

한국인의 온열쾌적감 및 생리신호에 관한 연구

(Part III: 상하온도차에 관한 실험 결과)

김동규*, 배동석*, 금종수**, 최광환**, 김성일***, 임금식****, 이구형****

* 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

** 부경대학교 공과대학 냉동공조공학과

*** 광운대학교 산업심리학과

**** LG전자

Experimental study on thermal comfort sensation and physiological responses of Koreans in various thermal conditions

Part III: The effects of vertical air temperature difference in a room

Kim Dong-Gyu, Bae Dong-Suck, Kum Jong-Soo, Choi Kwang-Hwan, Kim Sung-Il, Im Keum-Sik, Lee Koo-Hyoung

* Graduate School, Pukyong National University

** Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Pukyong National University

*** Department of Industrial Psychology, Kwangwoon University

**** LG Electronics Inc.

요약

본 연구에서는 겨울철 대류 난방시 발생하기 쉬운 실내 기온의 상하분포가 인체에 미치는 영향에 관하여 청년층의 피험자를 대상으로 한 체감실험을 수행하여 인체의 생리 및 심리반응에 미치는 영향을 검토하였다. 체감 실험 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 머리부위 공기온도가 23℃ 인 경우 두한족열의 경우가 두열족한의 경우에 비하여 전신온냉감 및 쾌불쾌감이 양호한 것으로 나타났다.
- 2) 두열족한의 경우 발 부위가 서늘하다는 비율은 상하온도차가 증가(Δt 3℃ → 6℃)하면 역시 증가하였고, 두한족열의 경우 머리 부위 온도 23℃ 에서는 발 부위온도를 증가시키면(Δt 3℃ → 6℃) 불쾌 비율이 증가하는 경향을 나타냈다.
- 3) 신체 부위별 온열감과의 관계를 보면 어깨부위에서 느끼는 온열감이 전반적으로 쾌불쾌감 및 전신온냉감과 유의차를 나타냈다. 얼굴 부위에서의 온열감은 머리부위 공기온도 25℃ 이상에서 쾌불쾌감과 유의차를 나타냈고, 발 부위에서의 온열감은 머리부위 공기온도 25℃ 이하에서 전신온냉감과 유의차를 나타냈다.

I. 서론

실제의 공조공간에서는 실험실에서 만들어지는 것과 같은 균일한 온열환경 분포가 발생하는 것이 드물다. 특히 겨울철 대류난방을 하는 경우 발 부위가 차고 머리부분이 따뜻한 현상이 많이 발생한다. 따라서 이와 같은 상하의 온도차가 있는 환경 아래에서는 균일한 환경과는 다른 불쾌감이 발생되므로, 종래의 균일 조건에서의 실험으로 얻어진 온열환경지표를 이용하여 쾌적감을 평가하는 것은 어렵다. 따라서 본 연구에서는 겨울철 대류 난방 시 발생하기 쉬운 실내 기온의 상하분포가 인체에 미치는 영향에 관하여 청년층의 피험자를 대상으로 한 체감실험을 수행하여 인체의 생리 및 심리반응에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

II. 본론

1. 실험장치

입의의 상하온도차, 습도 및 기류를 만들어 실험을 하기 위해 건축환경설비연구실에 부속실험실로서 인공환경실험실을 설치 하였다. 인공환경실험실은 4.1m × 4.9m × 2.7m의 크기이며 모든 벽과 천정, 바닥은 단열

재로서 충분히 단열을 하여 벽면의 온도와 실내온도가 거의 같도록 하였다. 상하온도차의 구현을 위해 냉열원과 온열원의 공급원은 각각 향온향습기 및 인버터 Heat Pump를 이용하여 덕트(간이제작) 및 플렉시블 덕트를 이용하여 환경시험실내로 공급하였으며, 환경실내 온도, 습도 측정 및 인체의 피부온도 측정을 위한 센서 위치 및 종류는 표 1과 같다.

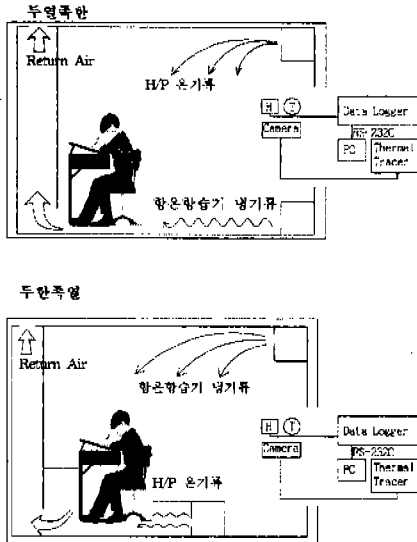


그림 1 실험실의 개략도

표 1 측정을 위한 센서의 위치와 종류

| 항목 | 위치 | 타입 |
|----------|---|--------------------------------|
| 온도 [°C] | ▶ 수직온도 (바닥으로 부터) 0.1 m 0.6 m 1.1 m 1.7 m ▶ 개인별 수직온도 (바닥으로 부터) 0.1 m 0.6 m 1.1 m | Thermo Couple 0.2 mm ϕ |
| | ▶ 평균피부온도 가슴 팔 다리 ▶ 피부온도 이마 어깨 무릎 발등 | |
| 상대습도 [%] | ▶ 중앙 (바닥으로 부터) 0.6 m | Beam (B형) |
| 피부표면 온도 | 얼굴 전면 및 상체 | 열화상 카메라 San-ei, TH1100 |

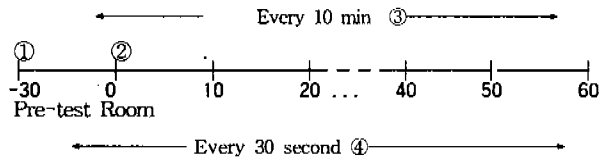
2. 체감실험

2.1 실험기간

실험기간은 1998년 2월 중순에서 3월 중순까지 총 30 일동안 행하였다.

2.2 실험순서

각 실험은 1회당 3명의 피험자를 전실에 30분간 체재시킨 후 실험실로 입실시켜 60분동안 실험을 하였다. 실험하는 동안 매 10분 간격으로 주관적인 설문 신고를 받았다. 그림 2에 1회 실험의 타임스케줄을 나타냈다.



- ① 혈압 및 구강온도 측정
- ② 실험실 입실
- ③ 전신온냉감, 쾌불쾌감 신고, 국부온냉감, 환경에 대한 허용여부
- ④ 실내온도, 상대습도, 피부온도

그림 2 체감실험 진행순서

2.3 실험조건

실험조건은 실내온도의 상하분포를 인위적으로 변화시킨 2가지로 하였다. 첫번째는 머리부위를 따뜻하게 하고 발 부위는 차게 하는 두열족한(頭熱足寒)조건이며, 두번째는 이와 반대인 두한족열(頭寒足熱) 조건이었다. 실내 공기온도의 범위는 17°C ~ 29°C이며 습도는 30 ~ 40%로 유지를 하였다. 기류속도는 모든 실험에서 정지기류 상태인 0.1 m/s를 유지함을 열선풍속계를 이용하여 확인하였다. 실험에 앞서 1시간 정도 예비운전을 하여 실내에 상하온도차가 있는 환경을 구현하였다. 실험의 상세한 설정조건을 표 2에 나타내었다.

표 2 실험설정조건

| Temp. Δt^2 | 23 ¹⁾ [°C] | 25 [°C] | 27 [°C] |
|-----------------------|-----------------------|---------|---------|
| $\Delta 3$ [°C] | 20°C | 22°C | 24°C |
| $\Delta 6$ [°C] | 17°C | 19°C | 21°C |

| | | | |
|-----------------|-----------------------|---------|---------|
| Temp. | 17 ¹⁾ [°C] | 20 [°C] | 23 [°C] |
| $\Delta t^{2)}$ | | | |
| $\Delta 3$ [°C] | 20°C | 23°C | 26°C |
| $\Delta 6$ [°C] | 23°C | 26°C | 29°C |

- 1) 바닥으로부터 1.1m
- 2) 바닥으로부터 0.1m

2.4 피실험자

피실험자로는 남자대학생(6명), 여자대학생(6명)을 대상으로 하였다. 모든 피실험자들은 구강온도 37 °C 이하이고 정상혈압의 건강한 사람들로 구성되었으며 연령 및 신체적 조건을 표 3에 나타내었다. 그러나 실험의 분석에 사용된 피험자는 신체의 체질관계로 인하여 남자대학생의 경우 5명으로 한정하였다.

표 3 실험자 특성

| Subjects | Number of Subjects | Age | Height [cm] | Weight [kg] | Body Area* [m ²] | Ponderal Index [kg ^{0.33} /m] |
|----------|--------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------|--|
| Female | 6 | 22.3 ±0.5 | 164.4 ±3.9 | 56.1 ±7.1 | 1.6 ±0.10 | 2.29 ±0.10 |
| Male | 6 | 22.8 ±2.8 | 176.7 ±5.4 | 71.0 ±9.6 | 1.86 ±0.11 | 2.3 ±0.13 |

* Calculated by Takahira's Equation

$$A = 71.46 \times W^{0.425} \times H^{0.725}$$

** SD is the between-subject standard deviation

2.5 의복량

피실험자들은 모두 가능하면 표준적인 착의량으로 맞추기 위해 동일한 유니폼을 착용하였다. 의복량을 구하는 방법은 여러 연구자에 의해 제안되어 있으나 본 실험에서는 외국인의 경우와 동일한 계산조건으로 비교하기 위해 일본의 Fukai의 연구에서 채택한 의복중량으로 clo치를 계산하는 방법(花田, 三平의 식)을 사용하였다. 그 결과 남자 0.7, 여자 1.0로 각각 계산되었다.

2.6 활동량

피실험자는 실험 중 의자에 앉아서 독서 및 가벼운 대화, 설문지의 응답작성에 행동이 제한되어 있으므로 기존 실험자료와 비교하여 대사량은 1.1 met로 가정하였다.



그림 3 실험중인 피험자의 모습

2.7 설문 내용 및 분석방법

피실험자가 환경실험실내에서 실험에 응하였을 때 설정환경조건에 대한 피실험자의 설문 내용으로써 그림 4와 같이 전신온냉감, 쾌불쾌감, 국부온냉감 등으로 구성되어 있다. 각 피험자의 신고값은 실험 개시후 30분 이후 대부분 안정하였으므로 30분 이후부터 실험종료까지의 30분간의 데이터를 검토의 대상으로 하였다. 분석에 사용되고 온도는 실험환경이 불균일환경이므로 SET* 및 PMV가 아닌 공기온도를 사용하여 분석했으며 설문내용의 통계처리를 위해서 사용한 통계소프트웨어는 SPSS 7.5 FOR WINDOWS였다.

| 전신온냉감/국부온냉감 (TSV) | |
|-------------------|------------|
| -3 | 매우 춥다 |
| -2 | 춥다 |
| -1 | 약간 춥다 |
| 0 | 춥지도 덥지도 않다 |
| +1 | 약간 덥다 |
| +2 | 덥다 |
| +3 | 매우 덥다 |

| 쾌불쾌감 (CSV) | |
|------------|---------|
| 0 | 쾌적하다 |
| 1 | 약간 불쾌하다 |
| 2 | 불쾌하다 |
| 3 | 아주 불쾌하다 |

그림 4 설문지 스케일

3. 체감실험 결과

3.1 쾌불쾌감

그림 5(사용된 스케일은 그림 4 설문지 스케일 참조)에 실험설정조건에 따른 남녀별 쾌불쾌감의 분포를 나타냈다. 두열족한의 경우나 두한족열이나 모두 여자 피험자가 남자 피험자에 비해 높은 불쾌감 신고를 하였다. 머리부위 공기온도가 23℃ 인 경우 두한족열의 경우가 두열족한의 경우에 비하여 전신온냉감 및 쾌불쾌감이 양호한 것으로 나타났다.

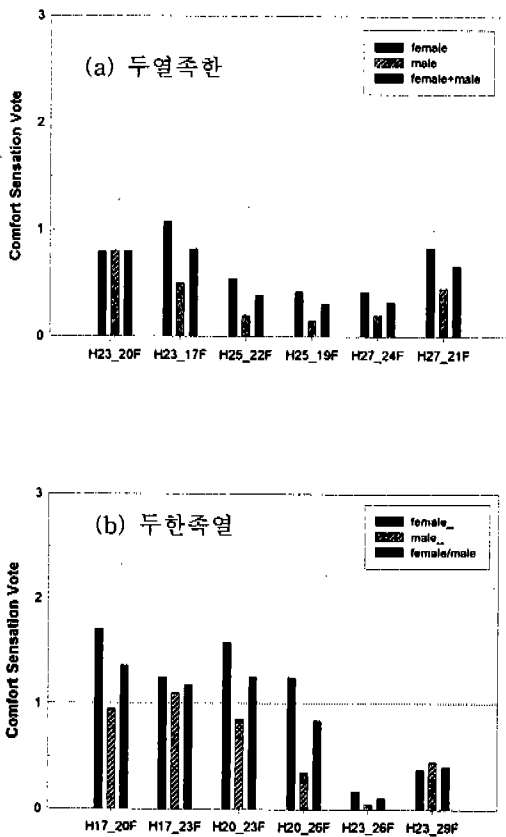


그림 5 남녀별 쾌불쾌감 분포
(H: 머리부위, F: 발부위)

3.2 전신온냉감

그림 6은 남녀별 전신온냉감의 분포를 나타냈다. 전신온냉감의 남녀별 차이는 쾌불쾌감에 비해 적었으며, 두열족한에 비해 두한족열쪽이 머리 부위 공기온도가 20℃ 이하가 되는 경우는 상당히 추위를 느끼고 있음을 알 수 있는데 이는 신체의 상부에서 상당히 추위를

느끼기 때문이었다(표5 참조). 따라서 전신온냉감 및 쾌불쾌감의 결과를 고려할 때 머리부위는 차게 하고 발 부분을 따뜻하게 하는 대류 형태의 공조를 하는 것이 일반적으로 좋다고 알려져 있지만, 한계온도(본 실험에 따르면 상부공기 온도 23℃)가 있음을 이번 실험을 통해 알 수 있었다.

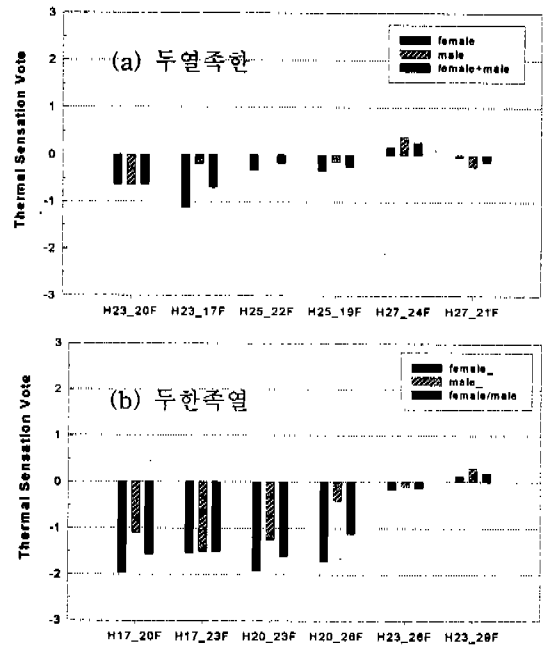


그림 6 남녀별 전신온냉감의 분포
(H: 머리부위, F: 발부위)

3.3 평균피부온도

그림 7에는 전신온냉감 및 쾌불쾌감의 경향을 근거로 하여 평균피부온도 비교를 나타낸 것이다.

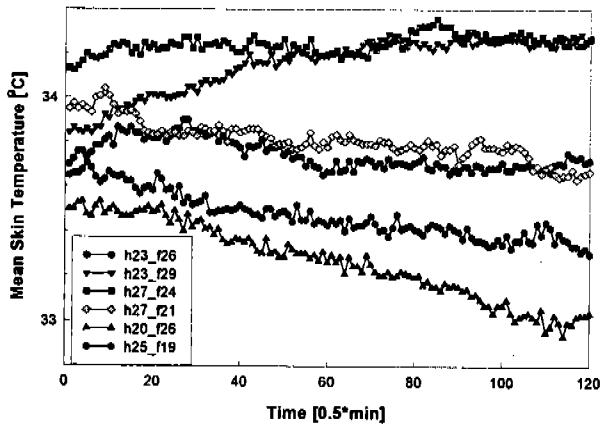


그림 7 평균피부온도 경시변화

h27_f24:머리27-발24, h23_f26:머리23-발26의 경우 평균피부온도 값이 각각 34.2℃ 및 33.7℃임에 반하여 h27_f21(머리27-발21), h23_f29(머리23-발29)의 경우 33.8℃ 및 32.2℃이었다. 두열축한의 경우 상하온도차가 증가함에 따라 평균피부온도는 0.4℃ 하강하였으며, 두한축열의 경우는 1.5℃ 정도 하강하였다. h20_f26(머리20-발26: 평균피부온도 33.3℃)의 조건은 실험 개시 10분 후 평균피부온도가 하강하는 경향을 나타냈다.

3.4 설문지에 의한 쾌불쾌감의 비율

표 4, 5는 두열축한 및 두한축열에 있어 쾌불쾌감의 비율을 나타낸 것이다. 쾌적 비율은 불쾌감 이유에 관한 질문에 응답을 하지 않은 경우를 쾌적한 상태로 보았고, 불쾌 비율은 머리 및 발 부위에 대해 응답한 설문비율이다.

표 4 쾌불쾌감의 비율(두열축한)

| 실험조건 | 쾌적 [%] | 불쾌 [%] | 불쾌하게 느끼는 원인 비율[%] | | | |
|--------------------|--------|--------|-------------------|------|------|------|
| | | | 머리따뜻 | 머리서늘 | 발 따듯 | 발 서늘 |
| 머리: 23℃ 발 : 20℃ | 20.5 | 79.5 | 13.6 | 13.6 | - | 72.7 |
| 머리: 23℃ 발 : 17℃ | 27.3 | 72.7 | 21.4 | 7.10 | - | 71.4 |
| 머리: 25℃ 발 : 22℃ | 63.6 | 36.4 | 40.9 | 18.2 | - | 40.9 |
| 머리: 25℃ 발 : 19℃ | 68.2 | 31.8 | 17.6 | - | - | 82.4 |
| 머리: 27℃ 발 : 24℃ | 61.4 | 38.6 | 64.0 | - | 28.0 | 8.00 |
| 머리: 27℃ 발 : 21℃ | 68.2 | 31.8 | 72.2 | - | - | 27.8 |

표 5 쾌불쾌감의 비율(두한축열)

| 실험조건 | 쾌적 [%] | 불쾌 [%] | 불쾌하게 느끼는 원인 [%] | | | |
|--------------------|--------|--------|-----------------|-------|-------|-------|
| | | | 상부 따듯 | 상부 서늘 | 하부 따듯 | 하부 서늘 |
| 머리: 17℃ 발 : 20℃ | 9.10 | 90.9 | - | 68.2 | 4.80 | 27.0 |
| 머리: 17℃ 발 : 23℃ | 13.6 | 86.4 | - | 73.7 | - | 43.9 |
| 머리: 20℃ 발 : 23℃ | 11.4 | 88.6 | - | 51.8 | - | 48.2 |
| 머리: 20℃ 발 : 26℃ | 34.1 | 65.9 | - | 56.3 | - | 43.7 |
| 머리: 23℃ 발 : 26℃ | 88.6 | 11.4 | - | 16.7 | - | 83.3 |
| 머리: 23℃ 발 : 29℃ | 59.1 | 40.9 | 29.2 | 12.5 | 54.2 | 4.20 |

두열축한의 경우 발 부위가 서늘하다는 비율은 상하온도차가 증가(Δt 3℃ → 6℃)하면 역시 증가하였고, 두한축열의 경우 머리 부위 온도 23℃ 에서는 발 부위 온도를 증가시키면(Δt 3℃ → 6℃) 불쾌 비율이 증가하는 경향을 나타냈다.

3.5 전신온냉감 및 쾌불쾌감과 신체부위와의 관계

표6 및 표7는 쾌불쾌감 및 전신온냉감의 남녀별 차이 및 신체 각 부위(얼굴, 어깨, 무릎, 발)와 쾌불쾌감, 전신온냉감의 관계를 통계 처리한 것이다. 남녀 사이의 쾌불쾌감은 두열축한 및 두한축열 유의한 차를 나타냈지만, 전신온냉감의 경우 두한축열에 있어서 유의차가 나타났다. 신체 부위별 온열감과과의 관계를 보면 어깨부위에서 느끼는 온열감이 전반적으로 쾌불쾌감 및 전신온냉감과 유의차를 나타냈다. 얼굴 부위에서의 온열감은 머리부위 공기온도 25℃ 이상에서 쾌불쾌감과 유의차를 나타냈고, 발 부위에서의 온열감은 머리부위 공기온도 25℃ 이하에서 전신온냉감과 유의차를 나타냈다.

표 6 두열축한의 정리표

| 실험 조건 | CSV ¹⁾ | TSV ¹⁾ | | 얼굴 | 어깨 | 무릎 | 발 |
|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------|----|----|----|---|
| 머리: 23℃ 발 : 20℃ | ~ | ~ | a ²⁾ | ~ | * | ~ | * |
| | | | b ³⁾ | ~ | ~ | ~ | ~ |
| 머리: 23℃ 발 : 17℃ | * | * | a | ~ | * | * | * |
| | | | b | ~ | * | * | * |
| 머리: 25℃ 발 : 22℃ | * | ~ | a | ~ | * | * | * |
| | | | b | * | ~ | ~ | ~ |
| 머리: 25℃ 발 : 19℃ | * | ~ | a | ~ | * | * | * |
| | | | b | ~ | * | * | * |
| 머리: 27℃ 발 : 24℃ | ~ | ~ | a | ~ | * | * | ~ |
| | | | b | * | ~ | * | * |
| 머리: 27℃ 발 : 21℃ | * | ~ | a | * | * | ~ | ~ |
| | | | b | * | * | ~ | ~ |

주) 1) 남녀간 평균의 유의차

2) 전신온냉감과 신체부위별 온열감과 관계

3) 쾌불쾌감과 신체부위별 온열감과 관계

*: p = 0.05 ~: Not Significant

두한축열의 경우 전반적으로 어깨부위의 온열감이

쾌불쾌감 및 전신온냉감과 유의차를 나타냈다. 발 부위의 온열감은 전신온냉감과 유의차를 나타냈으며, 얼굴 부위에서 온열감은 쾌불쾌감과 유의차를 나타냈다.

표 7 두한족열의 정리표

| 실험 조건 | CSV ¹⁾ | TSV ¹⁾ | | 얼굴 | 어깨 | 무릎 | 발 |
|--------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|----|----|----|---|
| 머리: 17℃ 발 : 20℃ | * | * | a ²⁾ b ³⁾ | * | * | ~ | * |
| 머리: 17℃ 발 : 23℃ | * | ~ | a b | * | * | * | * |
| 머리: 20℃ 발 : 23℃ | * | * | a b | ~ | * | * | * |
| 머리: 20℃ 발 : 26℃ | * | * | a b | ~ | * | * | ~ |
| 머리: 23℃ 발 : 26℃ | ~ | ~ | a b | ~ | * | ~ | * |
| 머리: 23℃ 발 : 29℃ | ~ | ~ | a b | ~ | * | * | * |

- 주) 1) 남녀간 평균의 유의차
 2) 전신온냉감과 신체부위의 관계
 3) 쾌불쾌감과 신체부위의 관계
 *: p = 0.05 ~: Not Significant

III. 결론

이상의 체감실험 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 머리부위 공기온도가 23℃ 인 경우 두한족열의 경우가 두열족한의 경우에 비하여 전신온냉감 및 쾌불쾌감이 양호한 것으로 나타났다.
- 2) 두열족한의 경우 발 부위가 서늘하다는 비율은 상하온도차가 증가(Δt 3℃ → 6℃)하면 역시 증가하였고, 두한족열의 경우 머리 부위 온도 23℃ 에서는 발 부위온도를 증가시키면(Δt 3℃ → 6℃) 불쾌 비율이 증가하는 경향을 나타냈다.
- 3) 신체 부위별 온열감과의 관계를 보면 어깨부위에서 느끼는 온열감이 전반적으로 쾌불쾌감 및 전신온냉감과 유의차를 나타냈다. 얼굴 부위에서의 온열감은 머리부위 공기온도 25℃ 이상에서 쾌불쾌감과 유의차를 나타냈고, 발 부위에서의 온열감은 머리부위 공기온도 25℃ 이하에서 전신온냉감과 유의차를 나타냈다.

謝辭

본 논문은 G-7 감성공학 과제의 연구수행 결과로서 실험에 참가해주신 피실험자 및 관련업체, 감성공학 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

* 참고문헌

- 1) Kazuaki BOHGAKI, 1990, "The effects of vertical air temperature differences on thermal comfort and physiological responses", Journal of Archit. Plann. Engng. AIJ, No.417
- 2) Hiroyuki Kawauchi, "1994, "The influences of air temperature distribution on the human physiological and psychological responses", 日本建築學會大會學術講演論文集
- 3) 김종수, 1993, "한국인에 맞는 쾌적지표의 검증과 기준data의 추출에 대한 최종보고서", 부경대학교(구 부산수산대학교) 산업기술연구소
- 4) P.O.Fanger, 1970, "Thermal comfort, Danish Technical Press", McGraw-Hill Book Company
- 5) ASHRAE, 1989, "FUNDAMENTALS", pp 8.1 ~ 8.20
- 5) 横山 眞太郎, 1993, "生体内熱移動現象", 北海道大學圖書刊行會
- 6) 정충영 외 1인, 1998, "SPSS WIN을 이용한 통계분석", 무역경영사