 냉방 온열환경실험을 통해 냉방 시 최적 제어 알고리즘을 개발하고, 온도 변동의 역치를 파악하는 것이 본 연구의 연구목적이라 할 수 있다.

2. 실험계획

2.1 실험실 및 장치

2.1.1 인공기후실

실험은 나라여자대학교 생활환경학부 환경조절 실내에 설치된 인공기후실을 이용하여 실시하였다. 인공기후실은 실험실로는 A실 (W4.5m × D5m, H2.5), 전실에는 B실(W3m × D3m, H2.5)을 사용하였다. 바닥전면으로부터 기류를 취출, 천장면 전면에 흡입되는 순환식 타입의 인공기후실이고, 프로그램제어에 의해 실온, 습도, 기류속도가 조절 범위 내에서 자유롭게 제어 가능한 장치이다. 실내 중앙에 의자를 설치해, 피험자는 의자에 앉은 안정 상태에서 설정 온열환경 조건에 노출되도록 하였다. 피험자의 옆에는 컴퓨터를 두어서 일정시간 간격으로 온열감각평가를 실시하였다. Fig. 1에 실험실 평면을 나타내었다.

2.2 설정조건

2.2.1 온열환경조건

Table 1에 설정 온도 조건을 설명하였다. 초기 조건으로서 30분간은, 실온 31°C, 상대습도 60%, 정온 기류로 조절한 후, 냉방 실온으로서 24°C로 하강시켜 20분 후부터 28°C로 직선적으로 상승시킨 경우, (상승시간 40분, 60분) 또는 변동 폭을 가지고 상승시켰을 경우(상승시간 40분, 변동진폭 3°C, 1.5°C)의 4조건으로 설정한다. 상대습도는 60%, 기류는 0.1m/s이하의 정온(靜穩)상태로 설정하였다. 여름철의 공조시 권장 쾌적온도는 26°C로 많이 제안되고 있다. 하지만, 최근 인체 쾌적성과 에너지 Saving에 대한 요구가 커짐에 따라서 온도를 변동시켜 좀 더 높은 온도에서 쾌적감을 줄 수 있는지 검토하기 위해 기존 설정온도보다 약간 높은 온도에서 실험을 행하였다.

2.2.2 실온의 시간변화

Fig. 2에 실온의 시간변화의 예를 나타내고 있다. 기온(0.1m, 0.6m, 1.1m)은 바닥높이 0.1m에서 약간 낮은 경향이 나타나지만, 그 외에는 거의 설정 실온조건에서 변동하고 약 80분 후에는 28°C로 안정되고, 거의 설정조건으로 제어 된다고 할 수 있다. 글로브 온도는 기온에 비해 약간 뒤늦게 반응

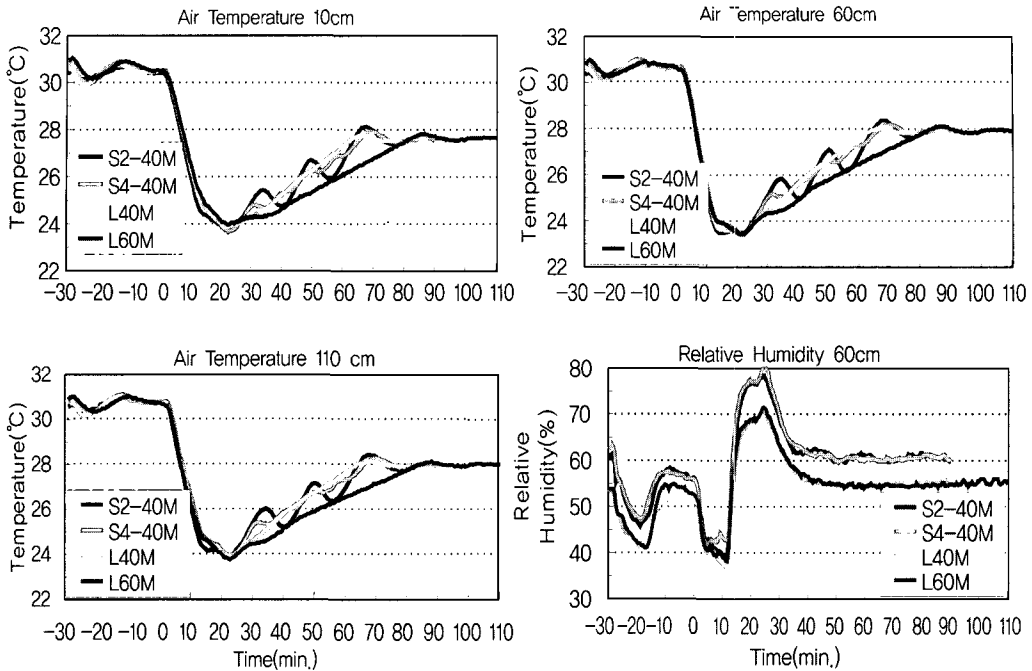


Fig. 3 Environmental conditions(air temperature height 10cm, 60cm and 110cm, RH[%] 60cm).

하고, 변동 진폭도 감소하는 경향으로 변동하고 있었다. 상대습도는 기온변동과 함께 크게 변화하고, Swing의 조건에서 5% 정도 높은 상대 습도를 나타냈다. 안정 후에는 50%~60% 정도의 값을 나타내었다.

2.2.3 인체측 조건

① 피험자 : Table 2와 Table 3에 피험자의 온도감각 또는 신체특성을 나타낸다. 건강한 여자 대학생 6명을 피험자로 채용하고, 피험자는 평균적인 체격으로, 내서성(더위에 대한 강함)은 보통, 또는 약하다고 평가하고 있다. 피험자의 신체적 특징은 Table 3에 나타내었다. 인체의 체표면적(Body Surface Area)은 일본인의 체형에 맞춘 Kurazumi식⁽⁶⁾에 의해 산출했다.

② 자세 : 노출자세는 의자에 앉은 자세로 실험을 행했다. 전실은 기온 27℃ 상대습도 50%의 환경에서 의자에 앉아서 30분간 안정을 취하고, 본 실험실에 입실하여 기류 냉방환경에 노출시켰다.

③ 착의량 : 피험자의 착의량은 Hanada⁽⁷⁾의 의복 중량법에 따라 반소매 T-shirt, 반바지, 속옷으로 약 0.32 clo였다.

2.2.4 측정항목 및 방법

① 온열환경요소 : 온열환경요소로서 인공기후실 중앙에 있어서 기온(바닥 높이 0.1 m, 0.6 m, 1.1 m), 글로브 온도(0.6 m), 상대습도(0.6 m)또는 바닥, 벽, 천장의 표면 온도를 Φ 0.1 mm 열전대(Thermocouple)를 12ch Hybrid Recorder로 30초 간격으로 연속적으로 측정하고, 기류속도는 실험 개시전에 측정한다. 상대습도는 대형 아스만(Asmann) 통풍 건습계로 측정하였다. 기류속도는 0.1m/s이하로 안정시켰다.

② 생리적 반응 : 인체 반응으로서 피부온도(Skin Temperature)는 Φ 0.1 mm 열전대를 피부 표면 14곳

Table 2 Feel the cold and hot of subject

Subject	Native Place	Feel the Cold	Feel the Hot	Sweat
A	Nagano	Normal	Weak	A lot
B	Wakayama	Weak	Normal	Normal
C	Nagasaki	Weak	Weak	A little
D	Nagano	Weak	Normal	A lot
E	Osaka	Normal	Normal	Normal
F	Ishikawa	Very Weak	Normal	A lot

Table 3 Physical condition and characteristics of subject

Subject	Age [yr.]	Height [cm ²]	Weight [kg]	As [m ²]	Body fat [%]	BMI [kg/m ²]
A	19	160	52.8	1.54	24.2	20.6
B	20	156	52.4	1.51	26.5	21.5
C	18	154	49.4	1.47	25.1	20.8
D	21	161	55.7	1.58	27.9	21.5
E	22	158	51.4	1.51	23.8	20.6
F	24	156	57.9	1.57	29.5	23.8
AVG	21.7	157.5	53.3	1.53	26.2	21.5
STD	±3.0	±2.7	±3.1	±0.04	±2.2	±1.2

에 부착하고 30초 간격으로 측정하였다. 직장온도(Rectal Temperature)은 피부온도와 같이 30초 간격으로 측정하였다. 평균 피부온도(Mean Skin Temperature)는 Hardy and Dubois⁽⁸⁾의 12점법으로 산출하였다. 혈압, 심박수, 체중은 실험 전후에 측정하여, 체중감소량을 구하였다.

③ 심리적 반응: 심리적 반응은 온열환경 평가지표에 따른 전신 및 부위별 온열감(Thermal Sensation Vote-9단계), 쾌적감(Thermal Comfort Vote-7단계), 천장 온도에 대한 만족감 등의 평가를 10분 간격으로 실시했다.

2.3 실험 순서

실험의 진행 스케줄은 피험자는 인공기후실에 입실 시킨 후 피부온도 측정 센서를 장착하고, 의자에 앉아서 안정을 취하였다. 입실 30분 후부터 실온을 하강시켜, 24℃로 제어하면서 20분간 노출시킨 후, 그 후 설정조건으로 제어하고, 냉방실온을 28℃로 상승시켜 일정하게 한다. 실험은 냉방실험으로 온열감의 계절적 영향을 배제하기 위해 여름철(7~8월)에 진행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 인체 생리 반응의 영향

3.1.1 온도조건별, 부위별 피부온의 분포

실온의 부위별 피부온도에 미치는 영향은 몸통

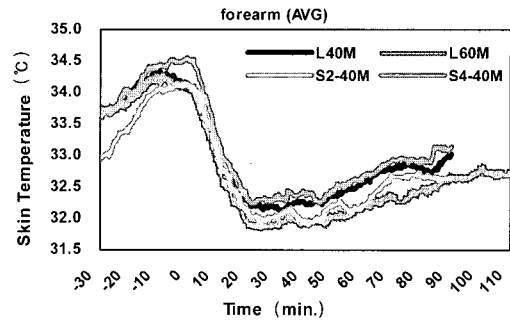


Fig. 4 Changes in forearm temperature with air temperature.

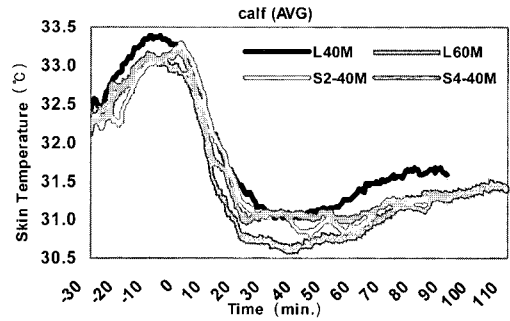


Fig. 5 Changes in calf temperature with air temperature.

에서는 그 영향이 작고, 말초부에서는 크게 나타났다. 또, 전완부 또는 하퇴부의 피부온도가 평균 피부온도 및 전신 온열감과 연관성이 높다는 것이 지금까지의 연구결과로 밝혀졌고, 이것의 피부온도 변동에 관해서 검토한다.

3.1.2 전완부 피부온도

Fig. 4에 전완부 피부온도의 시간변화를 조건별 평균값으로 나타낸다. 직선 40분 변화(L40M)의 상승시간이 짧은 경우에는 피부온도상승이 빠른 경향이 나타나고, 피부온도에의 영향이 크다는 것을 시사한다. 이것에 비해 직선 60분 변화(L60M)의 변화시간이 긴 경우에는 짧은 경우에 비해 피부온도의 상승이 천천히 일어나는 경향을 나타냈다. 이것은 시간 변화가 짧은 경우에 비해 실온상승의 영향이 작다는 것을 나타내고, 초기 냉방온도의 영향이 장시간 유지되는 것을 나타낸다고 생각된다. 또한, 실온을 변동시키면서 상승시키는 경우, 변동진폭이 큰 변동(S2-40M)에는 실온 변

동과 함께 피부온도 변동하는 경향이 나타난다. 이것에 비해 진폭이 작은 변동(S4-40M)의 경우, 실온상승과 함께 피부온도는 약간 상승하는 경향을 나타내고 있으나, 실온 변동의 영향이 거의 보이지 않았다. 게다가 단시간 변화에서 직선변화와 진폭이 작은 변동의 경우의 피부온도 변화를 비교하면 진폭이 작은 경우가 피부온도 상승이 작은 경향을 나타낸다. 이것은 변동진폭을 작게 하는 것으로, 실온 상승의 영향을 억제 가능하다는 것을 시사한다.

3.1.3 하퇴부 피부온도

Fig. 5에 하퇴후부의 피부온도의 시간변화를 조건별 평균값으로 나타낸다. 직선 40분 변화(L40M)의 경우에는 피부온도 상승이 작은 경향을 나타냈고, 90분 후에는 31℃~32℃의 범위에 있었다. 이것에 비해, 직선 60분 변화(L60M)의 경우에는, 단시간 변화에 비해 피부온도의 상승이 천천히 일어나고, 일부를 제외하고 0.5℃ 낮게 나타나고 있다. 이것은, 단시간 변화에 비해 실온상승의 영향이 작지만, 전완부와 같이 초기 냉방온도의 영향이 장시간 유지되는 것을 의미한다. 또한, 진폭이 큰 변동(L2-40M)에서는 다른 조건과 같이 피부온도의 상승은 작지만, 실온 변동에 의한 피부온도의 변동은 인정된다. 이것에 비해, 진폭이 작은 변동(S4-40M)의 경우에는, 피부온도의 상승도 작고, 실온 변동의 영향이 거의 나타나지 않는다. 이것으로, 단시간 직선 변화에서는 피부온도의 상승이 다른 조건에 비해 약간 크고, 단시간 변동에는 진폭이 크면 실온 변동이 피부온도의 변동에 영향을 미치는 것이 나타나고, 단시간 진폭이 작은 변동과 장시간 직선상승의 경우에는 피부온도의 상승이 작지만, 천천히 장시간에 걸쳐 열적으로 적응하면서 상승시키든지, 변동진폭을 작게 하는 것으로 피부온도에의 영향을 억제가능하다는 것을 시사하고 있다.

3.1.4 부위별 피부온도의 분포

Fig. 6에 90분 후의 부위별 피부온도 분포를 조건별 평균치로 나타낸다. 전체적으로 장시간 직선상승하는 경우에는 피부온도는 낮은 경향을 나타내고, 특히, 하지 말초부에서 조건에 따라 차이가 나타나고, 각 부위별 피부온도의 검토에서는 온도 조건의 차가 크지 않은 관계로 큰 차이는 나타나

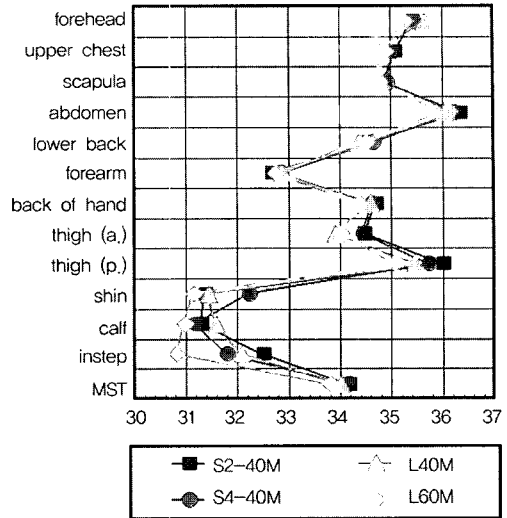


Fig. 6 Changes in skin temperature with air temperature.

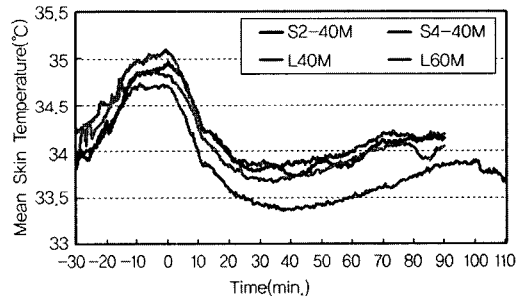


Fig. 7 Changes in mean skin temperature with air temperature.

지 않았지만, Linear하게 40분, 60분 상승시킨 조건에서 손, 대퇴부, 하퇴부, 발 부위의 말초부위에서 약간 더 낮은 피부온도의 분포를 나타냈다. 일반적으로 Swing의 온도를 상승, 하강 시킨 조건에서 피부온도의 저하를 막을 수 있다는 연구결과와 일치한다.

3.1.5 평균 피부온도의 시간변화

Fig. 7에 평균 피부온도의 경시변화를 조건별 평균치로 나타내었다. 실온 31℃에 노출시 평균 피부온도는 약 34.7~35℃로 상승하고 있다. 실온 24℃로 하강시키면 피부온도는 약 1.2℃저하한다. 그 후, 실온상승과 함께 평균 피부온도 약간 상승하고 있다. 조건별로 비교해보면, 장시간 직선변화

로 가장 낮고, 다른 조건에서는 거의 34℃가 된다. 또한, 단시간 큰 진폭의 변동에는 피부온도 변동에 실온변동의 영향이 나타나고, 변동진폭이 크게 나타날 것이라고 생각된다.

3.2 인체 심리 반응의 영향

3.2.1 전신 온냉감 변화의 시간변화

Fig. 8에 전신 온냉감 평가의 시간변화를 조건별 평균치로 나타내었다. 실온 31℃의 경우는 모든 조건이 따뜻하다는 평가를 나타내고 있지만, 24℃에서는 시원하다는 쪽의 평가를 나타내고 있다. 실온 상승과 함께 열적 중립쪽의 변화를 나타내고, 상승, 하강에 의해 평가도 변화하지만, 90분 후에는

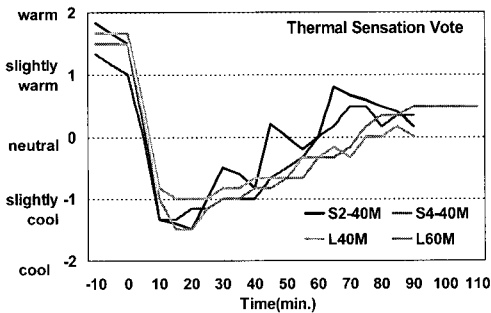


Fig. 8 Changes in thermal sensation vote with air temperature.

다른 조건과 동일한 평가를 나타냈다. 온열감 평가에 있어서 실온 변동에 따라 그 영향이 크다는 것을 시사한다.

3.2.2 90분 후의 전신 온냉감 평가

Fig. 9에 90분 후의 전신 온냉감 평가의 평균치를 조건별로 나타내었다. 전체적으로 거의 열적중립의 평가를 나타내고 있다.

3.2.3 쾌적감 평가의 시간변화

Fig. 10에 시간변화에 따른 쾌적감 평가를 조건별로 평균치로 나타내었다. 실온 31℃에서는 약간 불쾌하다는 평가를 나타내고, 실온이 24℃로 하강하면, 쾌적측의 평가로 변화한다. 그 후, 실온 상승

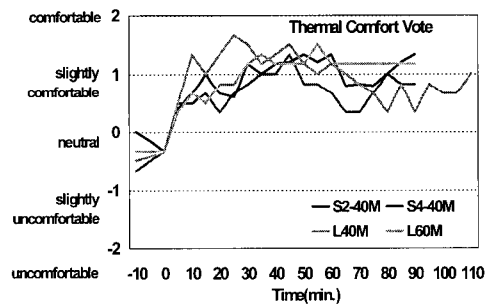


Fig. 10 Changes in thermal comfort vote with air temperature.

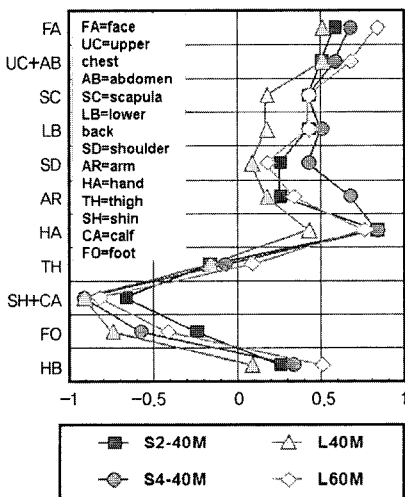


Fig. 9 Changes in body parts with thermal sensation vote.

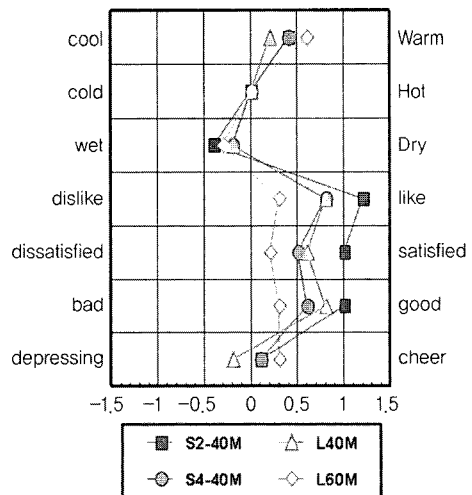


Fig. 11 Thermal environment evaluation.

과 함께 0(어느 쪽도 아니다)측으로 변화하며, 90분 후에는 +1(약간 쾌적하다)의 평가를 나타내어, 실온 28℃가 불쾌하지 않은 조건이라고 말할 수 있다.

3.2.4 온열환경평가

온열환경평가에서는 좋다, 싫다, 만족, 불만, 좋다, 나쁘다의 평가에 있어서 조건에 따른 차이가 나타난다. 변동 진폭이 큰 경우, 60분 직선상승의 평가가 0(어느 쪽도 아니다)라고 나타난다. 이것은 온열자극이 크고, 피부온도와 온냉감 평가에의 영향이 큰 조건이고, 어느 정도의 자극을 동반하는 것이 쾌적성을 유지하는 것을 시사한다고 판단된다. 기류의 쾌적성 평가에 있어서도 이것이 시사되고 있고, 쾌적성을 유지하기 위해서는 실온변동에 의한 어느 정도의 온열자극을 계속하는 것이 필요하다는 것을 시사하는 결과라고 할 수 있다.

4. 결 론

4.1 실온 변동제어의 종합적 고찰

에너지 절약과 냉증 대책을 고려하여, 냉방 실온을 약간 높게 설정해도 온열적으로 불만을 유발하지 않게 하기 위해 쾌적 실온의 제어를 검토했다. 처음에는 약간 낮은 실온으로 조절하고, 인체의 열적 적응을 고려하여 실온변화를 느끼지 않게 하기 위해 조금씩 실온을 상승시키는 실험을 행하고, 실온의 변동시간 및 변동진폭의 영향으로부터 나타난 여름철의 쾌적실온 제어법에 관한 피험자 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 피부온의 영향에서 40분 큰 진폭변동의 경우에는 전완부, 하퇴부, 평균 피부온도에 실온변동의 영향이 나타나고, 60분 직선 상승에 비해, 피부온의 상승이 크다는 결과가 나타났다.

(2) 온냉감 평가에의 영향은, 90분 후에는, 온열적 중립이라는 평가를 나타내고, 실온 변동시에는 진폭이 큰 경우에는 온냉감의 변동이 인정되었다.

(3) 쾌적감 평가에는 약간 쾌적하다 라는 평가를 나타내고, 각 조건간에 큰 차이는 나타나지 않았다.

(4) 온열 환경평가에는 <좋다·싫다>, <만족·불만>, <좋다·나쁘다>의 평가로 조건에 따른 차이가 나타나고, 40분 큰 진폭 변동이 가장 높은 평

가를 얻고 있다. 이것은 쾌적성을 유지하기 위해서는 변동 기류가 효과적이라는 지금까지의 연구 성과와 일치하는 결과로 판단된다.

이상의 결과로, 냉방온도를 약간 높게 하여 쾌적성을 유지해가는 것은, 실온 변화를 느끼지 못하도록 천천히 변화 시킨다 해도, 어느 정도의 온도진폭을 가진 실온변동이 유효하다고 생각된다. 그러나, 이 결과는 6명의 성인여자를 피험자로 한 결과이므로, 피험자를 늘려서 하는 것이 더 바람직한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구에 귀중한 조언을 해주신 나라여자대학교의 이소다 노리오 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

1. Kum, J. S., Kim, D. K., Choi, K. H., Lee, N. B., Im, J. J., Choi, H. S. and Bae, D. S., 2002, Evaluation of thermal comfort on temperature differences between outdoor and indoor thermal conditions in summer, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 11, pp. 890-896.
2. Lee, J. Y., Ahn, C. O., Cheong, B. Y. and Cho K. S., 2002, Investigate of Human Body Sensitivity to Local Cooling, Journal of Korean Society Living Environment System, Vol. 9, No. 3, pp. 254-259.
3. Lee, J. Y., Choi, H. S., Lee, G. S., Huh, D. and Cho, K. S., 2001, Physiological and psychological effect of the new control algorithm adapted to thermal sensibility, Journal of Korean Society Living Environment System, Vol. 89, No. 3, pp. 284-291.
4. Hiroko Kubo, Norio Isoda and Hikaru Enomoto-Koshimizu, 1997, Cooling effects of preferred air velocity in muggy conditions Building and Environment, Vol. 32, No. 3, May 1997, pp. 211-218.
5. Takegawa Hirozo. et al., 1996, Development of temperature control technology utilizing physical and psychological responses in changing

- room temperature, Proceeding of the 20 th symposium on Human-Environment System, pp. 43-46.
6. Kurazumi, Y. et al., 1999, The effective radiation area and configuration factor for the person sitting on a floor, J. Archit. Plann. Environ. Eng., AIJ, No. 479, pp. 27-33.
 7. Hanada, Y., Mihira, M. and Ohhata, K., 1981, Studies on the thermal resistance of women's underwear, Japan Res. Assn. Test. End-Uses., Vol. 22 No. 10, pp. 31-41.
 8. Hardy, J. D. and DuBois, E. F., 1938, The technique of measuring radiant and convection, Journal of Nutrition, Vol. 15, No. 5.
 9. ASHRAE55-1992, Thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE Atlanta.