

여름철 실내외온도차에 따른 인체의 온열쾌적성 평가

배동석¹, 이낙범², 금종수¹, 최호선³, 김동규¹, 최광환¹
 부경대학교 냉동공조공학과¹, 인제대학교 의용공학과², LG전자³

Evaluation of Thermal Comfort on Temperature Differences between Outdoor and Indoor Thermal Conditions in Summer

Bae Dong Seok¹, Lee Nak Bum², Kum Jong Soo¹,
 Choi Ho Seon³, Kim Dong Gyu¹, Choi Kwang Hwan¹

Dept. of Refrigeration & Air-conditioning Eng., Pukyong National University¹

Dept. of Biomedical Eng., Inje University²
 LG Electronics Inc.³

1. 서론

여름철 일반적으로 공조가 되는 건물의 실내 설정온도는 24~26℃로 하고 있다. 공조가 되는 건물의 실내온도 범위가 이처럼 제한되어 있는 반면 여름철 최고 외기온은 29~34℃로 변화 폭이 크다. 특히 외기온도와 실내온도와의 차이가 크게 되면 재실자들의 냉방병 혹은 열 스트레스를 유발할 수 있다. 냉방병은 신체가 장시간 차가운데 있거나 더운 곳에서 냉방이 되는 실내로, 또는 냉방되는 실내에서 더운 실외로 갔을 때 단시간의 온도변화에 기인하는 것으로 알려져 있다(高橋美加 1997)¹⁾. 냉방병 증세를 유발하는 요인으로서 냉방만이 아니라 의복과 환경등의 복합적 영향이 고려되고 있지만 주로 냉방(너무 낮은 온도)에 의해 장시간의 “차가움”의 상태 또는 외기와 급격한 온도차에 의해 발생된다. 가까운 일본에서는 냉방병을 유발하지 않기 위한 실내외 온도차는 7℃ 이내로 할 것을 권장하고 있다. 본 실험에서는 실외에서 실내로 입실함에 따른 “열 스트레스” 측정을 통하여 실내외온도차에 따른 인체의 심리적 생리적 특성을 정량적으로 파악하고, 여름철 공조에서 냉방병 예방과 쾌적함을 제시해 줄 수 있는 적절한 실내외온도차를 찾는 것을 목적으로 하였다.

2. 본론

2.1 실험장치

임의의 외기 온도조건을 만들 수 있는 대상실과 임의의 실내 온도조건을 만들 수 있는 대상실을 인접하게 위치시켰다. 각각의 대상실은 두 대의 항온항습기로 각각 외기온도 조건과 실내온도 조건으로 제어하였다.

2.2 실험방법

1998년 8월 4일부터 8월 13일까지 부경대 건축환경설비연구실의 온열환경실험실에서 건강한 남녀 대학생 12명(남자 6명, 여자 6명)을 피험자로 선발하여 실험을 실시하였다. 각 실험은 1회에 3명의 피험자가 참가하였고, 하루에 4회 실험을 실시하였다. 각 피험자들은 임의의 외기온도로 조절되고 있는 전실에 입실하여 약 40분간 체재하면서 그 환경에 적응하였다. 전실 입실 후 35분 경 전실에서의 주관신고 및 생리신호, 피부온도, 안면부 열화상을 측정하였다.

표 1 측정항목

항목	내용
주관신고	전신온냉감, 쾌불쾌감
생리신호	심전도
피부온도	가슴, 팔, 다리
열화상	안면부 및 상체
환경물리량	실내 온도, 습도

그 후 본 실험실에 입실시켜 입실 초기 및 그 후 60분간 매 10분마다 주관신고, 생리 신호, 피부온도, 안면부 열화상을 측정하였다. 표 1에 측정항목을, 사진 1에 실험장면을 나타내었다.



사진 1 실험장면

2.3 실험조건

외기온도 조건은 여름철의 낮 시간동안 가장 일반적으로 나타나는 온도로 가정하여 29℃, 31℃, 33℃를 제공하였다. 그리고 실내 온도 조건은 각 외기온도 조건에 대해서 온도차(외기온도-실내온도)를 3℃, 5℃, 7℃가 되도록 설정하였다. 표 2에 실험 설정조건을 나타내었다.

피험자들은 모두 동일한 의복 열저항치를 가지도록 유니폼을 착용하였다. 피험자들의 의복량을 일본 Fukai의 중량법으로 계산한 결과 남자 0.36 clo, 여자 0.51 clo가 되었다. 그리고 피험자는 의자에 앉아서 가벼운 대화 혹은 설문지 작성을 하였기 때문에 대사량을 1.1 met로 가정하였다.

표 2 실험 설정조건

외기온도 (°C)	실내온도 (°C)		
	$\Delta T = 3^\circ\text{C}$	$\Delta T = 5^\circ\text{C}$	$\Delta T = 7^\circ\text{C}$
29	26	24	22
31	28	26	24
33	30	28	26

3. 실험결과 및 고찰

실험시 실제 구현된 대상실 온도를 표 3에 나타내었다. 습도는 여름철에 일반적으로 나타나는 60~70%로 전체적으로 균일하

게 되도록 하였다.

표 3 실제 구현된 실험실 온도(°C)

외기조건	실내 설정조건	외기 구현조건	실내 구현조건
29	22	29.1	22.2
	24	29.3	24.0
	26	29.7	26.1
31	24	31.7	24.4
	26	31.2	25.9
	28	30.7	27.9
33	26	32.9	26.0
	28	33.1	27.8
	30	32.8	29.8

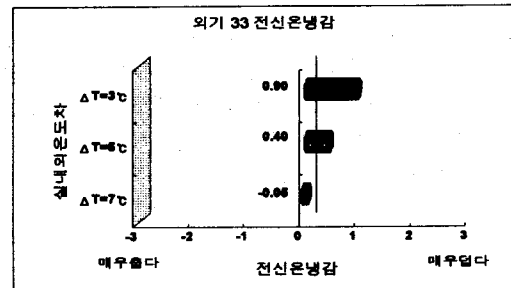
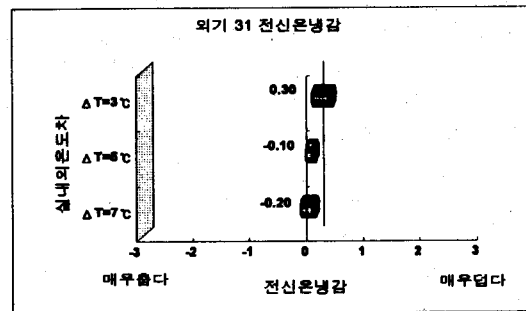
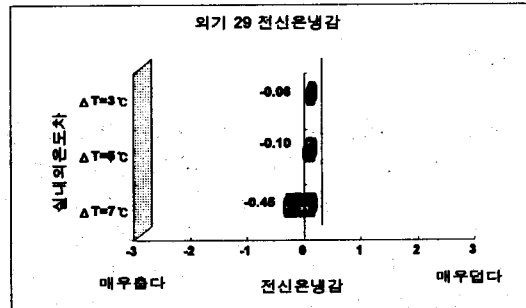


그림 1 각 조건별 전신온냉감 신고

본 실험의 목적이 실외와 실내 온도차에 따른 인체의 심리적 생리적 반응을 조사하는 것이기 때문에, 외기조건에서 실내 설정조건에 입실한 후 초기 10분 동안의 반응을 토대로 각 환경을 비교하였다.

그림 1에 각 조건별 전신온냉감 신고를 나타내었다. 실내온도 조건이 일반적인 사무실의 공조 설정조건인 24~26℃인 경우가 가장 전신온냉감적 중립에 가까운 영역으로 나타났.

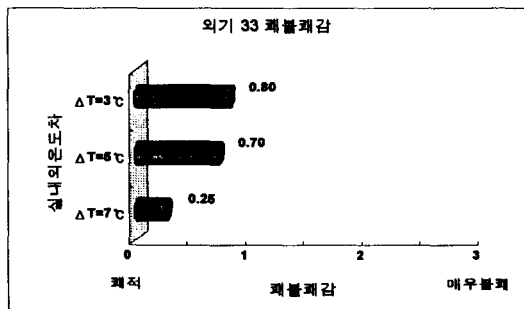
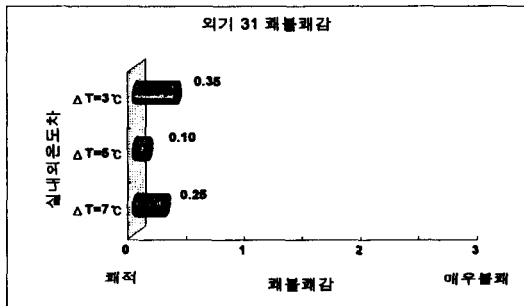
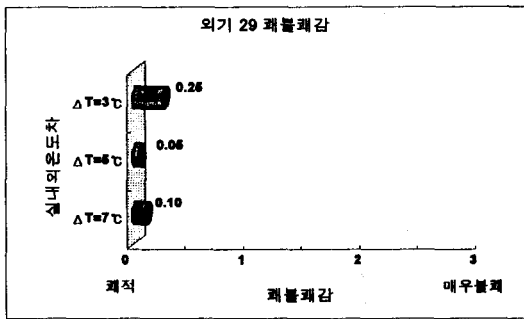


그림 2 각 조건별 쾌불쾌감 신고

온냉감적 중립영역(-0.5<TSV<0.5)에 가까운 조건은 외기가 29℃와 31℃의 조건에서는 세가지 실내외온도차 조건이 모두 포함되며, 외기가 33℃인 조건에서는 ΔT=5℃, 7℃의 조건이 포함된다.

그리고 그림 2에는 각 조건별 쾌불쾌감 신고를 나타내었다. 쾌불쾌감 신고에서도 마찬가지로 외기 조건이 29℃와 31℃조건에서는 세가지 실내외온도차 조건이 모두 쾌적영역에 포함된다고 할 수 있으며, 외기가 33℃인 조건에서는 ΔT=5℃, 7℃의 조건이 포함된다.

그림 3과 그림 4에 외기온도와 실내외온도차에 대한 전신온냉감과 쾌불쾌감을 전체적으로 나타내었다. 쾌불쾌감의 경우 실내외온도차가 3℃와 5℃인 경우는 외기온도가 높을수록 불쾌한 것으로 나타나지만 7℃인 경우는 외기온도의 증가와 거의 무관함을 알 수 있다. 실험 설정조건에서 실내외 온도차를 7℃보다 더 크게 한 조건이 있었더라면 실내외온도차별 변화추이를 더욱 정확하게 볼 수 있었을 것으로 생각된다. 전신온냉감과 쾌불쾌감 두 가지를 동시에 고려할 때 본 실험의 설정조건에서 외기온도가 32℃ 이하인 경우는 실내외온도차가 5℃로 되는 것이 적합하며 외기온이 32℃보다 높을 때는 실내외온도차가 7℃로 되는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

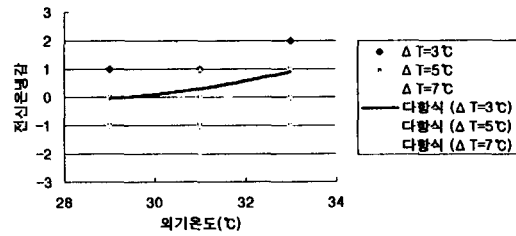


그림 3 실내외온도차에 대한 전신온냉감

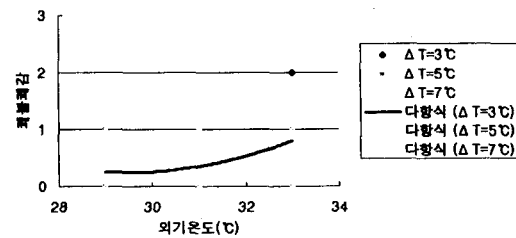


그림 4 실내외온도차에 대한 쾌불쾌감 피험자의 심전도를 토대로 HRV 분석한 결과

과를 외기환경의 온도에 따라 각각 그림 5, 그림 6, 그림 7에 나타내었다. HRV 분석은 심전도상의 R-R peak 간격을 동일간격의 시리즈로 재구성하여 HRV 신호를 구성하고 이를 파워스펙트럼 분석을 통해 관찰하면 두 개의 특징점을 가지는 대역으로 나눌 수 있게 된다. 0.04-0.15Hz의 주파수 대역을 가지는 LF(Low Frequency) 성분은 교감신경계의 활동과 혈압 조절에 관계하는 압수용체 반사의 활동을 나타내고, 0.15-0.40Hz의 주파수 대역을 가지는 HF(High Frequency) 성분은 부교감 신경계의 활동과 호흡 활동에 대한 정보를 가지는 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 교감 신경과 부교감 신경계의 우세정도를 관찰하기 위하여 HF/LF라는 파라미터를 추출한 것이다.

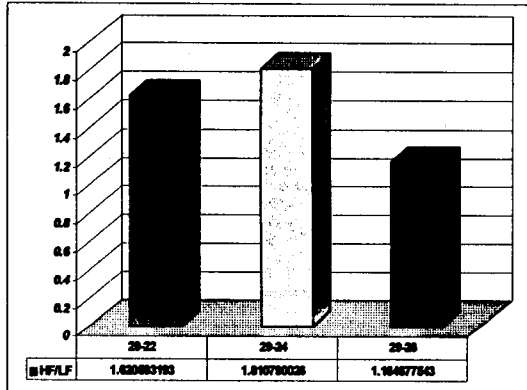


그림 5 HF/LF(외기 29℃)

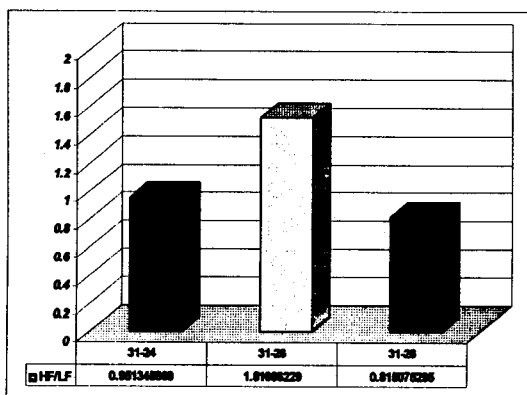


그림 6 HF/LF(외기 31℃)

결과를 살펴보면 외기온도가 29℃의 경우에는 실내의 온도차가 5℃인 실내온도 24℃에서 가장 높은 HF/LF 값이 나타났다. 외기

환경의 온도가 31℃의 경우에도 역시 5℃의 실내의 온도차를 가지는 26℃에서 가장 높은 HF/LF 값이 나타났다. 외기환경의 온도가 33℃일 때는 앞의 경우와 달리 7℃의 실내의 온도차인 26℃의 실내온열환경에서 가장 큰 HF/LF 값이 나타났다. 그리고 전체적인 결과를 살펴보면 외기온도가 낮을수록 높은 외기온도에 비해 높은 HF/LF 값을 나타내었다. 전반적으로 여름철 쾌적 영역인 24~26℃의 실내온도를 선호하는 것으로 보아, 본 실험에서는 실외의 기온보다는 실내의 온도 조건에 의해 실내의 온도차에 대한 쾌적성이 크게 좌우되어짐을 알 수 있다.

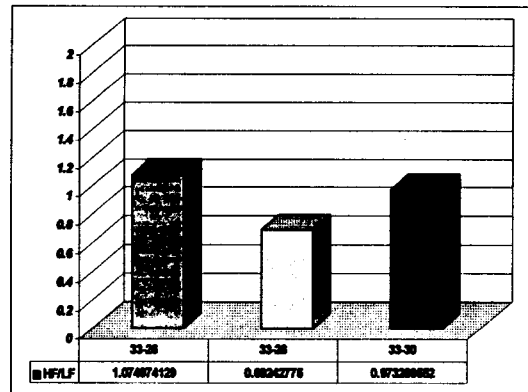


그림 7 HF/LF(외기 33℃)

4. 결론

실외온도 조건을 29℃, 31℃, 33℃로 하였고, 각 외기 온도조건에 대해 실내외온도차를 3℃, 5℃, 7℃로 한 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전신온냉감과 쾌불쾌감을 종합적으로 고려할 때 외기조건이 32℃ 이하인 경우는 실내외온도차가 5℃가 적당하며, 외기조건이 32℃ 이상인 조건에서는 실내외온도차가 7℃로 되는 것이 양호한 것으로 나타났다.

2) HRV분석을 통한 결과 외기환경의 온도가 29℃와 31℃의 경우 가장 적절한 온도차이는 5℃였고, 33℃의 경우에는 7℃가 가장 적절한 실내외온도차로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 지원 감성공학기술개발에 의해 이루어졌음을 밝힙니다.

5. 참고문헌

- 1) 高橋美加, 1997, 冷房時の室内外温度差と滞在時間が人體生理心理反應に及ぼす影響, 日本建築學會大會學術講演會論文集, pp 391 ~ 394.
- 2) 人間-熱環境系篇集委員會, 1989, “人間-熱環境系”, 日刊工業新聞社, pp 15 ~ 27.
- 3) ASHRAE, 1989, ASHRAE Handbook -1989 Fundamentals-, pp 8.1 ~ 8.29.