

[Research Paper]

고온조건하에서 소방용 보호복 착용시 주기적 작업과 작업강도에 따른 신체영향

방창훈

경남대학교 소방방재공학과 교수

Effects of Repetitive Work and Workload for body While Wearing Firefighting Protective Clothing in hot conditions

Changhoon Bang

Professor, Dept. of Fire and Disaster Prevention Engineering, Kyungnam University

(Received May 13, 2018; Revised June 22, 2018; Accepted June 28, 2018)

요 약

본 연구는 고온조건하에서 소방용 보호복 착용시 주기적 작업과 작업강도가 신체에 미치는 영향을 연구하여 소방공무원의 건강과 안전을 위한 기초자료 구축을 목적으로 한다. 소방전공 대학생(9명)을 대상으로 소방용 보호장구를 착용한 경우, 실험온도 WBGT 30 °C에서 작업강도(3, 9 METs)와 주기적 작업(실험 15분, 휴식 15분, 실험 15분) 따른 비교실험을 수행하였다. 실험결과, 작업강도가 3 METs에서 9 METs로 증가함에 따라 실험기간동안 평균피부온도차(33.3%), 고막온도차(242.9%), 심박수(36.2%), 호흡수(53.9%), 운동자각도(81.6%), 온냉감(20.8%), 체중감소(60.0%), 혈당(-4.4%), 젖산(41.7%)가 통계적으로 유의하게 높게 나타났다. 이상의 결과 고온조건하에서 소방용 보호복 착용시 주기적 작업과 작업강도가 신체에 미치는 영향이 매우 크게 나타나는 것으로 판단된다.

ABSTRACT

The purpose of study intends to investigate effects of repetitive work and workload for body while wearing firefighting protective clothing in hot conditions and to provide the basic data for the safety of firefighter. The experimental temperature is WBGT 30 °C and the work intensity is 3, 9 METs. The experiment is processed 15 minutes (Ex1), 15 minutes rest (Rest), 15 minutes (Ex2) in order of time. A comparative experiment was carried out for firefighting school students(9 persons; 24.3 ± 0.71 years old) wearing firefighting protective clothing. When workload is increased from 3 METs to 9 METs, mean skin temperature change (33.3%), tympanic temperature change (242.9%), heart rate (36.2%), respiration rate (53.9%), RPE (81.6%), thermal Sensation (20.8%), weight loss (60.0%), glucose (-4.4%), lactate (41.7%) are statistically significantly higher. As a result, it is considered that repetitive work and workload have a strong effect on the body when wearing firefighting protective clothing in hot conditions.

Keywords : Firefighting protective clothing, Workload

1. 서 론

화재진압과 인명구조 등 소방활동을 수행하는 소방공무원의 열스트레스, 탈수, 탈진 등의 신체질환 예방과 공기호흡기 용량한계 등 소방장비의 사용제한으로 인하여 작업을 나누어 수행한다. 특히 고온에서의 작업은 단시간 내에 업무를 수행하여야 하며 이 과정에서 많은 에너지를 소모하

고 피로감은 증가하며⁽¹⁻⁵⁾, 외부 열입력과 체내 열생산의 증가 그리고 보호복의 높은 열차폐 성능으로 인한 체열발산의 저하는 체내에 과도한 열축적을 초래하여 심혈관계 질환과 열스트레스를 유발하게 된다.

2013년 미국 소방공무원의 순직자 분석자료⁽⁶⁾에서 스트레스와 과로가 35%으로 가장 많은 비중을 차지하고, 질병사인으로서는 심장질환이 34%로 가장 중요한 원인으로 보고하였

다. 연령별 질병사의 추이분석에서 심장질환은 41 - 45세에서는 45%이나 50대에서는 75%로 급증하는 것으로 조사되었다. 우리나라도 고령화 사회로 진입한 이후 소방공무원의 평균 연령이 증가하고 있으며, Park⁽⁷⁾의 연구에서 서울소방조직의 연령 구성비 추이분석에서 50세 이상의 비율은 2012년 23%에서 2022년 31~40%까지 증가할 것으로 예측하였다. 이에 따라 우리나라도 향후 고령화된 소방공무원으로 인한 심장질환의 증가가 예측되며 이에 대한 과학적 연구분석과 선제적 대응책 마련이 필요할 것으로 판단된다.

다수의 연구자들에 의하여 소방복 착용시 주기적 작업으로 인하여 체온·심박수 등이 상승하여 신체에 미치는 영향이 증가함을 보고하고 있으며⁽⁸⁻¹¹⁾, 소방공무원의 건강과 안전을 위하여 작업시간과 휴식시간의 비율조정, 작업량과 작업강도, 빠른 체온회복을 냉각방법 그리고 탈수예방을 위한 음료의 섭취량 등에 대한 연구가 진행되고 있으나 국내에서는 거의 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 고온조건에서 소방용 보호복 착용시 주기적 작업과 작업강도가 신체에 미치는 영향을 조사하여 소방공무원의 건강과 안전을 위한 자료 제공을 목적으로 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 연구대상

연구대상은 K대학교 재학중이며, 신체 질환이 없고 소방을 전공하는 남학생 9명을 대상으로 연구의 내용을 알리고, 자발적으로 실험에 동의한 학생들을 피험자로 선정하였다. 사전에 연구에 관한 자세한 설명과 실험절차에 따르게 주의 사항을 알려주었다. 연구 대상자의 신체 특성은 Table 1과 같다.

2.2 연구방법

실험에서는 주기적 소방활동에 따른 신체 영향을 조사하기 위하여 소방활동을 간략화하여 소방용 보호장구로 소방방화복과 공기호흡기를 착용하고 트레드밀에서 걷는 것으로 가정하고 실험을 수행하였으며^(8,9,12) 소방용 보호장구의 무게는 18.8 kg이다.

피실험자는 실험 준비실에서 체중 측정, 온도 측정 센서를 부착하고 소방용 보호장구를 착용한 후 약 10분정도 안정시킨 후 실험을 실시하였으며, 실험주기는 일차실험 15분간(Ex1) 실험자에게 트레드밀을 사용하여 작업강도 3 METs (3.0 km/h, 2.2%), 9 METs (6 km/h, 10%)로 실험한 후, 실험준비실로 이동하여 15분간(Rest) 소방방화복 상의를 탈의하고 휴식 후 다시 동일 작업강도로 15분간(Ex2) 반복 실시하였다. 작업강도별 실험은 일주간의 여유를 두고 실시하였다. 실험실의 온도조건은 Wet Bulb Globe Temperature Index (WBGT)를 이용하여 WBGT 30 °C(흑구온도 40.0 °C, 건구온도 40.1 °C, 습도 28.1%)로 하였으며, 실험 준비실은

Table 1. Characteristic of the Subjects (n = 9)

Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)
24.3 ± 0.71	177.6 ± 7.38	71.8 ± 7.09

WBGT 20 °C (흑구온도 26.4 °C, 건구온도 27.2 °C, 습도 39.0%)설정하였다. WBGT는 Yaglou⁽¹³⁾ 등에 제안된 고온환경을 평가하는 온열지표이며, 작업자들의 열적환경 적합성 여부를 판정하는 지표로 ACGIH, ISO, NIOSH 등에서 사용하고 있다⁽¹⁴⁻¹⁶⁾.

실험자의 수분 상태를 균일화하기 위하여 실험시작 1시간 전에 250 ml의 물을 섭취하고, 15분간의 휴식시간에 250 ml의 물을 추가적으로 마시게 하였으며, 실험종료시 땀을 닦은 후 체중을 측정하여 실험전후 체중 감소량을 계산하였다. 피부는 신체의 내·외부 환경과 열교환이 일어나는 조직이며, 평균 피부온도는 신체의 열적상태를 나타내는 주요한 지표이다. 평균피부온도(Mean skin temperature)는 ISO9886에서 제시한 4점 측정법을 이용하였으며⁽¹⁷⁾, 평균피부온도는 서모스탯 센서를 이용하여 측정하고 컴퓨터로 데이터를 정리하였다. 심부온도 측정을 위해서는 귀(Tympanic membrane), 직장(Rectum), 식도(Esophagus)의 온도를 측정한다⁽¹⁸⁾. Ericdon⁽¹⁹⁾ 등은 고막온도가 체온조절중추가 속한 뇌의 시상하부 온도를 비교적 정확히 나타낼 수 있다고 보고하였다. 이번 연구에서는 고막온도를 심부온도로 정하고 측정은 고막체온계를 사용하였다.

심박수(Heart rate)와 호흡수(Respiration rate)는 흉부에 심박호흡 측정장치를 부착하였으며 무선 데이터를 전송하여 처리하였다. 온냉감(Thermal sensation)은 실험자가 체감하고 온도로 0을 “참을수 없을 만큼 춥다”로 하고 7을 “매우 덥다”로 정하여 측정하였다⁽²⁰⁾. 운동자각도(Rating of Perceived Exertion, RPE)는 운동내성을 관찰하는 신뢰성 있는 지표이며 체력수준, 환경수준, 그리고 피로수준에 영향을 받으며, 피로를 예측할 수 있는 지표로 이용되며, 범위척도는 0에서 10까지로 하고, 대략적으로 0은 “매우매우 가볍다”이며 피로한계는 “매우매우 힘들다”의 10까지이다⁽²¹⁾.

평균피부온도, 심박수, 호흡수, 운동자각도 및 온냉감은 실험시작 후 매 5분마다 측정하였다. 일중효과를 고려하여 혈당과 젖산은 동일시간에 측정하였고, 실험참여자는 공복상태로 진행하였다. 측정 시기는 15분 간격으로 핑거팁을 이용하여 채혈하고 혈당분석기와 젖산분석기로 측정하였다.

2.3 자료분석

자료의 처리는 SPSS 19.0 을 이용하여 평균(M)과 표준편차(S.D)를 조사하였다. 실험전, 후의 검사는 paired t-test로 비교하였으며, 유의도는 P < 0.05로 설정하였다.

3. 결과 및 분석

Figure 1에 고온환경에서 주기적 작업과 작업강도에 따

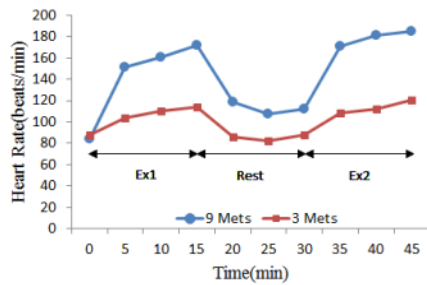


Figure 1. Heart rate during walking in WBGT 30 °C.

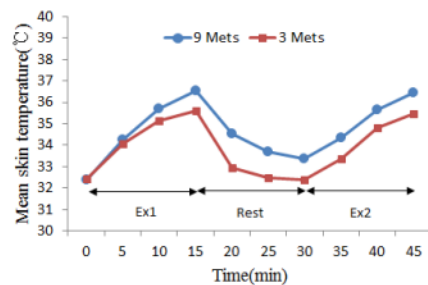


Figure 3. Mean skin temperature during walking in WBGT 30 °C.

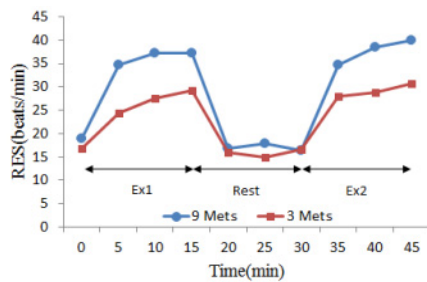


Figure 2. Respiration rate during walking in WBGT 30 °C.

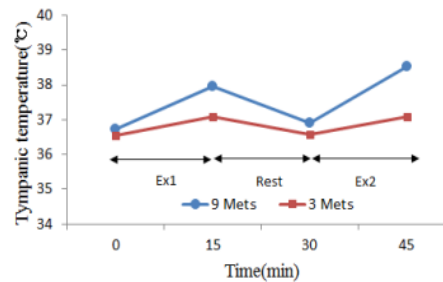


Figure 4. Tympanic temperature during walking in WBGT 30 °C.

른 심박수(Heart rate) 변화를 나타내었다.

심박수는 일차실험 15분 동안(Ex1) 3 Mets의 경우 완만히 상승하였으나, 작업강도가 높은 9 Mets의 경우에는 초기 5분간 급격히 상승한 후 천천히 상승하였으며 3 Mets의 경우보다 약 50.3% 높게 나타났다. 또한 15분간의 휴식기간(Rest)에는 3 Mets의 경우는 초기의 심박수까지 내려왔으나 9 Mets의 경우에는 초기 심박수 보다 높게 나타났다. 이차실험 15분 동안(Ex2)에는 처음 실험기간(Ex1)과 비슷한 경향을 나타내었으나 최고 심박수는 조금 더 높게 나타났다. 실험결과 작업강도가 낮은 경우에는 휴식시간 15분 동안 초기 상태로의 회복이 가능하나 작업강도가 높은 경우에는 회복시간이 더 필요함을 알 수 있다. 또한 실험차수에 따른 온도상승률을 살펴보면 심부온도를 나타내는 고막온도 상승률은 일차실험에서 3 Mets, 9 Mets,의 경우 0.10~0.23 °C, 이차실험에서는 3 Mets, 9 Mets,의 경우 0.09~0.29 °C/min로 나타났다. 실험차수가 증가할수록 온도상승률이 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과는 선행 연구자들^(22,23)과 유사하며 Horn⁽¹¹⁾ 등의 연구에서 4번의 반복실험결과 평균 온도상승률은 0.032~0.29 °C/min 이었으나 마지막 실험차수에서는 0.48 °C/min로 조사되었다. 즉 소방활동이 반복적으로 진행됨에 따라 신체 내부의 온도는 상승하며 이에 따라 체온회복을 위한 휴식시간 또한 적절하게 조정되어야 할 것으로 판단된다.

Figure 2에 고온환경에서 주기적 작업과 작업강도에 따른 호흡수(Heart rate) 변화를 나타내었다.

호흡수는 일차실험 15분 동안(Ex1) 3 Mets의 경우 완만히 상승하였으나, 9 Mets의 경우에는 초기 5분간 급격히 상

승한 후 천천히 상승하였으며 3 Mets의 경우보다 약 27.7% 높게 나타났다. 휴식기간(Rest)에는 두가지 경우 모두 초기의 호흡수까지 내려왔다. 이차실험 15분 동안(Ex2)에는 처음과 달리 두 가지 경우모두 급격히 상승하였으며 종료시의 호흡수는 두 가지 경우 모두 일차실험 보다 높게 나타났다. 인체는 생명을 유지하기 위해서 끊임없이 신진대사가 이루어지며, 이를 위해 신선한 산소를 유입하고 노폐물인 이산화탄소를 배출하는 호흡작용이 지속된다. 이와 같은 호흡작용으로 인한 환기는 호흡중추에 의하여 자동적으로 이루어진다. 실험 시작과 동시에 신체는 근육이 요구하는 산소량이 증가하고 작업강도가 높아짐에 따라 더 많은 산소를 소모하게 됨을 알 수 있다.

Figure 3, 4에 평균피부온도(Mean skin temperature)와 고막온도(Tympanic temperature) 변화를 나타내었다.

평균피부온도는 전체적으로 일차실험(Ex1)이 시작되고 지속적으로 상승하며 작업강도가 높은 9 Mets의 경우가 3 Mets의 경우보다 약 2.6% 높게 나타났다. 또한 휴식기간(Rest) 동안에는 작업강도가 낮은 3 Mets의 경우는 초기의 상태로 평균피부온도까지 내려왔으나, 작업강도가 높은 9 Mets의 경우는 실험시작 전보다 약 1 °C정도 높게 나타났다. 이차실험(Ex2)에서도 평균피부온도는 일차실험과 유사하게 상승하였으며, 최고온도는 거의 비슷하게 나타났다. 또한 고막온도의 경향도 평균피부온도와 유사하였다. 연구 결과에서 15분간의 휴식만으로도 평균피부온도는 상당히 내려가며 이는 신체의 열적평형성 유지에 큰 도움이 됨을 알 수 있다. 하지만 Ilmainen^(8,9) 등은 고온의 작업시 15분간의 휴식은 신체의 열적스트레스를 줄이는데 부족하다고 보

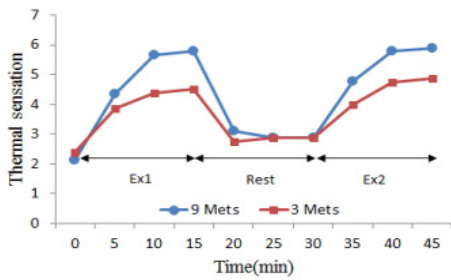


Figure 5. Thermal sensation during walking in WBGT 30 °C.

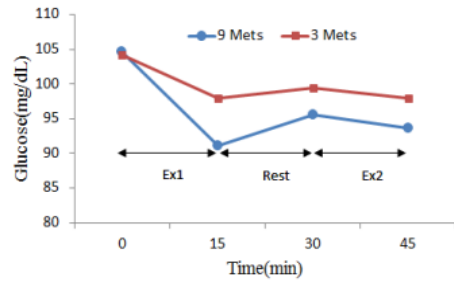


Figure 7. Glucose during walking in WBGT 30 °C.

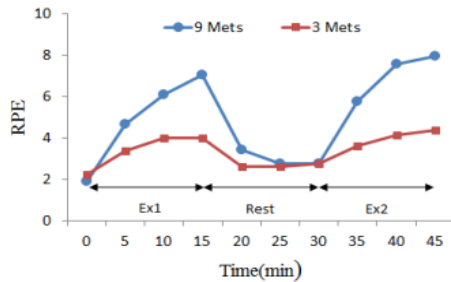


Figure 6. Rating of perceived exertion during walking in WBGT 30 °C.

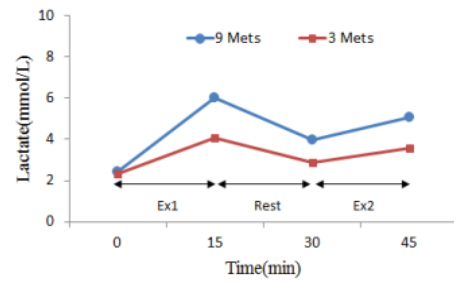


Figure 8. Lactate during walking in WBGT 30 °C.

고하였다.

소방공무원의 신체의 열적평형성 유지를 위하여 여러 가지 방법을 이용되고 있으며 수동적 냉각방법으로는 휴식시간을 길게 하는 방법과 적극적 냉각방법으로는 손과 발을 냉각수에 담구거나^(24,25), 얼음조끼를 착용하여 체온의 상승을 억제하기도 한다^(26,27). 또한 서열순화(Heat acclimatization) 훈련을 통하여 발한반응을 개선하고 혈장량과 체내 수분의 대응력을 증가시켜 열적내성을 높이기도 한다.

온냉감(Thermal sensation)과 운동자각도(Rating of Perceived Exertion, RPE) 변화를 Figure 5, 6에 나타내었다. 온냉감과 운동자각도는 유사한 경향을 나타내고 있으며 작업강도가 높은 9 Mets의 경우가 3 Mets의 경우보다 높게 나타나고 있다. 두 지표는 실험자가 주관적으로 느끼는 감각의 정도를 나타내고 있으며, 상기 기술한 지표인 평균피부온도, 고막온도, 심박수, 호흡수와 비슷한 경향을 나타내었다.

소방활동은 단시간 내에 고강도 작업이 빈번하며 이러한 작업환경에서 휴식은 신체의 피로를 저감시켜 사고예방에 도움이 될 것으로 판단된다. 하지만 소방공무원의 Standard Operating Procedure (SOP)에서는 기준이 없으며 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Figure 7, 8에 혈당(Glucose)과 젖산(Lactate)의 변화를 나타내었다.

전체적으로 혈당은 작업강도 9 Mets, 3 Mets에서 각각 13%와 6% 감소하였으며, 휴식기간(Rest) 동안에는 약간 상승한 후 이차실험에서는 2%와 1.4% 감소하여 일차실험보다는 감소폭이 작게 나타났다.

높은 작업강도는 단위시간당 에너지소비량이 많음을 의

미하며, 작업강도가 증가할수록 혈당이 근육으로 유입되는 속도가 매우 증가하여 혈당 농도는 감소하며, 다음으로 간의 당원분해로 인해 글루코스가 혈중에 배출되어 농도가 증가하게 된다. 또한 고온조건에서의 작업시 근육운동에 필수적인 에너지 대사를 위해 근육에 산소를 공급해야 하고, 동시에 대사열을 심부로부터 외부로 수송해야 한다. 피부표면에서 증발로 인한 열방출을 위해 신체는 발한량을 증가시켜야 하나, 이 순간 과도한 체액손실에 따른 감소된 혈장량으로 인한 신체는 순환기능 저하의 부담을 가지게 된다. 이에 따라 저온환경에서보다 더높은 심박수를 나타내고 산소섭취량도 증가하여 다량의 글리코젠을 사용하여 혈당수치가 감소한다⁽²⁸⁾.

작업강도에 따른 젖산의 변화는 작업강도 9 Mets, 3 Mets에서 각각 146.4%와 75.7% 증가하였으며, 휴식기간(Rest) 동안에는 약간 감소한 후 이차실험에서는 28.0%와 23.4% 상승하여 일차실험 보다는 작게 나타났다. 이러한 결과는 다른 연구자와 유사하며, Eglin⁽²⁹⁾ 등은 소방훈련 후의 젖산농도는 실험전보다 약 109.3% 증가하였으며, 소방구급훈련을 연속하여 작업할시에는 약 245.5% 증가하여 신체한계에 도달한다고 하였다.

젖산은 최대산소섭취량(VO_{2max})의 50~60%를 초과하는 고강도 작업수행시 근육이나 혈중에 축적되기 시작하며 고강도 소방활동은 젖산농도를 상승시켜 신체 피로도를 증가시키는 것으로 사료된다.

Table 2에 일차실험, 휴식, 이차실험으로 이루어진 주기적 실험후의 신체지수 변화를 나타내었다.

실험전·후의 평균피부온도차는 9 METs의 경우 4.1 °C,

Table 2. Physical Responses on 45 min after Walking in the Workload

Variables	Condition	n	M ± SD	df	t	p
Mean Skin Temperature Change ($T_{45min}-T_{0min}$, °C)	3 METs	9	3.1 ± 0.70	16	-3.378	.004
	9 METs	9	4.1 ± 0.58			
Tympanic Temperature Change ($T_{45min}-T_{0min}$, °C)	3 METs	9	0.5 ± 0.38	16	-8.213	.000
	9 METs	9	1.8 ± 0.27			
Heart Rate (beats/min)	3 METs	9	120.1 ± 11.69	16	-9.827	.000
	9 METs	9	184.8 ± 15.90			
Respiration Rate (beats/min)	3 METs	9	30.7 ± 5.12	16	-2.820	.012
	9 METs	9	41.8 ± 10.7			
RPE (Rating of Perceived Exertion)	3 METs	9	4.4 ± 0.70	16	-10.64	.000
	9 METs	9	7.9 ± 0.73			
Thermal Sensation	3 METs	9	4.9 ± 0.60	16	-4.434	.000
	9 METs	9	5.9 ± 0.33			
Weight Loss (kg)	3 METs	9	0.5 ± 0.24	16	-2.440	.027
	9 METs	9	0.8 ± 0.17			
Glucose (mg/dl)	3 METs	9	98.0 ± 2.83	16	2.925	.010
	9 METs	9	93.7 ± 3.43			
Lactate (mmol/l)	3 METs	9	3.6 ± 0.96	16	-3.572	.003
	9 METs	9	5.1 ± 0.83			

3 METs의 경우 3.1 °C를 나타내어 33.3%, 고막온도차는 9 METs의 경우 1.8 °C, 3 METs의 경우 0.5 °C를 나타내어 242.9%으로 통계적으로 유의하게 높게 나타났다($p < .05$). 고온 작업시에는 외부로부터 공급된 열로 인하여 평균 피부온도의 상승이 고막온도보다 상승이 더 빠르게 일어남을 알 수 있다. 또한 고온에서의 주기적 작업시 평균피부온도 상승은 WBGT 20 °C에서 소방방화복을 착용하고 동일 작업 강도(9 METs)에서 수행된 Bang의 연구결과 2.2 °C과 비교하면 약 86.4% 이상 높게 나타났다⁽¹⁰⁾. 따라서 고온에서의 주기적 작업이 신체에 더 많은 영향을 미침을 알 수 있다.

심박수와 호흡수는 9 METs의 경우 각각 분당 184.8회 41.8회, 3 METs의 경우 각각 분당 120.1회 30.7회로 나타났으며 작업강도가 증가함에 따라 53.8%, 30.5% 통계적으로 유의하게 높게 나타났다($p < .05$).

운동자각도와 온냉감은 3 METs에서 9 METs로 작업의 강도가 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 81.6%, 20.8% 높게 나타났다($p < .05$). 고온조건의 작업으로 체내의 열생성과 외부로부터의 열유입으로 인하여 체온이 더 상승하여 온냉감은 매우 높게 나타났다. 특히 고온의 체온은 작업수행능력을 감소시키고 중추피로를 유발시키는 주요인이므로 고체온증 발생시간을 지연시킴으로써 중추피로의 유발을 늦게 나타나게 할 수 있다⁽³⁰⁾.

체중감소는 3 METs의 경우 0.5 kg, 9 METs의 경우 0.8 kg을 나타내었고, 통계적으로 유의하게 60% 높게 나타났다($p < .05$). 체액은 세포의 내·외부 환경을 구성하며 대사물질의 이동매체 등 주요한 역할을 통해 인체의 항상성 유지에 관여하고 있다. 신체내의 수분함량은 약 체중의 50~70%로서 신체 구성성분 중 상당한 부분을 차지한다. 체내

수분 균형은 수분의 섭취량과 배설량이 같을 때 이루어진다. 수분의 섭취량이 배설량을 초과하여 총체액량이 증가하게 되면 수분중독(Water intoxication)이 유발되고 감소되면 탈수(Dehydration)가 일어난다⁽²⁸⁾. 따라서 National Fire Protection Association, NFPA)에서는 고온작업시에 일정량의 물과 전해질의 섭취를 권고하고 있다⁽³¹⁾. 3 METs에서 9 METs로 작업강도가 증가함에 따라 혈당과 젖산은 통계적으로 유의하게 4.4% 낮게, 41.7% 높게 나타났다($p < .05$).

4. 결 론

본 연구에서는 고온조건에서 소방용 보호복 착용시 주기적 작업과 작업강도가 신체에 미치는 영향을 분석하여 다음의 결론을 구하였다.

첫째, 평균피부온도차와 고막온도차는 작업강도가 3 METs에서 9 METs로 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 실험기간동안 33.3%, 242.9% 높게 나타났다($p < .05$).

둘째, 심박수와 호흡수는 작업강도가 3 METs에서 9 METs로 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 실험기간동안 53.8%, 30.5% 높게 나타났다($p < .05$).

셋째, 운동자각도와 온냉감은 작업강도가 3vMETs에서 9 METs로 작업강도가 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 실험기간동안 81.6%, 20.8% 높게 나타났다($p < .05$).

넷째, 체중감소는 3 METs의 경우 0.5 kg, 9 METs의 경우 0.8 kg을 나타내었으며, 통계적으로 유의하게 실험기간동안 60% 높게 나타났다($p < .05$).

다섯째, 혈당과 젖산은 작업강도가 3 METs에서 9 METs로 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 실험기간동안 4.4%

낮게, 41.7% 높게 나타났다($p < .05$).

이상의 결과 소방용 보호복 착용하고 고온조건에서 주기적 작업과 작업강도의 증가는 신체에 많은 부담을 미치는 것으로 연구되었다.

본 연구제한점은 연구대상자가 소방학과 학생들로 한정되어 결과를 확대 해석하고 일반화하는 것에는 한계가 있다.

후 기

이 논문은 2017학년도 경남대학교 연구년 연구비 지원에 의한 것임.

References

1. T. T. Romet and J. Frim, "Physiological Responses to Fire Fighting Activities", *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, Vol. 56, No. 6, pp. 633-638 (1987).
2. S. Lusa, V. Louhevaara, J. Smolander, M. Kivimäki and O. Korhonen, "Physiological Responses of Firefighting Students during Simulated Smoke-diving in the Heat", *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 54, No. 5, pp. 228-231 (1993).
3. K. S. Malley, A. M. Goldstein, T. K. Aldrich, K. J. Kelly, M. Weiden, N. Coplan, M. L. Karwa and D. J. Prezant, "Effects of Fire Fighting Uniform (Modern, Modified Modern, and Traditional) Design Changes on Exercise Duration in New York City Firefighters", *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 41, No. 12, pp. 1104-1115 (1999).
4. S. M. Walton, K. M. Conrad, S. E. Furner and D. G. Samo, "Cause, Type and Workers' Compensation Costs of Injury to Fire Fighters", *American Journal of Industrial Medicine*, Vol. 43, Issue 4, pp. 454-458 (2003).
5. C. H. Bang and M. D. Hur, "Effect of Weight of Fire-protective Equipment for Physical Activity Ability", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 24, No. 1, pp. 128-133 (2010).
6. FEMA, "Firefighter Fatalities in the United States in 2013" (2014).
7. C. S. Park, "A Study on the Problems which the Change of Age Proportion in Fire Department brings about and Countermeasures-Focus on the Firefighters in Seoul Metropolitan City", Doctoral Thesis, University of Seoul Graduate School (2014).
8. R. Ilmarinen, et al, "Thermal Responses to Consecutive Strenuous Fire-fighting and Rescue Tasks in the Heat", *Environmental Physiology, Recent Progress and New Frontiers*. London: Freund Publishing, pp. 295-298 (1997).
9. R. Ilmarinen, H. Lindholm, K. Koivistoinen and P. Helistén, "Physiological Evaluation of Chemical Protective Suit Systems (CPSS) in Hot Conditions", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Vol. 10, No. 3, pp. 215-226 (2004).
10. C. H. Bang, "Effects of Repetitive Firefighting on Human Body", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 14, No. 2, pp. 203-208 (2014).
11. G. P. Horn, S. Blevins, B. Fernhall and D. L. Smith, "Core Temperature and Heart Rate Response to Repeated Bouts of Firefighting Activities", *Ergonomics*, Vol. 56, No. 9, pp. 1465-1473 (2013).
12. D. Barr, W. Gregson, L. Sutton and T. Reilly, "A Practical Cooling Strategy for Reducing the Physiological Strain Associated with Firefighting Activity in the Heat", *Ergonomics*, Vol. 52, No. 4, pp. 413-420 (2009).
13. C. P. Yaglou, et al., "Thermal Standards in Industry", *Am J Publ Health*, Vol. 40, pp. 131-143 (1950).
14. ISO, "Hot Environments-Estimation of the Heat Stress on Working Man, Based on the WBGT-index. Geneva", International Standards Organization (2003).
15. NIOSH, "Working in hot environments, Preparing for the heat", NIOSH, pp. 86-112 (1986).
16. ACGIH, "Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents. Biological Exposure Indices", American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH (1996).
17. ISO, "Ergonomics-Evaluation of Thermal Strain by Physiological Measurements Second Edition", International Standard Organization, pp. 1-21 (2004).
18. K. R. Newsham, J. E. Saunders and E. S. Nordin, "Comparison of Rectal and Tympanic Thermometry During Exercise", *The Southern Medical Journal*, Vol. 95, No. 8, pp. 804-810 (2002).
19. R. S. Ericdon and T. M. Woo, "Accuracy of Infrared Ear Thermometry and Traditional Temperature Methods in young Children", *Heart & Lung: Journal of Critical Care*, Vol. 23, No. 3, pp. 181-195 (1994).
20. ASHRAE, "Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", ASHRAE Inc. (1992).
21. ACSM, "ACSM'Guidelines for Exercise Testing and Prescription Seventh Edition", Lippincott Williams & Wilkins (2006).
22. G. P. Horn, S. Gutzmer, C. A. Fahs, S. J. Petruzzello, E. Goldstein, G. C. Fahey, B. Fernhall and D. L. Smith, "Physiological Recovery from Firefighting Activities in Rehabilitation and Beyond", *Prehospital Emergency Care*,

- Vol. 15, No. 2, pp. 214-225 (2011).
23. D. L. Smith, S. J. Petruzzello, E. Goldstein, U. Ahmad, K. Tangella, G. G. Freund and G. P. Horn, "Effect of Live-Fire Training Drills on Platelet Number and Function", *Prehospital Emergency Care*, Vol. 15, No. 2, pp. 233-239 (2011).
 24. G. A. Selkirk, T. M. McLellan and J. Wong, "Active Versus Passive Cooling During Work in Warm Environments While Wearing Firefighter's Protective Clothing", *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 1, No. 8, pp. 521-531 (2004).
 25. J. M. Carter, M. P. Rayson, D. M. Wilkinson, V. Richmond, and S. Blacker, "Strategies to Combat Heat Strain During and after Firefighting", *Journal of Thermal Biology*, Vol. 32, No. 2, pp. 109-116 (2007).
 26. B. L. Bennett, et al., "Comparison of Two Cooling Vests on Heat Strain While Wearing a Firefighting Ensemble", *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 70, No. 4, pp. 322-328 (1995).
 27. J. Smolander, K. Kuklane, D. Gavhed, H. Nilsson and I. Holmér, "Effectiveness of a Light-weight Ice-vest for Body Cooling While Wearing Firefighters Protective Clothing in the Heat", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Vol. 10, No. 2, pp. 111-117 (2004).
 28. I. K. Jung and J. H. Yoon, "Human Performance & Exercise Physiology", Taegyungbooks (2008).
 29. C. M. Eglin and M. J. Tipton, "Can Firefighter Instructors Perform a Simulated Rescue after a Live Fire Training Exercise?", *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 95, No. 4, pp. 327-334 (2005).
 30. B. Nielsen, J. R. Hales, S. Strange, N. J. Christensen, J. Warberg and B. Saltin, "Human Circulatory and Thermoregulatory Adaptations with Heat Acclimation and Exercise in a Hot Dry Environment", *The Journal of physiology*, Vol. 460, No. 1, pp. 467-485 (1993).
 31. NFPA, "NFPA 1584 Standard on the Rehabilitation Process for Members During Emergency Operations and Training Exercises", NFPA (2007).