

여름철 한국 대학생의 열적 반응

배귀남,¹ 김명호,¹ 김영일,¹ 박경암²

한국과학기술연구원,¹ 한국표준과학연구원²

Thermal Response of College-age Korean in Summer

Gwi-Nam Bae,¹ Myoungho Kim,¹ Youngil Kim,¹ and Kyung-Am Park²
KIST,¹ KRISS²

요 약

본 연구에서는 14명의 남녀 대학생을 대상으로 열환경 챔버 내에서 여름철 열적 반응을 조사하였다. 여름철 온습도 범위에 해당하는 4가지 온도와 3가지 상대습도의 조합에 의한 8가지 조건에서 실험을 수행하였고, 주위 열환경에 대한 피험자의 심리적 반응을 살펴보기 위하여 전신온냉감과 쾌적감을 조사하였다. 조사결과를 국내 환경 실험실 연구 및 현장조사 결과와 비교하였고, 환경 실험실 연구 수행 시의 문제점을 검토하였다.

1. 서 론

열환경과 인간의 열적 반응에 대한 연구는 일찍이 19세기 말부터 미국, 유럽 등지에서 시작되었으며, 국내에서는 1970년대 후반부터 일부 대학, 연구소에서 열적 쾌적감에 대한 연구가 시작되었다. 이러한 연구는 크게 열환경 챔버를 이용한 환경 실험실 연구와 현장조사로 나뉜다. 환경 실험실 연구를 통하여 다양한 열환경 평가지표가 개발되고 있으며, 인간의 열적 반응 특성의 차이도 규명되고 있다. 그러므로, 한국인의 열적 반응을 체계적으로 규명하기 위해서는 환경 실험실 연구가 많이 수행되어야 한다. 지금까지의 국내 연구는 주로 현장조사에 치중되었으나, 최근 들어 환경 실험실 연구에 대한 관심도 높아지고 있다.¹⁻³⁾

본 연구에서는 여름철 한국인의 열적 반응에 대한

데이터를 확보하고, 환경 실험실을 이용한 연구에서 발생될 수 있는 문제점을 파악하고자 하였다. 먼저 열환경 챔버내 균일한 열환경을 구현하기 위하여 열환경 챔버의 제어 특성을 조사하였으며, 연구결과는 다른 논문에서 상세하게 기술되어 있다.⁴⁾ 본 논문에서는 14명의 남녀 대학생을 대상으로 열환경 챔버 내에서 여름철 열적 반응을 조사한 결과를 중심으로 기술하였다.

2. 열환경 챔버내 설문조사

본 연구에서는 동아건설산업(주) 기술연구소에 설치된 열환경 챔버를 사용하였으며, 챔버의 내부 크기는 4.5 m × 5.5 m × 2.4 m (높이)이다.^{4,5)} 실험 시 공기는 챔버 바닥으로 급기하고 천장으로 배기하

였으며, 급기풍량은 약 720 m³/h로 일정하게 공급하였다. 실험조건은 Table 1에 나타낸 바와 같이 여름철 온습도 범위에 해당하는 4가지 온도와 3가지 상대습도의 조합으로 모두 8가지로 선정하였다. 실험의 반복성을 살펴보기 위하여 남녀 피험자 모두 2가지 경우(Case 2, 8)에 대하여 2회 반복하여 실험하였다.

균일한 주위 열환경에 대한 피험자의 심리적 반응을 살펴보기 위하여 14명의 남녀 대학생을 대상으로 전신온냉감과 쾌적감에 대한 설문조사를 실시하였다. 열환경 챔버로 들어가기 전에 피험자의 체온, 체중 및 신장을 측정하고 착의량을 조사하였다. 각 실험조건에서 남자 피험자의 평균 착의량은 0.37~0.39 clo이었고, 여자 피험자의 경우 0.31~0.34 clo이었다. 열환경 챔버내 설문조사는 각 실험조건에서 3시간 동안 15분 간격으로 실시하였다. 실험에 참가한 피험자의 특성을 Table 2에 나타내었고, 설문항목에 따른 척도를 Table 3에 나타냈다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이 4개의 급기구가 바닥에 설치되어 있으므로, 급기구 근처는 빠른 기류속도로 인해 드래프트가 생길 수 있다.⁴⁾ 따라서, 급기구의 영향이 적은 7곳(B, C, F, G, H, J, K)을 피험자의 위치로 선정하였고, E를 대표점으로 선정하여 실험하는 동안 챔버내 열환경 요소(기온, 흑구온도, 기류속도, 상대습도)를 측정하였다. 피험자가 남자인 경우 챔버내 열환경 요소의 제어 특성을 정리하여 Table 4에 나타냈다.

설문조사 결과를 이론적으로 예측한 값과 비교하기 위하여 열환경 요소와 인적 요소(착의량, 대사량)를 이용하여 예상온냉감(predicted mean vote, PMV)을 구하였다.^{6,7)} 열환경 챔버 내에서 피험자는 앉아서 독서를 하거나 조용히 대화하고 있었으므로, 대사량은 1.1 met로 가정하였다.

Table 1. Experimental conditions

Case	Air temperature (°C)	Relative humidity (%)
1	24	60
2	26	60
3		80
4	28	40
5		60
6	30	80
7		40
8	60	

Table 2. Anthropometric data for the subjects

Sex	Number	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	DuBois area (m ²)
Females	7	22.00±1.41	162.00±4.12	55.91±5.19	1.58±0.06
Males	7	19.57±0.53	176.57±3.41	61.54±3.49	1.76±0.06

Table 3. Questionnaire for thermal comfort

Thermal sensation scale	Comfort sensation scale
-3 Cold	0 Neutral -1 Slightly uncomfortable -2 Uncomfortable -3 Very uncomfortable
-2 Cool	
-1 Slightly cool	
0 Neutral	
+1 Slightly warm	
+2 Warm	
+3 Hot	

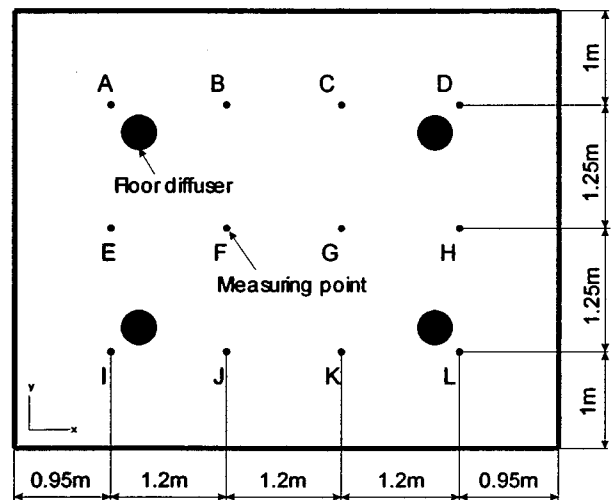


Fig. 1 Location of subjects

Table 4. Control characteristics of thermal factors during the experiments for male subjects

Case	Air temperature (°C)		Globe temperature (°C)		Air velocity (m/s)		Relative humidity (%)	
	mean	STD	mean	STD	mean	STD	mean	STD
1	24.0	0.21	24.9	0.12	0.10	0.05	60.0	0.19
2	26.0	0.21	26.8	0.15	0.10	0.05	60.0	0.27
3	26.1	0.22	26.9	0.15	0.10	0.05	80.0	0.19
4	28.0	0.12	28.5	0.10	0.09	0.05	40.0	0.26
5	28.0	0.20	28.7	0.13	0.09	0.05	60.0	0.25
6	28.0	0.20	28.7	0.13	0.09	0.05	80.0	0.23
7	30.0	0.12	30.3	0.09	0.09	0.05	40.0	0.31
8	30.0	0.14	30.3	0.08	0.08	0.06	60.0	0.31

3. 설문조사 결과

3.1 전신온냉감 반응

실험의 반복성을 살펴보기 위하여 남녀 피험자 모두 2가지 경우(Case 2, 8)에 대하여 2회 반복하여 실험하였고, 전신온냉감에 대한 실험결과를 Figs. 2와 3에 나타냈다. 그림을 보면, 남자의 경우 반복성이 양호하지만, 여자의 경우 반복성이 매우 나쁘다. 이것은 여자의 평균 착의량이 0.31~0.34 clo로 보통 여름철 표준 착의량(0.5 clo)보다 매우 낮은 것과 관련이 있을 것으로 추정된다.^{6,8)}

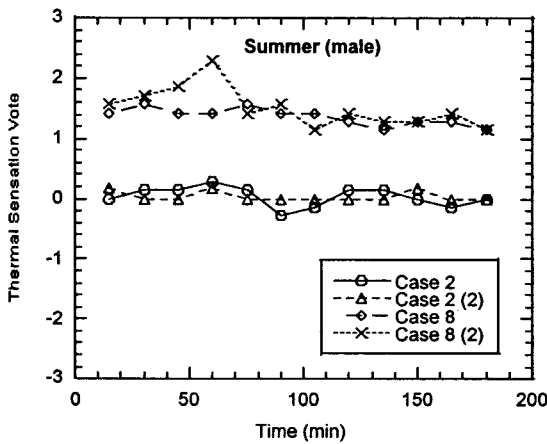


Fig. 2 Repeatability of TSV for males

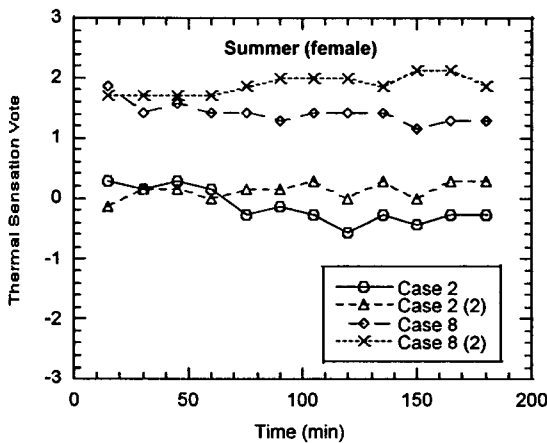


Fig. 3 Repeatability of TSV for females

피험자가 주위 열환경에 노출된 시간이 경과함에 따른 전신온냉감의 반응을 보면, 노출시간에 따른 전신온냉감이 특정한 값으로 수렴되지 않고, 설정온습도 및 피험자의 성별에 따라 다른 경향을 나타낸다. 실험조건에 따른 전신온냉감의 대표값을 구하

기 위하여 맨 마지막 응답부터 역으로 더한 후 평균을 구하였으며, 그 예를 Fig. 4에 나타냈다. 즉, 그림에서 150분의 전신온냉감은 입실 후 150분, 165분, 180분인 3개 데이터의 평균값이다. 본 연구에서는 대표적인 환경 실험실 연구와 동일하게 열환경 챔버에 입실 후 2시간부터 3시간까지 응답한 설문문의 평균을 구하여 각 실험조건의 대표값(응답온냉감, thermal sensation vote, TSV)으로 사용하였다.^{7,9)}

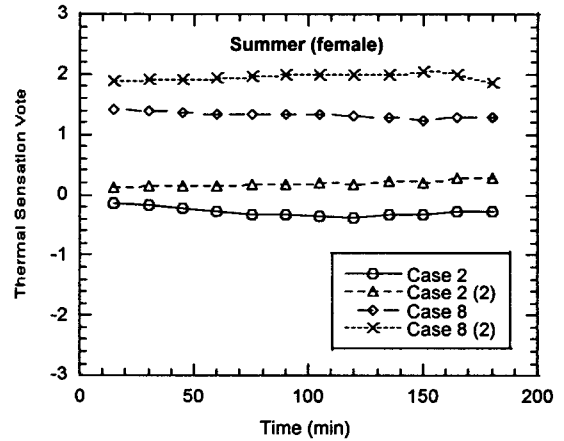


Fig. 4 Variation of the averaged TSV

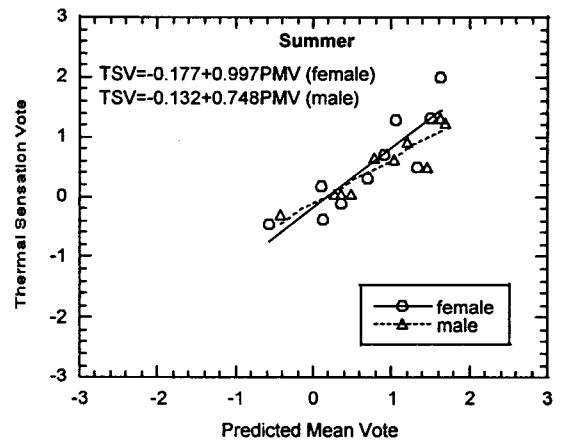


Fig. 5 Comparison of TSV with PMV

열환경 요소와 피험자의 인적 요소(착의량, 대사량)로부터 예측할 수 있는 전신온냉감(예상온냉감, PMV)을 구한 후 응답온냉감과 비교하여 Fig. 5에 나타냈다. Fig. 5를 보면, 여자의 경우 회귀식의 기울기가 거의 1로 응답온냉감이 예상온냉감과 잘 일치하지만, 남자의 경우 기울기가 약 0.75로 열환경의 변화에 상대적으로 덜 민감함을 알 수 있다. 즉, 쾌

적범위($-0.5 < TSV < 0.5$)는 남자의 경우 $-0.49 < PMV < 0.84$ 이고, 여자의 경우 $-0.32 < PMV < 0.68$ 이므로, 남자가 쾌적하게 느끼는 범위가 여자보다 더 넓다. 그러나, 남녀의 중립점($TSV = 0$)은 거의 일치하고 이때 PMV 는 약 0.18이므로, 한국의 대학생이 서구인에 비해 약간 따뜻한 열환경을 선호한다고 생각된다.

3.2 쾌적감 반응

실험의 반복성을 살펴보기 위하여 남녀 피험자 모두 2가지 경우(Case 2, 8)에 대하여 2회 반복하여 실험하였고, 쾌적감(comfort sensation vote, CSV)에 대한 실험결과를 Figs. 6과 7에 나타냈다. 그림을 보면, 남녀 모두 열환경이 상대적으로 열악한 Case 8의 반복성이 Case 2의 경우보다 나쁘다.

피험자가 주위 열환경에 노출된 시간이 경과함에 따른 쾌적감 반응을 보면, 여자에 비해 남자의 쾌적감이 노출시간에 따라 심하게 변한다.

전신온냉감은 주위 열환경의 쾌적성을 평가하는 간접적인 척도이고, 쾌적감은 직접적인 척도라고 말할 수 있다. 즉, 사람에 따라 열적으로 중립인 환경에서 쾌적하지 않다고 느낄 수도 있다. 전신온냉감(응답온냉감)과 같은 방법으로 평균 쾌적감을 구하여 응답온냉감과 쾌적감의 관계를 Fig. 8에 나타냈다. 그림을 보면, 남녀 모두 응답온냉감과 쾌적감이 서로 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 즉, 상관성이 매우 높아 응답온냉감으로 쾌적감을 추정할 수 있을 것으로 생각된다.

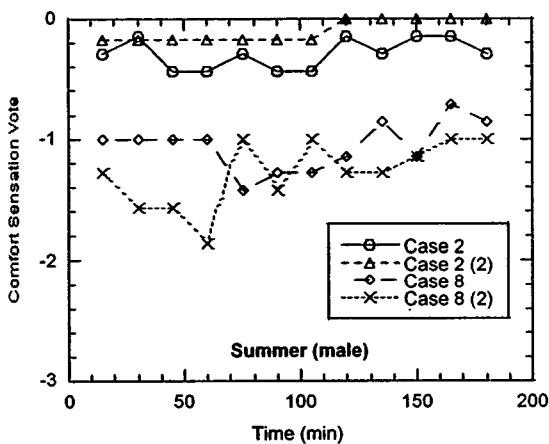


Fig. 6 Repeatability of CSV for males

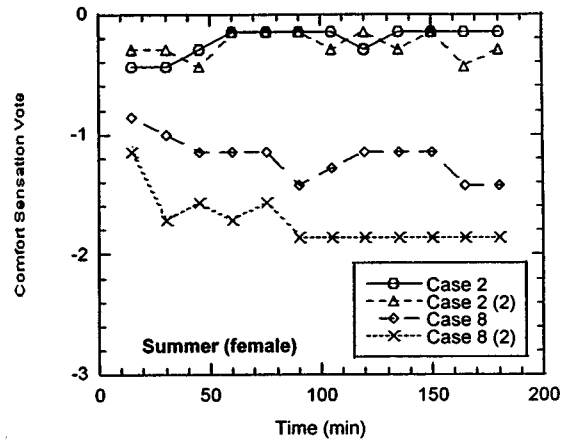


Fig. 7 Repeatability of CSV for females

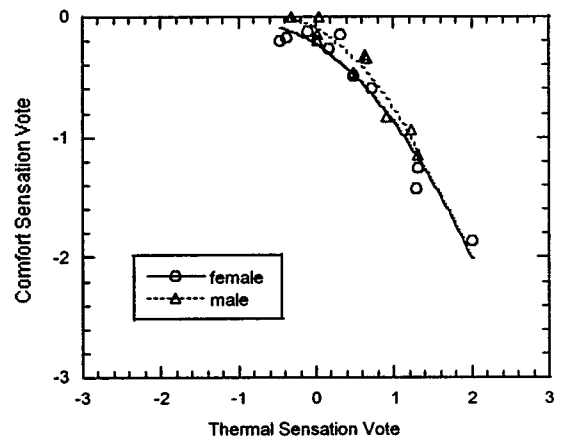


Fig. 8 Correlation between TSV and CSV

4. 고찰

본 연구결과의 타당성을 검토하기 위하여 여름철 한국인을 대상으로 국내에서 수행된 환경 실험실 연구 및 현장조사의 결과를 비교하여 Table 5에 나타냈다. 금중수 등은 1993년 여름에 12명의 남녀 대학생을 대상으로 환경 실험실에서 전신온냉감을 조사하였고,¹⁾ 다시 1997년 여름에 20명의 남녀 대학생을 대상으로 유사한 실험을 수행하였다.²⁾ 이철희 등은 1993년 여름에 212명의 사무실 근무자를 대상으로 전신온냉감을 조사하였고,¹⁰⁾ 배귀남 등은 1994년 여름에 3개의 서로 다른 건물의 사무실에 근무하는 213명을 대상으로 전신온냉감을 조사하였다.¹¹⁾

금중수 등이 두 번 수행한 환경 실험실 연구결과를 비교하면, 회귀식의 기울기는 비슷하지만 중립점과 쾌적범위는 매우 다르다. 현장조사에 대한 두 연구결과를 비교하면, 회귀식의 기울기는 크게 다르지만 중립점과 쾌적범위는 큰 차이를 보이지 않는다. 본 연구에서 얻은 회귀식의 기울기는 약 0.87로 기존 연구결과에 비해 낮고, 본 연구결과와 중립점과 쾌적범위는 금중수 등의 환경 실험실 연구결과보다는 현장조사 결과와 유사하다고 판단된다. 설문을 통해 사람의 심리적 반응을 조사하여 얻은 결과이므로, 앞에서 언급한 바와 같이 반복성이 나쁘다고 생각된다. 외국에서 수행된 대표적인 환경 실험실 연구에서는 피험자가 1가지 실험에만 참여하였지만,^{7,9)} 본 연구나 금중수 등의 연구에서는 동일한 피험자가 여러 가지 실험에 참여하였다. 금중수 등은 첫 번째 연구에서 피험자가 주위 열환경에 노출된 시간이 경과함에 따라 전신온냉감 반응이 뚜렷한 경향을 나타내지 않아 90분과 120분의 응답을 분석에 사용하였으나,¹⁾ 두 번째 연구에서는 환경 실험실로 입실한 60분 이후부터 안정화되었다고 판단하여 60~90분 사이의 응답을 분석에 사용하였다.²⁾ 앞에서 언급한 바와 같이 본 연구에서도 시간이 경과함에 따른 전신온냉감 및 쾌적감 반응의 뚜렷한 경향을 파악할 수 없었다.

사람은 주위 열환경에 불만을 느낄 경우 대사량이나 착의량을 조절하여 열환경에 적응하려고 한다. 사람의 열적 반응에 착의량이 큰 영향을 미치므로, 예상온냉감(PMV)을 구하는 6가지 인자 중의 하나로 사용되고 있다. 금중수 등의 첫 번째 연구에서 피험자의 평균 착의량은 남자가 0.51 clo, 여자는 0.49 clo이었고, 두 번째 연구의 경우 남자는 0.36 clo, 여자는 0.51 clo이었다. 이철희 등의 현장조사에서 피험자의 평균 착의량은 0.50 clo이었고, 배귀남 등의 현장조사의 경우 0.51 clo이었다. 본 연구에 참여한 피험자의 착의량(남자 0.37~0.39 clo, 여자 0.31~0.34 clo)이 가장 낮다. 앞에서 언급한 열적 반응의 차이는 이러한 착의량의 차이와도 관련이 있을 것으로 생각된다.

설문을 통해 사람의 심리적 반응을 조사하므로 설문용어도 매우 중요하다. 열적 쾌적성 연구에 많이 사용되는 동일한 척도를 사용하더라도 번역된 한국말의 어감에 따라 설문결과에 영향을 미칠 수 있다. Table 5에 인용한 연구에 사용된 설문용어를 비교하여 Table 6에 나타냈다. 현재 전신온냉감 예측에 많이 사용되고 있는 예상온냉감(PMV) 지표의 적합성 측면에서 보면, 영어를 직역한 용어를 사용하여 얻은 결과^{1,2,9)}에 비해 여름철의 어감을 살려 의역한

용어를 사용하여 얻은 결과¹¹⁾가 PMV 지표와 보다 유사하다. 그런데, 모든 실험을 마친 후 본 연구에 참여한 피험자를 대상으로 전신온냉감의 설문용어에 대하여 조사한 바에 의하면, 대부분의 피험자는 의역한 용어보다 직역한 용어가 여름철 열적 반응 조사에 보다 적합하다고 응답하였다.

금중수 등의 연구는 부산에서 수행되었고, 현장조사와 본 연구는 서울에서 수행되었다. 부산은 남부 해안에 위치하고 서울은 중부 내륙에 있으므로, 피험자의 감성에 미치는 지리적 환경이 매우 다르다고 생각된다. 한국인의 표준적인 열적 반응 특성을 규명하는데, 이러한 지역적 특성도 고려되어야 한다고 생각된다.

환경 실험실에서 신뢰할 만한 열적 반응 데이터를 확보하기 위해서는 피험자 관리, 데이터 처리 방법, 설문용어, 지역적 특성 등이 체계적으로 검토되어야 할 것이다.

Table 5. Comparison of thermal responses

Researcher	Regression equation	Neutral point (TSV=0)	Comfort range (-0.5<TSV<0.5)
Kum et al. ¹⁾	TSV=1.447× PMV-0.038	PMV=0.03	-0.32<PMV< 0.37
Kum et al. ²⁾	TSV=1.527× PMV-0.802	PMV=0.53	0.20<PMV< 0.85
Lee et al. ⁸⁾	TSV=1.540× PMV-0.194	PMV=0.13	-0.52<PMV< 0.78
Bae et al. ⁹⁾	TSV=1.148× PMV-0.071	PMV=0.06	-0.38<PMV< 0.50
This study	TSV=0.866× PMV-0.157	PMV=0.18	-0.40<PMV< 0.76

Table 6. Comparison of Korean terminology

Scale	Kum et al., ^{1,2)} Lee et al. ⁹⁾	Bae et al., ¹⁰⁾ this study
-3	춥다	매우 춥다
-2	서늘하다	춥다
-1	약간 서늘하다	약간 춥다
0	중립(적당하다)	춥지도 덥지도 않다
1	약간 따뜻하다	약간 덥다
2	따뜻하다	덥다
3	덥다	매우 덥다

5. 결 론

본 연구에서는 열환경 챔버를 사용하여 여름철 한국 대학생의 열적 반응을 조사하여 기존 환경 실험실 연구 및 현장조사 결과와 비교하였다. 여름철 열적 반응은 연구방법(환경 실험실 연구, 현장조사), 연구자 등에 따라 차이가 있으므로, 한국인의 표준적인 열적 반응 특성을 규명하기 위해서는 열적 반응에 영향을 미치는 인자에 대한 체계적인 연구결과를 바탕으로 만들어진 표준적인 평가방법을 사용하여 연구가 수행되어야 한다고 생각된다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 선도기술개발사업(감성공학)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 열환경 챔버를 사용할 수 있도록 협조하여 준 동아건설산업(주) 기술연구소 관계자 여러분께 감사드린다.

참고문헌

1. 금중수, 최진영, 박종한, 변일수, 성시풍, 심민섭, 1993, “하계 체감 실험에 의한 온냉감 평가와 PMV, SET*의 적용성 검토,” 공기조화냉동공학회 동계학술발표회 강연 및 논문집, pp.193-197.
2. 금중수 등, 1999, 온열쾌적감 측정기술 및 DB 개발에 관한 연구, 연구보고서, 부경대학교.
3. 박종일, 김경훈, 정성일, 1999, “동계 인공환경실험에 의한 온열쾌적특성 연구,” 공기조화냉동공학논문집, 제10권, 제6호, pp.721-731.
4. 김명호, 배귀남, 김영일, 김성현, 1999, “여름철 열적 반응 평가용 열환경 챔버의 제어 특성,” 공기조화냉동공학회 동계학술대회논문집(예정).
5. 김영일 등, 1998, 열환경 제시기술, 과학기술부 보고서, UCN1720-6322-2.
6. ISO, 1994, International Standard 7730, Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort.
7. Fanger, P. O., 1970, Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering, Danish Technical Press, Copenhagen, Denmark.
8. ASHRAE, 1992, ANSI/ASHRAE 55-1992, ASHRAE Standard, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
9. Tanabe, S., 1988, Thermal Comfort Requirements in Japan, Ph. D. thesis, Waseda University.
10. 이철희, 배귀남, 최항철, 이춘식, 1994, “여름철 사무실내 온열환경 특성 및 쾌적성 평가,” 공기조화냉동공학논문집, 제7권, 제2호, pp.206-217.
11. 배귀남, 이철희, 이춘식, 1995, “여름철 사무실내 한국인의 온열감 평가,” 공기조화냉동공학논문집, 제7권, 제2호, pp.341-352.