

겨울철 온도 및 습도변화에 따른 온열쾌적감에 관한 연구

김 세 환[†], 이 성, 김 동 규^{*}

동의대학교 건축설비공학과, *부경대학교 기계공학부

A Study of Thermal Comfort by Winter Temperature Humidity Change

Se-Hwan Kim[†], Sung Lee, Dong-Gyu Kim^{*}

Department of Building System Engineering, Donggeui University, Busan 614-714, Korea

^{*}Department of Mechanical Engineering, Pukyung National University, Busan 608-738, Korea

(Received August 8, 2007; revision received November 11, 2007)

ABSTRACT: To those who spend most time within a room, comfortable indoor environment is a very critical element to job performance and health. The comfort technology, which is for enhancing comfort in human living, relates with various factors to ensure human activities efficient, comfortable, safe and satisfactory. Experiments were performed in environmental chamber. Experimental conditions were combinations from three temperatures of 18, 22 and 26C, and two relative humidity levels of 45 and 60%. Air-flow was controlled to 0.1 m/s through the experiment. Four male and four female university students participated in the experiments. They had normal blood pressure and their body temperature was under 37 °C. From the experiments for evaluating thermal sensation to the air-heating conditions, relationships among TSV, CSV, SET^{*}, PMV were analyzed. Results can be summarized as followings; Thermal neutrality SET^{*} of man and female was 24.8 °C. In air-heating condition, SET^{*} values for thermal comfort zone were 23.0~26.5 °C. These values were higher than the values from ASHRAE.

Key words: Thermal comfort(온열쾌적감), PMV(예상평균온냉감), SET^{*}(신표준유효온도)

기 호 설 명

TSV : 온냉감(Thermal Sensation Vote)
CSV : 쾌적감(Comfort Sensation Vote)
HSV : 건습감(Humidity Sensation Vote)
MST : 평균피부온도
(Mean Skin Temperature)
PMV : 예상평균온냉감(Predicted Mean Vote)

PPD : 예상불만족율
(Predicted Percentage of Dissatisfied)
SET^{*} : 신표준유효온도
(Standard New Effective Temperature)

1. 서 론

일반적으로 일반인은 하루 일과 중 80% 이상을 실내에서 생활하므로 실내 환경 조건은 사람의 건강, 쾌적 및 작업능률에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 쾌적한 거주공간을 보다 적은 에너지로 형성할 수 있는 공조기기의 개발이 강

[†] Corresponding author

Tel.: +82-51-890-1983; fax: +82-51-890-2625

E-mail address: ksh@deu.ac.kr

하게 요구되고 있다. 그러나 인간이 쾌적감을 느낄 수 있는 환경을 제공하는데 가장 중요한 것은 물리·화학적 요인 중에서 온도, 습도, 기류, 복사열 등을 인위적으로 조절하는 온열환경이라고 할 수 있다. 인간은 주위 환경으로부터 상당히 복잡한 과정을 통해 쾌적한 상태를 느끼게 되는데, 인간의 쾌적감과 온열환경간의 관계를 파악하기 위한 연구는 19세기 말부터 미국, 유럽 등지에서 시작되었다. 따라서 실내온열조건과 인간의 온냉감 및 쾌적 조건 등에 관해서는 많은 연구가 진행되고 있으며, 냉난방·공조의 설정조건으로서 만이 아니라 실내환경평가의 지표로서도 활용되고 있다. 또한 열 환경의 복합요소를 단일의 지표로 표현하기 위한 여러 가지 제안과 함께 쾌적지표를 이용하여 쾌적공간을 위한 열 환경 제어수법을 용이하게 하려는 시도가 국내외에서 이루어지고 있다.⁽¹⁻³⁾ 사람의 온열감각은 주변환경으로부터 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다. 그러나 일반적으로 환경 측 4요소와 인간 측 2요소의 영향이 크다고 알려져 있다. 그러므로 환경 및 인간측 요소를 고려하여 실내온열환경을 제어하게 되면 쾌적한 온열환경을 거주자에게 제공할 수 있을 것이므로, 학계 및 산업계에서는 널리 알려진 온열환경지표인 PMV 및 SET^{*}⁽⁴⁻⁶⁾를 이용하여 실내환경을 조절하려고 하였다. 따라서 본 연구는 PMV와 SET^{*}를 활용하여 남녀 대학생을 대상으로 겨울철 실내 열환경 조건에 대하여 실험을 하여 실험결과를 ISO-7730과 ASHRAE St.55-74에 나타난 쾌적범위와 비교함으로써 쾌적한 실내 온습도 조절범위를 제시하고자 하였다.⁽⁷⁾

2. 이론적 배경

2.1 쾌적범위

“쾌적”이라는 것은 “불쾌”를 느끼지 않으며 열 스트레스가 없는 상태라고 말할 수 있으며, 생리 및 물리학적으로 고려하면 인체 열 평형 방정식에서 열 부하가 없는 상태를 말한다. 인간은 쾌적 조건으로부터 다소 이탈되거나 다소의 열 스트레스가 있어도 그것에 대처할 수 있는 능력도 가지고 있으며, 의복의 증감에 의해서도 열 평형을 유지하는 것이 가능하다. ISO에서는 -0.5

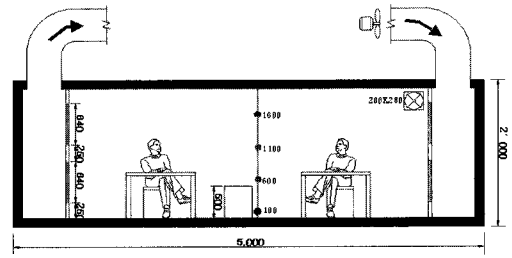


Fig. 1 Schematic diagram of the environmental chamber and sensor positions.

$< PMV < + 0.5$ 일 때 PPD = 10%가 되는 범위를 쾌적 범위로 하고 있다. 또한 SET^{*}의 경우 불만족율 10%에 해당하는 쾌적 범위는 SET^{*} 23.2~24.5 °C의 범위에 해당하지만, ASHRAE에서는 불만족율 20% 이하의 상태 즉 만족율 80%에 해당되는 범위를 쾌적범위⁽¹⁾로 정의하고 있다.

2.2 온열쾌적지표

온열환경의 6요소의 복합효과를 어떻게 평가하는가에 대해서, 덴마크 공과대학의 Fanger 교수가 PMV이론을 발표하였다. 이것은 1984년에 ISO-7730으로서 국제 규격화 되어있다. PMV이론은 온열환경 6요소를 대입하면, 그 조건에서 따뜻하다고 느끼거나 혹은 춥다고 느끼는가를 수치로써 표현해준다. 이에 반해 SET^{*}는 서로 다른 온열환경을 비교할 수 있도록 표준화 한 것을 말하고, 발汗에 의한 증발 열 손실을 고려하고 있기 때문에 쾌적 범위를 포함한 서열환경, 한냉 환경의 평가에도 적용할 수 있다. 쾌적에 가까운 범위에 있어서 신 표준 유효온도와 PMV의 간에 큰 차이는 없지만, 발汗을 동반한 서열 환경의 평가에는 SET^{*}가 우수하다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

실험에 사용된 환경챔버는 5×3×2 m³의 공간으로 온도 및 습도 등을 일정하게 유지할 수 있도록 단열두께 50t로 기밀하게 제작되었고, 환경챔버 내부 실험공간의 온도 및 습도는 Table 1의 사양을 가진 항온항습기를 이용하여 조절하였다.

Table 1. Specification of the chamber

Environmental chamber	
Temperature range	5°C ~ 50°C ± 1°C
Humidity range	10% ~ 80% ± 5%
Cooling capacity	15.7 kW
Heating capacity	16 kW
Humidifying capacity	8 l/h

Table 2. Experimental setting conditions

Temp.		18°C		22°C		26°C	
Rh		45%	60%	45%	60%	45%	60%
male	1 group	2 cases		2 cases		2 cases	
	2 group						
female	3 group	2 cases		2 cases		2 cases	
	4 group						

Table 3. Data of the subjects

	Num. of subjects	Age	Height [cm]	Weight [kg]
Female	4	23.0±1.2	163.3±4.3	54.5±1.1
Male	4	26.3±0.4	178.3±4.6	80.0±12.4

실험공간 내부의 실온측정은 Fig. 1과 같이 실 중앙의 바닥으로부터 10 cm, 60 cm, 110 cm, 160 cm 4곳에서 측정 하였고, 상대습도 측정은 실 중앙부 바닥으로부터 60 cm 높이에 습도센서를 설치하여 측정 하였다. 또한 실험공간 내부 취출구로부터 기류가 인체에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 취출구 전면에 망사를 설치하여 기류를 안정화 시켰다. 실험에 앞서 환경챔버 내부의 실험공간에 대한 예비운전결과 실온측정 높이에서 상하온도차는 0.1 °C 이내였고, 풍속은 열선풍속계를 이용하여 측정한 결과 0.1 m/s 이하임을 확인하였다. 측정데이터 중 실온과 피부온도는 3초 간격으로 데이터 로그에 의해 기록되었고, 상대습도는 온열환경에 대한 피험자의 주관설문을 15분 간격으로 실시할 때 마다 측정하였다. 실험의 환경조건 및 측정횟수는 Table 2와 같으며 균일한 환경조건을 위해 1시간가량 예비운전을 실시하였다. 또한 측정 편차를 줄이기 위해 동일조건 2회 반복 실험을 한 후 평균치를 적용하였다. 또한 산출된 환경물리량 실험값은 PMV와 SET*산출 프로그램⁸⁾에 대입하여 값을 구하였다.

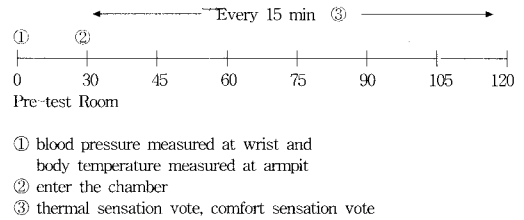


Fig. 2 Experimental process.

Table 4. Voting Scale

Comfort Sensation Vote(CSV)						
0	1	2	3			
Comfortable	Slightly Uncomfortable	Uncomfortable	Very Uncomfortable			
Thermal Sensation Vote(TSV)						
-3	-2	-1	0	1	2	3
Cold	Cool	Slightly Cool	Neutral	Slightly Warm	Warm	Hot
Humidity Sensation Vote(HSV)						
-2	-1	0	1	2		
Dry	Slightly Dry	Neutral	Slightly Moist	Moist		

3.2 실험방법

3.2.1 피험자

실험은 온도 및 습도를 일정하게 유지할 수 있는 환경챔버에서 Table 3의 신체적 특징을 가진 남녀 대학생 8명을 대상으로 하여 같은 성별로 2인 1조로 2회 반복하여 총 48회 실험을 실시하였다. 선정된 피험자는 실험에 미치는 영향을 최소화 하기위해 실험 기간 중 커피, 술 흡연 등의 금지, 과도한 운동 및 신체에 부담이 가는 행동의 금지, 열량이 높고 자극적인 음식(육류, 매운 음식)에 대한 주의, 그리고 충분한 휴식과 숙면을 취하도록 교육을 실시하였다. 또한 실험에 참가하기에 앞서 혈압, 체온, 체중을 측정하여 신체이상 유무를 확인 한 후 상온의 조건으로 유지되는 전실에서 30분 동안 대기하면서 안정화 된 후 실험에 참가하였다. 피험자들의 착의량은 보통 실내 생활 정도의 의복 및 슬리퍼를 착용하였고, 중량법에 의한 계산결과 0.9 Clo로 나타났다. 실험 중의 활동량은 의자에 앉아 간단한 독서를 하

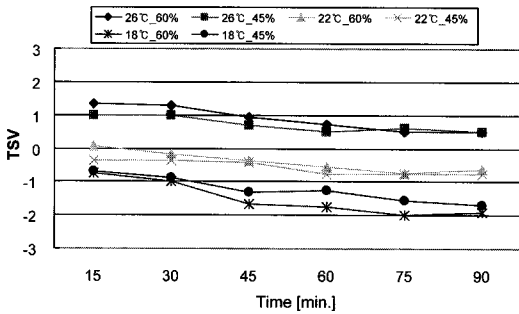


Fig. 3 TSV during the 90 min. test period.

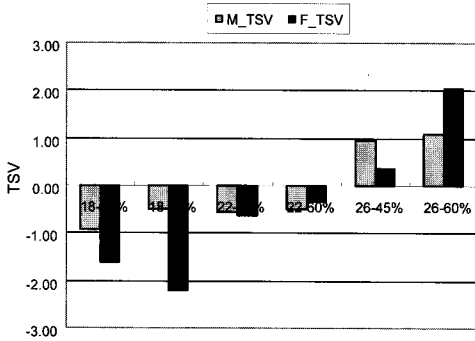


Fig. 4 Mean TSV between 45minute and 60minute.

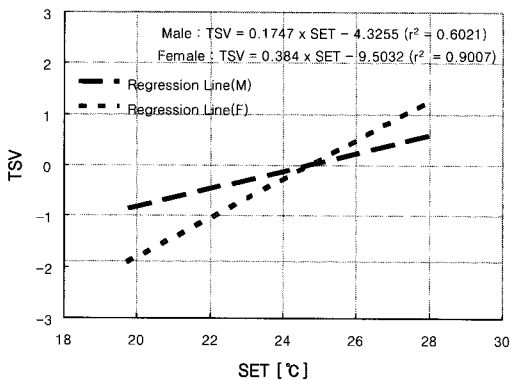


Fig. 5 SET* versus TSV.

고 있는 관계로 1 met로 설정하였다.

3.2.2 설문항목 및 피부온도

Fig. 2는 실험 스케줄로서 실험소요시간은 총 120분으로 전실 30분과 본실 90분으로 하였다. 환경챔버에 입실 후 90분 동안 매 15분마다 설정

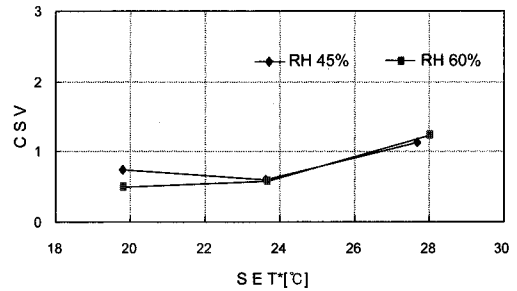


Fig. 6 SET* versus CSV.

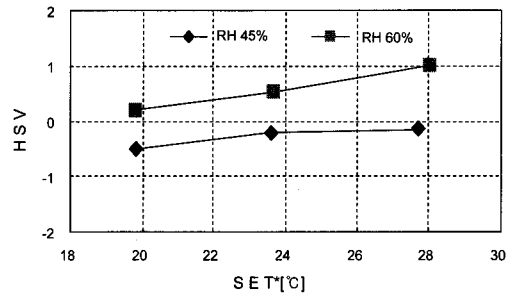


Fig. 7 SET* versus HSV.

온열환경조건에 대한 피험자의 주관적인 반응을 정량화하기 위하여 설문항목을 온냉감(TSV), 쾌적감(CSV), 건습감(HSV) 등으로 구성하였고, 각 설문 척도는 Table 4에 나타내었다. 피부온도는 Hardy & DuBois의 방법에 따라 신체 7부위에서 피부온도(tsk)를 직경 0.2 mm의 열전대와 의료용 써지컬 테이프를 이용하여 측정하였다.⁽¹⁾

4. 실험결과 및 분석

4.1 주관설문 분석

피험자는 모두 6회의 설문에 대한 응답을 하였으며 각 설정조건에 따른 온냉감 신호의 경시변화를 Fig. 3에 나타내었다. 설정 온습도에 따른 피험자의 온냉감 경시변화를 고려 할 때 본실에 입실 한 후 환경에 적응된 상태인 3회와 4회의 설문 및 그때의 실내 환경조건을 기준 데이터로 채택하여 분석을 하였다. Fig. 4는 온냉감 설문을 여자 및 남자 피험자로 구분하여 나타내었다. 저온영역인 18 °C 조건에서 여자 피험자는 45% 조건보다도 60% 조건에서 더 춥다고 반응하였다.

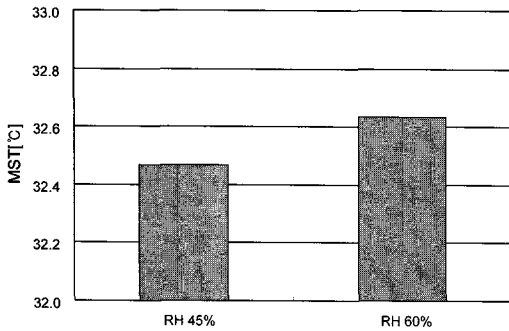


Fig. 8 MST in setting conditions.

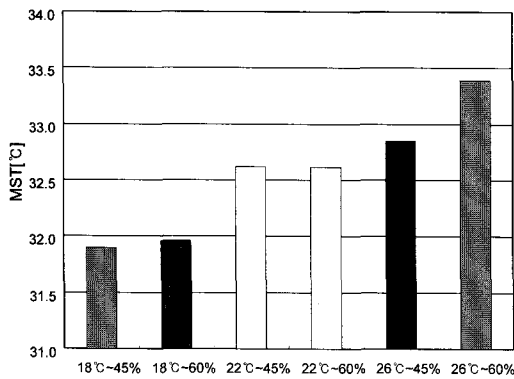


Fig. 9 MST in setting conditions.

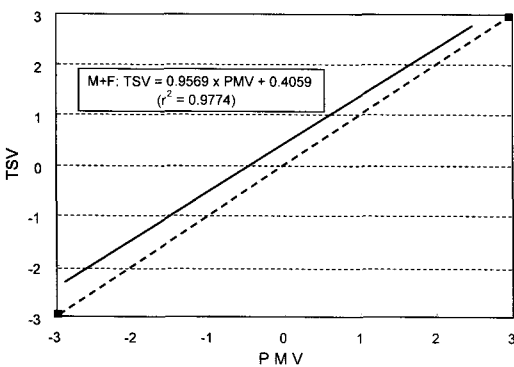


Fig. 10 PMV versus TSV.

이러한 점은 Fig. 3에서 저온영역의 경시변화에 있어 습도에 따른 온냉감 역전의 원인이 되는 것으로 판단된다. Fig. 5는 SET*와 온냉감 신고의 관계로서 여자 및 남자의 회귀식으로부터 열적중립(TSV = ± 0.5)을 느끼는 SET*의 범위는 여자 23.5 °C ~ 26.1 °C 이고 남자 21.9 °C ~ 27.6 °C로 나타

났고, 중립SET*는 여자 24.8 °C이고 남자 24.8 °C이다. 여자는 중립온도 이하에서 남자보다 상대적으로 춥다고 반응하였고, 중립온도 이상에서는 덥다고 반응하였다.

Fig. 6, Fig. 7은 SET*와 상대습도 차이에 따른 쾌적감과 건습감을 나타낸 것으로 습도차이에 따른 쾌적감의 차이는 없었지만, 건습감의 경우는 차이를 나타냈다. 따라서 공기조화설비의 실내환경기준 중 온습도조건 범위를 고려한다면 본 연구 조건인 겨울철 조건에서 상대습도가 권장기준내에 있더라도 인체의 쾌적감 보다 건습감에 미치는 영향은 상대적으로 큼을 알 수 있다.

4.2 피부온도

Fig. 8에 본 연구의 설정조건에서 습도의 차이에 따라 평균피부온도는 약 0.16 °C 정도의 차를 나타냈지만, Fig. 9에서와 같이 저온영역과 고온영역으로 구분한 결과 상대습도 차이에 따른 평균피부온도는 저온영역에서는 약 0.1 °C 정도였지만, 26 °C 조건에서는 상대습도 차이에 따른 평균피부온도 차이가 약 0.6 °C로서 고온영역에서 상대습도를 제어하는 경우 체감적으로 효과가 있음을 알 수 있다.

4.3 ISO 7730 및 ASHRAE St. 55-74와 비교⁽⁶⁾

본 실험의 결과로부터 산출된 PMV 및 TSV의 선형적인 관계를 Fig. 10에 나타내었다. 온냉감이 중립(TSV = 0)이 되는 영역에서 PMV 값과 약 0.4 스케일 정도의 차이가 발생하였다. 또한 ISO 7730에서 권장하는 $-0.5 < PMV < 0.5$ 를 적용하면 PMV = -0.5 일 때 TSV = -0.07, PMV = 0.5 일 때 TSV = 0.88로 나타났다. Fig. 11은 불만족율로서 ASHRAE St. 55-74의 쾌적범위를 적용할 경우 22.0 °C에서의 불만족율은 약 32% 정도, 25.4 °C의 불만족율은 약 8% 정도로 나타났다. 따라서 저온영역에서는 불만족율이 고온영역에서의 불만족율 보다 높음을 알 수 있었다.

Fig. 13를 통해 본 연구의 쾌적범위와 ASHRAE에서 제시한 범위를 비교해 보았다. 본 연구에서 SET*의 쾌적범위는 23.0 °C ~ 26.5 °C로 나타났으며, ASHRAE에서 정의하는 쾌적범위 보다 약 1 °C 높은 고온을 선호함을 알 수 있었고, Fig. 10의 결과와도 일치하였다.

4.4 종래연구 결과와 비교

본 연구에서 도출된 중립영역의 결과를 이전의 수행된 연구결과⁽¹⁾와 비교해 Table 5에 정리하였다. 이전의 연구결과와 비교할 때 특이한 점은 저온측 영역의 범위가 확대되었을 뿐만 아니라 중립온도 역시 약 0.7℃ 정도 낮게 나타났다. 이는 실험에 참가한 피험자들의 생활습관이 이전 연구에 비해 훨씬 서구화 된 점이 주요한 원인으로 판단되지만, 추후 연구가 필요한 부분이라고 사료된다.

5. 결론

남녀 대학생을 대상으로 겨울철 실내 열환경 조건에 대하여 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 남녀의 중립SET*는 24.8℃로 나타났지만, 여자는 중립온도 이하에서 남자보다 상대적으로 춥다고 반응하였고, 중립온도 이상에서는 덥다고 반응하였다.

(2) 상대습도 차이에 따른 쾌적감의 차이는 없었지만, 건습감의 경우는 온도가 상승함에 따라 현저해 지는 경향을 나타냈다.

(3) 상대습도 차이에 따른 평균피부온도는 저온영역에서는 약 0.1℃ 정도였지만, 26℃ 조건에서는 약 0.6℃로서 고온영역에서 상대습도를 제어하는 경우 체감적으로 효과가 있음을 알 수 있다.

(4) SET*의 쾌적범위는 23.0℃~26.5℃로 ASHRAE에서 정의하는 쾌적범위 보다 약 1℃ 높고, 저온영역에서 불만족율이 고온영역에서 불만족율보다 높게 나타났다.

(5) 이전의 연구결과와 비교할 때 특이한 점은 저온측 영역의 범위가 확대되었을 뿐만 아니라 중립온도 역시 약 0.7℃ 정도 낮게 나타났다. 이는 실험에 참가한 피험자들의 생활습관이 이전 연구에 비해 훨씬 서구화 된 점이 주요한 원인으로 판단되지만, 추후 연구가 필요한 부분이라고 사료된다.

후 기

이 논문은 2007학년도 동의대학교 교내연구비

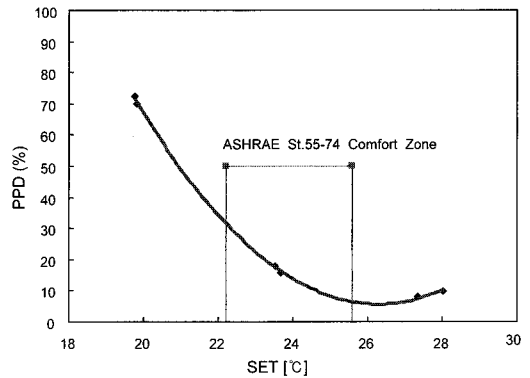


Fig. 11 SET* versus PPD.

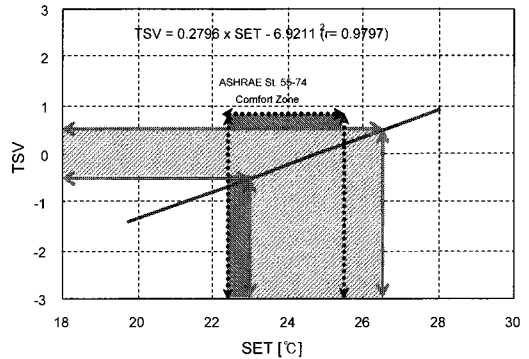


Fig. 12 SET* versus TSV.

Table 5. Comparison of research results

		Previously research	Currently research
Research year		1997	2007
TSV = 0	SET*℃	25.5	24.8
TSV (-0.5~+0.5)	Comfort range	24.2-26.8	23.0-26.5

에 의해 연구되었음(2007AA150).

참고문헌

1. Kim, D.G., 1998, Studies on thermal comfort evaluation and corrections of comfort indices for koreans, Ph.D. Pukyong University.
2. Fukai, K., Gotoh, S., Saito, J. and Ito, H.,

- 1992, Experimental study on correlation between standard new effective temperature (SET*) and japanese thermal sensation(Part 1-analysis of subjective judgement in winter Experiment), The society of heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, No. 48, pp. 21-29.
3. Fukai, K., Gotoh, S., Saito, J., Ito, H. and Akui, S., 1993, Experimental study on correlation between standard new effective temperature(SET*) and japanese thermal sensation(Part 2-comparison of thermal sensation in winter and summer seasons), The society of heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, No.51, pp.139-147.
 4. Fanger, P. O., 1970, Thermal comfort, Danish technical press.
 5. Tanabe, S., 1988, Thermal comfort requirements in Japan, Ph.D. Waseda University.
 6. ASHRAE Handbook FUNDAMENTALS 1989, Chapter 8, pp. 8.1-8.20.
 7. Kim, S. H., Oh, Y. P., Song, J. Y., Ham, B. H. and Kim, D. K., 2007, The research regarding thermal comfort which it follows temperature and humidity, Proceedings of the SAREK 2007 Summer Annual Conference.
 8. <http://atmos.es.mq.edu.au/~rdedear/pmv/>