

더운환경에서의 냉각조끼의 착용효과에 관한 연구

최정화 · 황경숙

서울대학교 의류학과

Effectiveness of Cooling Vest in Hot Environment

Jeong Wha Choi · Kyoung Sook Hwang

Dept. of Clothing and Textiles, Seoul National University
(2000. 6. 21 접수)

Abstract

Cooling garments are being considered for reducing heat strain in hot environment. We evaluated the effectiveness of ice gel-based cooling vest in hot environment both resting and exercising. Four male subjects were exposed to heat(40°C, 50%RH) with vest or without it. The results were as follows; In case of the trial wearing ice gel-based cooling vest, total body weight loss, and local sweat volume were less than those without it. Mean skin temperature, rectal temperature, pulse, energy expenditure, temperature of inside clothes, and humidity of inside clothes also were lower than those without cooling vest. By subjective thermal sensation, subjective humidity sensation, and thermal comfort sensation, it was proved that non-wearing vest decreased comfort than wearing that. These results suggested that wearing ice gel-based cooling vest reduced human heat strain in hot environment both resting and exercising.

Key words: Cooling Vest, Hot Environment, Heat Strain, Cooling; 냉각조끼, 더운 환경, 열부담, 냉각

I. 서론

산업화가 촉진되고 꾸준히 경제성장을 해오는 동안 직업의 종류가 다양화되어 여러 작업환경이 등장하였다. 그러나 이들 작업환경 중에는 작업자의 건강에 장애를 주는 작업환경이 많아 최근에는 직업병, 산업재해, 3D 직종 등의 문제가 크게 대두되고 있다. 최근 우리나라에서도 이와 같은 관점에서 산업의학적 접근으로 작업장의 유해물질(예를 들면 분진, 소음 등)에 관해서는 일정한 수준의 평가를 하기 위한 척도를 제시하는 등의 연구가 활발히 진행되고 있으나²⁾ 추위, 더위와 같은 작업장의 극심

한 온도와 복사열에 의한 건강장애에 관해서는 연구가 거의 없는 실정이다. 또한 특수한 직업을 대상으로 한 연구에서도 작업환경온도로 인한 신체의 부담정도와 작업능률의 면을 초점으로 하지는 않았다. 특히 작업의 특성상 온도를 낮출 수 없거나 낮추어서는 안되는 작업현장에서는 체열생산억제로 인한 식욕부진, 근육이완, 작업의욕상실, TSH(갑상선 자극 호르몬) 분비감소를 일으키고 더 나아가서는 작업능률의 저하, 작업기피, 생산성 저하는 물론 일사병, 열사병 등과 같은 건강장애를 일으킨다³⁾. 우리나라의 농작업환경 중 비닐하우스 작업시에 평균 환경온은 30.0°C(평균복사온 36.0°C), 포도수확시에는 28.7°C(35.9°C), 감자수확시 32.7°C(40.0°C)으로 인체

에 큰 부담을 주는 작업환경을 형성하는 것으로 나타났다⁴⁾. 따라서 산업현장뿐만 아니라 농작업현장 등 고온의 작업환경에서 일하는 사람들을 위해 더 위로 인한 인체부담을 경감시키고, 작업능률을 높일 수 있는 방서의복의 개발이 필요하다. 방서의복의 개발을 위한 첫 번째 단계로 냉매를 이용한 냉각복의 활용가능성을 검토하기 위하여 제작이 간편하고 입고벗기 쉬운 냉각조끼의 인체착용효과를 검증하였다. 따라서 본 연구에서는 고온의 환경 조건(40.0℃, 50%RH)에서 조끼를 입었을 경우와 입지 않았을 경우에 인체의 생리반응을 측정, 비교하였다. 이때 자세는 냉각조끼의 무게로 인한 동작에 부담을 주는지 또한 조끼자체의 보온력으로 인해 냉각효과가 상쇄되는지 등을 확인하기 위하여 안정시와 운동시 두가지 경우로 나누어 실시하였다.

II. 연구방법

1. 피험자

피험자는 건강한 남자 대학생 4명을 대상으로 안

정시와 운동시에 조끼를 착용한 경우와 착용하지 않은 경우 각각 2회의 반복실험을 행하여 총 16회의 결과를 얻었다. 피험자들의 평균 연령과 신체적 조건은 <표 1>에 나타내었다. 체표면적(Body Surface Area : BSA)은 高比良(1924)의 식을 사용하였다.

2. 실험의복

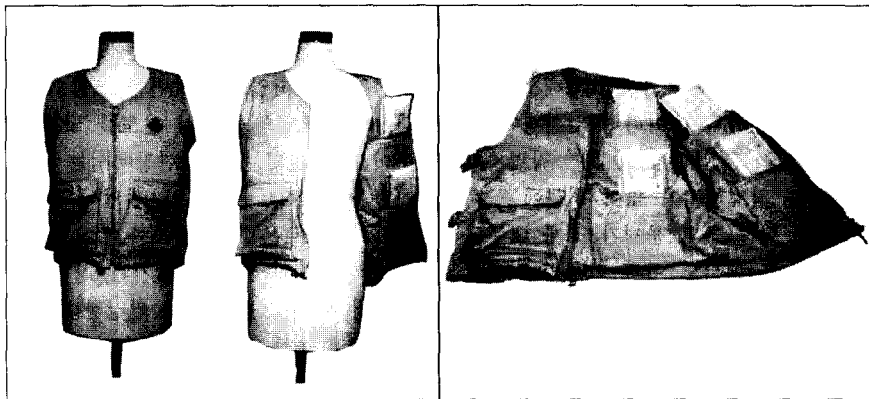
피험자는 모두 동일한 팬티, 면셔츠, 면바지, 면양말을 입고 조끼를 착용하거나(착용) 착용하지 않았다(미착용). 본 실험에 사용된 냉각조끼의 특징은

<표 1> 피험자의 특징

피험자	연령(세)	신장(cm)	체중(kg)	BSA(m ²)
A	22	172.0	63.3	1.76
B	22	180.0	74.0	1.94
C	24	175.0	71.0	1.88
D	24	175.0	68.1	1.84
Mean±SD	23±1.15	175.5±3.32	69.12±4.53	1.86±0.08

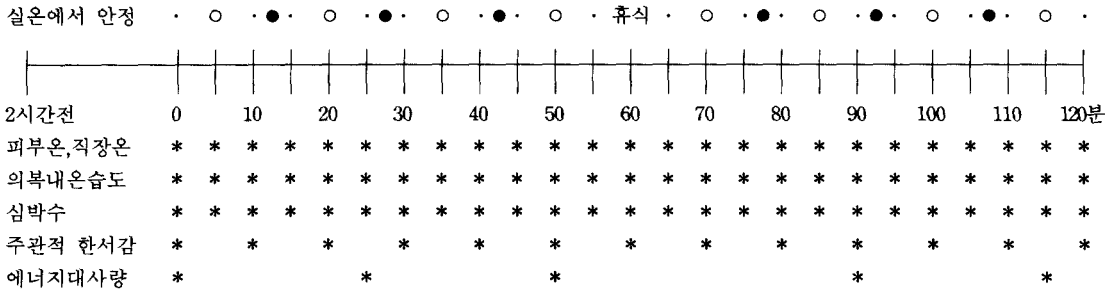
<표 2> 냉각조끼의 특징

조끼소재	조끼무게	냉매형태	냉매관리
· 조끼전체: 면 · 냉매용 주머니 겉감: 면 안감: 매시, 알루미늄, 호일, 폼, 부직포, 솜, 면	· 냉매미장착시: 947g · 냉매장착시: 2747g (단독형8개+연결형1개)	· 단독형 : 1개 (16×12cm, 180g) · 연결형 : 1개 (32×12cm, 360g)	· 냉동시 약 10시간 소요 · 냉각지속 시간은 고온 (40.0℃, 50%RH) 에서 3시간 가능



[그림 1] 실험 냉각조끼의 형태

실험자세 (앉기: ○, 걷기: ●)



[그림 2] 실험순서

<표 2>에 제시하였다.

3. 실험조건

40.0°C, 50%RH의 환경으로 설정된 인공기후실에 서 안정시는 의자에 앉은 자세였으며, 운동시는 의 자에 앉은 자세(10분)와 제자리 걷기(5분)를 반복하 였다.

4. 측정항목

피험자는 동일한 실험의복(긴팔셔츠, 긴바지)을 착용하고 27°C의 준비실에서 2시간 안정후에 인공기 후실로 이동하여 직장온과 7부위 피부온(이마, 가슴, 아래팔, 손등, 넓적다리, 종아리, 발등), 의복내 온습 도, 심박수를 5분 간격으로 측정하였다. 총발한량은 실험전과 후의 몸무게 및 의복중량의 차이에 의해 산출하고, 국소발한량은 등과 넓적다리 부위에 비닐 시트법을 이용하여 측정하였다. 에너지 대사량은 실험전에 실온(27°C)에서 안정시 에너지 대사량을 측 정하고, 실험시작 후 25분 간격으로 총 4회 측정하 였다. 주관적 한서감각 중 온열감, 습윤감은 ASHRAE의 정신 심리적 7등급을 사용하였고, 쾌적

감은 일본공조위생공학회의 5단계 척도를 이용하여 각각 10분 간격으로 측정, 점수화하였다.

5. 분석방법

조끼의 착용에 의한 차이를 알아보기로자 SAS (Statistical Analysis System) 통계패키지 중 T-Test 분석을 수행하여 검증하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 총발한량과 국소발한량은 안정시, 운동시 모두 조끼를 착용하였을 때 발한량이 유의하게 적은 것 으로 나타났다. 특히 운동을 한 경우에 조끼의 착용 으로 인해 발한량이 현저하게 억제되었다.

2. 노출시간동안의 부위별 피부온 및 평균피부온 을 표로 제시하였다. 그 결과 구간부에 가까운 부위 에서 냉각조끼의 착용에 의해 피부온의 차이를 보 였으며, 특히 가슴 부위에서 냉각조끼를 착용하였을 때 가장 낮은 피부온을 나타내었다.

그러나 구간부는 인체의 중요 장기가 있는 부위 이므로 지나치게 냉각을 하는 것은 쇼크나 그 밖의

<표 3> 발한량의 비교

	안정시		운동시	
	조끼미착용 (%)	조끼착용 (%)	조끼미착용 (%)	조끼착용 (%)
총발한량(g/2hr)	338.21 (100.0)	326.28 (96.5)	692.61 (100.0)	459.01 (66.3)
등발한량(g/12cm²/2hr)	0.56 (100.0)	0.38 (67.9)	1.34 (100.0)	0.56 (41.8)
대퇴발한량(g/12cm²/2hr)	0.18 (100.0)	0.13 (72.2)	0.62 (100.0)	0.23 (37.1)

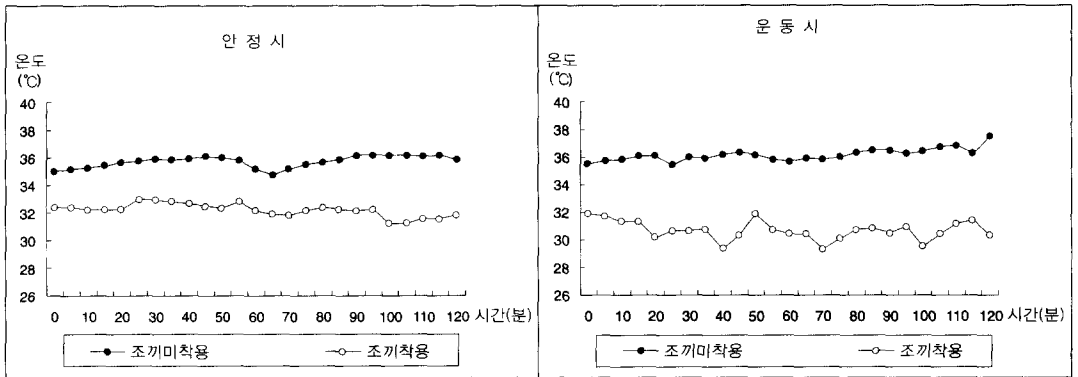
(%): 조끼미착용시의 발한량을 100으로 했을 때의 비율

〈표 4〉 부위별 피부온의 비교

(단위 : °C)

	안정시			운동시		
	조끼착용	조끼미착용	F 값	조끼착용	조끼미착용	F 값
이마	36.64(0.51)	36.74(0.46)	3.00	36.74(0.54)	36.96(0.72)	2.24**
가슴	32.26(2.26)	35.71(0.68)	320.66***	30.67(1.75)	36.07(0.81)	6.24***
아래팔	35.85(0.51)	35.98(0.48)	5.68*	35.52(1.12)	35.79(0.94)	1.67***
손등	35.88(1.02)	36.10(0.48)	6.11*	36.13(1.26)	36.45(0.68)	4.26***
넓적다리	35.30(0.59)	35.34(0.68)	26.83***	35.66(0.70)	35.70(1.18)	2.19**
종아리	36.08(1.41)	36.13(1.34)	0.11	35.74(0.95)	36.05(0.60)	1.85**
발등	36.20(0.40)	36.22(0.50)	13.95	36.07(0.67)	36.33(0.62)	1.02
평균피부온	34.69(0.86)	35.86(0.54)	208.54***	34.53(0.65)	36.22(0.71)	2.56***

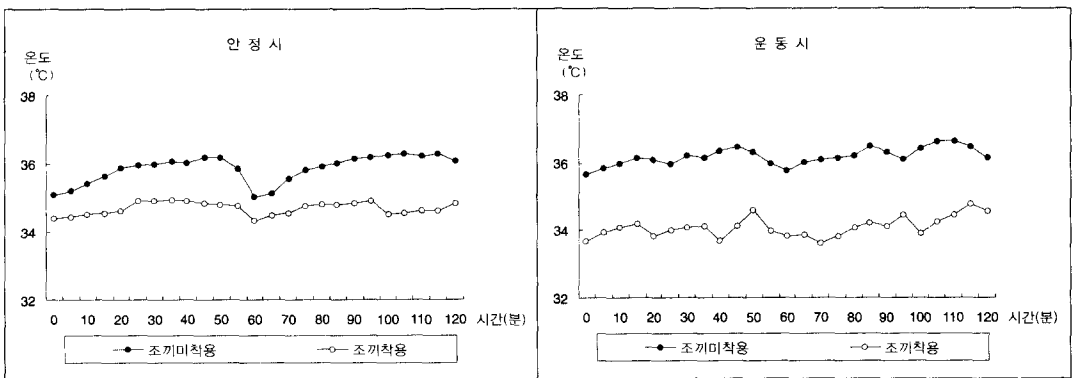
*, p>0.05, **, p>0.01, ***, p>0.001



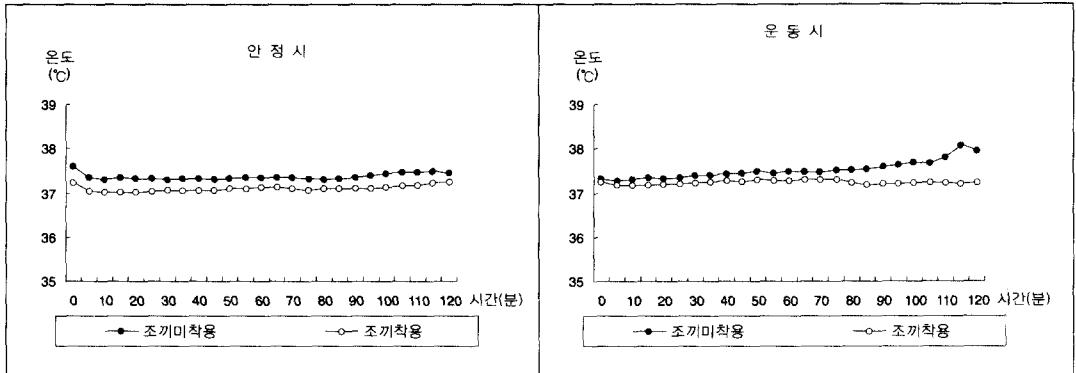
[그림 3] 가슴온도의 변화

건강장해를 일으킬 가능성이 있으므로, 피부온이 33°C 이하로 떨어지지 않도록 하여야 한다. 본 실험결과에서도 가슴의 피부온이 운동시 조끼를 착용하였을 경우에 평균 30.67°C로, 착용하지 않았을 경우와

약 6°C의 차이를 보여 냉각효과의 면에서는 좋으나, 건강상에 있어서는 바람직한 결과라고 할 수 없었다. 평균피부온의 변화를 나타낸 그림에서는 냉각조끼를 착용하였을 때 120분 노출동안 유의하게 낮은



[그림 4] 평균피부온의 변화



[그림 5] 직장온도의 변화

피부온을 유지하고 있었다.

3. 직장온은 안정시에 조끼를 착용한 경우 37.10°C, 조끼를 착용하지 않은 경우 37.32°C 이었으며 ($p < 0.001$), 운동시는 조끼 착용의 경우 37.24°C, 미착용의 경우 37.47°C의 평균값을 나타내었다. ($p < 0.01$) 따라서 냉각조끼의 착용은 인체의 심부온을 유의하게 저하시킨다는 것을 알 수 있었다.

4. 심박수는 조끼를 착용한 경우와 착용하지 않은 경우에 안정시 79.46beats/min, 82.61beats/min이었으며, 운동시에는 81.54beats/min, 91.03beats/min의 평균값을 보여($p < 0.001$) 냉각조끼의 착용에 의해 심박수가 저하되었음을 알 수 있었다.

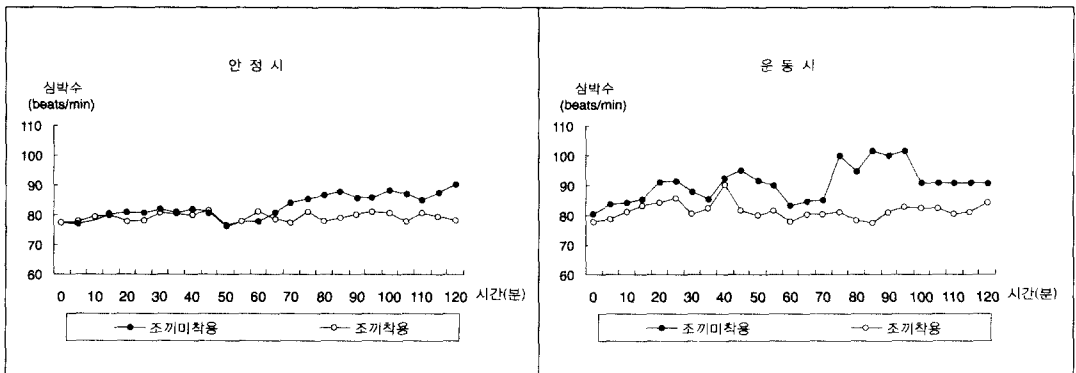
5. 에너지대사량은 안정시에는 조끼의 착용과 미착용간에 유의한 차이가 없었으나, 운동시에는 조끼를 착용하였을 때 더위노출전 51.90kcal/m²/hr에서 노출후 53.28kcal/m²/hr으로, 착용하지 않았을 때는

50.71kcal/m²/hr에서 65.49kcal/m²/hr로 대사량이 증가하였다. ($p < 0.001$) 따라서 냉각조끼의 착용을 통해 대사량의 증가를 억제시킬 수 있었다.

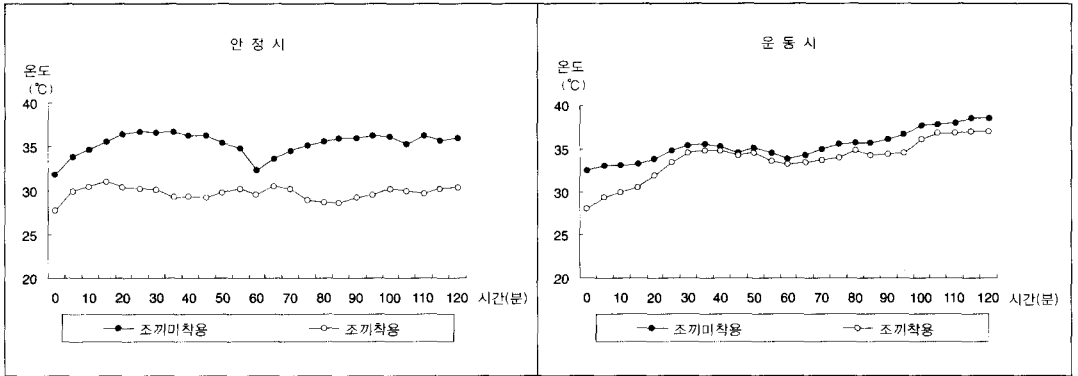
6. 의복내 온도는 안정시 조끼를 착용한 경우 29.73°C, 착용하지 않은 경우 34.25°C였으며 ($p < 0.001$), 운동시 조끼를 착용한 경우 33.82°C, 착용하지 않은 경우 35.38°C의 평균값을 보였다. ($p < 0.05$) 의복내 습도는 안정시의 경우만 조끼를 착용하였을 때 67%RH, 착용하지 않았을 때 80%RH으로 냉각조끼의 착용이 습도의 급증을 억제하였다. ($p < 0.01$)

7. 주관적 감각은 안정시에는 조끼의 착용과 미착용간에 유의차가 없었으며, 운동시에는 온열감과 습윤감에서 조끼를 착용한 경우 유의하게 덜 덥고 ($p < 0.05$), 덜 습하다고 ($p < 0.05$) 대답하였다.

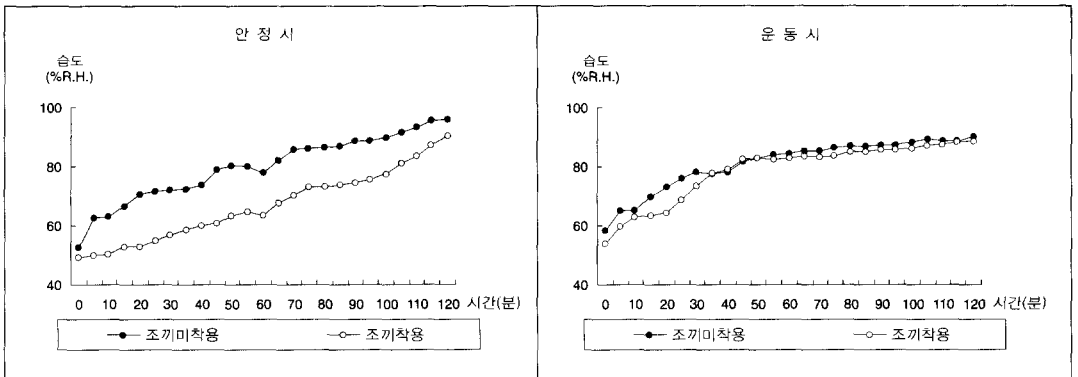
이상의 결과를 요약하면, 냉각조끼의 착용은 더운 환경에서 작업시에 인체의 생리반응 중 총발한량,



[그림 6] 심박수의 변화



[그림 7] 의복내온도의 변화



[그림 8] 의복내습도의 변화

국소 발한량, 부위별 피부온, 평균피부온, 심부온, 심박수, 에너지대사량, 의복내 온습도, 주관적 감각 등에서 인체부담을 경감시킨다는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 고 찰

본 연구결과에서는 고온의 작업환경(40.0°C, 50%RH)에서 안정시와 운동시 모두 냉각조끼를 착용하는 경우에 신체의 부담이 저하하는 것으로 나타났다. 신체를 냉각하는 방법 중 의복을 이용한 냉각법은 저온의 기체나 액체, 얼음팩 또는 겔팩을 이용하고 있다. 그러나 미해군 병사를 대상으로 고온 환경하의 생리적 부담을 측정된 결과, 세가지 방법 중 얼음팩 또는 겔팩을 이용한 냉각시스템이 인체

부담을 가장 줄여주는 것으로 판명되었다. 대상자들은 5.1kg의 냉각조끼를 착용하여 피부온의 저하와 특히 발한율에서 40%이상 감소함을 나타내었다⁵⁾. 이것은 지하 200m 작업환경에서 일하는 독일 석탄 광부들을 대상으로 한 결과와도 일치하였다. 특히 갱내 환기장치나 공기냉각장치는 사고발생의 위험이 있으므로 가벼운 조끼형의 냉각복을 착용함으로써 열로 인한 신체 스트레스를 줄여줄 수 있었다⁶⁾. 프랑스에서 보고된 연구결과에 따르면, 38°C의 고온 환경에서 작업하는 광부에게 16°C의 찬물에 적신 냉각복을 착용시켰을 때 최종심박수 104 beats/min, 직장은 38.3°C를 유지하게 하였다⁷⁾. 냉각복의 과도한 중량과 비용의 문제로 냉각복을 지속적으로 입고 작업하는 것이 무리인 경우, 작업 중 중간휴식시간에 간헐적으로 냉각복을 착용하는 것만으로도 열부

답을 줄인다는 연구결과도 보고되었다⁸⁾. 원자력 공장의 고온작업환경(55°C)에서의 작업자는 냉각복의 착용없이 52분을 견딜 수 있었으나 얼음을 넣은 3.8kg의 반팔상의를 착용하였을 때는 115%, 6.2kg의 긴팔상의를 착용한 경우에는 125%로 노출지속시간이 증가하였고 특히 심박수와 체온에서 유의한 열부담의 저하가 있었다⁹⁾.

겔팩이 아닌 기체나 액체 냉각복의 착용효과도 보고되었다. 캐나다 전투기 조정사가 37°C, 50%RH의 환경에 노출되었을 때 냉각복의 착용을 하지 않고 95분을 견디는 반면, 기체냉각복 또는 액체냉각복을 착용하였을 때는 150분을 견디었고, 직장온도 냉각복을 입지 않은 상태에서 증가하는 것보다 기체 냉각복의 경우 64%, 액체냉각복의 경우 51% 저하하였다¹⁰⁾. 기체냉각조끼를 입었을 때 고온의 환경(49°C db, 20°Cdp)에서는 조끼에 의한 노출지속시간이 175W의 대사율 운동하에서보다 315W의 대사율 운동하에서 더 짧아지는 것을 보여 더 높은 대사율을 요구하는 작업인 경우에 냉각조끼에 의한 냉각효과가 저하한다는 결과를 보고하였다¹¹⁾. 따라서 본 연구의 결과에서 보여주는 운동시의 냉각효과는 제자리 걷기와 같은 저강도의 운동하에서 검증되었으므로 중강도나 고강도의 작업을 수행할 때 효과가 있는 냉각복을 개발하기 위해서는 앞으로 좀더 간편하고 신체노출이 많은 디자인의 조끼를 개발할 필요가 있다. 노출환경의 습도에 의한 인체부담의 평가는 덥고 습한 환경과 덥고 건조한 환경에서 기체 냉각 조끼를 착용하였을 때 노출지속시간과 직장온, 심박수, 발한량에서 건조한 환경에서 냉각효과가 크다는 것을 보여 주었다¹²⁾.

12명을 대상으로 한 액체 냉각복의 착용평가에서도 열스트레스의 저하가 보고되었고,¹³⁾ 40°C의 환경에서 액체 냉각복을 착용한 결과에서는 37.5°C 이하의 직장온을 보고하여 37.4°C이하의 직장온을 유지한 본 연구의 결과와 비슷한 직장온도의 범위를 나타내었다¹⁴⁾. 열에 민감한 환자에 대한 냉각복의 효과도 검증되었다. 다발성 경화증(MS), 심장혈관계 환자들에게 냉각복을 착용시켰을 때 구강온, 피부 혈류량이 저하하여 환자에게 긍정적 영향을 미치고¹⁵⁾ 환자의 self-care 능력이 향상되었다는 결론을 얻었다¹⁶⁾.

본 연구에서 사용된 겔팩을 이용한 냉각조끼는 2747g의 무게였으며 사용하기 쉽고 휴대용으로 상대적으로 가벼우며, 동작에 구속이 적고 가격이 비교적 싸다는 장점이 있다. 그러나 냉각시간이 고온에서 3~4시간으로 짧으며, 액체냉각복이나 기체냉각복보다 무겁고, 겔팩의 해동으로 인한 습기의 증가로 불쾌감을 초래할 수 있는 단점이 있다. 따라서 이러한 결과를 토대로 냉각지속시간의 연장, 중량경감 등의 문제점을 보완한 고기능의 방서복을 개발하여 고온, 서열환경 작업자의 건강보호 및 생산성 향상을 통해 작업자의 삶의 질을 향상시킬 수 있다.

V. 결론 및 제언

방서복의 개발을 위한 첫 번째 단계로 냉매를 이용한 냉각복의 활용가능성을 검토하기 위하여 제작이 간편하고 입고벗기 쉬운 냉각조끼의 인체착용효과를 검증하였다. 본 연구에서는 고온의 환경조건(40.0°C, 50%RH)에서 조끼를 입었을 경우와 입지 않았을 경우에 인체의 생리반응을 측정, 비교하였다. 이 때 자세는 냉각조끼의 무게로 인한 동작에 부담을 주는지 확인하기 위하여 안정시와 운동시 두가지 경우를 모두 취하였다.

1. 총발한량과 국소발한량은 안정시, 운동시 모두 조끼를 착용한 경우가 착용하지 않은 경우보다 적었다.

2. 평균피부온(안정시, 운동시: $p < 0.001$)과 심부온(안정시, 운동시: $p < 0.01$)은 안정시, 운동시 모두 조끼를 착용한 경우가 착용하지 않은 경우보다 유의하게 낮았다.

3. 심박수는 안정시, 운동시 모두 조끼를 착용한 경우가 착용하지 않은 경우보다 유의하게 낮았다.(안정시: $p < 0.05$, 운동시: $p < 0.001$)

4. 에너지대사량은 안정시에는 조끼의 착용과 미착용간에 차이가 없었으나 운동시에는 조끼를 착용한 경우가 착용하지 않은 경우보다 유의하게 낮았다.($p < 0.001$)

5. 의복내 온도는 안정시, 운동시 모두 조끼를 착용한 경우가 착용하지 않은 경우보다 유의하게 낮았으며(안정시: $p < 0.001$, 운동시: $p < 0.05$), 의복내

습도는 안정시의 경우만 조끼를 착용한 경우가 착용하지 않은 경우보다 유의하게 낮았다.($p < 0.01$)

6. 주관적 감각은 안정시에는 조끼의 착용과 미착용간에 유의차가 없었으며, 운동시에는 온열감과 습윤감에서 유의차를 보였다.($p < 0.05$)

이상의 결과를 요약하면, 무겁고 보온력에 영향을 미치는 조끼임에도 불구하고 냉각조끼의 착용은 더운 환경에서 작업시에 인체의 생리반응 중 총발한량, 국소 발한량, 부위별 피부온, 평균피부온, 심부온, 심박수, 에너지대사량, 의복내 온습도, 주관적 감각 등에서 인체부담을 경감시킨다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 냉각조끼의 착용효과가 인정되었으므로 이러한 결과를 토대로 냉각지속시간의 연장, 중량경감, 조끼자체의 보온력 감소 등의 문제점을 보완하기 위한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) 심철구 · 노재훈 · 박정균. 소음측정방법에 따른 평가 소음도 비교. 한국산업위생학회지, 5(2), 128-136, 1995.
- 2) 김희만 · 김돈균. 분진 발생 작업장의 분진 발생 실태 및 영향인자에 관한 연구. 한국산업위생학회지, 3(2), 227-239, 1993.
- 3) 緒方維弘. 適應. 醫齒藥出版株式會社, 54-58, 1975.
- 4) 최정화 · 안옥선 · 황경숙. 한국의 농작업환경과 인체 부담에 관한 연구(Ⅲ). 한국농촌생활과학회지, 10(2), 85-100, 1999.
- 5) Nancy A. Ability of passive microclimate cooling vest to reduce thermal strain and increase tolerate time to work in the heat. Proceedings of the Fifth Int. Conf. on Environmental Ergonomics, 1992.
- 6) Piekarski C. Climatic stress in coalmining in Germany—Occupational health aspects. Ergonomics, 38(1), 23-35, 1995.
- 7) Mairiaux P, Nullens W, Fesler R and Brasseur L, Detry JM. Evaluation of the effects of cooling clothes on the adaptation to prolonged exertion in high temperatures by miners. Rev Inst Hyg Mines (Hasselt), 32(3), 99-122, 1977.
- 8) Constable SH, Bishop PA, Numley SA and Chen T. Intermittent microclimate cooling during rest increase work capacity and reduces heat stress. Ergonomics, 37(2), 277-285, 1994.
- 9) Kamon E, Kenney WL, Deno NS, Soto KI and Carpenter AJ. Readdressing personal cooling with ice. Am Ind Hyg Assoc J, 47(5), 293-298, 1986.
- 10) Vallerand AL, Michas RD, Frim J and Ackles KN. Heat balance of subjects wearing protective clothing with a liquid- or air-cooled vest. Aviat Space Environ Med, 62(5), 383-391, 1991.
- 11) Pimental NA, Cosimini HM, Sawka MN and Wenger CB. Effectiveness of an air-cooled vest using selected air temperature and humidity combinations. Aviat Space Environ Med, 58(2), 119-124, 1987.
- 12) Muza SR, Pimental NA, Cosimini HM and Sawka MN. Portable, ambient air microclimate cooling in simulated desert and tropic conditions. Aviat Space Environ Med, 59(6), 553-558, 1998.
- 13) Williamson R, Carbo J, Luna B and Webbon BW. A thermal physiological comparison of two HAZMAT protective ensembles with and without active convective cooling. J Occup Environ Med, 41(6), 453-463, 1999.
- 14) Nag PK, Pradhan CK, Nag A, Ashtekar SP and Desai H. Efficacy of a water-cooled garment for auxiliary body cooling in heat. Ergonomics, 41(2), 179-187, 1998.
- 15) Ku YT, Montgomery LD and Webbon BW. Hemodynamic and thermal responses to head and neck cooling in men and women. Am J Phys Med Rehabil, 75(6), 443-450, 1996.
- 16) Flensner G and Lindencrona C. The cooling-suit: a study of ten multiple sclerosis patients' experiences in daily life. J Adv Nurs, 29(6), 1444-1453, 1999.