

## 사지부의 냉각효율성에 관한 연구

황 경 숙·최 정 화\*·이 경 숙

농촌진흥청 농업과학기술원 농촌자원개발연구소

서울대학교 생활과학대학 의류학과\*

### Local Cooling of the Limbs in 37°C Ambient Temperature

Hwang, Kyoung Sook · Choi Jeong Wha · Lee, Kyung Suk

Rural Resources Development Institute, NIAST, RDA, Suwon, Korea

Dept of Clothing & Textile, College of Human Ecology, Seoul National University, Seoul, Korea\*

### ABSTRACT

This study was to determine the effect of cooling parts of the limbs without harm to health. The results provide basic data for the development of clothing which could increase work efficiency and reduce body strain in hot environments. Five male adults took part in the study, conducted in a climate chamber with an ambient temperature of 37°C and a relative humidity of 50%. The limbs were divided into six areas to be cooled: upper arm, forearm, thigh, calf, hand, and foot. According to preceding studies, permissible cooling safety limits of skin temperature for each part of the body for one-hour were 20°C on the upper arm, forearm, thigh, and calf, and 23°C on the hand and foot. For this reason, cooling the skin of each region was carried out at the above mentioned temperatures. In conclusion, cooling the hand and foot reduced perspiration, rectal temperature and heart rate. Therefore, the heat stress of workers exposed to hot environments would be reduced by decreased subjective sensations of heat and increased comfort. The effectiveness of cooling was better on the arm than on the leg.

**Key words:** cooling, hot environment, limbs, cooling efficiency

### I. 서론

우리 몸이 고온 환경에 노출되었을 때는 다음의 세 가지 기전에 의해서 체온조절이 이루어지게 된다. 첫째, 심혈관계 조절(cardiovascular regulation)로서 고온 하에서는 피부혈관확대가 일어나 피부온도를 높임으로서, 복사에 의한 체열방출을 크

게 하려는 생체반응이 나타난다. 심장에서는 피부표면이 순환 혈액량을 증가시키기 위해 맥박이 빨라지고 심박출량을 증가시키게 된다. 고온 하에서는 매우 중요한 체온조절 기능이다. 둘째, 화학적 조절(chemical regulation)로서 고온 하에서는 기초대사에 의한 체열발생이 감소하는데 식욕부진이 오고 음식의 섭식량이 감소한다. 세 번째,

접수일: 2007년 1월 30일 채택일: 2007년 2월 25일

Corresponding Author: Hwang, Kyoung Sook Tel: 82-31-299-0475 Fax: 82-31-299-0453

E-mail: hks0475@rda.go.kr

물리적 조절(physical regulation)로서 고온 환경에서 발한에 의한 증발열을 통해 체열방출을 하는데 1cc의 땀은 0.58kcal의 증발열을 체외로 방출시킬 수 있다. 특히 환경온도가 34°C 이상이 되면 모든 체열방출은 증발에만 의존한다. 따라서 고온질환 특히 열사병의 발생에는 증발의 역할이 절대적으로 중요하다(권호장 2005). 그러나 방직, 철강, 금속제련, 유리제조, 벽돌제조, 도자기제조, 여름철 외기에서의 농업 등에 종사하는 경우에는 주위 기온과 피부온과의 차이가 적어서 증발이 잘 되지 않아 열이 인체 내부로 유입되어 축적된다.

대부분의 사람들은 기온 20-27°C, 습도 35-60% R.H.에서 쾌적하게 느끼며, 35-40°C를 고온한계치로 설정하고 있다. 환경 기온이 30°C 이상일 때, 정신적 작업수행이 어려워진다. "Heat stress"는 작업, 환경인자(기온, 습도, 기류, 태양이나 열원체로부터의 방사), 의복 착용으로부터 발생하는 체열로 인한 체내의 총 열부담을 말한다(CCOHS 2001). 고온 환경에 지속적으로 노출되면 여러 가지 질환이 발생할 수 있는데, 그 중에서도 우리가 흔히 땀띠라고 부르는 흥색 한진(heat rash)에서부터 신속한 조치를 취하지 않으면 사망에 이를 수 있는 열사병(heat stroke)에 이르기까지 매우 다양하게 나타난다(권호장 2005). 인체를 부분적으로 냉각하여 온열부담을 효과적으로 줄일 수 있다는 결과는 많은 선행연구자들이 제시하여왔다(Baker 1982; Bruce et al. 1990; White & Hudnall 1991; Vallerand et al 1991; Choi & Hwang 2002).

특히 사지부보다 구간부의 냉각효율이 더 우수한 것으로 평가되고 있다. 신체를 13부위로 나누어 온감각과 냉감각을 측정한 연구에서 온도에 대한 인체의 민감도는 부위에 따라 약 100배의 차이가 있으며, 특히 머리와 얼굴 주변이 가장 온도에 민감하고 사지부가 가장 둔감하며 몸통부위는 그 중간의 민감도를 가지고 있다고 하였다(Stevens & Choo 1998). 인체의 국소냉각은 39°C의 고온환경에서 냉감 뿐 아니라 발한율에도 영향을 미친다. 즉 가슴의 냉각으로 인한 빌한율을 1로 하였을 때 이마의 국소냉각은 3.3배, 등은

1.2배, 배는 0.8배의 영향을 미치는 것으로 나타나 머리, 등, 가슴, 배의 순으로 냉각효율이 우수한 것으로 나타났다(Crawshaw et al. 1975). 또한 머리와 몸통부위의 국소피부온 변화는 빌한율에 가장 큰 영향을 미치며(Patterson et al 1998), 신체를 구간별로 보았을 때 얼굴, 아래팔, 손등, 엉덩이, 종아리, 발등, 발바닥에 비해 냉점밀도가 높은 것으로 나타났다(Choi & Seol 2001). 본 연구의 목적은 더위로 인한 스트레스를 줄이기 위해 신체를 냉각시킬 때, 사지부의 각 부위별로 냉각효율을 비교하여 안전하고 효율적인 냉각의 방법을 제시하고자 한다.

## II. 연구방법

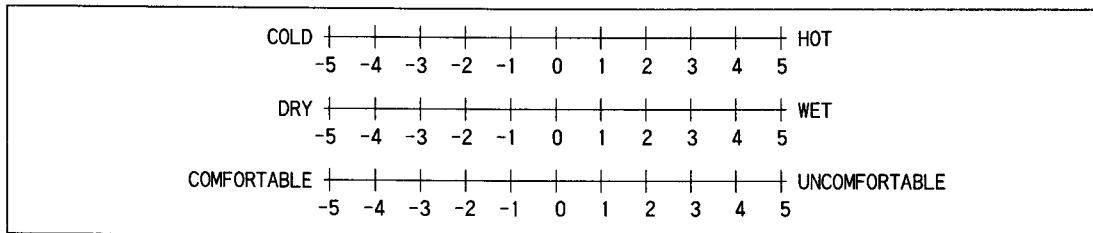
### 1. 환경조건 및 실험기간

더위 노출을 4시간(240분)으로 하여 중간에 냉각 후 80분, 155분에 냉각팩을 떼고 각각 10분간 30°C의 실온에서 쾌적한 상태로 휴식을 취하게 하였다. 그 외는 37±1°C, 50±5%R.H.을 실험환경으로 하였다. 주관적 한서감각을 15분 간격으로 기입하도록 하였고 그 외 다른 측정항목은 1분 간격으로 측정하였다. 실험기간은 2003년 1월부터 2003년 5월까지였으며, 반복 실험에 의한 더위 적응이 되지 않도록 실험횟수를 일주일에 2-3회로 제한하였다. 실험시간은 오전에 한 피험자는 계속 오전 실험을, 오후에 실험하였던 피험자는 오후 실험을 반복하도록 하였다. 4시간 더위 노출시간은 더위에서의 적정 작업시간을 4시간으로 규정한 선행연구를 따랐다(Wyndham 1967).

### 2. 측정항목

240분 동안 휴대용 피부온도 측정기(LT 8A, Gram Corp., Japan)로 7부위 피부온도(이마, 배, 위팔, 아래팔, 넓적다리, 종아리, 발등)와 직장온도를 측정하고, 휴대용 자동 온·습도 기억장치(Thermo Recorder RS-10, Tabai Espac Corp., Japan)로 가슴부위 의복내 온도 및 습도를, 심박수 측정기(Polar Sports Tester, Polar Electro INC, Finland)로 심박수를 측정하였다. 평균피부온도는 Hardy와 DuBois에 의한 인체의 안분비율로 계산

Fig. 1. Subjective sensation(Winakor, 1982)



하였다. 총발한량은 실험 전후의 체중 변화량에 의해 계산하였고, 등과 넓적다리 부위의 국소 발한량은 여과지법을 이용하였다. 주관적 감각은 Winakor(1982)의 11단계 척도를 이용하여 15분 간격으로 측정하였다(Fig. 1).

### 3. 피험자 및 실험의뢰

신체 건강한 20대 남자 5명을 대상으로 하였으며(Table 1), 평균연령은 25.8세, 키는 173.6cm 몸무게는 70.8kg, 체표면적은  $1.86 \pm 0.1\text{m}^2$ 이었다. 피험자는 실험 2시간 전부터 음식과 음료를 먹지 않았고, 실험 동안 상의는 얇은 면 소재의 긴팔, 하의는 팬티, 면 소재의 긴바지, 면양말을 착용하고 등받이가 없는 의자에 앉았다.

Table 1. Physical characteristics of 5 subjects

Subject	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BSA ( $\text{m}^2$ )
A	27	171	70	1.83
B	27	173	70	1.85
C	27	173	72	1.87
D	25	174	72	1.88
E	23	177	70	1.88
	25.8	173.6	70.8	1.86
	$\pm 1.79$	$\pm 2.19$	$\pm 1.10$	$\pm 0.02$

BSA(Body Surface Area)=Weight $0.425 \times \text{Height}0.725 \times 72.46$

### 4. 냉각 부위 및 방법

냉수가 순환되는 냉각팩을 이용하여 선행연구에서 인체생리반응에 무리가 없다고 판단되는 허용한계온도로 각 부위를 냉각하였다. 사지부의 의복 착용시 구분되는 위팔, 아래팔, 손, 넓적다리, 종아리, 발 등 6 부위로 나누어 각각 냉각시

켰으며, 냉각 순서에 의한 영향을 배제하고자 무작위로 냉각하였다. 각 부위의 냉각온도는 선행 연구에서 건강상 무리가 되지 않는 냉각허용한계 온도로 판정된 피부온인 위 팔 20°C, 아래 팔 20°C, 손 23°C, 넓적다리 20°C, 종아리 20°C, 발 23°C로 하였다(황경숙 등 2006).

냉각기(물의 온도를 0~40°C 사이로 조절하는 기계로서, 전기를 열원으로 하여 정해진 온도로 유지된 물을 냉각팩에 공급하도록 본 연구를 위해 고안된 장비)를 이용하여 일정 온도(2~3°C) 간격으로 냉각팩의 온도를 하강시켜 피험자에게 각 부위별로 부착시켰으며, 이 때 냉각팩은 각 피험자의 신체 부위에 맞도록 제작되었다. 신체를 부위별로 냉각하기 위하여 희망온도로 냉각된 물을 비닐판(지름 0.5cm)을 통해 팩으로 이동시켜 일정한 온도로 유지시키는 냉각기를 사용하였다. 이 때 냉각팩은 각 피험자의 신체 부위에 맞도록 비닐과 전기접착기, Glue Gum, 본드, 비닐판 등으로 제작되었으며, 고깔형으로 제작된 머리 부위의 팩을 제외하고 나머지 팩은 측정부위를 덮거나 감을 수 있도록 사각형 모양으로 만들었다. 팩을 각 부위에 고정시키기 위해 가죽벨트와 테이프를 사용하였으며 압박을 주지 않는 범위에서 가능한 신체에 밀착시켰다.

### 5. 자료분석

실험에 의해 얻어진 측정치를 SAS(Statistical Analysis System) 통계 패키지를 이용하여 GLM(Generalized Linear Model) 분석을 한 후 유의한 항목에 대해 5% 유의수준에서 Duncan의 다중검정을 행하였다.

Table 2. Surface area of cooling pack

	Upper-arm	Forearm	Hand	Thigh	Calf	Foot	Ratio of whole body
m <sup>2</sup>	0.1816	0.1412	0.1370	0.2124	0.1908	0.1550	1.018
%	9.8	7.6	7.4	11.4	10.3	8.3	54.8

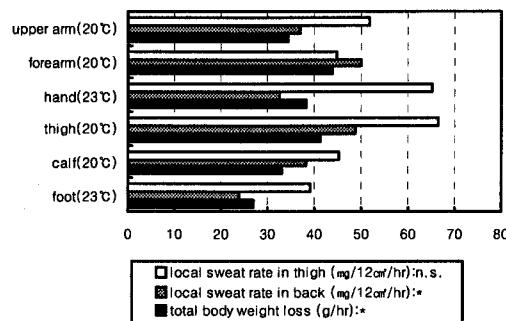
### III. 결과 및 고찰

실험동안 각 인체 생리반응의 결과를 부위별 냉각에 따른 측정항목별 평균값과 유의차가 있었는지 Table 3에 나타내었다. 결과에 의하면 발한량, 직장온, 심박수, 의복기후, 주관감 항목에서 사지부의 부위별 냉각에 의한 유의차를 보였다.

#### 1. 발한량

인체를 냉각시키지 않고 37°C의 고온환경에 4시간 노출시켰을 때, 총발한량은 689.83g/4hr였으며, 부위별 국소 발한량은 등이 42.16mg/12cm<sup>2</sup>/4hr, 넓적다리 부위에서 15.67mg/12cm<sup>2</sup>/4hr였다. 37±1°C, 50±5%R.H. 환경에서 냉각하지 않았을 때의 발한량인 689.83g/4hr을 100으로 하여 각 부위별 냉각 후 발한량 비율을 Fig. 2에 제시하였다. 총발한량으로 볼 때, 6 부위 중 아래팔 냉각이 43.7%로 가장 많은 발한량의 감소를 보였고, 다음으로 넓적다리(41.1%), 손(38.2%), 위 팔(34.5%), 종아리(33.0%), 발(26.9%)의 순이었다.

등 부위의 국소발한량은 아래 팔(50.2%)과 넓적다리(48.7%) 냉각시 발한량의 감소율이 가장 큰 것으로 나타났다. 다음 순서는 종아리(38.3%), 위팔(36.8%), 손(32.4%), 발(24.0%)이었다. 감소율이 가장 작은 부위는 발로서 총발한량의 결과와 일치하였다. 넓적다리에서 측정한 국소발한량은 부위 간에 유의차를 보이지 않았으나, 넓적다리(66.7%)와 손(65.0%) 냉각이 가장 크고, 다음으로



\*: P<0.05, n.s.: not significant

Fig. 2. Decreasing ratio of sweat rate by local cooling

Table 3. Physiological responses during the experiment

	Upper arm	Forearm	Hand	Thigh	Calf	Foot	F-value
Total body weight loss(g/4hour)	453.00 <sup>abc1)</sup>	388.00 <sup>a</sup>	426.00 <sup>abc</sup>	405.50 <sup>ab</sup>	461.50 <sup>abc</sup>	503.50 <sup>c</sup>	1.92**
Local sweat rate in back(mg/12cm <sup>2</sup> /4hour)	26.64 <sup>ab</sup>	21.00 <sup>a</sup>	28.50 <sup>ab</sup>	21.63 <sup>ab</sup>	26.00 <sup>ab</sup>	32.05 <sup>b</sup>	1.92**
Local sweat rate in thigh(mg/12cm <sup>2</sup> /4hour)	10.50	11.17	9.17	9.00	11.14	13.75	1.22n.s.
T <sub>re</sub> (°C)	37.29 <sup>c</sup>	37.27 <sup>bc</sup>	37.21 <sup>a</sup>	37.36 <sup>d</sup>	37.35 <sup>d</sup>	37.22 <sup>ab</sup>	6.63***
HR(bpm)	76.39 <sup>ab</sup>	76.10 <sup>a</sup>	75.20 <sup>a</sup>	78.47 <sup>c</sup>	78.44 <sup>c</sup>	77.80 <sup>c</sup>	69.16***
T <sub>cl</sub> , chest(°C)	34.06 <sup>ab</sup>	33.87 <sup>a</sup>	34.66 <sup>bc</sup>	34.42 <sup>ab</sup>	34.65 <sup>bc</sup>	34.79 <sup>c</sup>	124.71***
H <sub>cl</sub> , chest(%RH)	40.35 <sup>bc</sup>	41.74 <sup>bcd</sup>	32.69 <sup>a</sup>	41.22 <sup>bcd</sup>	42.60 <sup>bcd</sup>	36.98 <sup>ab</sup>	51.67***
Thermal sensation	0.28 <sup>ab</sup>	0.28 <sup>ab</sup>	0.17 <sup>a</sup>	0.42 <sup>bc</sup>	0.39 <sup>bcd</sup>	0.28 <sup>ab</sup>	5.84***
Humidity sensation	1.29	0.85	1.20	1.29	1.92	1.56	1.62n.s.
Thermal comfort	0.28 <sup>bc</sup>	0.08 <sup>ab</sup>	0.03 <sup>a</sup>	0.19 <sup>bcd</sup>	0.22 <sup>bcd</sup>	0.08 <sup>ab</sup>	10.57***

<sup>1)</sup>Values with different letters within a same row are significantly different by Duncan's multiple range test

(\*: P<.05, \*\*: P<.01, \*\*\*: P<.001, n.s.: not significant)

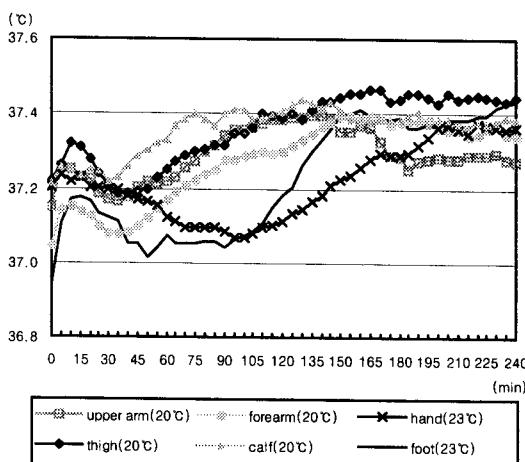


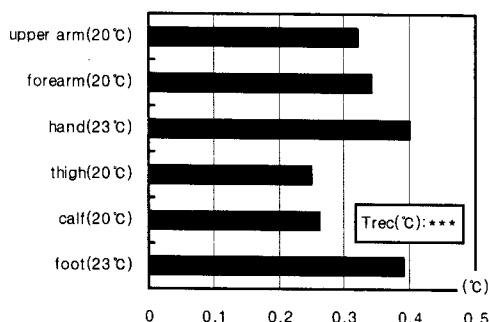
Fig. 3. Changes of rectal temperature during local cooling

위 팔(51.7%), 종아리(45.3%), 아래팔(45.0%) 부위, 마지막으로 발(39.2%) 냉각이 가장 작은 감소율을 보였다.

총발한량, 국소발한량 모두 아래팔과 넓적다리 냉각이 40% 이상의 가장 많은 감소율을 나타내고, 발을 냉각시키는 것이 부위별 냉각 없이 실험한 경우와 비교하여 발한량 감소율이 가장 적었다. 따라서 팔, 다리 부위에서는 발 냉각이 냉각효율 면에서 가장 불리하다고 판단되었다.

## 2. 직장온

냉각을 하지 않았을 때 직장온의 평균값은



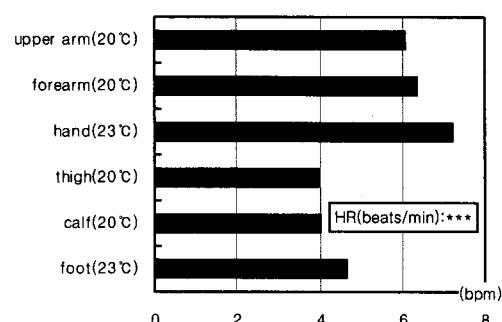
(\*\*\*: P<0.001)

Fig. 4. Decrement of rectal temperature by local cooling

37.61°C였다. 냉각을 하지 않았을 때와 비교한 부위별 냉각시 직장온의 감소율은 손과 발 냉각시 가장 크고, 종아리와 아래팔이 가장 적았다. 6 부위 중 손(0.4°C), 발(0.39°C) 냉각이 가장 많은 직장온의 감소를 보였고, 다음으로 아래 팔(0.34°C), 위 팔(0.32°C), 종아리(0.26°C), 넓적다리(0.25°C)의 순이었다(Fig. 3).

부위별 냉각동안 시간에 따른 직장온의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 그라프에 의하면, 위팔을 20°C로 4시간 냉각하였을 때 실험 초기에 급속하게 직장온이 상승하다가 후반부에 접어들면서 점차 하강하여 실험 종료시에 37.4°C의 값으로 유지되었다. 아래팔 냉각시 직장온의 범위는 37.0~37.4°C이었으며, 손을 냉각하면 실험 초반에 급격하게 직장온의 하강이 보이다가 후반부부터 약간씩 상승하기 시작하여 37.4°C의 값에서 실험을 종료하였다.

넓적다리를 20°C로 4시간 냉각하였을 때 실험 초기에 급격하게 직장온이 하강하여 냉각에 의한 효과가 단시간에 나타났다. 그러나 중반 이후부터는 직장온의 완만한 상승을 보이다가 후반에 약간 저하하여 약 37.4°C의 값에서 실험을 종료하였다. 직장온의 범위는 37.2~37.5°C였다. 종아리의 냉각은 다리 부위 중 직장온과 심박수의 변화폭이 가장 작았으며, 수준도 낮은 편이어서 직장온은 37.2~37.4°C, 심박수는 73.1~83.5bpm 수준의 안정적인 범위를 유지하였다. 발을 23°C로 냉



(\*\*\*: P<0.001)

Fig. 5. Decrement of heart rate by local cooling

각하면 직장온의 실험 초반 하강폭이 컸다. 실험이 중반에 이르면 직장온의 상승이 보였으며, 범위는 36.9~37.4°C였다.

신체를 부위별로 독립적인 냉각을 할 수 있는 시스템 개발의 중요성을 강조한 Giesbrecht 외(1995)의 연구에 의하면 전신이 가온 또는 냉각된 상태에서 팔을 가온 및 냉각시키는 것은 작업 수행력에 유의한 차이를 발생시킨다고 하였다. 즉 전신이 출더라도 팔을 가온시키면 작업수행력의 저하가 적으나 전신을 가온시켜도 팔을 냉각시키면 작업수행력이 크게 저하한다고 하였다. 전자의 경우 식도온이 35.8°C이고 팔의 근육온도는 34.5°C였으며, 후자에서는 각각 37.1°C, 18.1°C였다. 이러한 결과는 18.1°C라는 팔의 냉각온도가 심부온의 수준과 상관없이 작업도를 결정한다는 것을 알려준다. 따라서, 팔의 국소 온냉각이 전신 온냉각보다 작업효율 면에서 영향력이 더 크다는 것을 알 수 있다.

팔, 다리 부위의 냉각효율을 비교하면, 다리 부위에 비해 팔을 냉각시킨 경우가 4시간 더위노출 동안 직장온과 심박수가 더 낮았으며, 팔 부위에서는 손 냉각이, 다리 부위에서는 발의 냉각 효과가 가장 좋았고 허벅지와 종아리의 차이는 없었다.

### 3. 심박수

심박수로 볼 때, Fig. 5에 나타내었듯이 6 부위 중 손(7.2bpm) 냉각이 가장 많은 심박수의 감소를 보였고, 다음으로 아래 팔(6.3bpm), 위 팔(6.1bpm), 발(4.6bpm), 종아리(4.0bpm), 넓적다리(4.0bpm)의 순이었다. 냉각을 하지 않았을 때 심박수의 평균값은 82.54beats/min이었다. 팔 부위를 냉각하는 것이 다리를 냉각하는 것보다 심박수 상승을 낮추어 냉각효율이 더 우수한 것으로 나타났으며, 이는 직장온의 결과와 같았다.

발 냉각은 다른 부위를 냉각시킨 경우보다 직장온 상승률을 낮추어 냉각효율이 우수한 것으로 판단되었으나, 심박수 감소의 측면에서는 효율이 낮은 것으로 나타났다. 그러나 다리 부위에서는 발을 냉각시키는 것이 허벅지와 종아리를 냉각시키는 경우보다 냉각효과가 우수하였다. 이것은

냉점의 수가 두 부위에 비해 많았기 때문인 것으로 사료된다(이영숙 1988; Choi & Seol 2001). 따라서 발은 냉각효과도 좋고 냉각에 의한 영향도 신속하게 나타나므로 발 동작이 거의 없는 작업자에게는 건강에도 무리가 없는 효율적인 냉각부위라고 판단된다.

모든 부위 중 37°C 고온 환경에서 손을 20°C로 냉각하는 것이 직장온과 심박수 값이 가장 낮아서 우수한 냉각효과를 갖는 것으로 나타났다 (Fig. 6). 특히 손을 냉각하였을 때의 직장온 수준이 발 냉각시보다 더 낮았다. 이것은 손과 발의 피부온을 37°C에서 33°C로 낮추었을 때 손 부위의 냉각을 피험자들이 더 민감하게 느꼈다는 결과와도 일치하였다. 그러나 지나친 냉각이나 가온에 의한 부위의 통증과 역치값에 있어서는 손과 발의 차이가 없다고 한다(Hagander et al. 2000). 본 연구결과에서도 손을 냉각시키는 것이 발을 냉각하는 것보다 주관적, 객관적으로 효과적이었다. 그러나 손은 작업상 움직임이 많은 부위이므로 작업능률 면에서 손의 기능적인 냉각방법을 고려하여야 한다.

### 4. 의복내 기후

부위별로 냉각하였을 때 가슴 부위에서 측정한 의복내 온도와 습도의 4시간 변화를 Fig. 7에 제시하였다. 냉각을 하지 않았을 때 의복내 온도 및 습도의 평균값은 35.15°C, 45.98%R.H.이었다.

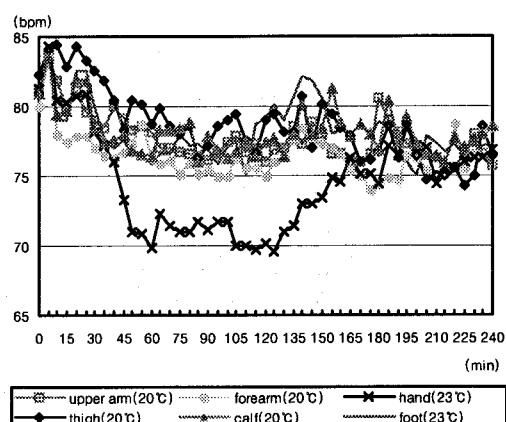


Fig. 6. Changes of heart rate during local cooling

냉각을 한 경우 많게는  $1.28^{\circ}\text{C}$ , 적게는  $0.36^{\circ}\text{C}$  만큼 의복내 온도의 상승을 억제하였다. 의복내 온도로 본 부위별 냉각효과는 아래 팔( $33.87^{\circ}\text{C}$ )이 가장 좋고, 위 팔( $34.06^{\circ}\text{C}$ ), 넓적다리( $34.42^{\circ}\text{C}$ ), 종아리( $34.65^{\circ}\text{C}$ ), 손( $34.67^{\circ}\text{C}$ ), 발( $34.79^{\circ}\text{C}$ )의 순이었다. 의복내 습도는 손( $32.69\% \text{R.H.}$ ), 발( $36.97\% \text{R.H.}$ ), 위 팔( $40.35\% \text{R.H.}$ ), 넓적다리( $41.22\% \text{R.H.}$ ), 아래 팔( $41.74\% \text{R.H.}$ ), 종아리( $42.60\% \text{R.H.}$ )의 순으로 손과 발을 냉각시키는 것이 가장 효율적이었다. 두 항목 모두 두 번의 휴식기에 값이 낮아졌다. 냉각을 하지 않았을 때 의복내 기후의 평균값은  $35.15^{\circ}\text{C}$ ,  $45.98\% \text{R.H.}$  이었다.

의복내 온도는 가슴에서 측정을 하기 때문에 가슴에서 가까운 부위인 위 팔, 아래 팔, 넓적다리 냉각일 때 유의하게 낮은 값을 보인 것으로

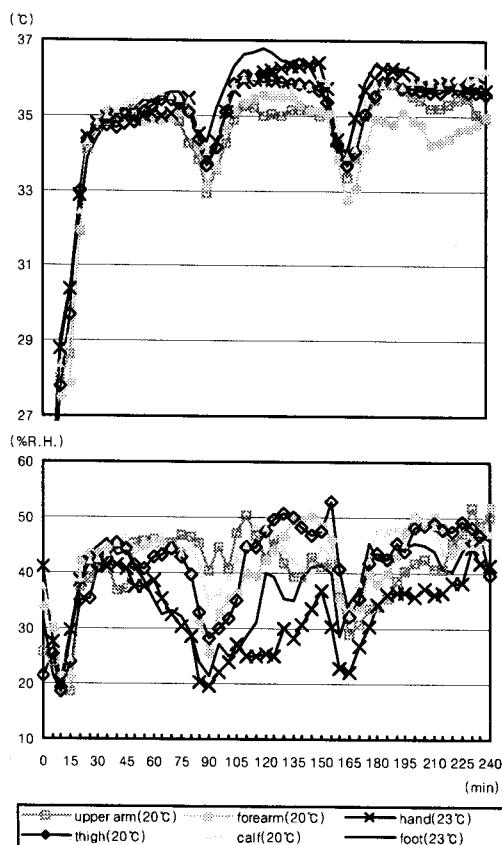


Fig. 7. Changes of clothing microclimate during local cooling

판단된다. 가슴의 피부온이나 냉감이 근처 부위를 냉각하였을 때 많은 영향을 받는다는 사실은 이미 다른 연구자들에 의해 밝혀진 바 있다(Maruyama & Tamura 1989, Nishihara & Hasebe 2003). 가슴을 냉각시킨 경우를 제외하고 부위별로 신체를 냉각하였을 때 가슴 피부온이 대부분  $35.0^{\circ}\text{C}$  이상이었으나, 위팔을  $20^{\circ}\text{C}$ 로 냉각한 경우는 가슴온도를  $33.5^{\circ}\text{C}$  수준으로 유지하였고 의복내 온도 및 습도도 유의하게 낮았다. 이것은 위팔이 가슴과 가까운 위치에 있음으로 인해 위팔의 냉각이 가슴에 큰 영향을 끼쳤기 때문이며 위팔의 국소냉각에 의한 전신온냉감의 영향이 크다는 것이다(Maruyama & Tamura 1989). 본 연구의 결과와 마찬가지로, Nishihara와 Hasebe(2003)는 다른 부위는 감싸고 위팔만 냉기기에 일정 온도로 노출시켰을 때 노출부위 즉 위팔의 피부온 및 국소온냉감의 값이 다른 부위를 노출한 경우보다 낮았다고 하였다.

### 5. 주관적 감각

모든 피험자가 냉각팩을 부착하였음에도 불구하고 Fig. 8에서 알 수 있듯이 더운 환경 노출로 인한 스트레스를 호소하였다. 온열감으로 볼 때, 6 부위 중 손 냉각이 가장 쾌적하였고, 다음으로 발, 위팔, 아래팔, 종아리, 넓적다리의 순이었다. 쾌적감으로 볼 때, 6 부위 중 손, 발, 아래팔 냉각이 가장 쾌적하였고, 다음으로 넓적다리, 종아리, 위팔의 순이었다. 습윤감에서는 부위차를 보이지 않았다.

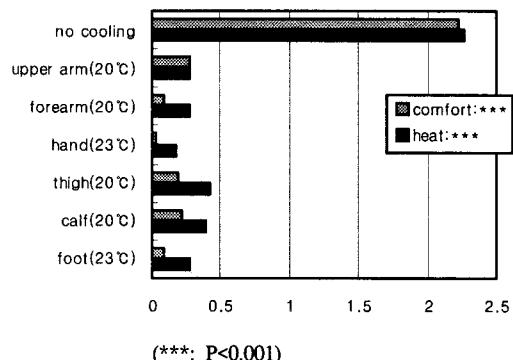


Fig. 8. Subjective sensation during local cooling

손 부위 냉각이 주관적으로 효율적이라는 결과는 직장온과 심박수 항목에서도 가장 낮은 값을 보인 것과 일치하였다. 따라서 사지부 6 부위 중 손의 냉각효율이 가장 우수함을 알 수 있었다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구의 목적은 더위로 인한 스트레스를 줄이기 위해 신체를 냉각시킬 때, 사지부의 각 부위별로 냉각효율을 비교하여 안전하고 효율적인 냉각의 방법을 제시하는 것이다. 이를 위해 건강한 20대 남자 대학생 5명을 대상으로 4시간 동안 고온환경( $37\pm1^{\circ}\text{C}$ ,  $50\pm5\%\text{RH}$ )에서 각 부위별(위팔, 아래 팔, 손, 넓적다리, 종아리, 발등)로 각각 냉각시켰을 때, 직장온과 피부온, 심박수, 총발한량과 국소발한량, 의복내 온습도, 주관적 한서감각 등을 측정하여 냉각효율을 부위별로 비교하였다. 이때 냉각온도는 선행연구에서 제시한 냉각 허용한계온도인 위팔  $20^{\circ}\text{C}$ , 아래팔  $20^{\circ}\text{C}$ , 손  $23^{\circ}\text{C}$ , 넓적다리  $20^{\circ}\text{C}$ , 종아리  $20^{\circ}\text{C}$ , 발  $23^{\circ}\text{C}$ 로 하였다. 얻어진 결과는 다음과 같다.

팔 부위에서는 손이, 다리 부위에서는 발의 냉각이 직장온의 하강폭을 가장 크게 만들어 냉각에 의한 인체생리반응의 민감도가 손과 발 부위에서 크다는 것을 알 수 있었다. 특히 손을 냉각하였을 때 직장온, 심박수, 주관감이 발 냉각시보다 더 우수하였다. 따라서, 사지부 6 부위 중 손을 냉각시키는 것이 발을 냉각하는 것보다 주관적, 객관적으로 효과적이었다. 그러나 손은 작업상 움직임이 많은 부위이므로 작업능률을 면에서 손의 기능적인 냉각방법을 고려하여야 한다.

본 연구의 목적상 냉각 부위의 면적을 동일하게 하지 않았으므로 냉각면적을 같게 하여 각 부위의 냉각효율을 규명하는 후속연구가 필요하다고 사료된다. 또한 두 부위 이상 냉각을 할 경우 작업환경온도나 습도, 더위에 대한 숙련정도, 성별, 연령에 따른 건강상 안전한 냉각효과를 얻을 수 있는지 고려하여야 한다.

#### 참고문헌

- 이영숙(1988) 체표 각 부위의 냉점분포 및 냉감각에 관한 연구. *한국의류학회지* 12(2), 189-200.
- 권호장(2005) 혹서의 건강영향. (2005.11.08) [http://kin-naaver.com/db/detail.php?d1id=7&dir\\_id=704&eid=cKykFdTccZcnwLMjGBRldkjg8sMV3uPB&qb=sO2/wr+hvK3AxyC757jBv/jAzrD6lMD6v8K/obytwMcgu+e4wb/4wM4](http://kin-naaver.com/db/detail.php?d1id=7&dir_id=704&eid=cKykFdTccZcnwLMjGBRldkjg8sMV3uPB&qb=sO2/wr+hvK3AxyC757jBv/jAzrD6lMD6v8K/obytwMcgu+e4wb/4wM4)
- 황경숙·최정화·김경란(2007) 신체 부위별 냉각허용한계온도에 관한 연구. *한국의류학회지* 31(1), 119-130.
- Baker MA(1982) Brain cooling in endotherms in heat and exercise. *Ann Rev Physiol* 44, 85-96.
- Bruce S, Cadarette MS, Barry S(1990) Evaluation of three commercial microclimate cooling systems. *Aviat Space Environ Med* 61(1), 71-76.
- CCOHS(Canadian center for occupational health and safety)(2006. 12. 5) What is heat stress?. (2001, September 18). [http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys\\_agents/heat\\_health.html#\\_1\\_1](http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/heat_health.html#_1_1)
- Choi JW, Hwang KS(2002) Effectiveness of Cooling Vest in Hot Environment, *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles* 26(6), 771-778.
- Choi JW, Seol H(2001) Distributions of skin thermoreceptors and clothing weights of korean urbanites and farmers. *J Physiol Anthropol* 20(6), 375-377.
- Crawshaw LI, Nadel ER, Stolwijk JA(1975) Effect of local cooling on sweating rate and cold sensation, *Pfluger Arch* 354(1), 19-27.
- Giesbrecht GG, Wu MP, White MD, Johnston CE, Bristow GK(1995) Isolated effects of peripheral arm and central body cooling on arm performance. *Aviat Space Environ Med* 66(10), 968-975.
- Hagander LG, Midani HA, Kuskowski MA, Parry GJG(2000) Quantitative sensory testing: effect of site and skin temperature on thermal thresholds. *Clinical Neurophysiology* 111, 17-22.
- Maruyama Y, Tamura T(1989) Responses of skin temperature and thermal sensation to unevenly distributed thermal stimuli. *Jpn J Biometeor* 26(3), 143-154.
- Nishihara N, Hasebe Y(2003) The regional differences of human responses to local cooling stimulation. *Jpn J Biometeor* 39(4), 107-120.
- Patterson MJ, Cotter JD, Taylor NA(1998) Human sudomotor responses to heating and cooling upper-body skin surface: cutaneous thermal sensitivity. *Acta Physiologica Scandinavica* 163(3), 289.
- Stevens JC, Choo KK(1998) Temperature sensitivity of the body surface over the life span, somatosens Mot Res 15(1), 13-28.
- Vallerand AL, Michas RD, Frim J(1991) Heat balance

of subjects wearing protective clothing with a liquid- or air-cooled vest. *Aviat Space Environ Med* 62(5), 383-391.

White MK, Hudnall J(1991) The effectiveness of ice- and freon -based personal cooling systems during work in fully encapsulating suits in the heat. *AIHA J* 52(3), 127-135.

Wyndham CH(1967) Effect of acclimatization on the sweat rate/rectal temperature relationship. *J Appl Physiol* 22(1), 27-30.

