

여름철 농민의 서열 부담 경감을 위한 냉각조끼의 성능 평가

최정화 · 김명주 · 이주영[†]

서울대학교 생활과학대학 의류학과

Efficacy of Cooling Vests for Alleviating Heat Strain of Farm Workers in Summer

Jeong-Wha Choi · Myung-Ju Kim · Joo-Young Lee[†]

Dept. of Clothing & Textiles, College of Human Ecology, Seoul National University

(2005. 4. 28. 접수)

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the efficiency of cooling vests developed for farm workers harvesting red pepper in summer. The study was performed using the following two steps: 1) Climatic chamber test, 2) Field test. For the chamber test, a work environment was simulated as 33°C and 65%RH, and the thermo-physiological and subjective responses were measured with and without cooling vests. Twelve young males participated as subjects. For the field test, three farmers participated while harvesting red pepper on the farm, in summer. The measurements used were same as in the chamber test. Subjects were tested without any cooling vests, as a control. They were tested wearing vests with 2 frozen gel packs (CV2; Cooling area, 308cm²), and vests with 4 frozen gel packs (CV4; Cooling area, 616cm²). As a result of the chamber test, rectal temperature(T_{re}) and mean skin temperature(\bar{T}_{sk}) were lower in both CVs than in Control, and this tendency was statistically significant in CV4 ($p < .05$). Clothing microclimate temperature (T_{clo}) and total sweat rate (TSR) were significantly lower when wearing cooling vests ($p < .05$). Heart rate (HR) was also lower in wearing cooling vests than in Control, and the speed of recovery to the comfort level was faster when the subjects wore cooling vests. In addition, subjects felt 'less hot, less humid, and less uncomfortable' in both CVs than in Control. Field tests showed a similar tendency with the chamber tests. In particular, wearing the cooling vest was effective in restraining the raise of T_{clo} on the back. It can be concluded that the cooling vest was effective in alleviating heat strain and discomfort in both the chamber test and the field test, despite the cooling area of the cooling vest being just 3.4% of the body surface area (616cm²).

Key words: Heat strain, Cooling vest, Farm work, Climatic chamber test, Field test; 서열 부담, 냉각조끼, 농작업, 인공 기후실 실험, 현장 실험

[†]Corresponding author

E-mail: romans54@snu.ac.kr

본 연구는 농림부의 농림기술개발사업 지원에 의해 이루어진 것이며 본 연구에 피험자로 참여한 분들에게 감사드립니다.

I. 서 론

서열 부담(heat strain) 경감을 위한 냉각의류와 관련된 연구는 전신 냉각, 부위별 냉각, 냉각방식의 차이에 의한 효과 등 수 십년 동안 상당히 많이 축적되어 왔다. 군인, 핵 발전소 및 제철 작업자, 화학적 보호 의복 착용 작업자, 여름철 실외에서 작업하는 건설 노동자들의 서열 부담 경감을 위해 개인 보호의 관점에서 개인 냉각장비(Personal Cooling Equipment)의 활용이 추진되어 왔으나(Allan, 1988; Cohen et al., 1989; Featherstone, 1988; Frim, 1989; Proctor, 1988), 농촌 작업 현장에 대한 관심은 상대적으로 적었다. 특히, 한국의 여름철 농작업 중 가장 힘든 작업으로 여겨지는 고추 수확 작업의 경우(김하남, 황근미, 1991), 강한 직사일광과 부적절한 자세, 장시간 작업 수행, 농민의 고령화 등이 작업의 부담 요인으로 파악되었다(Choi et al., 2005).

현재 시판되는 냉각조끼는 주로 고온의 실내에서 작업하는 노동자들을 위한 것으로 조끼 자체의 무게(2-7kg)로 인한 추가 부담 등이 문제로 지적된다(Bishop et al., 1995; Chen et al., 1997; Constable et al., 1994). 이는 작업자를 고열로부터 보호함과 동시에 냉각지속시간을 최대한 늘리기 위해 두꺼운 직물을 사용하고 냉매를 많이 삼입하였기 때문(최정화, 황경숙, 2001), 혹은 액체 냉각액 등 냉각장비 자체의 무게 때문이다. 이러한 형태의 냉각조끼는 환경 온도가 체온보다 높은 극한 고열 환경 작업자를 위해 개발된 것으로 한국의 여름철 실외에서 장시간 작업해야 하는 농민들에게는 유용하지 않다. Bishop et al.(1995)은 3kg과 5kg의 의복 착용에 의해 에너지 대사량이 각각 5%, 9% 증가했다고 보고하였으며, Holmer(1992)와 Hanson(1999)도 작업시 의복 무게가 대사율을 증가시킬 수 있다고 하였다. 따라서 고추 수확 농민을 위한 냉각조끼는 냉매 무게로 인한 부담없이 최대의 냉각 효과를 주면서 직사일광을 효과적으로 차단할 수 있는 형태가 바람직할 것이다. 그 동안 개인 냉각의류에 기체, 액체, 혹은 얼음이나 젤 팩을 이용하는 방식 등이 시도되어 왔다. 이 중 기체나 액체보다 얼음이나 젤 팩의 냉각 효율이 더 크고(Epstein et al., 1986), 기체나 액체를 이용한 냉각조끼는 이를 공급하는 장비의 연결에 의해 동작이 방해되는 것에 반해 냉각 팩 방식은 동작을 구속하지 않으며(Nishihara et al., 2002), 냉동 젤이나 얼음을 이용한 냉각방식이 기체나 액체를 이용하는

방식보다 상대적으로는 더 가볍기 때문에(Pimental et al., 1992), 여름철 노지에서 고추 수확하는 농민들에게는 젤 팩이나 얼음을 이용한 방법이 보다 더 유용할 것이라 사료된다.

고추 수확 작업자의 서열 부담 경감을 위한 냉각조끼 개발을 목적으로, 먼저 여름철 고추 수확 작업시의 온열 환경 및 농민의 노동 부담을 조사하였고(Choi et al., 2005), 이를 바탕으로 서열 부담 경감에 효과적인 냉각 부위라고 알려진 가슴과 등 부위(최정화, 황경숙, 2002)를 냉각함과 동시에, 무게를 최소화한 냉각조끼를 개발하였다. 본 연구에서는 개발된 냉각조끼의 착용 효과를 검증하기 위해 첫째, 기온 $33 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 의 인공 기후실에서 냉각조끼 착용이 모의 고추 수확 작업을 수행하는 사람의 생리적, 주관적 반응에 미치는 영향을 평가하였고, 둘째, 실제 여름철 고추 수확 작업 현장에서 농작업자의 냉각조끼 착용 효과를 평가하였다.

II. 연구방법

1. 인공 기후실에서의 냉각조끼 착용효과 평가

1) 피험자와 실험 의복

피험자는 실험 내용에 대해 충분히 숙지한 상태로 서면 동의서에 실험 참가를 자발적으로 승인한 건강한 남자 대학생 12명으로, 평균 연령 $25.4(\pm 1.6)$ 세, 키 $173.1(\pm 5.0)$ cm, 몸무게 $69.3(\pm 9.8)$ kg, 체표면적 $1.84(\pm 0.14)\text{m}^2$ 였다. 실험 조건은 세 가지로 냉각 조끼를 입지 않은 경우(Control), 냉각조끼의 등 부위에만 냉매 두 개를 넣은 경우(CV2), 가슴 부위에 두 개, 등 부위에 두 개를 넣은 경우(CV4)의 성능을 비교하였다. 고추 수확 작업 실태 조사 결과(Choi et al., 2005), 농민들이 착용한 작업복은 대부분 면 100%의 긴 팔 셔츠와 긴 튜리닝 바지였으므로 모든 조건에서 기본 착용의복은 긴 팔 면 셔츠(255g)와 긴 면 튜리닝 바지(237g)로 통일하였다. 이 외 팬티(67g), 양말(40g), 작업장갑(40g)도 공통으로 착용하였으며, 냉각조끼를 착용하지 않은 경우 추정 보온력은 약 0.5 clo였다(ISO 9920, 1995).

2) 개발된 냉각조끼의 특성

냉각조끼에서 냉매 주머니(<Fig. 1-A>의 7, 8)는 100% 나일론 반사 소재로 되어 있으며, 냉매 주머니를

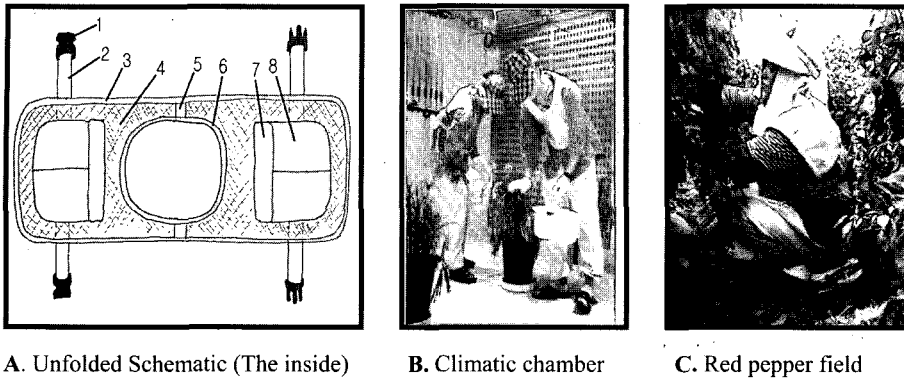


Fig. 1. Schematics of Cooling vest and wear trials in the climatic chamber and in the field (A-1 Buckle for fixing; A-2 Elastic belt; A-3, 5 and 6 Bias tapes; A-4 PE Mesh; A-7 Cover of pockets; A-8 Pocket inserted frozen gel packs).

제외한 조끼의 몸체는 100% 폴리에스테르 망사 소재 (<Fig. 1-A>의 4)로 제작하여 통기성을 높이면서 동시에 무게를 줄였다. 냉매의 크기는 $14 \times 11 \text{cm}$ (154cm^2), 한 개당 무게는 180g이며, 냉매를 넣지 않은 조끼만의 무게는 87g이었다. 기존 냉각조끼들은 조끼 무게에 의한 추가 부담으로 인해 냉각효과가 상쇄되기도 했으나 본 연구에서 개발된 냉각조끼 CV2의 총 무게는 447g, CV4의 총 무게는 807g으로 기존 냉각조끼들에 비해 월등히 가벼웠다. CV2에서 냉매가 차지하는 면적, 즉 냉각면적은 308cm^2 , CV4의 냉각면적은 616cm^2 으로 본 실험에 참여한 피험자의 평균 체표면적의 1.7%, 3.4%에 해당한다. 33°C 환경에서 작업을 하지 않고 안정할 경우 냉각조끼 안에 넣어진 냉매는 약 150분 동안 냉각력을 유지하였다.

3) 실험과정 및 측정항목

인공 기후실의 환경 조건은 기온 $33 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 습도 $65 \pm 5\% \text{RH}$, 복사온도 $39 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 WBGT 33°C 를 유지하였다. 개인의 일주기 리듬의 영향을 최소화하기 위해 각 실험은 동일 시간(10:00 am)에 시작하였다. 피험자들은 실험 시작 전 최소 두 시간 동안 물을 제외하고 금식하였으며, 실험노출에 의한 더위 적응의 효과를 최소화 하기 위해 각 피험자들은 하루에 한번만 두 시간 동안의 실험환경에 노출하였고 다음 실험까지의 날짜 간격은 최소 3일을 유지하였다. 피험자들은 인공 기후실로 들어가기 전 준비실에서 실험 의복으로 갈아 입고 측정기기를 부착하였으며, 안정 후 인공 기후실로 들어가 정해진 작업을 실시하였다. 인공 기후실 내 작업은 고추 수확 작업을 시뮬레이션

한 것으로 총 120분(50분 작업, 10분 휴식, 50분 작업, 10분 휴식) 노출하였다. 실험에 들어가기 전 물을 충분히 마시게 하였고 실험 도중 음료를 보충하지는 않았다.

측정항목 중 직장온도(T_{re})는 휴대용 써미스터(LT 8A, Gram Corp., Japan)를 이용하여 직장 내 12cm 삽입하여 측정하였다. 피부온도(T_{sk})는 휴대용 써미스터(LT 8A, Gram Corp., Japan)를 이용하여 일곱 부위(이마, 몸통, 아래팔, 손등, 넓적다리, 종아리, 발등)를 측정 후 Hardy & DuBois식에 따라 평균피부온도(\bar{T}_{sk})를 계산하였다. 의복 내 온도(T_{clo})와 의복 내 습도(H_{clo})는 휴대용 의복 내 온습도기(Tabai Espec, RS-10, Japan)로 가슴과 등 부위에서 측정하였고 심박수(HR)는 휴대용 심박수 측정기(polar electro sport tester PE 3000, USA)를 이용해 측정하였다. T_{re} , T_{sk} , T_{clo} , H_{clo} , HR은 모두 1분 간격으로 자동 측정하였다. 총발한량(TSR)은 인체천칭(Satorious Company, F150S, Germany)을 이용해 실험 전후 체중 변화량으로 계산하였다. 한서감, 습윤감, 쾌적감 및 힘들기 정도는 10분 간격으로 주관감 설문지에 스스로 기록하게 하였다. 실험은 피험자의 직장온도가 39°C 에 이르는 경우, 직장온도가 처음 시작 시보다 2°C 이상 오르는 경우, 또는 심박수가 185 bpm을 넘는 경우, 또는 피험자 스스로 중단하기를 요구하는 경우에 중단하였다.

4) 통계분석

모든 생리적, 주관적 반응 결과들에 대해 120분 노출 동안의 평균(SD)을 계산하였다. 세 가지 의복 간 차이를 검정하기 위해 노출 110분 시 얻은 값에 대해 분

산 분석을 실시하였고, 유의한 항목에 대해 Duncan의 사후 검정을 수행하였다. 주관적 반응 결과들은 기초 통계량 및 빈도, 비율 등을 계산하였고, 측정변수 간 관련성을 보기 위해 상관분석을 실시하였다. $p < .05$ 인 경우를 유의한 차이로 인정하였다.

2. 고추 수확 작업 현장에서의 냉각조끼 착용효과 평가

1) 피험자와 실험의복

개발된 냉각조끼의 현장 착용효과 검증을 위해 여름철 고추 수확 작업을 수행하는 여성 농업인 세 명(나이 52 ± 10 세, 키 160 ± 2 cm, 몸무게 67 ± 3 kg, 체표면적 1.7 ± 0.0 m²)이 피험자로 참가하였다. 세 명의 고추 수확 작업 경력은 평균 15 ± 2 년으로 숙련된 농민이었으며, 관절염 등 근골격계 질환을 제외하고 특별한 질병을 가지고 있거나 특이 체형인 사람은 없었고, 실험내용에 대해 충분히 숙지한 상태로 서면 동의서에 실험참가를 자발적으로 승인하였다. 본 조사에 참여한 여자 농민이 착용한 의복은 세 명 모두 얇은 긴 팔 상의와 얇은 긴 작업복 바지, 챙 달린 모자, 작업 장갑, 팬티, 브래지어, 양말, 슬리퍼였으며, ISO 9920(1995)에 의한 추정 보온력은 약 0.5 clo였다. 실험조건은 두 가지로 기본 작업복 위에 냉각조끼를 착용한 경우(CV4)와 착용하지 않은 경우(Control)였으며, 냉각조끼는 인공 기후실에서 12명에 의한 착용 실험결과 가장 우수한 효과를 보였던 CV4를 착용하였다.

2) 실험과정 및 측정항목

고추밭의 기온, 습도, 복사온도, 기류는 ISO 7726(1985)의 방법에 따라 측정하였고, 생리적, 주관적 측정 항목, 측정 방법 및 측정 기기는 인공 기후실 실험과 동일했다. 냉각조끼에 사용된 냉매의 냉각 지속 시간은 33°C에서 약 150분이었으므로 1일 작업 중 직사일광이 강한 오후 작업 시작 후 150분 동안 실험을 수행하였다. 오후 작업 시작 한 시간 전에 인체 생리 반응 측정기기를 부착하고 30분 안정한 후 고추 수확 작업을 시작하였다. 동시에 물리적 작업 환경 측정을 위해 작업장에 환경 측정기기를 설치하였다. 생리 반응은 중간 휴식 시간을 포함하여 150분 동안의 작업을 마칠 때까지 1분 간격으로 연속 측정하였으며 인위적 실험조작은 전혀 가하지 않았다. 모든 피험자는 두 조건에 한 번씩 노출하여 이틀동안 1회씩 총 2

회 실험에 참여하였다.

3) 통계분석

온열 환경 값과 생리적 반응 값에 대해 평균, 표준 편차, 최고값, 최저값, 상승도 등을 계산하였고, 냉각조끼를 착용한 경우(CV4)와 착용하지 않은 경우(Control) 간의 차이를 검증하기 위해 Paired t-test를 이용하였다 ($p < .05$).

III. 결 과

1. 인공 기후실에서의 냉각조끼 착용효과

1) 직장온도 및 피부온도

직장온도(T_{re})는 냉매를 네 개를 넣은 CV4를 착용한 경우에 다른 두 가지 경우보다 유의하게 낮았으며 ($p < .05$, <Table 1>, <Fig. 2>), CV2와 Control 간 유의한 차이는 없었다. 즉, T_{re} 는 냉매를 등 부위에만 두 개 넣은 냉각조끼에 의해 유의한 영향을 받지는 않았으나, 냉매를 등과 가슴 부위에 두 개씩 넣은 조끼에 의해서는 영향을 받았다. 한편, 평균피부온도(\bar{T}_{sk})는 Control 보다 냉각조끼를 착용한 경우에 더 낮았으며, CV4를 입은 경우에는 Control의 경우보다 유의하게 낮았다($p < .05$), (Table 1), (Fig. 2). 즉, 냉각조끼를 착용하면 착용하지 않는 경우보다 \bar{T}_{sk} 가 더 낮게 유지되었으며, 냉매를 앞과 뒤에 두 개씩 넣은 경우에 가장 낮았다. T_{re} 와 \bar{T}_{sk} 의 상승도는 세 조건 중 CV4를 착용한 경우에 가장 적었다($p < .01$), (Table 1), (Fig. 2). 한편, T_{re} 가 38°C 이상 올라간 경우는 Control의 경우 다섯 명, CV2를 착용한 경우 다섯 명, 그리고 CV4를 착용한 경우 두 명이었으며, 체내 열저장량(heat storage)도 CV4를 입은 경우에 가장 적었다(Table 1). 부위별 피부온도를 보면, 배 부위의 경우 Control 보다 CV4를 입은 경우에 유의하게 더 낮았으나($p < .05$), 손과 발의 온도는 세 조건 간에 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1), (Fig. 3).

2) 의복 내 온도 및 습도

가슴 부위 의복 내 온도(T_{clo})는 세 조건 중 CV4를 입은 경우에 가장 낮았고($p < .001$), 등 부위만을 냉각하는 CV2를 입은 경우와 Control 간에 유의한 차이는 찾을 수 없었다(Table 1), (Fig. 3). 등 부위 의복 내 온도(T_{clo})는 냉각조끼를 입은 경우에 Control보다 유의하게 낮

Table 1. Summary of thermal environments, physiological and subjective responses during 120min exposure in climatic chamber and during 150min exposure in the red pepper field

	Climatic chamber (10:00-12:00 am, 12 young males)			Red pepper field (1:30-4:00 pm, 3 women farmers)	
	Control	CV2	CV4	Control	CV4
T _{air} (°C)	33±0.5			33.3(0.9), max 34.8	29.8(0.6), max 31.0
H _{air} (%RH)	65±5			48.3(7.5), max 64	65.6(2.2), max 69
T _{globe} (°C)	39±1			44.4(1.1), max 46	40.7(2.3), max 45.3
V _{air} (ms ⁻¹)	0.1			0.34(0.21), max 0.62	0.08(0.07), max 0.24
WBGT(°C)	33			29.4(0.7), max 30.5	28.0(0.5), max 29.2
T _{re} (°C)	37.8(0.3)*	37.8(0.2)	37.6(0.3)	38.0(0.8)	37.5(0.1)
ΔT _{re} (T _{re} at 110 min.-minimum T _{re} , °C)	0.59(0.28)	0.53(0.20)	0.20(0.33)	-	-
The number of subjects who showed T _{re} was more than 38°C	5 persons	5 persons	2 persons	1 person	None
T _{sk} (°C)	35.2(0.6)	34.8(0.6)	34.5(0.6)	35.3(0.6)	34.6(0.4)
ΔS (W/m ²) ^{a)}	26.6(10.7)	22.7(7.1)	14.0(9.8)	45.9(11.6)	26.0(5.5)
T _{abdomen} (°C)	34.7(0.9)	34.2(0.9)	33.7(0.9)	35.5(1.0)	34.4(0.6)
T _{hand} (°C)	35.7(0.4)	35.4(0.5)	35.2(0.7)	34.7(0.4)	35.0(0.4)
T _{foot} (°C)	35.9(0.8)	35.9(0.5)	35.9(0.5)	35.3(0.5)	35.2(0.2)
T _{clo-on the chest} (°C)	33.2(1.0)	33.4(1.0)	28.8(3.5)	34.1(0.6)	33.3(0.9)
T _{clo-on the back} (°C)	34.6(0.9)	34.4(0.9)	33.9(0.9)	35.9(0.9)	35.0(0.5)
T _{cl max} -T _{cl min} , on the back (°C)	37.2~32.8	36.2~30.3	36.3~28.7	41.1~30.5	37.6~31.6
H _{clo-on the chest} (%RH)	88.0(9.7)	93.8(7.5)	92.6(8.6)	89.2(6.6)	89.7(6.9)
H _{clo-on the back} (%RH)	93.9(7.6)	89.9(9.5)	87.6(12.0)	88.1(5.4)	75.0(9.2)
HR (bpm)	98(11)	93(12)	89(12)	89(11)	85(8)
TSR (g/m ² /hr)	166.6	144.6	116.1	-	-
Thermal sensation ^{b)}	2.7(0.7)	2.2(0.6)	2.1(0.5)	3.0(1.2)	2.2(1.1)
Sensation of humidity ^{c)}	1.4(0.9)	1.2(0.8)	0.9(0.5)	1.9(0.7)	1.2(0.6)
Thermal comfort ^{d)}	1.2(0.6)	0.9(0.5)	0.9(0.4)	2.1(0.6)	1.8(0.8)
Subjective workload ^{e)}	2.5(0.9)	2.3(0.8)	2.4(0.7)	3.9(1.3)	3.3(1.2)

*Numbers in parenthesis mean standard deviation.

^{a)}Heat storage(ΔS, W/m²)=0.97×(0.8ΔT_{re}+0.2ΔT_{sk})Weight(kg)/BSA(m²), from Epstein et al. (1986).

^{b)}0(Neutral), 1(Slightly warm), 2(Warm), 3(Hot), 4(Very hot)

^{c)}0(Not both), 1(A little humid), 2(Humid), 3(Very humid)

^{d)}0(Comfortable), 1(Slightly uncomfortable), 2(Uncomfortable), 3(Very uncomfortable)

^{e)}0(Light),1(Somewhat hard),2(Hard),3(Very hard),4(Extremely hard).

았으며($p<.001$), 세 조건 모두 등 부위 T_{clo}가 가슴 부위 보다 유의하게 높았다($p<.01$), (Table 1), (Fig. 3). 가슴 과 등 부위 의복내 습도(H_{clo})는 세 조건 모두에서 유의 한 차이 없이 평균 80-95%RH를 유지하였고 시간에 따 라 약간 증가하는 경향을 보였다(Table 1).

3) 심박수와 총발한량

심박수(HR)는 냉각조끼를 착용한 경우에 Control

보다 낮았으며($p=.058$), 냉각조끼를 착용한 경우에 착용하지 않은 경우보다 중간 휴식 시간과 마지막 휴 식 시간에 더 빨리 안정 수준까지 내려갔다(Table 1), (Fig. 4). 총발한량(TSR)은 Control보다 냉각조끼를 착용한 경우에 유의하게 적었다($p<.05$), (Table 1).

4) 주관적 반응

한서감은 평균적으로 '약간 따뜻하다' 와 '덥다' 사

이를 보였다(Table 1). Control의 경우 ‘매우 덥다’는 응답 비율이 13.5%를 차지하였으나, CV2와 CV4의 경우 ‘매우 덥다’고 응답하는 사람은 전혀 없었다. 습윤감은 평균적으로 ‘건조하지도 습하지도 않다’와

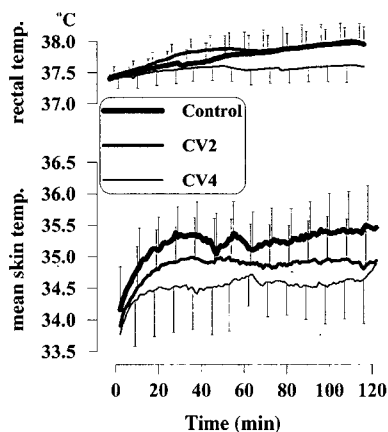


Fig. 2. Changes of T_{re} and \bar{T}_{sk} during 120min exposure in the climatic chamber.

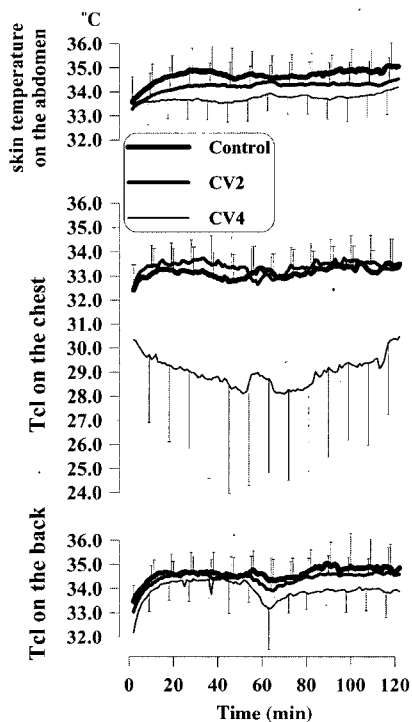


Fig. 3. Changes of $T_{abdomen}$ and T_{clo} on the chest and back during 120min exposure in the climatic chamber.

‘습하다’ 사이를 보였으며, ‘매우 습하다’는 응답 비율은 Control의 경우 3.8%, CV2를 입은 경우 1.9%, CV4를 입은 경우 0%로 냉각조끼 착용에 의해 ‘습하다’고 응답하는 비율은 감소하였다(Table 1). 온열쾌적감은 평균적으로 ‘약간 불쾌하다’와 ‘불쾌하다’ 사이를 보였다(Table 1). 세 가지 경우 모두 ‘매우 불쾌하다’고 응답한 사람은 전혀 없었으며, 평균온열쾌적감으로 볼 때, 피험자들은 Control 상태에서 가장 불만스러워 했다. 주관적 힘들기는 평균적으로 ‘적당하

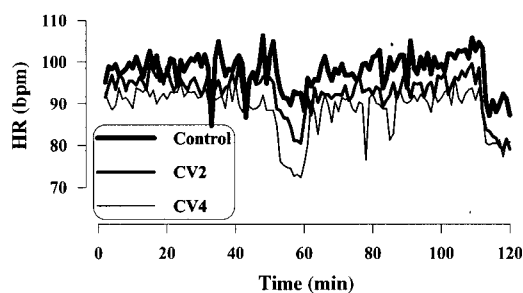


Fig. 4. Changes of HR during 120min exposure in the climatic chamber.

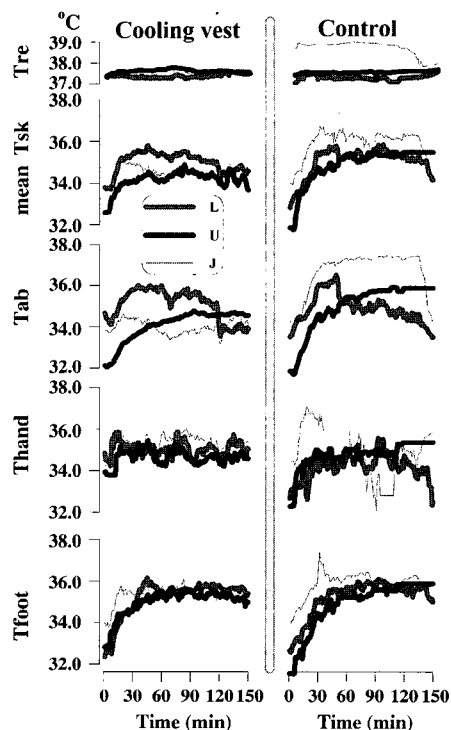


Fig. 5. Time course of T_{re} and \bar{T}_{sk} of farm workers during the harvesting in the red pepper field.

다'와 '약간 힘들다' 사이를 보였으며, Control의 경우 '힘들다'와 '매우 힘들다'는 응답 비율이 12.8%를 차지하였으나, 냉각조끼를 착용한 경우 '매우 힘들다'고 응답한 사람은 전혀 없었다(Table 1). 이상의 주관적 반응으로 평가해 볼 때, 피험자들은 CV4를 가장 만족해 했다.

2. 고추 수확 현장에서 냉각조끼의 착용효과

1) 온열 환경

조사한 이들의 수확 작업동안 평균기온은 각 일 33.4°C, 29.8°C, 평균습도 48%RH, 66%RH, 평균복사온도 44°C, 41°C, WBGT는 29.4°C, 28.0°C였다(Table 1).

2) 직장온도와 평균피부온도

직장온도는 CV4를 착용한 경우 37.5°C로 Control의 경우 평균 38.0°C 보다 더 낮았으나 이 차이는 피험자 J의 영향이다. 피험자 J의 직장온도는 Control의

경우 39.2°C까지 상승하였으나 CV4를 착용한 경우에는 최고 37.7°C까지 상승하여 두 조건 간에 현저한 차이를 보여 주었다(Table 1), (Fig. 5). 평균피부온도(\bar{T}_{sk})는 Control의 경우보다 CV4를 착용한 경우에 유의하게 낮았으며($p < .05$), 시간에 따른 상승 정도도 CV4를 입은 경우 좀 더 완만했다(Fig. 5).

3) 의복 내 온도와 습도

가슴 부위 의복 내 온도(T_{clo})는 CV4를 착용한 경우 평균 33.3°C로 Control의 34.1°C보다 유의하게 낮았으며($p < .01$), 등 부위 T_{clo} 도 가슴 부위와 마찬가지로 CV4를 착용한 경우에 더 낮은 값을 보여 주었다. 의복 내 습도(H_{clo})는 가슴 부위의 경우 CV4 착용에 상관없이 비슷한 수준이었으며 등 부위는 CV4를 착용한 경우 유의하게 낮았다($p < .01$), (Table 1), (Fig. 6).

4) 심박수

심박수(HR)는 Control의 경우 평균 89 bpm, CV4를 착용한 경우 85 bpm으로 CV4 착용 시 약간 낮은 값을 보여 주었으나 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 1). 그러나 시간에 따른 HR는 CV4를 착용한 경우 더 안정적인 경향을 보여 주었다(Fig. 7).

5) 주관적 반응

냉각조끼를 착용하지 않은 경우 한시각각은 평균 3.0점으로 '덥다' 였으나 CV4를 착용한 경우에는 평

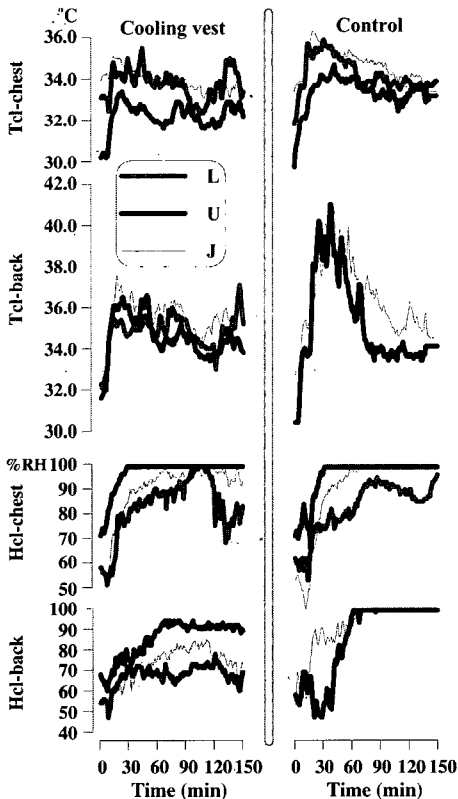


Fig. 6. Time course of T_{clo} and H_{clo} of farm workers during the harvesting in the red pepper field.

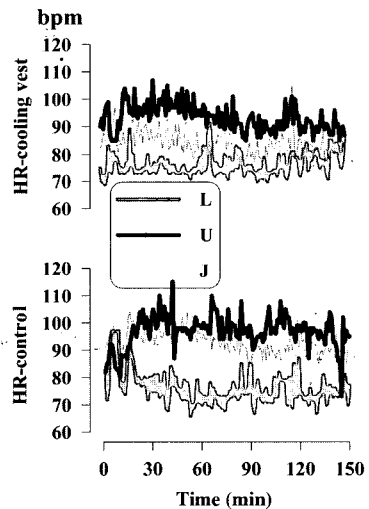


Fig. 7. Time course of HR of farm workers during the harvesting in the red pepper field.

군 2.2점으로 ‘약간 덥다’로 느꼈다($p < .01$), (Table 1). Control의 경우 습윤감은 평균 1.9점으로 ‘습하다’로 느꼈으나, CV4를 착용한 경우에는 평균 1.2점으로 ‘약간 습하다’고 느꼈다($p < .01$), (Table 1). 온열 쾌적감은 Control의 경우 평균 2.1점, CV4를 착용한 경우에는 평균 1.8점으로 모두 ‘약간 불쾌하다’고 느꼈다 (Table 1). 주관적 힘들기에서 Control의 경우 평균 2.9점으로 ‘매우 힘들다’고 느꼈으나 CV4를 착용한 경우에는 평균 2.3점으로 ‘힘들다’고 느꼈다($p < .01$), (Table 1). 즉, 실제 고추 수확 작업 현장에서 냉각조끼를 착용한 경우, 덜 덥고, 덜 습하며, 덜 힘들게 느꼈다.

IV. 논 의

1. 인공 기후실에서의 냉각조끼 착용효과

인공 기후실 환경 온도는 한국의 기상자료를 바탕으로 여름철 1일 농작업 시간 중 비교적 더운 환경으로 설정되었다. 이 조건에서 Control의 경우 직장온도가 38°C 이상 상승한 사람은 열 두 명 중 다섯 명이었으나, CV4를 착용한 경우에는 두 명 뿐이었으며, 최고 직장 온도도 38.1°C로 세 가지 실험조건 중 가장 낮았다. 냉각피복장비를 착용하는 가장 큰 목적은 착용자의 체온을 건강과 안전에 위협을 초래할 가능성이 없는 일상적인 범위, 즉 심부온도를 37°C에 가깝게 유지하는 것이다. 심부온도의 수용할만한 범위에 대해서는 이견이 있으나 일반적으로 38°C 이상일 경우 건강과 안전에 문제를 유발할 수 있는 온도로 간주되며, 39°C 이상이 되면 위험하다고 판단한다(Parsons, 1988).

기존 냉각조끼 연구들에서 냉각면적을 살펴보면 3,500cm²(Epstein et al., 1986), 1,340cm²(Nishihara et al., 2002), 또는 전체 체표면적의 20%(Nag et al., 1998)였으나, 본 연구에 사용된 CV4의 냉각면적은 616cm²로 총 체표면적의 3.4%에 불과하였다. 그럼에도 불구하고 CV4 착용이 직장온도 상승을 억제했으므로 CV4는 서열 부담 경감에 효과적이며, 동시에 적은 부위 냉각만으로도 유의한 서열부담 경감 효과를 주었다는 점에서 효율적이라고 평가할 수 있다.

이처럼 전신 체표면적 중 3.4%에 불과한 면적의 냉각만으로도 직장온도 상승을 억제할 수 있었던 이유는 첫째, 냉각되는 부위가 머리나 사지 부위가 아니라 몸통 부위였기 때문일 것이다. Epstein et al. (1986)도 다양한 냉각방식의 조끼와 후드들에 의한

몸통 및 머리 냉각이 생리반응에 미치는 영향을 조사한 결과, 여러 냉각피복장비 중 얼음팩을 이용한 방식의 냉각조끼 착용시 가장 낮은 T_{re}, HR 및 발한율을 보여, 몸통을 냉각하는 냉각조끼가 머리 냉각보다 효과적이라고 결론지었다. 이는 몸통 부위의 냉점 밀도가 사지 부위보다 커 추위에 대한 민감도가 높기 때문일 수 있으나(Nishihara et al., 2002), 설향(2001)에 의하면 몸통 부위의 냉점 밀도가 사지 부위나 머리 부위보다 크다는 결과는 얻지 못했으므로, 냉점 밀도의 차이로 기인한 것인지는 아직 단언할 수 없다. 둘째, 냉매를 제외한 조끼 자체의 무게가 기존 조끼들보다 가벼워(807g), 작업 중 조끼의 무게로 인한 대사적 부담이 적었기 때문일 것이다. 셋째, 냉각조끼에서 냉매 주머니를 제외한 나머지 부위를 모두 메쉬 소재로 만들어 작업 중 통기성이 향상되었기 때문이며, 넷째, 본 냉각조끼 제작 시 냉매 주머니 외면을 알루미늄 코팅된 반사 직물을 이용하여 일광에 의한 열차단 능력이 증가되었기 때문일 것이다. CV4의 냉매 주머니에 사용된 소재와 동일한 소재의 표면 반사율 및 자외선 차단율을 조사한 연구 결과, CV4에 사용된 코팅직물의 표면반사율 및 자외선 차단율은 코팅되지 않은 일반 직물에 비해 우수했다(김경수, 최정화, 2002). 또한 CV4는 사지 말초 부위의 피부온도에까지 영향을 미치지 않았으나, 직장온도의 상승을 억제했다. 이처럼 직장온도와 평균피부온도 반응으로 볼 때, 냉매를 등과 가슴 부위에 넣은 CV4는 인체를 과도하게 냉각하지는 않으면서 서열부담 경감에 효과적인 개인 냉각의류라 생각된다.

가슴 부위 및 등 부위 의복 내 온도는 Control보다 CV4를 입은 경우 유의하게 낮았으며, 특히 가슴 부위 온도가 CV4 착용에 의해 현저히 낮아졌다. 이는 CV4의 냉매의 위치 때문이다. CV4의 경우 앞 냉매가 가슴 부위에 위치하여 가슴 부위 의복 내 온도는 평균 28.8°C였다. 이는 일반적으로 알려진 쾌적 범위 보다 낮은 수준이었으나, 이로 인해 춥게 느끼지는 않았다. 조끼의 냉각효과를 극대화 시키기 위해서는 허리를 구부리는 자세나 다양한 동작에 의해서도 조끼가 움직이지 않도록 잘 고정할 수 있는 디자인으로 개선할 필요가 있다.

한편, 많은 선행 연구자들은 냉각조끼 착용에 의해 직장온도나 피부온도 뿐만 아니라 발한율도 감소된다고 보고하였다(Richardson et al., 1988). 본 연구에서도 총발한량은 CV4를 착용한 경우에 유의하게 적었다.

그러나 가슴과 등 부위의 의복 내 습도에서 세 조건 간에 유의한 차이를 발견할 수 없었다. 즉, 냉각조끼를 착용한 경우 착용하지 않았을 경우보다 땀을 더 적게 흘렸으나, 냉각조끼로 덮인 몸통 부위의 습도에서는 큰 차이를 발견할 수 없었다. 이는 냉각조끼 착용에 의해 피부온도가 낮아지고 증발에 의한 냉각의 필요성이 감소되어 총발한이 감소되었으나, 몸통과 등 부위는 냉각조끼에 의해 증발이 다소 방해되어 Control과 큰 차이를 보이지 않은 것이라 해석할 수 있다.

본 연구에서는 냉각조끼 착용이 심박수에도 유의한 영향을 미침을 확인할 수 있었다. 즉, 심박수는 작업과 휴식의 주기 뿐만 아니라 냉각에 의해서도 유의한 영향을 받았다. 많은 선행연구에서도 가슴이나 등 부위의 냉각은 심박수 감소에 직접적인 영향을 준다고 보고하고 있다(Bomalaski et al., 1995; Nishihara et al., 2002; Richardson et al., 1988). 더위에서 작업시 열 스트레스로 유발된 피부의 과도한 혈관 확장은 중추 혈류 순환으로부터 다량의 혈액을 제거하여 venous return을 감소시킨다. 이는 stroke volume 감소를 유발하여 결국 심박수를 증가시킨다(Bain & Vallerand, 1992; Williams et al., 1967). 본 연구에서 피부 혈류량을 직접 측정하지는 않았지만, 냉각조끼 착용에 의해 사지 말초 부위 혈류량이 감소된다고 보고되므로(Bain & Vallerand, 1992), 본 연구에서도 냉각조끼 착용에 의해 과도한 피부 혈관 확장이 억제되어 심박수 증가가 억제된 것이라 사료된다. 특히, CV4에 의한 심박수 안정 효과는 작업보다 휴식시에 우수했다. Constable et al.(1994)도 심박수의 안정 효과는 운동시보다 휴식시에 더 크며, Bomalaski et al.(1995)도 지속적으로 냉각시킬 경우 휴식하는 동안 생리적 회복이 더 완벽했다고 보고했다. 따라서 냉각조끼 착용은 작업시 심박수 증가를 억제함과 동시에 휴식시 안정 상태로의 회복을 빠르게 하여 다음 작업에 더욱 유리한 신체 상태로 만들어 주므로 작업 효율 향상에 기여할 수 있다.

한편, 피험자들은 Control보다 CV4를 착용한 경우에 덜 덥고, 덜 습하며, 덜 불쾌하고, 덜 힘들게 느꼈으므로, 냉각조끼는 생리적 반응 뿐만 아니라 주관적 반응 향상에도 유용했다. 특히 본 연구에서 설정한 환경 습도는 65%RH로, 냉각조끼 착용에 의해 더 습하게 느낄 수도 있을 것이라 예상했으나 피험자들은 냉각조끼를 입은 경우에 입지 않은 경우보다 땀이 덜 난다고 느꼈다. 이는 선행 연구(Nishihara et al., 2002)처럼 냉각조끼를 입은 경우 발한 느낌에 대해

보다 쾌적해 했다는 결과와도 일치한다.

이상의 결과를 통해 우리는 CV4가 인공 기후실 내 모의 작업 시 직장온도, 피부온도, 의복 내 온도, 심박수 상승 억제를 통한 서열 부담 경감 뿐만 아니라 주관적 감각 향상을 통해서도 서열부담 경감에 효과가 있음을 확인하였다.

2. 농작업 현장에서의 냉각조끼 착용효과

실제 서열 작업 현장에서 냉각조끼 착용을 권장하는 가장 큰 이유는 작업자의 서열부담 경감, 불쾌감의 감소 등을 통해 서열장해를 예방함과 동시에 작업 수행 능력을 향상시키는 것이다. 냉각조끼가 인공 기후실 실험에서는 효과적인 것으로 평가되었으나, 실제 현장 실험에서는 그리 성공적이지 못한 결과를 보여 줄 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 인공 기후실 실험에서 가장 우수하다고 평가된 CV4의 효과를 실제 고추 수확 작업 현장에서 검증하였다.

조사한 이틀동안의 WBGT는 각 일 29.4, 28.0°C로 일반적인 한국 여름철 중부 지방의 오후 기온과 비슷한 수준이었으나(기상청, 2005), 인공 기후실 실험조건인 WBGT 33°C보다 낮았다. 고추 수확 시 냉각조끼를 착용하지 않은 경우 직장온도는 평균 38°C로 높았는데, 이는 피험자 J의 직장온도가 오후 작업 시작시 이미 38°C 이상이었던 때문이며, 피험자 J를 제외한 나머지 두 명의 직장온도 값만을 보면 냉각조끼 착용 시와 비슷한 수준이었다. 피험자 J는 오전 작업이 충분히 회복되지 않은 상태에서 오후 작업을 시작하였다. Joy and Goldman(1968)은 인공 기후실 실험은 대부분 피험자들에게 강제적인 노동부담을 지우나, 실제 서열 작업 현장에서는 작업자들 스스로 작업의 페이스를 조절하여 서열부담을 어느 정도 경감시킬 수 있다고 하였고, Rodahl and Guthe(1988)도 인공 기후실에서 서열장애 증상을 보일 수 있는 수준의 서열조건에서도 실제 작업 현장의 작업자들은 페이스 조절을 통해 서열장애를 피할 수 있을 것이라 하였다. 비록 그러할지라도 실제 고온 작업 현장을 모니터링한 결과, 심부온도가 39°C 이상 상승하는 사례가 종종 보고되고(Joy & Goldman, 1968; Rodahl & Guthe, 1988), 작업자들은 본 연구에 참여한 농민 J처럼 종종 38°C 이상인 상태에서 작업을 시작하기도 하므로(Rodahl & Guthe, 1988), 작업자들에 대한 밀착 모니터링 및 안전 지침이 강조될 필요가 있다. 여름철 일

상 농작업 중 직장온도가 38°C 이상 상승하는 일이 그리 드문 일이 아니고, WHO에서는 39°C까지를 수용할 만한 범위로 간주하고 있기도 하다. 그러나, 한국의 농촌 인구는 고령화 되었고, heat stroke는 연령 증가에 따라 현저히 증가하여 25세 아래보다 40세 이상의 heat stroke가 10배 이상 높다고 보고되고 있으며(Strydom, 1971), heat stroke를 경험하는 사람들의 70%가 60대 이상이라고 보고되므로(Minard & Compan, 1963), 고령화 된 한국 농촌 현장에 냉각조끼 보급은 유용한 대안이 될수 있다.

평균피부온도도 인공 기후실 실험과 마찬가지로 CV4 착용에 의해 상승도가 억제되었으며, 좀 더 안정적인 경향을 보였으나, 평균 34.6°C로 아주 시원하게 느낄 정도로 낮은 수준은 아니었다. 주관적 설문에 의하면 농민들은 냉각조끼를 이용할 수 있다면 착용하겠다고 응답했으며, 냉각조끼 착용에 의해 너무 춥다고 응답한 사람은 한 명도 없었으므로, 작업 능률 증진과 한서 감각 만족을 위해서는 냉각력을 보다 강화시킨 냉각조끼 개발도 고려해 볼 적하다.

CV4는 생리반응 중 특히, 등 부위 의복 내 온도를 효과적으로 안정시켜 주었다. Choi et al.(2005)의 연구에서도, 고추 수확 작업 시 등 부위 의복 내 온도가 58°C까지 급격히 상승했는데 그 이유는 장시간 직사일 광 아래에서 허리를 구부린 자세를 취했기 때문이다. 보통 고열로 인해 통증을 느끼는 피부온도는 45°C 근처로 알려져 있으므로(Nunneley, 1988), 여름철 고추 수확 시 등 부위 냉각은 필수적이라 사료된다. 본 조사에서 Control의 경우 등 부위 의복 내 온도는 41°C까지 상승했으나 CV4를 착용한 경우 등 부위 최고 온도는 37.6°C였으므로 냉각조끼 착용이 등 부위 의복 내 온도 상승 억제에 효과적이었음을 확인할 수 있다. 또한 부위별 비교로도, 가슴 부위보다 등 부위 의복 내 온도가 더 높았으므로 등 부위 냉각에 더 관심을 기울일 필요가 있다. 의복 내 습도에서는 인공 기후실 실험에서와 마찬가지로 두 조건 모두에서 시간에 따라 점점 더 습하게 느꼈으나, 특히 등 부위 의복 내 습도는 냉각조끼를 착용한 경우에 유의하게 낮았으므로 냉각조끼 착용이 등 부위 습도 상승 억제에도 효과적임을 확인할 수 있었다.

심박수의 경우 Control 보다 CV4를 착용한 경우에 더 낮았으나 통계적으로 유의한 수준은 아니었다. 또한 인공 기후실 실험처럼 휴식과 작업 시의 차이가 명확히 드러나지는 않았으며, 최대 심박수도 인공 기

후실 실험 시보다 적었다. 즉, 이는 인공 기후실 실험에서는 정해진 순서에 자신의 페이스를 맞춰야 하지만, 실제 농작업 시에는 농민 스스로 페이스를 조정할 수 있기 때문일 것이다. 또한 인공 기후실 실험에 참여한 피험자들은 모두 20대 남자였고, 실제 고추 수확 농민 여성은 평균 52세였으므로, 작업의 강도와는 별개로 연령과 성차가 평균 심박수 값 차이에 영향을 미쳤을 수도 있다. 더욱이 실제 농민들이 실제 고추 수확 작업에 보다 익숙하다는 점도 이유가 될 수 있겠다.

한편, 주관적 감각에서 우려한 것은 냉각조끼의 온도가 너무 낮아 농민들에게 오히려 온열적 불쾌감을 초래하지는 않을까 하는 점이었으나 피험자 중 낮은 온도로 인해 불쾌하다고 응답한 경우는 없었다. 시간에 따른 경향을 보면 냉각조끼를 착용하지 않은 경우, 중간 휴식 시간이 있었음에도 불구하고 시간에 따라 점점 더워했으나, 냉각조끼를 착용한 경우에는 중간 휴식 시간에 한층 덜 덥게 느꼈다. 따라서 CV4 착용은 휴식 시간 중 생리적 반응을 안정시킬 뿐만 아니라 주관적 감각도 향상시켜 휴식 이후의 작업 능률 향상에 기여할 수 있을 것이라 판단된다. 또한 세 명의 피험자 중 J는 냉각조끼를 착용한 경우, 150분 내내 고추 수확이 '힘들지 않은 가벼운 작업'이라 응답하여, 실제 농작업 현장에서도 구간 부위 냉각이 주관적 노동부담을 경감에 효과적임을 확인하였다.

3. 평균피부온도와 온열쾌적감

인공 기후실과 실제 고추 수확 현장에서 얻어진 평균피부온도와 온열쾌적감과의 상관관계를 살펴 보았다(Fig. 8). 그 결과, 첫째, 인공 기후실에서보다 실제 고추 수확 현장에서 온열적으로 더 불쾌해 했다. 고추 수확 현장의 WBGT가 인공 기후실 보다 낮고, 고추 수확 농민들의 심박수도 더 적었음에도 불구하고 주관적으로는 더 불쾌하게 느꼈는데, 이는 오전부터 지속된 수확 작업에 의한 피로 때문일 것이다. 둘째, <Fig. 8>은 평균피부온도가 같을 지라도 온열쾌적감은 다를 수 있음을 보여 준다. 예를 들면 냉각조끼를 입은 경우에는 평균피부온도 36°C 이상에서도 '쾌적하다'라고 응답하는 사람이 있었다. 또는 평균피부온도 34°C에서 어떤 사람은 '쾌적하다'라고 말하지만 어떤 사람은 '불쾌하다'라고 응답하였다. 이는 첫째, 온열 쾌적감이 단순히 평균피부온도만의 함수는 아니라

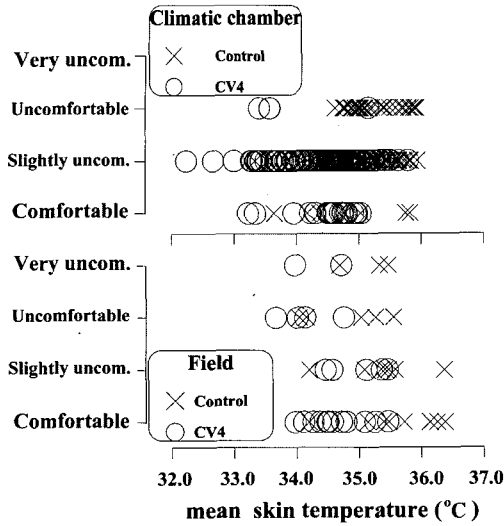


Fig. 8. Relationship of \bar{T}_{sk} and thermal comfort in climatic chamber and red pepper field.

는 증거로 볼 수 있으며, 둘째, 이는 평균피부온도 계산식과 관련되는 문제로, 인체가 비대칭 복사로 인해 특정 부위의 피부온도가 급격히 상승했지만 그 부위가 평균피부온도 계산식에 포함되지 않는 경우, 동일 피부온도 값이 계산될 수 있지만 실제로 평균피부온도는 다른 것이므로, 이는 계산된 평균피부온도가 동일한데도 온열쾌적감이 다를 수 있는 이유 중의 하나가 될 수 있다.

V. 요약 및 결론

본 연구는 여름철 농작업자의 서열부담 경감 연구의 일환으로, 고추 수확 작업자를 위해 제작된 냉각조끼의 착용 성능을 평가하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 두 단계 평가를 수행하였다. 먼저, 기온 33°C로 조정된 인공 기후실에서 고추 수확 작업을 모의 재현하여 냉각조끼 착용에 따른 작업자의 생리적, 주관적 반응을 평가하였고, 둘째, 실제 여름철 고추 수확 작업 현장에서 냉각조끼 착용이 농작업자의 생리적, 주관적 반응에 미치는 영향을 평가하였다. 실험 조건은 세 가지로 냉각조끼를 착용하지 않은 경우(Control), 냉매 두개를 넣은 냉각조끼를 착용한 경우(CV2, 냉각면적 308cm²), 냉매 네 개를 넣은 냉각조끼를 착용한 경우(CV4, 냉각면적 616cm²)였으며, 인공 기후실 실험에는 20대 남자 열 두 명이, 현장 실험에

는 고추 수확 경력 10년 이상의 여성 농작업자 세 명이 피험자로 참여하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

인공 기후실 실험 결과, 직장온도(T_{re}) 및 평균피부온도(\bar{T}_{sk})는 냉각조끼를 착용하지 않은 경우보다 냉각조끼를 착용한 경우 낮았으며, 이 경향은 CV4에서 유의했다($p < .05$). 의복 내 온도, 총발한량도 냉각조끼를 착용한 경우에 유의하게 낮았다($p < .05$). 심박수의 경우 냉각조끼를 착용한 경우 더 낮게 유지되었고, 특히 중간 휴식 시간에 안정 수준으로의 회복 속도가 빨랐으며, 더 안정적인 경향을 보여 주었다. 주관적 감각에서도 냉각조끼를 착용한 경우에 평균적으로 '덜 덥고, 덜 습하고, 덜 힘들며, 덜 불편하다'고 응답하였다. 실제 고추 수확 현장 실험 결과, 직장온도만 제외하고 인공 기후실 실험 결과와 유사한 경향을 보여주었으며, 특히 냉각조끼 착용은 등 부위 의복 내 온도 상승 억제에 효과적이었다.

결론적으로, 농민을 위해 개발된 냉각조끼의 냉각면적이 616cm²(평균 총체표면적의 3.4%)으로 적었음에도 불구하고, 인공 기후실과 실제 고추 수확 현장 모두에서 작업자의 온열 생리적 부담 경감과 주관적 불편감 감소에 모두 효과적이었다. 이러한 형태의 냉각조끼 착용은 여름철 고추 수확 농민의 서열부담 경감 및 생산성 향상에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

기상청 기후통계. (2005). 기상청 자료 검색일 2005. 5. 30. 자료출처 http://www.kma.go.kr/kor/weather/climate/climate_06_01.jsp.

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

김화남, 황근미. (1991). *농촌 여성의 노동 실태 조사(44-10-08)*, 시험연구보고서. 농촌생활연구소.

설향. (2001). *인체의 피부냉점 분포에 관한 연구*. 서울대학교 생활과학대학원 박사학위 논문.

최정화, 황경숙. (2001). 더운 환경에서의 냉각조끼의 착용효과에 관한 연구. *한국의류학회지*, 25(1), 83-90.

최정화, 황경숙. (2002). 냉각복 개발을 위한 효율적 냉각부위 규명에 관한 연구. *한국의류학회지*, 26(6), 771-778.

Allan, J. R. (1988). The development of personal conditioning in military aviation. *Ergonomics*, 31(7), 1031-1040.

Bain, B., & Vallerand, A. L. (1992). Limb blood flow while wearing aircrew chemical defense ensembles in the heat with and without auxiliary cooling. *Aviation, space, and Environmental Medicine*, 63(4), 267-272.

Bishop, P., Ray, P., & Reneau, P. (1995). A review of the ergo-

- nomics of work in the US military chemical protective clothing. *Int J of Industrial Ergonomics*, 15, 271-283.
- Bomalaski, S. H., Chen, Y. T., & Constable, S. H. (1995). Continuous and intermittent personal microclimate cooling strategies. *Aviat Space Environ Med*, 66(8), 745-750.
- Chen, Y. T., Constable, S. H., & Bomalaski, S. H. (1997). A light weight ambient air-cooling unit for use in hazardous environments. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 58, 10-14.
- Choi, J. W., Kim M. J., & Lee J. Y. (2005). Ergonomic investigation of red pepper harvest workers in Korea: A pilot study for developing personal protective clothing. *Applied Ergonomics*. (In Press).
- 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. *Aviation, space, and Environmental Medicine*, 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.
- Epstein, Y., Shapiro, Y., & Brill, S. (1986). Comparison between different auxiliary cooling devices in a severe hot/dry climate. *Ergonomics*, 29(1), 41-48.
- Featherstone, G. (1988). Development and use of an air-cooled suit for work in nuclear reactor. *Ergonomics*, 31(7), 1025-1029.
- Frim, J. (1989). Head cooling is desirable but not essential for preventing heat strain in Pilots. *Aviation, space, and Environmental Medicine*, 60, 1056-1062.
- Hanson, M. A. (1999). Development of draft British standard: the assessment of heat strain for workers wearing personal protective equipment. *The Annals of Occupational Hygiene*, 43(5), 309-319.
- Holmer. (1992). The assessment of heat strain for workers wearing personal protective equipment. *The Annals of Occupational Hygiene*, 43(5), 309-319.
- ISO 7726. (1995). *Thermal environments-Instruments and methods for measuring physical quantities*. International Organization for standardization, Switzerland.
- ISO 9920. (1995). *Ergonomics of the thermal environment-Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble*. International Organization for standardization, Switzerland.
- Joy, R. J., & Goldman, R. F. (1968). A method of relating physiology and military performance. A study of some effects of vapor barrier clothing in a hot climate. *Military Medicine*, 133(6), 458-470.
- Minard, D., & Compan, L. (1963). Elevation of body temperature in disease. In J. D. Hardy (Eds), *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry* (V 3, part 3, pp.253). New York: Reinhold.
- Nag, P. K., Pradhan, C. K., Nag, A., Ashtekar, S. P., & Desai, H. (1998). Efficacy of water-cooled garment for auxiliary body cooling in heat. *Ergonomics*, 41(2), 177-187.
- Nishihara, N., Tanabe, S., Hayama, H., & Komatsu, M. (2002). A cooling vest for working comfortably in a moderately hot environment. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 21(1), 75-82.
- Nunneley, S. A. (1988). Design and evaluation of clothing for protection from heat stress: An overview. In I.B. Mekjavic et al. (Eds.), *Environmental Ergonomics-Sustaining Human Performance in Harsh Environments* (pp.88). Philadelphia, New York, London: Taylor & Francis.
- Parsons, K.C. (1988). Protective clothing: heat exchange and physiological objectives. *Ergonomics*, 31(7), 991-1007.
- Pimental, N. A., Avellini, B. A., & Heaney, J. H. (1992). Ability of passive microclimate cooling vest to reduce thermal strain and increase tolerance time to work in the heat. *Proceedings of the fifth International Conference on Environmental Ergonomics*, 226.
- Proctor, T.D.(1988). Conditioned clothing: the needs of industry and the wearer. *Ergonomics*, 31(7), 987-990.
- 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.
- Rodahl, K., & Guthe, T. (1988). Physiological limitations of human performance in hot environments, with particular reference to work in heat-exposed industry. In I.B. Mekjavic et al. (Eds.), *Environmental Ergonomics-Sustaining Human Performance in Harsh Environments* (pp.34, pp.39). Philadelphia, New York, London: Taylor & Francis.
- Strydom. (1971). Wearer related performance standards for conditioned clothing. *Ergonomics*, 31(7), 1093-1101.
- Wialliams, C. G., Wyndham, C. H., & Morrison, J. F. (1967). Rate of loss of acclimatization in summer and winter. *Journal of Applied Physiology*, 22, p.21.