

상반신의 부분별 발한량, 피부온과 주관적 감각 고찰

김성숙 · 김희은[†]

경북대학교 의류학과/장수생활과학연구소

The Analysis of the Sweating Rate, Skin Temperature on the Upper Body and Subjective Sensations

Seong-Suk Kim and Hee-Eun Kim[†]

Dept. of Clothing & Textiles, Kyungpook National University/Center for Beautiful Aging, Daegu, Korea

Abstract : This study aimed to measure the amount of sweating on 12 parts of the upper body using absorption fabric and analyze subjective sensations. The study was conducted with 9 male subjects in climate chamber controled at 30±0.5°C, and 55±5% RH. The result was that sweating amount of the upper back part was significantly more than upper front part. We assumed that forced convection flow cased by exercise decreased the sweating rate in the front. The skin temperature of upper front body rapidly decreased as soon as exercise starts and gradually increased with cessation of exercise. On the other hand, the skin temperature of palm increased with exercise and showed continuous increasing even exercise stopping all the experimental period. This is caused by thermoregulatory responses through vasodilatation on the peripheral area. Subjective sensations, such as thermal sensation, wet sensation, and thermal comfort showed the highest score at the time of exercise stop. This means the subjects felt more hot, wet, and uncomfortable after exercise stopped. Bur after wiping of sweat, subjective sensation scores were recovered rapidly. The present study has provided more detailed information on the upper body sweat distribution than previously available, which can be used in clothing design, thermo-physiological modeling, and thermal manikin design. We also think that results of the present study will play an important role in making the sweat distribution map.

Key words: sweating rate(발한량), thermophysiological response(온열생리적 반응), skin temperature(피부온), subjective sensation(주관적 감각), upper body(상반신)

1. 서 론

인간은 항온동물로 체온을 37±0.5°C로 일정하게 유지하려고 하며 이러한 항상성은 대사활동, 혈관수축 및 확장, 피부온 조절 등을 통해 열생성과 열손실의 균형으로 유지되고 있다. 체온을 일정하게 유지하기 위한 체온조절 반응으로는 자율성 체온조절 반응과 행동성 체온조절 반응으로 나뉘며, 자율성 체온조절 반응은 대사, 혈관확장, 발한 등이 자율 신경계에 의해 조정되지만 그 범위에는 한계가 있는 것으로, 운동 등을 통해 체온이 상승하게 되면 이때 발생된 열을 방출시키기 위해 혈관이 확장되며, 더욱 적극적인 방열수단으로 발한이 일어난다(Reilly & Williams, 2003). 이 때, 발한의 증발 역할은 매우 중요하며, 피부표면의 땀과 의복에 흡수된 땀이 증발되면 증발 시의 잠열로 인해 체온하강 효과가 발생하지만 필요 이상으로 배출된 땀은 불쾌감을 유발시키고 심부온의 저하를 초래할 수도 있다

(Nakahashi & Yoshita, 1998).

의복은 추위와 더위로부터 신체를 보호하고 인체의 생리적 기능을 보조하여 신체를 쾌적한 상태로 유지시켜 주는데, 운동으로 인해 발생한 발한도 의복의 수분 확산기능으로 해결할 수 있다(Ueda et al., 2006). 최근 여가생활이 늘어나고 건강에 대한 관심이 집중됨에 따라 운동과 아웃도어 웨어에 대한 관심도 증가하고 있으며, 국내의 섬유업계에서도 다양한 고기능성 소재들로 아웃도어 제품을 개발하고 있다. 운동선수뿐만 아니라 레저 스포츠를 즐기는 인구가 많이 늘어나면서 일반인들도 배출된 땀을 수 초 이내에 증발시켜 땀으로 인한 냉감이 느껴지지 않고 쾌적함을 느낄 수 있도록 하는 기능성 의복을 많이 착용하고 있는 실정이다.

쾌적감을 평가하는 요소가 되는 발한량이나 피부온에 대한 선행연구를 살펴보면, 우리 몸이 더운 환경에 노출 되었을 때의 피부온은 대체적으로 고른 분포를 보이지만, 운동 시의 발한이나 혈류량 증가정도에 따른 피부온 변화는 신체에 균일하게 나타나는 것이 아니라, 연령, 계절에 따라서 부위별로 발한량이 달라진다고(Inoue et al., 1991; Inoue et al., 1995) 하고 있다. 또, Havenith et al.(2008)은 운동시에 성별에 따라 발한

[†]Corresponding author; Hee-Eun Kim
Tel. +82-53-950-6224, Fax. +82-53-950-6219
E-mail: hekim@knu.ac.kr

량이 다르고 부위별로도 발한량이 다르고, Kondo et al.(1998)은 운동강도에 따라 신체부위별로 발한량이 다르며, Inukas et al.(2005)은 같은 환경조건에서라도 자세에 따라 발한량이 다르다고 밝히고 있다. 또, 이러한 연구들은 캡슐법에 의한 국소 발한량과 피부온의 변화를 관찰하였거나 휴식상태, 운동 후 상태의 단편적인 피부온 분포를 주로 연구한 것으로, 무효발한 시작시점에서의 상반신의 부분별 발한량 측정과 주관적 감각에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 흡착포를 이용하여 상반신 부분별 발한량을 측정하고, 신체에 접촉하지 않고 각 부분의 온도를 측정할 수 있는 적외선 카메라를 통해 피부온을 측정하고 피험자의 주관적 감각을 분석, 고찰하고자 하였다. 바디맵핑을 연구한 선행 연구(Smith & Havenith, 2012; Kim & Lee, 2012)와는 피부온의 측정, 발한량의 측정방법 등을 달리하고 기존연구의 발한량 측정법의 한계와 센서식 피부온 측정법의 단점을 보완한 연구방법을 통해 정량적으로 상반신의 부분 발한량, 무효발한, 유효발한과 피부온을 분석하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 피험자

피험자는 사전에 실험절차에 관한 설명을 듣고 동의한 20~30대 성인 남성 9명으로 정기적으로 운동을 하지 않는 자들로 선정하였으며 자세한 특성은 Table 1에 나타내었다. 실험은 온도 30±0.5°C, 습도 55±5% RH로 설정된 인공기후실에서 실시하였으며 사전 휴식기(Pre-rest), 운동기(Exercise), 휴식기(Rest)의 순서에 따라 실험을 진행하였다.

2.2. 실험절차

피험자는 실험 전 체중측정을 하였으며, 실험복은 시중에서 구입한 면 100% 팬티와 운동용 반바지로 이를 착용한 후 인공기후실에 입실하였다. 사전 휴식기(Pre-rest) 20분을 취한 후, 운동기(Exercise), 휴식기(Rest)의 순으로 실험절차를 취하였으며, 이 프로토콜 구간 중에 발한을 느끼는 시점, 무효발한 시작시점에서의 변화를 파악하기 위해 ①~⑥의 시점을 선정하여 서모그래피와 주관적 감각을 측정하였다. 사전 휴식기 20분이 끝나면 트레드밀 걷기 운동을 실시하였으며(① Exercise start), 운동 속도의 설정은 피험자별 최대 산소 섭취량 측정하여 최대 산소 섭취량 60%의 평균 운동강도 5 km/h, 트레드밀 경사도 10%로 설정하였다.

Wilmore et al.(2008)에 따르면 더운 환경에서 신체의 어느 한 부분에서 발한이 시작되었다면 이것은 잠복기가 끝나고 본격적인 발한이 시작된 것으로 간주할 수 있으므로 본 연구에서도 운동 중 피험자 스스로 발한이 시작된 것을 느끼는 시점(② Feel sweating)과 상반신에서 땀방울이 발생하여 처음으로 흘러내리기 시작하는 시점(③ Fall sweating)을 무효발한 발생 시점으로 정하여 상반신 중 어느 한 곳에서라도 땀방울이 흘러내리

Table 1. Characteristics of subject

	Age (years)	Height (cm)	Weight (Kg)	BSA* (m ²)	BMI** (Index)
S1	25	168.0	63.99	1.73	22.67
S2	27	175.0	69.43	1.84	22.67
S3	27	171.3	66.57	1.78	22.69
S4	27	178.0	78.85	1.97	24.89
S5	26	173.0	69.58	1.83	23.25
S6	27	174.0	74.05	1.89	24.46
S7	27	165.0	57.86	1.63	21.25
S8	33	174.0	68.58	1.82	22.65
S9	34	170.0	68.14	1.79	23.58
mean	28.11	172.03	68.56	1.81	23.12

* BSA : Body Surface Area

** BMI : Body Mass Index

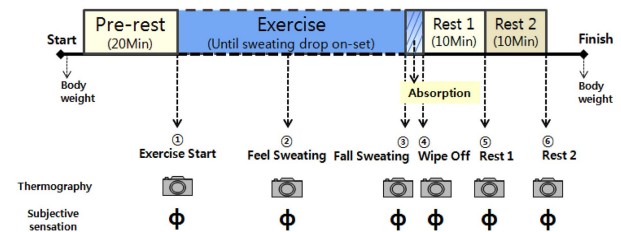


Fig. 1. Protocol of experiment.

면 운동을 종료하였다. 운동 종료 직후 상반신에 흡착포를 부착(④ Wipe off)하여 부분별 발한량을 측정하였으며 그 후, 의자에 앉아 10분의 휴식기 1(⑤ Rest1)과 10분의 휴식기 2(⑥ Rest 2)를 실시하였다. 휴식기 2가 끝나면 체중 측정 후 실험을 종료하였다. 실험을 종료하였으며, 자세한 프로토콜(protocol)은 Fig. 1에 나타내었다.

2.3. 측정항목

2.3.1. 발한량

상반신의 부분별 발한량은 Fig. 2와 같이 구획된 측정 부위에 펄프와 고흡수성 수지재질의 흡착시트에 부직포로 둘러싸인 흡착포(부직포 10×15 cm, 흡착시트 7×12 cm, 무게 2.15±0.05 g, Clean Plus, Korea)를 두 명의 실험자가 피험자 상반신 앞뒤에 동시에 부착하고 동시에 제거하여 흡착포의 흡착전후 무게를 구하는 방법으로 측정하였다. 부위별 발한량을 알기 위한 부위 구획은 Havenith et al.(2008)과 Kim and Lee(2012)의 연구 결과에 의거하여 상반신의 중심선 3부위, 오른쪽 측면 3부위로 앞부분 모두 6부위, 앞부분과 동일한 위치의 뒷부분 6부위로 선정하였다. 전신 발한량은 실험 전후의 체중의 차이이며, 무효 발한량은 흡착포에 흡수된 땀의 무게, 땀을 닦은 수건의 무게, 의복에 흡수된 땀의 무게의 합이며, 유효 발한량은 전신 발한량에서 무효발한량을 제하는 방법으로 간접계산이 가능하다. 흡

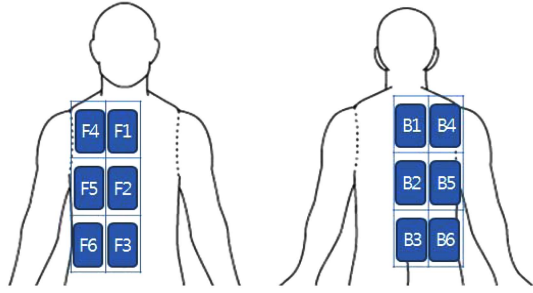


Fig. 2. Section of absorption fabrics.

착포 및 수건, 의복은 각각 비닐 팩에 담아 밀봉하여 외부환경으로의 증발을 차단시켰다.

2.3.2. 피부온

시간의 경과에 따른 피부온의 변화를 효율적으로 관찰하기 위하여 실험진행 중 주관적 감각을 측정하는 시기마다 서모그래피 기기인 적외선 체열분석 카메라 T-200(Infrared thermographic camera, FLIR System, Sweden)를 활용하여 적외선 이미지를 촬영하였다. 서모그래피는 물체 및 신체에서 방출되는 3~10 μm의 적외선을 감지하여 물체 표면온도 분포를 영상으로 변환하는 장치로 신체에 접촉하지 않고 각 부분의 온도를 정확하고 객관적으로 측정할 수 있으며 한 번의 촬영으로 다량의 데이터를 획득할 수 있고 실험 특성에 따라 구간별로 피부온의 변화를 쉽게 구분하여 파악할 수 있는 장점이 있다. 본 실험에서는 매 촬영 시 동일한 이미지를 얻을 수 있도록 피험자의 촬영 위치 및 자세를 동일하게 하여 상반신 앞뒤를 촬영하였고 촬영된 이미지는 Quick Report Software(FLIR System, Sweden)를 통하여 분석하였다. Fig. 3에 나타난 것과 같이 관찰된 적외선 이미지에서 피험자별 전반적인 피부온 변화 양상을 관찰하기 위해 흡착포 접촉부위와 동일한 영역인 상반신(Trunk) F1~F6 영역과 뒷부분 B1~B6 영역의 총 12 부위에 대해 각 영역별 평균 피부온을 추출하여 수치화하였다. 각 영역은 흡착포의 부착위치를 도식화하여 동일한 영역을 설정하였으며, Quick Report Software에서 최대값, 최소값, 영역별 지정 평균값을 산출할 수 있으므로 영역별 평균값을 고찰 및 분석에 사용하였다.

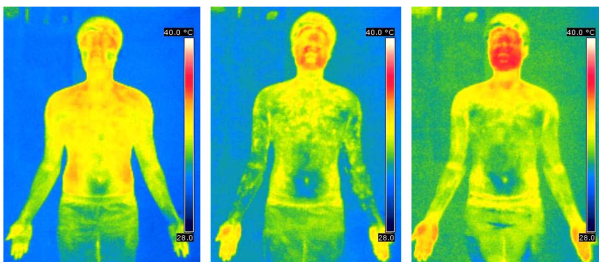


Fig. 3. Thermography of protocol on ①, ②, ③ stages steps points.

2.3.3. 주관적 감각

주관적 감각의 측정은 온냉감 17점(-8; 매우 춥다 ~ +8; 매우 덥다), 습윤감 13점(-6; 매우 건조하다 ~ +6; 매우 습하다), 쾌적감 7점(1; 쾌적하다 ~ 7; 매우 불쾌하다)의 척도를 사용하여 여 전체 프로토콜에서 사전 휴식기가 끝나는 시점(①), 피험자가 발한감을 느끼는 시점(②), 땀방울이 맺혀서 떨어지기 시작하는 시점(③), 흡착포로 상반신의 발한량을 흡착시킨 시점(④), 휴식기 1이 끝나는 시점(⑤), 휴식기 2가 끝나는 시점(⑥)의 총 6회에 걸쳐 실시하였다. 주관적 감각척도는 Tamura(1985)의 평가척도를 근거로 피험자의 보다 자세한 응답을 얻기 위해 스케일을 확장시켜 사용하였다.

2.4. 통계처리

본 연구에서 얻은 자료는 SPSS Win 14.0 통계프로그램을 이용하여 평균, 표준편차의 기술·통계 및 paired t-test 검증을 하였으며, 유의차는 P<0.05에서 유의한 것으로 인정하였다.

3. 결과 및 논의

3.1. 발한량

피험자의 상반신 부분별 평균 발한량을 Fig. 4에 나타내었다. Lee(2000)의 연구결과에 정기적으로 운동을 하는 사람과 그렇지 못한 사람과 비교하였을 때 정기적으로 운동을 한 사람의 그룹이 많은 양의 발한을 한다고 보고하고 있어 본 연구에서 정기적 운동을 하지 않은 피험자들로 선정하였으며, 피험자 모두 상반신 앞부분의 발한량보다 뒷부분의 발한량이 유의하게 많아 (p<0.01) 등 부위의 발한량이 많다고 한 선행연구(Park & Yoo, 2012, Park & Tamura, 1992)와 일치하였다. Fig. 2의 구분에서 척추와 평행한 중심부위인 F1, F2, F3 부위와 B1, B2, B3 부위는 측면인 F4, F5, F6 부위와 B4, B5, B6 부위에 비해 발한량이 많지 않았다. 뒷부분은 B4, B5, B2 순으로 발한량이 많았으며, 앞부분은 F4, F5, F6의 순으로 발한량이 많았다. 앞부분의 중심 세로축의 F1, F2, F3에서는 F1과 F2의 발한량이 F3보다 많았으며, 앞부분의 측면 세로축의 F4, F5, F6에서는 F4와 F5의 발한량이 F6 보다 많은 것으로 나타나, 하단인 복부에 해당하는 F3과 F6의 발한량이 적은 것을 알 수 있었다. 뒷부분의 발한량도 앞과 같은 경향으로 상단과 중간부분의 발한량이 많고 하단부분인 B3과 B6의 발한량이 적었다. 이는 Fig. 4의 서모그래피에 나타난 바와 같이 운동을 실시함에 따라 가슴 부위와 등의 상단부위 온도가 높았기 때문이며, 가슴 부위보다 등의 발한량이 많다고 한 Havenith et al.(2008)의 연구결과와 일치하였다.

실험에서 얻어진 각 피험자의 전체 발한량, 무효 발한량, 유효 발한량과 무효발한 발생시점 시간 등을 Table 2에 나타내었다. 발한량을 피험자별로 살펴보면, S7 피험자의 전체 발한량, 유효 발한량이 각각 259.0 g, 232.38 g으로 가장 많았으며, S8 피험자의 전체 발한량, 유효 발한량이 120.0 g, 117.75 g으로 가

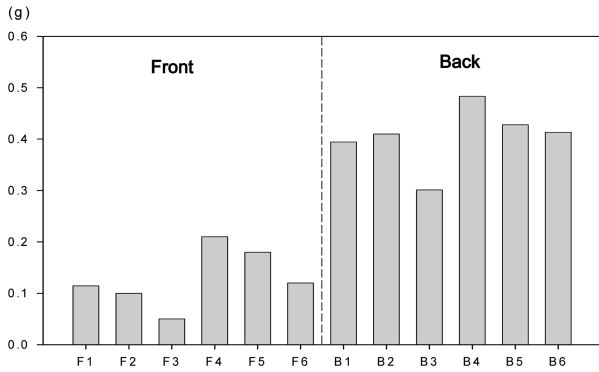


Fig. 4. Sweating rate through absorption fabrics on 12 sites of human body.

장 적었다. 각 피험자의 유효 발한량은 전체 발한량에서 타올, 팬츠와 양말, 흡착포에 흡수된 무효 발한량을 제외한 것으로 전체 발한량에 대해 0.79~0.98 비율을 나타내었으며, 본 실험에서는 땀방울이 흘러내리는 무효발한 시작 시점에서 운동을 중단하였는데 평균적으로 피험자의 운동지속시간은 10'01이었다. 운동지속시간이 6'38로 가장 짧은 피험자 S2의 전체 발한량은 145g, 유효 발한량 비율은 0.94였으며, 운동 지속시간이 14'29로 가장 긴 피험자 S9의 전체 발한량은 178g, 유효 발한량 비율은 0.96으로 비슷하게 나타나 운동 지속시간의 정도가 유효 발한량에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 땀샘의 분포 및 땀 배출속도 등 발한중추가 반응하는 민감성은 개인차가 존재한다(Kuno, 1956)는 것으로 설명할 수 있다.

발한감을 느끼기 시작한 시점을 피험자들이 신고한 결과 발한시작시점은 운동지속 평균 7'22로 나타났는데, Nam(1995)의 연구에서는 20°C 60% VO₂ max 수준 운동에서 운동 15분 전후에 발한이 일어났으며 발한과 관련한 초기연구인 Van

Beaumont and Bullard(1982)의 연구에서는 37.5°C에서 운동시작 1.5초 만에 첫 발한이 일어났다고 밝히고 있어 본 연구의 환경온이 30°C임을 고려할 때 7'22의 발한시작 시간은 적절한 온열반응의 범위 내에 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서 무효 발한이 시작되는 시점까지의 소요시간은 평균 10'01로 더운 환경에서 지구성 운동을 계속 실시한다면 열발산 능력에 있어서 점진적인 열 순응 현상이 일어나 운동시에 빠른 발한 작용을 일으켜 열발산에 긍정적인 역할을 할 것이다(Wilmore et al., 2008).

인체표면에서는 추위, 더위와 관계없이 끊임없이 수분증발이 일어나고 있으며, 특히 서열환경에서는 피부혈관 확장에 의한 열 손실과 발한에 의한 열 손실을 통하여 체온이 일정하게 유지된다(Chen & Fan, 2003). 발한반응은 체온조절 반응의 일부이므로 심부온과 평균피부온의 측정으로부터 개인의 발한량에 대한 적절한 예측이 가능하다고 Davies(1979)는 밝히고 있다. 또 발한은 땀샘분포 부위에 따라 차이를 나타내며, 환경온도가 5~29°C에서 운동강도에 의해 체온은 규정되어 발한량이 체온의 상승에 비례하여 증가하므로(Chung et al., 2006), 항온동물인 인간에게 있어 발한시점, 유효발한량 등의 발한 메커니즘에 대한 규명은 온열생리반응을 밝히는데 의미가 있다.

3.2. 피부온

적외선 체열분석 카메라로 측정된 서모그래피를 통해 얻어진 피험자의 상반신 피부온을 Fig. 5에 영역별로 전면을 A(F1~F6), 후면을 B(B1~B6)로 나누어 나타내었다. Clark et al.(1977)이 적외선 카메라를 사용하여 피부온을 측정할 것을 시작으로 하여 이러한 비접촉식 피부온은 이후 많은 연구(Torii et al., 1992; Nakayama et al., 1981)에서 사용되었다.

Fig. 5 상단의 상반신 앞부분 피부온을 전체적으로 살펴보면 운동 시작과 동시에 급격한 하강을 보이지만 운동이 중단되면 피부온은 급격한 하강을 멈추며 원래의 피부온으로 돌아가려는

Table 2. Non-effective and effective sweat rate

Subject	Total Sweat Rate(A) (g)	Non-effective Sweat Rate(B)(g)			Total	Effective Sweat Rate(C) (g)	Ratio (C/A)	Feel Sweating (time)	Fall Sweating (time)
		Towel	Pants & Socks	Absorption Fabric					
S1	166.0	4.07	1.49	29.62	35.18	130.82	0.79	8' 10"	10' 33"
S2	145.0	5.76	0.68	2.57	9.01	135.99	0.94	4' 11"	6' 38"
S3	149.0	4.70	1.42	4.23	10.35	138.65	0.93	6' 52"	8' 30"
S4	181.0	11.51	3.30	3.75	18.56	162.44	0.90	7' 03"	9' 18"
S5	170.0	10.74	0.83	3.24	14.81	155.19	0.91	7' 46"	11' 13"
S6	202.0	4.32	0.74	2.60	7.66	194.34	0.96	9' 45"	11' 05"
S7	259.0	16.43	5.63	4.56	26.62	232.38	0.90	5' 53"	9' 40"
S8	120.0	0.27	0.06	1.38	2.25	117.75	0.98	6' 10"	8' 43"
S9	178.0	3.24	0.91	2.52	6.67	171.33	0.96	10' 27"	14' 29"
mean (SD)	174.11 (38.79)	6.78 (5.06)	1.67 (1.74)	6.05 (8.89)	14.57 (10.59)	159.88 (35.78)	0.92	7' 22"	10' 01"

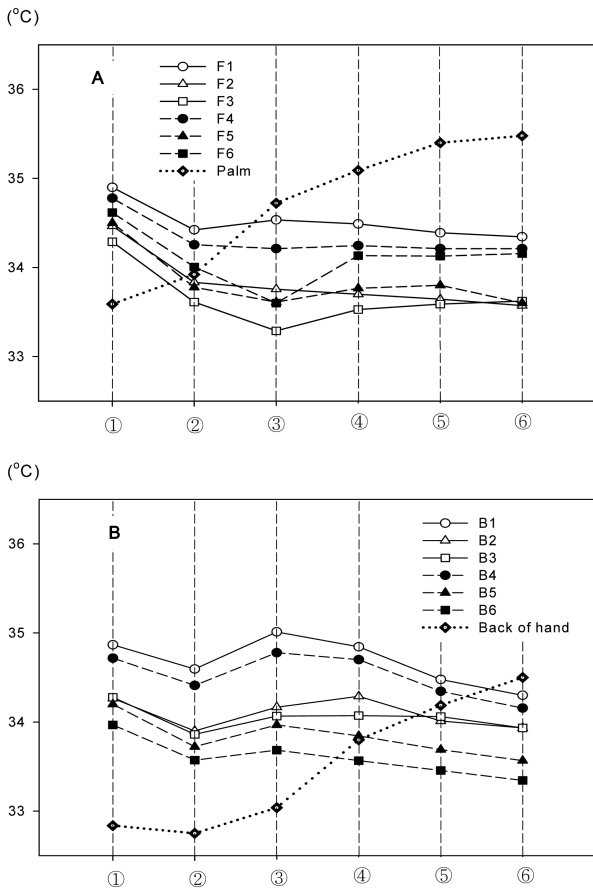


Fig. 5. Skin temperature from thermography on upper body (A: Front, B: Back).

노력을 하는 양상으로 이해할 수 있다. 한편, 그림에서 점선으로 표시된 손바닥의 피부온은 운동시작과 동시에 상승하여 운동이 멈추더라도 그 상승이 지속되고 있다. Nielsen and Nielsen(1965)과 Hammel(1968)은 체온조절 시스템에 대해 목표하는 온도가 설정되어 있다는 set point설로 설명하면서 열 손실과 열 생산은 직장온과 시상하부 온도의 set point와의 차이 때문이라고 하여 본 연구에서도 운동으로 상승된 체간부의 피부온을 하강시키기 위해 사지부의 혈관확장을 통한 열손실이 활발히 진행된 것을 알 수 있었다.

구간별 피부온을 살펴보면, 운동시작 시점(1)에서 발한이 느껴지는 시점(2)까지는 피부온의 급격한 저하가 나타났으며, 이는 속도 5 km/h, 경사도 10%의 트레드밀 운동실시에 따른 강제대류가 영향을 끼친 것으로 생각된다. 발한이 느껴지는 시점(2)에서 발한 이후 땀방울이 흘러내리기 시작한 시점(3)까지는 그 전 구간보다 피부온 저하가 완만하게 나타났는데 이것은 강제대류와 함께 땀의 증발로 인한 피부온 저하와 운동지속에 따른 체열발생이 그 원인으로 생각된다. 발한이 느껴지는 시점(2)에서 발한 이후 땀방울이 흘러내리는 시점(3) 사이의 손바닥 피부온 증가율이 높은 것은 운동지속으로 인해 발생한 체열

을 방열시키기 위해 사지부의 혈류량이 많아진 것을 의미하며, Moriya(1989)와 Chung et al.(2006)의 연구에서 운동 시 사지부 피부온의 상승은 근혈류량의 증가 및 근육온도의 상승으로 인한 피부혈관 확장에 의한 것이라는 설명과 일치하고 있다.

Fig. 5 하단에 표시한 상반신 뒷부분의 피부온은 운동시작 시점(1)에서 앞부분의 피부온보다 다소 낮았으며, 운동 시작과 동시에 앞부분과 같이 피부온의 하강을 보이나 하강폭은 앞부분 0.61°C보다 작은 0.37°C로 나타났다. 또한 상반신 뒷부분의 피부온은 발한이 느껴지는 시점(2)에서 발한 이후 땀방울이 흘러내리기 시작한 시점(3)까지 앞부분과 달리 피부온의 상승이 일어났는데, 뒷부분은 운동으로 인한 강제대류의 영향을 앞부분보다 덜 받으며, 운동으로 인한 체온의 상승효과가 땀의 증발로 인한 피부온 저하효과보다 크게 작용한 것으로 생각된다. Johnson et al.(1974)은 운동시의 체온상승은 비온열성 자극에 의한 피부혈관수축과 온열성 자극에 의한 피부혈관확장에서 산열량이 방열량보다 크기 때문에 나타나는 것이라고 하였다. 운동이 중단되는 무효발한 시작시점에서의 피부온은 운동시작전의 피부온보다 높게 나타났으며, 이후 피부온은 점점 하강하여 휴식기 2 시점에서는 운동시작전의 피부온보다 낮게 나타났다. 한편, 손등의 피부온은 발한을 느끼는 시점(2)까지는 변화가 없었으며 그 이후 상승을 나타내어 큰 변동폭을 보여 손등보다 손바닥이 체온조절을 위해 민감하게 반응하는 것을 알 수 있었다.

3.3. 주관적 감각

주관적 감각은 운동시작 시점(1), 발한이 시작된 것을 느끼는 시점(2), 발한 이후 땀방울이 흘러내리기 시작한 시점(3), 흡착포를 부착하여 부분별 발한량 측정할 시점(4), 휴식기 1(5), 휴식기 2(6)의 총 6회에 걸쳐 피험자 9인이 평가한 온열감, 습윤감, 쾌적감의 평균값을 Fig. 6에 나타내었다.

인체의 온열감은 주로 인체의 열평형과 관련이 있으므로 인체와 환경 사이의 열교환에 영향을 주는 온열환경요소에 의하여 종합적으로 평가되어야 한다. 본 연구에서는 온열감의 객관적 환경 요소인 공기온도, 상대습도, 기류, 복사온도와 주관적 개인 요소인 대사산열량과 착의량 중 환경 요소와 착의량을 제어함으로써 각 피험자 인체측면에서의 주관적 감각을 파악할 수 있었다. 또, 주관적 감각의 척도 확대는 척도와 척도사이를 넓힘으로 피험자의 보다 편안함 응답을 위해서였으나 응답에 큰 영향을 미치지 않았다.

각 피험자들은 운동을 진행하면서 운동 시작시보다 온열감, 습윤감, 쾌적감의 주관적 감각에 대해 모두 더 덥고 더 습윤하고 더 불편한 것으로 평가하였으며, 땀방울이 흘러내리는 시점에서 운동을 중지하였을 때 가장 높은 값으로 평가하였고, 흡착포로 땀을 닦아 낸 시점에서 급격한 감소와 휴식기 1과 휴식기 2를 지나면서 완만하게 감소하여 주관적 감각을 사전휴식기 수준으로 회복하였다. 온열감은 운동을 멈춘 후 즉, 땀방울이 흘러내리기 시작하는 시점에서 흡착포로 부분별 발한량을 측정할 시점사이에서 가장 급격하게 감소하였는데, 이 시점과

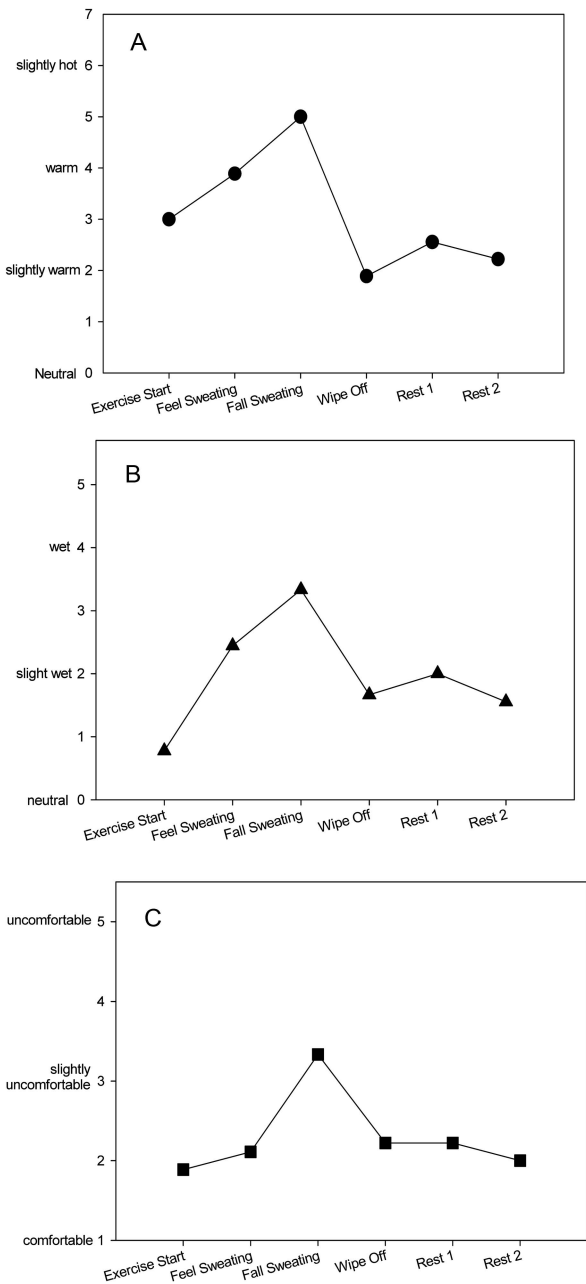


Fig. 6. Subjective Sensation on stages steps six points; (A) Thermal sensation, (B) Wet sensation, (C) Thermal comfort.

휴식기 1, 휴식기 2의 온열감이 운동 시작 시점보다 더 낮아 발한 전보다 운동으로 땀을 흘리고 난 후를 온열적으로 더 시원하게 느끼는 것으로 나타났다.

습윤감의 구간별 증가와 감소 경향은 온열감과 같았으나 운동 시작시점에서는 '0 보통이다'와 '2 약간 습하다'의 사이인 0.78로 평가되었던 습윤감은 땀방울이 흘러내리기 시작하여 운동을 중지한 시점에서 3.33으로 평가되어 더 습하게 느껴졌다가 운동 중지 후 감소하여 실험종료 시에서는 운동 시작시점보다

습윤감을 더 많이 느끼는 것으로 나타났다. 쾌적감도 구간별 변화양상은 온열감, 습윤감과 비슷한 경향을 보여 땀방울이 흘러내리기 시작하는 무효발한 시작시점에서 가장 불쾌한 것으로 나타났으나 온열감이나 습윤감에 비해 증가폭은 낮았다. 또한, 운동을 중지한 후의 쾌적감은 거의 운동 시작시점과 비슷하게 회복되는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 온도 30±0.5°C, 습도 55±5% RH로 설정된 인공 기후실에서 흡착포를 이용한 상반신의 부분별 발한량, 서모그라피를 이용한 피부온, 주관적 감각을 분석하고 고찰하였다. 이러한 연구방법을 통해 상반신의 부분 발한량, 무효발한, 유효발한을 정량적으로 분석할 수 있으며, 이러한 결과를 통해 상반신의 발한량 분포도도가 체계적으로 파악될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 피험자의 발한잠복기와 무효발한 발생시점까지의 발한량을 중점적으로 측정하기 위해 피험자별 발한 onset 시간에 맞추어 발한량을 측정 한 것에 독창성이 있다.

흡착포를 이용하여 부분별 발한량을 측정 한 결과, 피험자 모두 상반신 앞부분의 발한량보다 뒷부분의 발한량이 유의하게 많았다(p<0.01). 발한감이 느껴지는 시점과 무효발한 발생시점까지의 발한량을 계산하여 유효 발한량을 검증하고, 상반신의 부위별 무효 발한, 유효 발한을 정량적으로 분석한 결과, 운동 지속 시간이 유효발한의 양에 영향을 미치지 않는다는 것이 파악되었다.

실험 각 구간별 상반신 앞부분의 피부온은 운동 시작과 동시에 급격한 하강을 보이지만 운동이 중단되면 피부온은 이러한 급격한 하강을 멈추었고, 반면 손바닥의 피부온은 운동시작과 동시에 상승하여 운동이 멈추어도 상승이 지속되었다. 피험자들은 운동을 진행하면서 운동 시작시보다 온열감, 습윤감, 쾌적감의 주관적 감각 모두 더 덥고 더 축축하고 더 불쾌한 것으로 평가하였으며, 운동을 중지한 시점에서 가장 높은 값을 평가하였다.

본 연구의 상반신 부분 발한량, 무효발한, 유효발한과 피부온 결과를 통해 향후 아웃도어웨어 제작 시 발한분포 및 피부온의 특징에 따라 기능성이 디자인에 적용된다면 착용자의 온열감, 습윤감, 쾌적감이 향상된 기능성 아웃도어가 제작되어 스포츠 기록 단축에 기여하는 등 스포츠웨어 시장 활성화 및 기능성 아웃도어웨어의 개발에 크게 공헌할 수 있을 것으로 생각된다. 향후 다양한 연령에 대한 세부적인 후속 연구가 요구되며, 상반신 부위별로 다른 소재를 적용한 스포츠 웨어 착용시의 인체 생리반응 비교연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

References

- Chen, Y. S., & Fan, J. (2003). Clothing thermal insulation during sweating. *Textile Research Journal*, 73(2), 152-157.
- Chung, M. H., Park, S. J., Shin, J. S., Koshiba, T., & Tamura, T. (2006). Evaluation of physiological responses and comfort of protective clothing using charcoal printing. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 30(6), 981-991.
- Clark, R. P., Mullan, B. J., & Pugh, L. G. C. E. (1977). Skin temperature during running - A study using infrared color thermography. *Journal of Physiology(Lond)*, 267, 53-62.
- Davies, C. T. M. (1979). Thermoregulation during exercise in relation to sex and age. *European Journal of Applied Physiology*, 42, 71-79.
- Havenith, G., Fogarty, A., Bartlett, R., Smith, C. J., & Ventenat, V. (2008). Male and female upper body sweat distribution during running measured with technical absorbents. *European Journal of Applied Physiology*, 104(2), 245-255.
- Johnson, J. M., Rowell, L. B., & Brengelmann, G. L. (1974). Modification of the skin blood flow body temperature relationship by upright exercise. *Journal of Applied Physiology*, 37(6), 880-886.
- Hammel, H. T. (1968). Regulation of internal body temperature. *Annual Review of Physiology*, 30, 641-710.
- Inoue, Y., Nakao, M., Araki, T., & Murakami, H. (1991). Regional differences in the sweat responses of older and younger men. *Journal of Applied Physiology*, 71(6), 2453-2459.
- Inoue, Y., Nakao, M., Okudaria, S., Ueda, H., & Araki, T. (1995). Seasonal variation in sweating responses of older and younger men. *European Journal of Applied Physiology*, 70, 6-12.
- Inukas, Y., Sugeno, J., Kato, M., Nishimura, N., Nishiyama, T., Matsumoto, T., Sato, M., Ogata, A., Taniguchi, Y., & Osada, A. (2005). Effects of body posture on local sweating and sudomotor outflow as estimated using sweat expulsion. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 119, 48-55.
- Kim, H. E., & Lee, A. R. (2012). Analysis of thermography on skin temperature during exercise. *Journal of the Korean Society for Clothing Industry*, 14(1), 130-135.
- Kondo, N., Takano, S., Aoki, K., Shibasaki, M., Tominaga, H., & Inoue, Y. (1998). Regional differences in the effect of exercise intensity on thermoregulatory sweating and cutaneous vasodilation. *Acta Physiologica Scandinavica*, 164(1), 71-78.
- Kuno, Y. (1956). *Human Perspiration*. Illinois: Charles C. Thomas Publisher.
- Lee, J. H. (2000). Physical training modifies peripheral sudomotor mechanism. *Journal of Sports and Leisure Studies*, 13, 613-621.
- Moriya, K. (1989). The change in body temperature and blood composition during submaximal exercise load. *Japanese Society of Biometeorology*, 26(3), 135-142.
- Nam, S. N. (1995). The variety of skin temperature and rectal temperature during 30 minute of 60% VO₂ maximal exercise. *Journal of Society of Living Environment System*, 2(2), 83-88.
- Nakahashi, M., & Yoshida, K. (1998). *Physiology of Clothing*. Nankodo: Tokyo.
- Nakayama, T., Ohnuki, Y., & Kanosue, K. (1981). Fall in skin temperature during exercise observed by thermography. *Japanese Journal of Physiology*, 31(5), 757-762.
- Nielsen, B., & Nielsen, M. (1965). On the regulation of sweat secretion in exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 64, 314-322.
- Park, J. H., & Yoo, S. J. (2012). Upper body mapping of sweat rate for development of cycling wear. *Journal of Korean Society of Living Environment System*, 19(1), 171-177.
- Park, J. H., & Tamura, T. (1992). Distribution of evaluation rate on human body surface. *Annals of Physiological Anthropology*, 11(6), 593-609.
- Reilly, T., & Williams, M. (2003). *Science and Soccer* (2nd ed.). London: Routledge.
- Smith, C. J., & Havenith, G. (2012). Body mapping of sweating patterns in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(12), 2350-2361.
- Tamura, T. (1985). *Basic Hygiene Clothing*. Tokyo: Bunka Publishing Bureau.
- Torii, M., Yamasaki, M., Sasaki, T., & Nakayama, H. (1992). Fall in skin temperature of exercising man. *British Journal of Sports Medicine*, 24(1), 29-32.
- Ueda, H., Inoue, Y., Matsydaira, M., Araki, T., & Havenith, G. (2006). Regional microclimate humidity of clothing during light work as a result of the interaction between local sweat production and ventilation. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 18(4), 225-234.
- Van Beaumont, W., & Bullard, R. W. (1982). Is exercise good for high blood pressure? *British Medical Journal*, 285, 767-769.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenny, L. (2008). *Physiology of sport and exercise*. Illinois: Human kinetics publisher.

(Received 2 April 2013; 1st Revised 22 April 2013;
2nd Revised 13 September 2013; 3rd Revised 14 October 2013;
Accepted 1 November 2013)