

# 서열 환경에서 농작업 모자 착용에 따른 체온 조절 및 주관적 반응

김명주 · 최정화

서울대학교 생활과학대학 의류학과

## Thermal and subjective responses by sun hats for farmer in a hot climatic chamber

Myung-Ju Kim · Jeong-Wha Choi

Dept. of Clothing & Textiles, College of Human Ecology, Seoul National University  
(2004. 3. 12. 접수)

### Abstract

This study examined the effects of two kinds of functional sun hats through a head-manikin test and a climatic chamber trial for farm workers in summer. Experiment was composed of four conditions. The first condition was the condition without any hat (Control). The second was the condition with a sun hat on the market (Hat A). The third was the condition with a functional sun hat made of reflective fabric (Hat B). The last was the condition with a functional sun hat having a ventilating structure as well as reflective fabric (Hat C). For the subjects in the climatic chamber trials, 12 healthy males volunteered. Air temperature, relative humidity and globe temperature in the chamber was maintained at  $33\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ,  $65\pm 5\%RH$  and  $39\pm 1^{\circ}\text{C}$  (WBGT  $33^{\circ}\text{C}$ ). Subjects did a simulated red pepper-work (50-min work and 10-min rest, twice repetition) for 120 min. As the result of head-manikin test, the surface temperature on middle of back-neck was the lowest in Hat B of four conditions and the surface temperature on top of head was the lowest in Hat C. As the result of climatic chamber trials, there were apparent differences between with (Hat A, Hat B, Hat C) and without a sun hat (Control). In rectal temperature ( $T_{re}$ ), mean skin temperature ( $\bar{T}_{sk}$ ), heart rate (HR), total sweat rate (TSR), The physiological heat strain was less in the condition with hats than in the condition without a sun hat. As the increasing rate in  $T_{re}$ , Hat B is the most effective hat for alleviation heat strain. As the subjective responses, Hat B was the most effective hat for thermal comfort even though the difference was not significant. Hat C was less effective than Hat B and the reason might be the increase of weight due to inserting the ventilating structure.

**Key words:** Heat stress, Heat strain, Thermal comfort, Sun hat, Cooling equipment; 열 스트레스, 열 부담, 열 쾌적감, 차양 모자, 냉각 장비

### I. 서 론

자외선에 의한 과도한 노출은 피부 그늘림, 태닝, 일광 화상, 일광에 의한 노화, 유전적 변형, 피부암 등의

피부 질환 및 백내장 등의 안과 질환을 유발시킬 수 있다(김경수, 최정화, 2002). 또한 자외선도 일종의 열 스트레스(heat stress)로서 인체에 작용하여, 이러한 열 스트레스에 의해 인체는 열 부담(heat strain)을 받게 된다. 따라서 여름철 실외 작업용 모자는 직사 일광을 효과적으로 막아 줄 수 있어야 하며, 머리에서 발산되는 열, 땀, 수증기, 탄산가스 등을 효과적으로 방출시킬 수 있는 디자인이어야 한다. 大川(1960)

본 연구는 농림부의 농림기술개발과제 지원으로 수행되었습니다. 농림부와 본 연구에 피험자로 참여하신 분들에게 감사드립니다.

은 양산류의 재질로서 외면은 반사성이 큰 직물, 내면은 짙은 색으로 이중으로 제작하는 것이 방서에 유리하다고 보고하였다.

보통 차양 모자는 주로 직사일광 차단에 초점이 맞춰 제작되고 있으나, 모자를 이용한 머리 부위 냉각 효과도 검토될 필요가 있다. Nunneley and Maldonado는 심부 온도를 인공적으로 상승시켜도 머리 부위 온도를 낮게 유지해 주면 온열 쾌적감이 악화되지 않으면서 얼굴 부위의 발한량은 감소된다고 하였으며, Williams and Shiter는 머리와 목 부위 냉각을 통해 직장 온도( $T_{re}$ ), 심박수(HR), 총발한량(TSR) 등이 감소되었다고 보고하였다(Cohen et al., 1989). Epstein et al.(1986)은 신체 냉각 시 머리카락이나 목 부위 냉각은 가슴이나 등 부위와 같은 구간 부위 냉각보다 서열 부담을 경감시키는 효과는 덜하나 냉각되는 면적이 더 적다는 점에서 더 효율적이라고 보고하였으며, Frim(1989)은 머리 부위 냉각으로 인해 너무 춥거나 불편하다고 호소하는 경우는 없었으므로 서열 작업 시 머리 부위 냉각은 필수적이지는 않더라도 권장할만하다고 보고하였다. 농민을 위한 기능성 차양 모자를 제작할 경우 어떠한 방법으로 머리를 냉각시키는 것이 가장 효율적인가를 고려해야 하는데, 여름철 실외 농 작업자들은 작업 시 차양 모자를 착용하므로 별도의 머리 냉각 장비를 개발하는 것보다는 차양 모자에 냉각 효과를 부여하는 것이 현실적인 것이다. 또한 체온 조절 중추인 시상하부가 뒷머리 부위에 있으므로 뒷머리 부분에 대한 냉각 효과를 갖는 차양 모자 개발은 직사일광을 막아줌과 동시에 시상하부 부위 냉각 효과를 얻을 수 있다.

한편, 서열 부담 경감을 위한 냉각 의류 개발자들에게는 가슴이나 등 부위 등 신체 구간 부위 냉각이 다른 부위들보다 효과적이라 알려져 있기 때문에 주로 냉각 조끼의 형태로 상체 구간 부위를 냉각하는 방식을 선택해 왔다. 그러나 냉각 조끼 착용에 의해

심부 온도가 적정 범위 내에서 잘 유지된다고 해도 머리와 목 부위는 불쾌하게 더운 부위로 남는다는 점 등이 문제점으로 지적되어 왔다(Cohen et al., 1989).

따라서, 본 연구에서는 여름철 농 작업자들의 서열 부담 경감을 위해 자외선 차단과 동시에 냉각 효과를 줄 수 있는 반사 소재의 냉각 모자 1종과, 냉각 효과와 함께 이마 둘레 부위의 통기성을 향상시킨 통기구조 모자 1종을 개발, 제작하였다. 이의 성능 평가를 위해 먼저 두상 마네킹 실험을 통해 정지 상태에서의 성능 평가를 실시하였으며, 여름철 실외 농 작업 중 가장 힘든 작업 중 하나로 알려진 고추 수확 작업 환경으로 조절된 인공 기후실 실험을 통해 개발된 농 작업 차양 모자 착용이 작업자의 생리적, 주관적 반응에 미치는 영향을 평가하는 것을 목적으로 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험 모자

실험 조건은 네 가지로 모자를 착용하지 않은 경우(Control), 시판 농 작업 차양 모자를 쓴 경우(Hat A), 뒤 목 부위에 냉매를 넣을 수 있는 가리개를 부착한 반사 소재의 차양 모자를 착용한 경우(Hat B), 뒤 목 부위에 냉매를 넣을 수 있는 가리개를 부착한 반사 소재의 통기 구조 차양 모자를 착용한 경우(Hat C)이다(Fig. 1). Hat B와 Hat C의 소재는 나일론 100%, 중량 78g/m<sup>2</sup>, 밀도 180올/100inch, 표면 반사율 50.7%, UV-A 차단율 97.4%, UV-B 차단율 99.5%이며 색상은 은색이었고, 챙 안쪽만 검정 T/C 직물로 마감하였다. 한국의 고추 수확 농민들은 대부분 햇빛을 가리고 땀을 닦기 위해 수건을 모자 위에 두르고 작업하기 때문에(최정화, 2002), 본 연구에서는 탈부착 가리개(100% Cotton, 흰색 타월 직물)를 만들어 Hat B와 Hat C에

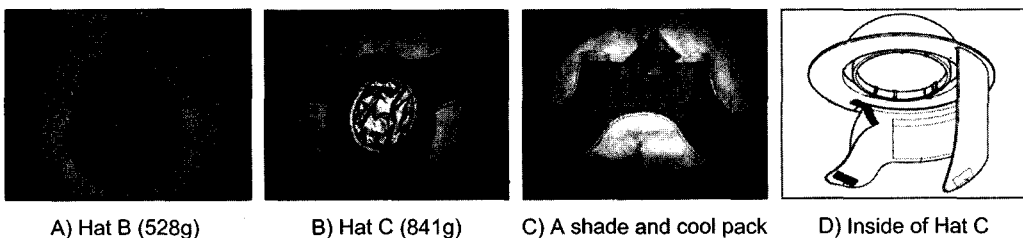


Fig. 1. Photos and figure of Hat B and Hat C.

부착하였다. 탈부착 가리개의 목 뒤 부분에는 냉매(180g)를 넣었으며, Hat C의 경우 정수리 부분에도 동일한 냉매 한 개를 삽입할 수 있도록 디자인하였다. 냉매의 크기는 14×11cm, 무게는 180g 였으며, 모자의 무게는 Hat A는 72g, Hat B는 냉매를 넣었을 때 528g, Hat C는 냉매를 넣었을 때 841g이었다.

## 2. 두상 마네킨 실험

인체의 영향을 배제하고 모자에 의한 열 차단력의 차이를 알아 보기 위해, 이상의 네 가지 실험 조건에 대해 두상 마네킨 착용 실험을 수행하였다. 실험은 인체 실험과 유사한 환경 조건인 기온 33±0.5°C, 습도 65±5%RH, 복사 온도 39±1°C, WBGT 33°C로 조절된 인공 기후실에서 실시하였으며, 두상 마네킨의 이마 온도, 콧등 온도, 정수리 온도, 뒤 목 온도를 120분 동안 1분 간격으로 자동 기록하였다.

## 3. 인체 착용 실험

### 1) 피험자 및 실험 의복

본 실험에는 건강한 남자 대학생 열 두 명이 피험자로 참가하였고, 나이는 25.4(±1.6)세, 키는 173.1(±5.0)cm, 몸무게는 69.3(±9.8)kg, 체표면적은 1.84(±0.14)m<sup>2</sup>였다. 피험자는 실험 내용에 대해 충분히 숙지한 후 실험의 자발적 참여를 서면으로 동의하였다. 실험 조건은 이상에서 서술한 네 가지로 모자를 착용하지 않은 경우(Control), 시판 농 작업 차양 모자를 쓴 경우(Hat A), 뒤 목 부위에 냉매를 넣을 수 있는 가리개를 부착한 반사 소재의 차양 모자를 착용한 경우(Hat B), 뒤 목 부위에 냉매를 넣을 수 있는 가리개를 부착한 반사 소재의 통기 구조 차양 모자를 착용한 경우(Hat C)이다(Fig. 1). 선행 농작업 실태 조사(최정화 외, 2002)에 의하면, 농민들은 여름철 실외 작업시 반 팔이 아닌, 긴 소매 셔츠와 긴 튜리닝 바지를 착용했으므로 본 실험의 Control의 경우 착용 의복은 긴 소매 면 셔츠(255g)와 긴 면 튜리닝 바지(237g)로 통일하였다. 이 외 면 100%의 팬티(67g), 양말(40g), 작업 장갑(40g)을 착용하였다.

### 2) 실험 과정 및 측정

인공 기후실 환경 조건은 기온 33±0.5°C, 습도 65±5%RH, 복사 온도 39±1°C로 WBGT 33°C를 유지하였

다. 매 실험은 개인의 생체 리듬의 영향을 최소화하기 위해 동일 시간(10:00 am)에 실시하였다. 피험자들은 실험 시작 전 최소 두 시간 동안 음료를 제외하고 금식하였으며, 서열적응의 효과를 최소화 하기 위해 각 피험자들은 하루에 한 번씩 두 시간 동안만 실험 환경에 노출하였고 다음 실험 날짜와의 간격은 최소 3일을 유지하였다. 피험자들은 인공 기후실로 들어가기 전 준비실에서 실험 의복으로 갈아 입고 측정 기기를 부착하였으며, 30분 안정 후 인공 기후실로 들어가 정해진 작업을 실시하도록 하였다. 인공 기후실 내 작업은 고추 수확 작업을 시뮬레이션한 것으로 총 120분(50분 작업, 10분 휴식, 50분 작업, 10분 휴식) 동안 실시하였다. 실험에 들어가기 전 충분한 음료를 마시게 하였고 실험 도중 음료를 보충하지는 않았다.

측정 항목 중 직장 온도(T<sub>re</sub>)는 휴대용 써미스터를 이용하여 직장 내 13cm 삽입하여 측정하였다. 피부 온도(T<sub>sk</sub>)는 휴대용 써미스터를 이용하여 일곱 부위(이마, 배, 아래팔, 손등, 넓적다리, 종아리, 발등)에서 측정된 후 Hardy & DuBois식에 따라 평균피부온도( $\bar{T}_{sk}$ )를 산출하였다. 의복내 온도(T<sub>clo</sub>)와 의복내 습도(H<sub>clo</sub>)는 휴대용 의복내 온습도기(Tabai Espec, RS-10, Japan)로 두 부위(가슴 중앙, 등 견갑골 사이)에서 측정하였고, 심박수(HR)는 휴대용 HR 측정기(polar electro sport tester, PE 3000)를 이용해 측정하였다. T<sub>re</sub>, T<sub>sk</sub>, T<sub>clo</sub>, H<sub>clo</sub>, HR은 모두 1분 간격으로 자동 측정하였다. 총발한량(TSR)은 인체칭형(Satorious Inc., F150S, Germany)으로 측정된 실험 전후 체중 변화량으로 하였다. 온열감, 습윤감, 쾌적감 및 힘들기 정도는 10분 간격으로 설문지에 스스로 기록하게 하였다. 실험은 피험자의 직장 온도가 39°C에 이르는 경우, 직장 온도가 처음 시작 시보다 2°C 이상 오르는 경우, 또는 심박수가 185 bpm을 넘는 경우, 또는 피험자 스스로 중단하기를 요구하는 경우에 중단하였다.

### 3) 결과 분석

모든 생리적, 주관적 반응 결과들에 대해 120분 노출 동안의 평균(±SD)을 계산하였다. 네 가지 조건간 차이를 검정하기 위해 노출 110분에서 얻은 값에 대해 분산 분석을 실시하였고, 유의한 항목에 대해 Tukey의 사후 검정을 수행하였다. 주관적 반응 결과들은 기초 통계량 및 빈도, 비율 등을 계산하였고,  $\chi^2$ 에 의해 네 집단간 유의차를 검정하였다. p<.05 인 경우를 유의한 차이로 인정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 두상 마네킨 착용 실험

두상 마네킨 착용 실험 결과 이마, 코, 정수리, 뒤 목 부위의 마네킨 표면 온도는 모두 Control의 경우 제일 높았고, Hat A보다 반사 소재 및 냉매를 이용한 Hat B와 Hat C를 착용한 경우 더 낮았다. 특히, 뒤 목 온도는 Hat B가 가장 낮았고, 정수리 부위 온도는 Hat C가 가장 낮았다 (Table 1). Hat B와 Hat C 모두 탈부착 가리개의 뒤 목 부위에 냉매를 삽입했으므로 뒤 목 부위 온도가 비슷하게 유지될 것으로 예상했으나 Hat C 보다 Hat B를 씌운 경우에 약 3.4°C 더 낮은 온도를 유지하였다. 그 이유는 모자의 구조상 Hat B의 탈부착 가리개가 뒤 목 부위에 더 밀착되기 때문

**Table 1. Face surface temperatures of manikins during 120 min exposure to the WBGT 33°C**

|   | Control | Hat A | Hat B | Hat C |
|---|---------|-------|-------|-------|
| T <sub>forehead</sub> (°C) <sup>a</sup>         | 35.9    | 35.4  | 34.9  | 34.5  |
| T <sub>nose</sub> (°C) <sup>b</sup>             | 35.5    | 35.3  | 34.5  | 34.2  |
| T <sub>top on the head</sub> (°C) <sup>c</sup>  | 36.9    | 36.3  | 36.0  | 34.2  |
| T <sub>back of the neck</sub> (°C) <sup>d</sup> | 36.0    | 35.9  | 17.2  | 20.6  |
| Mean of a to d                                  | 36.1    | 35.7  | 30.7  | 30.9  |

이므로(Hat C의 탈부착 가리개는 뒤 목으로부터 3~4cm의 여유 공간을 만든다), 냉매를 삽입하는 모자를 제작할 경우 냉매가 피부면에 얼마나 밀착되는지를 고려하여 제작하여야 할 것이다.

복사열이 높은 환경에서 열 반사 의복은 이론적으로 착용자의 서열 부담을 감소시켜 준다 (Hanson, 1999). 다양한 여름용 차양 모자 소재의 복사열 및 자외선 차단 성능 평가를 실시한 김경수, 최정화(2002)에 의하면 여러 소재 중 본 연구의 Hat B와 Hat C에 사용된 소재와 동일한 소재인 은색 알루미늄 코팅 직물이 가장 우수하였다. 본 연구에서도, 두상 마네킨의 표면 온도는 Hat A를 착용한 경우보다 Hat B와 Hat C를 착용한 경우 더 낮았으므로, 복사열이 강한 실외에서 반사 소재 및 냉매를 이용한 Hat B와 Hat C 착용은 Hat A보다 서열 부담 경감에 보다 효과적일 것이라 예측할 수 있다.

#### 2. 인체 착용 실험

##### 1) 직장 온도 (T<sub>re</sub>)

T<sub>re</sub>의 경우 세 가지 모자의 종류에 따른 유의한 차이는 보이지 않았으나, 모자를 착용하지 않은 경우와 비교하면 Hat B를 착용한 경우에 유의하게 낮았다 ( $p < .05$ , Table 2, Table 3, Fig. 2). T<sub>re</sub>가 38°C 이상 올

**Table 2. Physiological responses during 120 min exposure to the WBGT 33°C**

|                                  | Control      | Hat A        | Hat B         | Hat C        |
|----------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| T <sub>re</sub> (°C)             | 37.8 (0.3)   | 37.7 (0.3)   | 37.5 (0.2)*   | 37.5 (0.3)   |
| T <sub>sk</sub> (°C)             | 35.2 (0.6)   | 34.6 (0.6)** | 34.8 (0.5)*   | 34.8 (0.3)*  |
| T <sub>forehead</sub> (°C)       | 36.1(0.4)    | 35.9 (0.5)   | 35.7(0.5)*    | 35.8(0.6)*   |
| T <sub>abdomen</sub> (°C)        | 34.7 (0.9)   | 33.9(0.8)*   | 34.1 (0.8)*   | 34.1 (0.9)*  |
| T <sub>arm</sub> (°C)            | 35.7(0.6)    | 35.2 (0.9)*  | 35.3 (0.7)*   | 35.3 (0.7)   |
| T <sub>hand</sub> (°C)           | 35.7 (0.4)   | 35.4 (0.5)   | 35.3(0.5)*    | 35.3 (0.6)*  |
| T <sub>thigh</sub> (°C)          | 35.3 (0.8)   | 34.5 (0.8)** | 34.9 (0.5)    | 34.5(0.7)**  |
| T <sub>calf</sub> (°C)           | 34.8 (1.1)   | 34.7 (0.7)   | 34.9 (0.8)    | 34.8 (0.8)   |
| T <sub>foot</sub> (°C)           | 35.9 (0.8)   | 35.7 (0.9)   | 35.9 (0.5)    | 36.0 (0.4)   |
| T <sub>clo-chest</sub> (°C)      | 33.2 (1.0)   | 32.6 (0.8)*  | 32.9 (0.6)    | 32.5 (0.7)** |
| T <sub>clo-back</sub> (°C)       | 34.6 (0.9)   | 34.4 (0.8)   | 34.3 (0.6)    | 34.2 (0.8)   |
| HR (bpm)                         | 97.9 (11.4)  | 92.1 (13.6)  | 90 (10.7)*    | 89.6 (10.7)* |
| TSR (g/m <sup>2</sup> /hr)       | 166.6 (46.9) | 143.2 (97.1) | 132.9 (60.2)* | 140.5 (84.5) |
| Thermal sensation <sup>a)</sup>  | 2.69 (0.74)  | 2.60 (0.55)  | 2.21 (1.33)   | 2.57 (0.58)  |
| Humidity sensation <sup>b)</sup> | 1.4 (0.85)   | 1.47 (0.76)  | 1.4 (0.74)    | 1.4 (0.74)   |
| Thermal comfort <sup>c)</sup>    | 1.23 (0.55)  | 1.1 (0.44)   | 1.1 (0.56)    | 1.32 (0.57)  |

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , compared to Control.

<sup>a)</sup>Neutral (0), Warm (1), Slightly hot (2), Hot (3), Very hot (4)

<sup>b)</sup>A slightly dry (-1), Not both (0), A slightly humid (1), Humid (2), Very humid (3)

<sup>c)</sup>Comfortable (0), A little uncomfortable (1), Uncomfortable (2), Very uncomfortable (3)

Table 3. Range of  $T_{re}$  and taking time to reach to  $T_{re}$  38°C for 120 min.

| Subject No. | Control                |                    |                                    |   | Hat A                |                    |                                 |                                     | Hat B         |                    |                                 |                                     | Hat C         |                    |                                 |                                     |
|-------------|------------------------|--------------------|------------------------------------|---|----------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
|             | $\Delta T_{re}$ * (°C) | Max. $T_{re}$ (°C) | $T_{re}=38^\circ\text{C}$ ** (min) | $T_{re}\geq 38^\circ\text{C}$ *** (min) | $\Delta T_{re}$ (°C) | Max. $T_{re}$ (°C) | $T_{re}=38^\circ\text{C}$ (min) | $T_{re}\geq 38^\circ\text{C}$ (min) | $T_{re}$ (°C) | Max. $T_{re}$ (°C) | $T_{re}=38^\circ\text{C}$ (min) | $T_{re}\geq 38^\circ\text{C}$ (min) | $T_{re}$ (°C) | Max. $T_{re}$ (°C) | $T_{re}=38^\circ\text{C}$ (min) | $T_{re}\geq 38^\circ\text{C}$ (min) |
| 1           | 0.25                   | 37.67              |                                    |   | 0.47                 | 37.86              | -                               | -                                   | 0.02          | 37.32              | -                               | -                                   | 0.43          | 37.97              | -                               | -                                   |
| 2           | M <sup>†</sup>         | M                  |                                    |   | 0.34                 | 37.80              | -                               | -                                   | 0.19          | 37.59              | -                               | -                                   | 0.16          | 37.47              | -                               | -                                   |
| 3           | 0.37                   | 37.65              |                                    |   | 0.47                 | 37.58              | -                               | -                                   | 0.38          | 37.84              | -                               | -                                   | 0.2           | 37.40              | -                               | -                                   |
| 4           | 0.86                   | 37.34              | 43                                 | 78                                      | 0.2                  | 38.26              | 4                               | 117                                 | 0.33          | 37.65              | -                               | -                                   | 0.43          | 37.64              | -                               | -                                   |
| 5           | 0.21                   | 37.63              |                                    |   | 0.85                 | 38.30              | 67                              | 54                                  | 0.21          | 37.42              | -                               | -                                   | 0.23          | 37.67              | -                               | -                                   |
| 6           | 0.38                   | 37.80              |                                    |   | 0.23                 | 37.49              | -                               | -                                   | 0.54          | 37.68              | -                               | -                                   | 0.36          | 37.64              | -                               | -                                   |
| 7           | 0.60                   | 38.01              | 89                                 | 35                                      | 0.48                 | 37.91              | -                               | -                                   | 0.29          | 37.52              | -                               | -                                   | 0.38          | 37.85              | -                               | -                                   |
| 8           | 0.86                   | 38.38              | 63                                 | 58                                      | 0.32                 | 38.34              | 15                              | 88                                  | 0.7           | 37.89              | -                               | -                                   | 0.74          | 37.88              | -                               | -                                   |
| 9           | 0.76                   | 38.23              | 46                                 | 75                                      | 0.44                 | 37.74              | -                               | -                                   | 0.14          | 37.69              | -                               | -                                   | 0.24          | 37.49              | -                               | -                                   |
| 10          | 0.49                   | 37.92              |                                    |   | 0.42                 | 37.75              | -                               | -                                   | 0.43          | 37.66              | -                               | -                                   | 0.37          | 37.80              | -                               | -                                   |
| 11          | 1.8                    | 38.44              | 55                                 | 66                                      | 0.31                 | 37.66              | -                               | -                                   | 0.57          | 37.58              | -                               | -                                   | 0.64          | 38.00              | 112                             | 1                                   |
| 12          | 0.65                   | 38.14              | 77                                 | 44                                      | 0.25                 | 37.53              | -                               | -                                   | 0.22          | 38.18              | 88                              | 33                                  | 0.29          | 38.01              | 27                              | 12                                  |
| M           | 0.59                   | 38.0               | 62.2                               | 59.3                                    | 0.40                 | 37.9               | 28.7                            | 86.3                                | 0.34          | 37.7               | 88                              | 33                                  | 0.38          | 37.7               | 69.5                            | 6.5                                 |
| SD          | 0.28                   | 0.31               | 18.0                               | 17.1                                    | 0.17                 | 0.30               | 33.7                            | 31.5                                | 0.20          | 0.23               | -                               | -                                   | 0.18          | 0.22               | 60.1                            | 7.78                                |

\*= $T_{re}$  at 110 min. -Initial  $T_{re}$ ; \*\*=Time taking  $T_{re}$  arise up to 38°C; \*\*\*=Time during  $T_{re}\geq 38^\circ\text{C}$ ; M<sup>†</sup>=Missing data

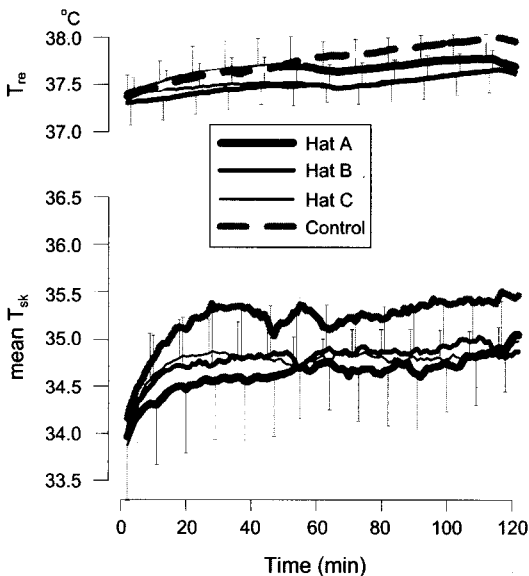


Fig. 2. Changes of rectal temperature and mean skin temperature during 120 min exposure in the climatic chamber.

라간 피험자는 모자를 착용하지 않은 경우 여섯 명, Hat A의 경우 세 명, Hat B의 경우 한 명, 그리고 Hat C의 경우 두 명이였다(Table 3). 이상의 결과로 볼 때 Hat B의 착용 효과가 가장 우수했으며, 반사 소재나 냉매를 사용하지 않은 Hat A도  $T_{re}$ 를 38°C 이하로 유

지하는 데 효과적이었음을 알 수 있다. 즉, 반사 소재나 냉매를 사용하지 않은 차양 모자도 심부 온도 상승 억제에 효과가 있었다. WHO는 작업 시 심부 온도를 38°C 이하로 유지하도록 권장하고 있으며, 보호 의복의 주요한 생리적 목적은 착용자의 체온을 수용할만한 한계 내로 유지하는 것이므로, 실외 직사일광 아래에서의 작업 시에는 차양 모자 착용이 필수적이다.

한편, 본 연구에서는 심부 온도로  $T_{re}$ 를 측정하였는데, 이는 고추 수확 작업 시 머리로 좌우 상하로 움직이는 동작이 많아 고막 온도를 측정하는 데 기술적으로 어려움이 있었기 때문이다. Desruelle and Candas (2000)은 모자를 통한 머리 냉각 시 식도 온도보다는 고막 온도가 체온 조절 결과를 반영해 주는 좋은 인덱스라고 하였다. 따라서 추후 기능성 모자 착용에 의한 서열 부담 경감 효과 연구에서는 심부 온도로 직장 온도 뿐만 아니라 고막 온도도 측정한다면 모자 착용 유무 및 모자 종류에 따른 차이를 보다 명확히 관찰할 수 있을 것이다.

## 2) 피부 온도 ( $T_{sk}$ )

$\bar{T}_{sk}$ 도  $T_{re}$ 와 마찬가지로 세 가지 모자 종류에 따른 유의한 차이는 없었으나, 모자를 착용하지 않은 경우와 비교했을 때 모자를 착용한 경우 유의하게 낮았다. 즉, 모자착용에 의해 평균 피부 온도는 낮게 유지되지만, Hat A와 Hat B, C간에 유의한 차이는 없었

므로, 모자에 사용된 반사 소재나 냉매가  $\bar{T}_{sk}$ 를 낮추는데 큰 효과는 없었음을 보여 준다. 두상 마네킨 실험에서 마네킨의 표면 온도는 Hat A보다 Hat B와 Hat C 착용 시 더 낮았음에도 불구하고, 인체 실험 결과 이마 온도 및 평균 피부 온도 모두 세 모자간 유의한 차이가 없는 점으로 미루어 볼 때, 반사 소재 및 냉매를 이용한 Hat B와 Hat C는 안정 시 머리 부위의 온도를 낮추는 데는 효과적이거나, 작업이나 운동 등의 활동이 수반되는 경우 그 효과는 경감됨을 알 수 있다.

한편, 본 연구에 사용된 Hat B와 Hat C는 알루미늄 코팅 소재를 사용하고 챙의 안쪽만 검정색 T/C 직물로 마감하였는데, 이는 양산류의 재질로서 외면은 반사성이 큰 직물을 사용하고 내면은 짙은 색으로 이중으로 하는 것이 방사에 유리하다고 보고한 선행 연구(大川, 1960)에 근거한 것이다. 이마 온도의 경우, 인체 실험 결과 세 가지 모자 간에 유의한 차이는 보이지 않았으나, 외면에는 반사 소재를 사용하고 챙 안쪽에는 검정 색을 띤 Hat B와 Hat C를 착용한 경우 Control 보다 유의하게 낮은 온도를 보여 주었다. 알루미늄 코팅 소재의 자외선 및 복사열 차단 효과 실험 결과에서도 외면은 반사 직물, 내면은 검정색 T/C 처리한 경우 자외선 및 복사열 차단 성능이 가장 우수했으며(김경수, 최정화, 2002), 마네킨 실험에서는 Control과 Hat A보다 Hat B와 Hat C를 착용한 경우 유의하게 낮은 이마 온도를 보여 은색 반사 소재를 사용한 모자의 효과가 확실히 구별되었다. Diffey and Cheeseman(1992)는 여름철 실외 작업 시 코와 볼 주위를 직사일광으로부터 효과적으로 차단하기 위해서는 차양 모자 챙의 폭이 7.5cm 이상 되어야 한다고 하였다. 본 연구에서도 Hat B의 앞 챙 폭은 13cm로 반 타원이며, Hat C의 챙은 7cm로 모자를 360° 두르는 타원형 챙으로 충분히 넓다. 또한 탈부착 가리개로 인해 이마, 볼, 코 등 얼굴 뿐만 아니라 뒤 목 부위도 직사일광으로부터 효과적으로 가려 주어 피부 온도 저하에 기여할 수 있었다.

### 3) 의복내 온도 ( $T_d$ )

모자의 종류에 따른 의복내 온도의 차이는 없었으며, 가슴 부위에서만 Hat A와 Hat C를 착용한 경우에 Control보다 낮았고, 등 부위도 모자를 착용한 경우 더 낮았으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 모자 착용 유무 및 모자의 종류에 상관없이 등 부위의 온

도가 가슴 부위보다 유의하게 높았다( $p < 0.01$ , Table 2, Fig. 3).

### 4) 심박수 (HR)

HR의 경우, 모자 종류에 따른 유의한 차이를 발견할 수는 없었으나, Hat B와 Hat C를 착용한 경우에는 Control보다 적은 HR을 보여 주었다( $p < .05$ , Table 2, Fig 4).

심박수는 신체 구간부 및 머리 냉각을 통해 감소한다(Constable et al., 1994; Frim, 1989; Hayashi and Tokura, 1996; Richardson et al., 1988). Shvartz (1970)는 냉각 면적과 심박수 감소와의 관계를 살펴본 결과, 냉각 후드만을 착용한 경우 심박수 1 bpm이 감소되기 위해 총체표면적 중 0.6%가 냉각된 셈이고, 구간부만 냉각하는 냉각 수트를 착용한 경우에는 2.6%를 냉각한 셈이므로, 확실히 심박수 감소에 머리 냉각이 구간

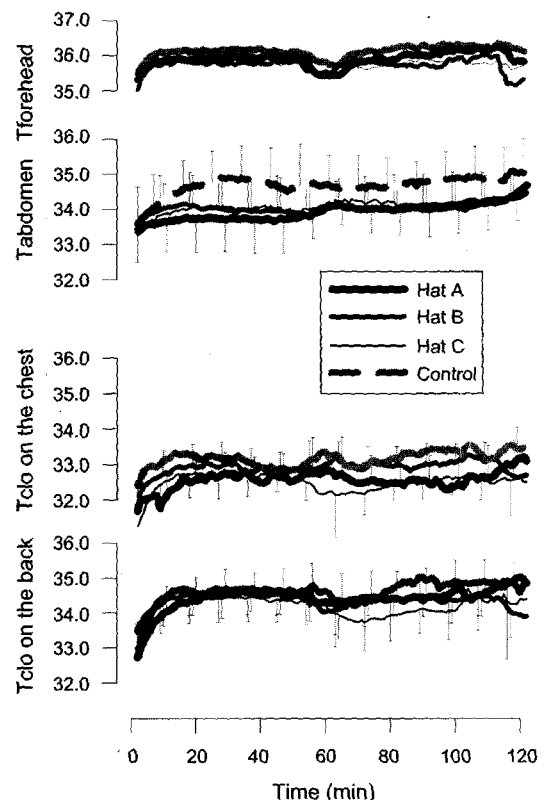


Fig. 3. Changes of skin temperature of the abdomen and clothing microclimate temperature ( $T_{clo}$ ) of the chest and back during 120 min exposure in the climatic chamber.

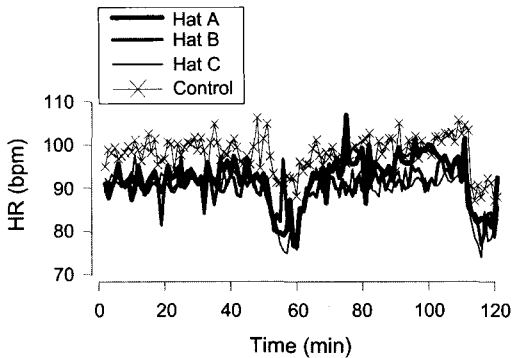


Fig. 4. Changes of clothing microclimate humidity (H<sub>clo</sub>) of the chest and back during 120 min exposure in the climatic chamber.

부 냉각보다 더 효율적이라고 하였다. 본 연구에서는 모자를 착용한 세 가지 경우 모두 Control 보다 적은 심박수를 보였으나 Hat B와 Hat C를 착용한 경우에만 유의하게 더 낮은 값을 보여 주어, 반사 소재와 냉매 삽입의 효과를 확인할 수 있었다. 하지만 정수리 부위에 냉매를 삽입한 Hat C와 냉매를 삽입하지 않은 Hat B 간에 유의한 차이는 없었으므로, 정수리 부위 냉각이 HR 감소에 기여했다고 말하기는 힘들며, 그렇다고 정수리 부위 냉각이 HR에 영향을 미치지 않는다고 단정할 수도 없다. 본 연구 결과를 통해 말할 수 있는 것은 냉매가 정수리 부위에 직접 닿지 않고 머리와 모자 사이에 떠 있는 구조를 갖는 모자를 착용한 경우, 모자 속의 냉매는 심박수에 유의한 영향을 미치지 않았다는 점이다.

5) 총발한량 (TSR)

총발한량의 경우 모자의 종류에 따른 유의한 차이는 관찰할 수 없었으나, Control보다 모자를 착용한 경우 더 적었으며, Control과 비교 시 Hat B를 착용한 경우 유의하게 적었다( $p < .05$ , Table 2). 이는 신체 냉각에 의해 피부 온도가 낮아지고 총발한량이 적어진다는 일반적인 의견과 연결시킬 수 있을 것이나, 발한에 관해서는 이견이 많다. 어떤 연구들은 발한량 조절에 평균피부온도가 본질적인 역할을 수행한다고 보고하는 반면, 몇몇 연구들은 발한 조절에서 평균피부온도의 역할은 미미하다고 보고한다(Johnson et al., 1984). Johnson et al.(1984)은 적어도 더운 환경에서 작업 수행으로 인해 상승하는  $T_{sk}$ 는 발한량에 명확한 반사 효과(reflex effect)를 준다고 결론지었다.

Veghte and Webb(1961)은 고온의 피부 온도임에도 발한이 일어나지 않는 경우와 낮은 심부 온도임에도 발한이 일어나는 상태를 관찰하여, 고온의 피부 온도라는 조건 만이 발한을 유발하는 필요 조건은 아니라고 하였다. 즉, 피부 온도나 직장 온도의 일정 수준 이상 상승이 발한을 유발하는 필요 조건이 아니라, 총 노출 시간 동안 피부 온도나 직장 온도의 온도 변화 경사, 또는 의각과 심부 온도와의 차이 등이 발한에 복합적으로 작용할 것이다. 본 연구와 동일 환경 조건에서 동일 피험자가 참여한 목 냉각 연구 결과(최정화, 2002)와 본 연구 결과를 비교했을 때, 총 체 표면적 0.84%에 달하는 목 냉각에 의해서 심박수 및 총발한량이 유의하게 적어지지지는 않았으나, 냉매를 삽입한 반사 소재 차양 모자에 의해서는 유의하게 적어졌다는 사실이 강조된다. 즉, 심박수 및 총발한량에 있어서도 최소 면적의 목 냉각보다 반사 소재와 냉매를 사용한 차양 모자 착용이 서열 부담 경감에 보다 효과적이었다.

6) 주관적 감각

모자를 착용하지 않은 경우보다 모자를 착용한 경우에 덜 덥게 느꼈고 Hat B를 착용한 경우 더위를 가장 덜 느꼈으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다(Table 2, Table 4). ‘매우 덥다’고 응답한 비율을 보면, Control의 경우 13.5%, Hat A는 2.6%, Hat B는 6.4%, Hat C는 2.6%로 모자 착용에 의해 매우 덥다는 느낌이 현저히 줄었음을 알 수 있다. 그러나 이는 단지 모자 착용에 의해 덜 덥게 느낀 것이지 반사 소재나 냉매를 사용한 모자 착용에 의해 한서 감각이 향상되었다고 볼 수는 없다. 두상 마네킨 실험 결과 냉매를 사용한 Hat B와 Hat C의 경우 뒤 목 부위 온도가 현저히 낮아졌고, 일반적으로 목 냉각은 주관적 감각 향상에 효과적이라 알려져 있으므로, 실제 인체 실험 결과 Hat B와 Hat C 착용에 의해 한서 감각의 향상을 기대했으나 Hat A와 큰 차이를 보이지 않았다. 그 이유는 Hat B나 Hat C의 탈부착 가리개 속의 냉매는 뒤 목 부위에 밀착되는 형태가 아니기 때문이며, 특히, Hat C의 경우에는 모자의 무게가 추가 부담으로 작용했을 가능성이 있다. 또한 Hat C의 정수리 부위 냉매는 모자의 구조로 인해 머리로부터 일정 간격 위에 떠 있었을 뿐만 아니라 머리카락의 보온 효과로 인해 냉각 효과도 덜 적용되었을 것이다. Shvartz(1970)도 냉각 후드의 효과를 평가하면서 튜브의 총 커버면적이 약 전

Table 4. Percentages of subjective responses during 120 min exposure in the climatic chamber

|       | Thermal sensation |      |      |      | Sensation of humidity |      |      |      | Thermal comfort |      |      |      |
|-------|-------------------|------|------|------|-----------------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|
|       | Control           | HatA | HatB | HatC | Control               | HatA | HatB | HatC | Control         | HatA | HatB | HatC |
| 4*    | 13.5              | 2.6  | 6.4  | 2.6  | -                     | -    | -    | -    | -               | -    | -    | -    |
| 3     | 45.5              | 55.1 | 44.9 | 53.8 | 3.8                   | 6.4  | 1.3  | 3.8  | 0               | 0    | 0    | 1.3  |
| 2     | 37.8              | 41.7 | 33.3 | 41.7 | 52.3                  | 44.2 | 51.9 | 43.6 | 29.2            | 14.7 | 19.2 | 33.3 |
| 1     | 3.2               | 0.6  | 5.1  | 1.9  | 23.8                  | 39.7 | 32.7 | 42.3 | 64.6            | 80.1 | 68.6 | 61.5 |
| 0     | 0                 | 0    | 3.8  | 0    | 20.0                  | 9.6  | 14.1 | 9.6  | 6.2             | 5.1  | 12.2 | 3.8  |
| -1    | 0                 | 0    | 1.9  | 0    | 0                     | 0    | 0    | 0.6  | -               | -    | -    | -    |
| -2    | 0                 | 0    | 4.5  | 0    | 0                     | 0    | 0    | 0    | -               | -    | -    | -    |
| Total | 100               | 100  | 100  | 100  | 100                   | 100  | 100  | 100  | 100             | 100  | 100  | 100  |

<sup>a)</sup>Neutral (0), Warm (1), Slightly hot (2), Hot (3), Very hot (4)

<sup>b)</sup>A slightly dry (-1), Not both (0), A slightly humid (1), Humid (2), Very humid (3)

<sup>c)</sup>Comfortable (0), A little uncomfortable (1), Uncomfortable (2), Very uncomfortable (3)

체 체표면적의 3% 라 하였으나, 머리카락의 보온력 때문에 아마도 생각되는 면적은 2% 이하일 것이라 하였다.

습윤감은 평균적으로 '약간 습하다' 와 '습하다'사이를 보였으며 네 조건간에 유의한 차이는 없었으며, '매우 습하다'라는 응답 비율을 보면, Control의 경우에는 3.8%, Hat A의 경우 6.4%, Hat B인 경우 1.3%, Hat C인 경우 3.8%로 모자 착용에 의해 '매우 습하다'라는 응답이 감소하지는 않았다. 한편, 총발한량은 Hat A를 착용한 경우 유의하게 적었음에도 불구하고, 피험자들은 Hat A의 경우 덜 습하게 느끼지는 않았으며, Hat A, Hat C의 착용에 의해서도 습윤감이 향상되지는 않았다. 이는 목 냉각에 의해 실제 총발한량에 차이는 없었으나 습윤감은 덜 습하게 느꼈다는 연구 결과(최정화, 2002)와 정반대이다. 본 연구 결과 Control보다 모자를 착용한 경우 덜 습하게 느끼지 않은 이유는 서열 환경에서 작업 시 모자를 착용하는 것 자체가 이마의 땀 증발을 방해하여 습윤감을 증가시키기 때문일 것이다. 즉, 차양 모자는 직사일광을 막아 주기는 하지만 서열 작업 시 이마 부위의 발한을 방해하여 불쾌감을 증가시킬 수 밖에 없다.

온열 쾌적감은 '약간 불쾌하다'와 '불쾌하다'사이였으며, 네 조건간에 유의한 차이는 발견할 수 없었다 (Table 2, Table 4). '매우 불쾌하다'라는 응답 비율을 보면, Control, Hat A, Hat B의 경우 모두 0% 였으나, Hat C의 경우 1.3%로 '매우 불쾌하다'는 응답이 나타났다. 또한, 피험자들은 네 가지 실험 조건 중 Hat B를 가장 선호했고, 다음 Hat A, Hat C, Control의 순서였

다. Nunneley나 Shitzer 등 여러 연구자들은 머리 냉각이 온열 쾌적감을 증가시킨다고 하였으나(Frim 1989; Cohen et al, 1989), 본 연구에서는 모자 착용이 온열 쾌적감 향상에 거의 기여하지 못했으며, Hat C의 경우 오히려 '매우 불쾌하다'는 느낌을 유발시켰다.

Frim(1989)의 연구에서 피험자들은 서열 환경에서 찬 액체를 통과시키는 냉각 캡을 통해 머리를 냉각할 수 있으면 하겠다고 응답하였으나 본 연구의 피험자들은 정수리 부위에 냉매를 넣은 모자는 쓰고 싶지 않다고 응답하였다. 이처럼 모자를 착용하지 않은 경우보다 Hat C가 주관적으로 더 선호되지 않은 이유는 모자의 형태 및 무게 때문인 것으로 해석된다. 본 연구에서는 통기 구조를 갖지 않은 모자보다 통기 구조 모자의 서열 경감 효과가 더 우수했다는 결과(최정화, 정영옥, 1990)를 토대로 머리 둘레와 모자가 밀착되지 않도록 모자 내부에 테두리를 넣은 형태인 Hat C를 제작하였다. 또한 머리는 열 교환에 효율적 부위로 몸통의 동일 면적에 비해 열 제거 능력이 2~3배 높아, 서열 부담 경감에 효과적이라 알려져 있으므로(Frim, 1989), Hat C의 정수리 공간 속에 냉매를 삽입하여 정수리 부분에 냉각 효과를 주고자 하였다. 그러나 이러한 디자인은 모자의 총무게를 증가시켜 작업 부담을 증가시키는 결과를 초래했다. Nunneley et al. 는 머리는 열 교환에 효율적 부위로 열 제거 능력은 몸통의 동일 면적에 비해 2~3배 우수하다고 하면서 동시에 머리를 냉각하는 것은 실제 현장에서 적용 시 기술적으로 어렵다고 지적하였다(Frim, 1989). 즉, 머리 냉각을 위한 모자는 작업에 방해로 주지 않



는 형태 및 무게라는 조건 하에 수용할 만한 것이다. 냉각 효과를 갖는 모자의 효과를 높이기 위해서는 무엇보다 무게 감소가 중요하며, 모자의 무게가 일정 수준 이상을 초과하면 냉각 효과가 우수하다 할 지라도 모자 착용을 꺼릴 것이다. 냉각 효과를 가지면서 가벼운 모자를 제작하는 것은 기술적으로 어렵고, 가능하다 해도 단가가 높아지므로 현재로서는 농촌 작업자들에게 권장할만한 대안은 되지 못한다. 조종사와 같이 밀폐된 공간에서 정적인 작업 시, 또는 호흡 보호구를 착용하여 얼굴이 막힌 상태일 경우 등에는 헬멧을 통한 머리 냉각은 효과적이며, 기술적으로도 보다 용이하지만 농 작업과 같이 실외에서 동적인 작업을 수행하는 경우 모자 형태의 적극적인 머리 냉각은 아직 현실적이지 못하다. 또한 Epstein et al.(1986)은 다양한 냉각 방식과 다양한 부위의 냉각 방식을 조합하여 일곱 가지 방식의 냉각 효과를 비교해 본 결과 머리를 냉각하는 것은 몸통을 냉각하는 것보다는 덜 효과적이라 보고했다. 따라서 여름철 농민을 위한 모자는 머리 냉각보다는 직사일광 차단에 초점을 맞추어 제작하고, 국부 냉각을 위한 부위로는 머리 대신 몸통이나 목을 선택하는 것이 보다 실제적인 방법일 것으로 사료된다. 동시에, 후속 연구를 통해 서열 환경 아래에서 작업 시 작업자들에게 추가 부담을 주지 않는 모자 무게의 범위를 찾을 필요가 있으며, 경량의 모자 틀을 고안하는 작업도 병행되어야 할 것이다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구의 목적은 서열 부담 경감을 위한 기능성 차양 모자 개발로, 농민을 위해 개발한 기능성 차양 모자 착용이 서열 부담 경감에 미치는 영향을 조사하였으며, 이를 토대로 성능 및 형태를 보완한 기능성 차양 모자를 개발, 보급하는 것이 최종 목표이다. 피험자로 건강한 남자 대학생 열 두 명이 참가하였고, 실험 조건은 네 가지로 모자를 쓰지 않은 경우(Control), 기존 농작업모를 착용한 경우(Hat A, 72g), 반사 소재의 냉각 모자를 착용한 경우(Hat B, 528g), 반사 소재이면서 통기구조틀이 삽입된 냉각 모자를 착용한 경우(Hat C, 841g)이다. 인공 기후실 환경 조건은 기온 33±0.5°C, 습도 65±5%RH, 복사 온도 39±1°C로 WBGT 33°C를 유지하였고, 피험자들은 120분 동안 모델화된 고추 수확 작업을 수행하였다. 실험 결과, 모자의 종류에 따른 유의한

차이를 발견할 수는 없었으나, 직장온도, 평균피부온도, 심박수, 총발한량의 평균값에서 Control보다 모자를 착용한 경우에 생리적으로 유리한 반응을 보여 주었고, Control과 비교시 Hat B의 서열 부담 경감 효과는 유의하게 우수했다. 또한 T<sub>re</sub>가 38°C 이상 상승한 경우는 Control의 경우 열두 명 중 여섯 명, Hat B의 경우 한 명으로 네 조건 중 가장 적었다. 주관적 반응으로 볼 때 네 조건 중 Hat B를 착용한 경우 가장 덜 덥고, 덜 불쾌하게 느꼈으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

결론적으로, 첫째, 인체 실험 결과, 반사 소재나 냉매에 의한 서열 부담 경감 효과보다 모자 착용 유무에 의한 서열 부담 경감 효과 차이가 더 현저했으므로, 실외 서열 작업 시에는 시야를 가리지 않으면서 볼, 코, 뒤 목 부위까지 가려주는 기능성 햇빛 차단용 모자 착용을 적극 권장한다. 둘째, 실외 서열 환경 작업자를 위한 모자에 냉각 기능을 부여하고자 할 경우 가장 중요하게 고려해야 할 점 중 하나는 모자의 무게를 최대한 가볍게 제작하는 것이다. 본 연구의 Hat C도 모자 내부의 틀이나 부속품을 경량화하면 보다 우수한 서열 부담 경감 효과를 가질 수 있을 것이다. 셋째, 소재 상태 및 마네킨 상태에서의 성능 평가 결과와 피험자를 대상으로 한 인체 착용 실험 결과와 다소 차이가 있었으므로, 기능성 의복의 성능 평가는 소재 및 마네킨 평가 뿐만 아니라 인체 착용 실험도 반드시 병행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

김경수, 최정화. (2002). 소재에 따른 자외선, 복사열 차단력. *대한가정학회지*, 40(10), 77-85.

최정화. (2002). 농업인의 서열, 한랭 장애 경감을 위한 피복 장비 개발. *서울대학교 농림기술개발과제 최종 연구 보고서*. 농림부.

최정화, 정영옥. (1990). 하절기 방서용 농작업모 개발에 관한 연구. *한국의류학회지*, 14(4), 281-291.

최정화, 김명주, 이주영. (2002). 여름철 비닐하우스 오이 수확 농민의 작업 부담 및 온열 환경 평가. *한국생활환경학회지*, 9(3), 245-253.

大川富雄. (1960). 日傘の 方暑 效果に 關する 衛生學的 研究. *廣島廳學*, 13, 975-984.

Cohen, J. B., Allan, J. R., & Sowood, P. J. (1989). Effect of head or neck cooling used with a liquid-conditioned vest during simulated aircraft sorties. *Aviat Space Environ Med*, 60, 315-320.

- Constable, S. H., Bishop, P. A., Nunneley, S. A., & Chen, T. (1994). Intermittent microclimate cooling during rest increases work capacity and reduces heat stress. *Ergonomics*, 37(2), 277-285.
- Desruelle, A. V., & Candas, V. (2000). Thermoregulatory effects of three different types of head cooling in humans during a mild hyperthermia. *European Journal of Applied Physiology*, 81, 33-39.
- Diffey, B. L., & Cheeseman, J. (1992). Sun protection with hats. *British Journal of Dermatology*, 127(1), 10-12.
- Epstein, Y., Shapiro, Y., & Brill, S. (1986). Comparison between different auxiliary cooling devices in a severe hot/dry climate. *Ergonomics*, 29(1), 41-48.
- Frim, J. (1989). Head cooling is desirable but not essential for preventing heat strain in pilots. *Aviat Space Environ Med*, 60, 1056-1062.
- Hayashi, Tokura H. (1996). Effects of head cooling on sweat rate in exercising subjects wearing protective clothing and mask for pesticide. *Applied Human Science*, 15(4), 149-154.
- Johnson, J. M., Oleary, D. S., Taylor, W. F., & Park, M. K. (1984). Reflex regulation of sweat rate by skin temperature in exercising humans. *Journal of Applied Physiology*, 56(5), 1283-1288.
- Richardson, G., Cohen, J. B., McPhate, D. C., & Hayes, P. A. (1988). A personal conditioning system based on a liquid-conditioned vest and a thermoelectric supply system. *Ergonomics*, 31(7), 1041-1047.
- Shvartz, E. (1970). Effect of a cooling hood on physiological responses to work in a hot environment. *Journal of Applied Physiology*, 29(1), 36-39.
- Shvartz, E. (1976). Effect of neck versus chest cooling on responses to work in heat. *Journal of Applied Physiology*, 40(5), 668-672.
- Shvartz E., Benor D. (1971). Total body cooling in warm environments. *Journal of Applied Physiology*, 31(1), 24-27.
- Veghte J.H., Webb P. (1961). Body cooling and response to heat. *Journal of Applied Physiology*, 16(2), 235-238.