소방방화복과 공기호흡기 착용시 작업강도가 신체에 미치는 영향

Effects of Workload on Human Body Wearing Fire Protective Clothing and Respirator

방창훈*

Bang, Chang-Hoon

Abstract

The aim of study intends to investigate effects of workload on human body wearing fire protective clothing and respirator and to provide the base data for the safety of firefighter. The results of the study are as follows; Mean skin temperature appeared 2.1°C under workload 4 METs and 2.7°C under workload 8 METs and the results were not statistically significant. Heart rate appeared 134.4 bpm under workload 4 METs and 169.7 bpm under workload 8 METs and the results were statistically significant. Respiration Rate showed 32.4 bpm under workload 4 METs and 37.6 bpm under workload 8 METs and the results were not statistically significant. Weight Loss showed 0.2 kg under workload 4 METs and 0.5 kg under workload 8 METs and the results were statistically significant. It was concluded that physiological responses of human body varied considerably and reflected by increase of workload.

Key words : Fire protective clothing, Respirator, Workload

요 지

본 연구에서는 소방방화복과 공기호흡기 착용시 작업강도에 따른 신체반응을 연구하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다. 연구결과 평균피부온도차는 작업강도 4 METs의 경우 2.1°C, 작업강도 8 METs의 경우 2.7°C로 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 심박수는 작업강도 4 METs의 경우 분당 134.4회, 작업강도 8 METs의 경우 분당 169.7회로 유의하게 높게 나타났으며($p<.05$), 호흡수는 작업강도 4 METs의 경우가 분당 32.4회, 작업강도 8 METs의 경우가 분당 37.6회로 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 체중감소는 작업강도 4 METs의 경우 0.2 kg, 작업강도 8 METs의 경우 0.5 kg로 작업강도가 높은 경우가 유의하게 높게 나타났다($p<.05$). 이상의 결과 작업강도의 증가가 신체에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 소방방화복, 공기호흡기, 작업강도

1. 서 론

화재로 인한 인적·물적피해 건수는 2010년의 경우 41,863건이 발생하였으며, 이로 인한 인명피해는 사망 304명, 부상 1,588명이며, 재산피해는 266,766백만원으로 조사되었다. 지난 10년간의 평균치와 비교하면 발생건수는 9%, 재산피해는 28% 증가하였으며 국민들의 일상생활과 국가경제에 많은 영향을 미치고 있다. 이러한 인적·물적 피해를 예방·대응하기 위하여 소방공무원은 2010년 한해 1일평균 135.3건의 화재, 538건의 구조 및 3,499건의 구급활동을 전개하였으며 이 과정에서 순직 8명, 공상 340명의 공사상자(348명)가 발생하였다(소방방재청, 2011).

화재진출물 진입과 방수, 인명구조 등의 활동을 수행하는 소방공무원은 고온 기류, 돌발 화염, 예상하지 못한 물체 충

돌, 추락 등의 물리적 위험요소와 유해가스, 위험물질 등의 화학적 위험요소로부터 신체를 보호하기 위하여 소방방화복과 공기호흡기 등 무게가 약 20 kg에 달하는 안전장구를 착용한다. 또한 작업시에는 소방호스, 도끼, 유압절단기 등의 진압장비를 사용하고, 인명 구조시에는 보호장비와 들것 등의 구조장비를 이용한다. 이러한 소방 현장활동을 수행하는 동안 소방공무원이 받는 작업강도는 심리적인 부담감까지 더하여 매우 높을 것으로 예측되며 이는 과로로 이어져서 신체장애와 부상, 사고를 유발하게 된다. 국내·외 소방공무원 관련 통계자료를 살펴보면, 2007년 소방공무원 질병 공사상자의 유형별 원인분석에서 과로가 25 %로 가장 큰 요인으로 나타났으며(소방방재청, 2007), 미국의 경우에도 과로가 23.1%로 주요 사고의 원인으로 조사되었다(NFPA, 2008).

그림 1은 소방공무원의 작업강도의 주요한 내·외적 요인

*정회원 · 경남대학교 소방방재공학과 부교수(E-mail : bangch@kyungnam.ac.kr)

그림 1. 소방공무원 작업강도의 내·외적요인

을 도식한 것으로 내적요인으로는 직무와 관련된 정신적 스트레스, 탈수, 체온, 체력과 영양, 외적요인으로는 환경조건, 개인보호복, 작업율과 기간, 경험과 기술 등으로 구분 할 수 있다(방창훈, 2012). 각 요인들은 다양한 직무유형과 환경에 따라 복합적인 상호작용을 나타내고 있으며, 소방공무원은 각각의 요인들에 노출이 장기화 된 후에 영향이 나타나는 특징이 있다. 이에 따라 소방공무원의 안전을 위하여 각각의 요인에 대한 자세한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 소방방화복과 공기호흡기 착용시 작업강도에 따른 신체반응을 연구하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 연구대상

본 연구의 대상은 경남 K대학교 재학 중이며, 근골격계 질환이 없는 소방공무원을 희망하는 건강한 남학생 9명을 대상으로 연구의 취지를 밝히고, 실험에 자발적으로 동의한 학생들을 피험자로 선정하였으며, 연구 참여에 앞서 본 연구에 대한 충분한 설명과 측정절차에 따르게 주의 사항을 알려주었다. 연구 대상자의 신체적 특성은 표 1과 같다.

2.2 실험조건

실험에서는 국내 A사의 소방방화복과 공기호흡기를 착용하였으며 무게는 18.6 Kg이다. 실험은 1주간의 여유를 두고 실시하였다.

피험자는 실험준비실에서 반바지를 착용하고 체중을 측정, 온도 측정용 센서를 장착하고 소방방화복과 공기호흡기를 착용 후 10분 정도 안정시킨 다음 실험실로 입장 후 실험을 실시하였다.

실험실 온도조건은 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature Index)를 사용하고 WBGT 20°C(흑구온도 27.1°C, 건구온도 26.8°C, 습도 37.9%)로 설정하였으며, 주위 영향을 최소화하였다. WBGT는 Yaglou 등에 의하여 고온 환경을 평가하는 온열지표로 제안되었으며(Yaglou, 1957), 근로자들의 열환경 적합성 여부를 판정하는 지표로 ISO, NIOSH, ACGIH 등에서 추천하고 있다(ISO, 2003; NIOSH, 1986; ACGIH, 1996).

표 1. 실험자 신체적 특성(n=9)

Age(yr)	Height(cm)	Weight(Kg)
21.9±0.33	176.4±3.75	72.8±7.88

실험자에게 트레드밀을 사용하여 운동부하검사를 실시하였으며 운동부하는 4 METs(4.1 km/h, 3%), 8 METs(6 km/h, 8%)의 강도로 20분 동안 실시하였다.

2.3 측정방법

평균피부온도(Mean skin temperature)는 ISO 9886에 따른 4점 측정법을 이용하였으며, 평균피부온도는 서모스탯을 이용하여 측정하였으며 데이터처리장치를 이용하였다(ISO, 2004).

심박수(Heart rate)와 호흡수(Respiration rate)는 심박·호흡 측정센서를 가슴에 부착하고 소방방화복과 공기호흡기를 착용하였으며 무선으로 데이터를 전송하여 컴퓨터에서 처리하였다.

운동자각도(Rating of Perceived Exertion, RPE)는 체력수준, 환경수준, 일반적인 피로수준에 영향을 받으며, 피로가 압박함을 예측할 수 있는 지표로 이용되며, 범위의 척도는 0에서 10까지로 하고, 일반적으로 0~2은 “매우 매우 가볍다”이며 대부분 외관상 건강한 사람들의 피로 한계는 “매우 매우 힘들다”의 8~10까지이다(ACSM, 2006).

실험자의 수분상태를 표준화하기 위하여 실험 1시간 전에 250 mL의 물을 섭취하게 하였으며, 운동종료 후에는 땀을 잘 닦은 후 재차 반바지 차림으로 체중을 측정하여 체중 감소량을 측정하였다.

평균피부온도, 심박수, 호흡수 및 운동자각도는 운동시작 후 매 5분마다 측정하였다.

2.4. 자료분석

모든 자료의 처리는 SPSS 14.0을 이용하여 평균(M)과 표준편차(S.D)를 산출하여, 도표화 하고 평균차 검증을 위하여 신체 활동의 대사는 집단별 비교로 independent t-test 하였으며, 유의성 차이(p<0.05)를 검증하였다

3. 결과 및 분석

그림 2에 소방방화복과 공기호흡기를 착용한 경우의 작업강도에 따른 평균피부온도, 심박수, 호흡수, 운동자각도를 나타내었다.

작업강도 4 METs인 경우 실험초기 2분까지 평균피부온도는 완만히 상승한 후 10분까지 일정하게 상승하고 이후에는 완만히 상승하여 실험 20분간 평균피부온도는 약 2.1°C 상승하였다. 작업강도 8 METs인 경우에는 실험시작 2분까지 평균피부온도의 변화가 거의 없다가 이후 일정하게 상승하였으며, 18분 이후 완만하게 상승하였다. 실험종료시에는 평균피부온도가 실험전에 비하여 약 2.7°C 정도 높게 나타났다. 즉 소방용 공기호흡기의 착용시 작업부하의 증가는 신체대사열의 발생을 촉진하여 평균피부온도가 높게 나타남을 알 수 있다.

골격근에 의해 생성된 열은 신체외부로 손실되지 않으면 신체조직에 저장되며 이로 인해 증가된 신체 온도는 열생성과 열손실의 차로 나타나 체온이 상승하게 된다. 신체 1°C을 리기 위해서는 체중 1 kg당 0.83 kcal의 열량이 필요하며(최

그림 2. 작업강도에 따른 평균피부온도, 심박수, 호흡수, 운동자각도 변화

대혁, 2008), 체온이 2.1°C 상승하게 되면 126.9 kcal, 2.7°C 상승하게 되면 163.1 kcal의 열량이 신체내부에 쌓이게 된다. 즉 작업강도가 증가함에 따라 신체내부에는 더 많은 열이 축적되며, 신체의 온도를 관장하는 시상하부에서는 땀분비선을 자극하여 증발에 의한 열배출을 활성화하고 피부의 혈류량을 증가시켜 체온을 낮추기 위한 생리학적 반응을 한다. 이러한

일련 신체의 체온조절반응과 동시에 근육에서는 신경전달을 감소시키며 이는 운동단위의 활동을 감소시켜 근육피로를 유발시킨다.

소방작업시 착용하는 소방방화복과 공기호흡기는 강렬한 화염과 고온의 물체로부터 신체를 보호하기 위하여 단열능력과 피복의 강도를 향상시켰으며 이는 제품의 무게를 증가시켜 생산업체에 따라 다소 차이가 있으나 우리나라의 경우 약 20 kg 내외이다. 이러한 무거운 소방방화복과 공기호흡기를 착용하고 진압장비, 구조장비 및 구급장비를 가지고 현장작업을 수행하는 소방공무원의 작업강도는 위험에 대한 심리적인 부담감까지 더하여 매우 높을 것으로 예측되며, 극한 환경에서의 체온상승에 따른 피로감은 평상시에 비하여 상당히 높을 것으로 판단된다.

작업강도가 4 METs인 경우 심박수는 5분경까지 증가하고 이후 완만히 상승하여 실험전·후 약 55.9% 증가하였다. 작업강도가 8 METs인 경우에는 5분까지는 급격히 상승하고 이후 상승폭은 감소하지만 지속적으로 상승하여 실험 종료시에는 처음에 비하여 약 89.8% 상승하였다. 운동시작과 동시에 심박수가 상승하는 것은 작업근육과 관절부에 있는 수용체로부터의 신경반사가 원인이며, 작업강도가 증가함에 따라 심박수가 증가함을 알 수 있으며 이는 심혈관계에 많은 부담을 미치게 된다. 2009년 미국 소방공무원 사망원인의 43%가 심장마비로 조사되어 그 위험성이 매우 높다고 할 수 있으며 (Rita, 2010), 국내에서도 이에 대한 자세한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

전체적으로 두 경우 모두 5분경까지 급격히 상승 후 작업강도가 높은 경우가 조금 더 상승한 후 일정하게 유지되었으며 비슷한 경향을 나타내었다. 호흡을 통하여 인체는 혈액에 산소를 공급하고 이산화탄소를 제거한다. 운동초기의 급격한 호흡수 증가는 작업근 활동개시와 더불어 근과 관절수용체로부터의 신경자극이 호흡을 조절하는 호흡중추에 영향을 미치기 때문이며, 이후 혈액내의 이산화탄소와 젖산 등의 증가로 인한 화학수용기의 자극으로 완만한 상승이 일어난다(정일규, 2006).

소방공무원은 소방방화복과 공기호흡기를 착용하고 작업을 수행하며 고강도의 작업 수행시 더 많은 산소를 소비하게 되며, 이에 따라 평소보다는 작업시간이 단축될 수밖에 없다. 이를 고려하지 않고 화재진화를 위한 장시간의 작업은 큰 사고를 일으킬 수가 있으며 이에 대한 대비가 반드시 필요하다.

운동자각도는 작업강도가 4 METs인 경우 완만히 상승하여 실험종료시에는 “약간 힘들(Somewhat hard)”으로 나타났으며, 작업강도가 8 METs인 경우에는 “조금 힘들(Hard heavy)”으로 실험자들이 답하였다. 이는 작업자가 작업강도가 증가함에 따라 더욱 “힘들”을 느끼며 이러한 정도는 작업강도가 과중 되면 더욱 증가할 것으로 예측된다. 따라서 운동자각도에 대한 각 개인의 체력수준, 영양상태 및 심리적 상태 등 종합적인 예방책이 필요할 것으로 사료된다.

표 2에 작업강도에 따른 실험종료시의 평균피부온도차, 심박수, 호흡수, 운동자각도, 체중감소, 대사당량 등의 신체지수 변화를 나타내었다.

표 2. 작업강도에 따른 실험종료시의 신체반응

요인	구분	n	M±SD	df	t	p
Mean skin temperature change ($T_{20min}-T_{0min}$, °C)	4 METs	9	2.1±0.52	16	-1.901	.075
	8 METs	9	2.7±0.75			
Heart Rate (beats/min)	4 METs	9	134.4±14.14	16	-6.424	.000
	8 METs	9	169.7±8.40			
Respiration Rate (beats/min)	4 METs	9	32.4±5.95	16	-1.940	.070
	8 METs	9	37.6±5.28			
RPE (Rating of Perceived Exertion)	4 METs	9	4.3±0.87	16	-3.212	.005
	8 METs	9	5.9±1.17			
Weight Loss (kg)	4 METs	9	0.2±0.06	16	-4.511	.000
	8 METs	9	0.5±0.16			

실험 전후의 평균피부온도차(Mean skin temperature change)는 작업강도 4 METs의 경우 2.1°C, 작업강도 8 METs의 경우 2.7°C를 나타내어 28.5% 정도 높게 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

심박수(Heart rate)는 작업강도 4 METs의 경우 분당 134.4회, 작업강도 8 METs의 경우 분당 169.7회로 작업강도가 높은 경우가 유의하게 높게 나타나고 있다($p<.05$). 즉 작업강도가 2배 증가함에 따라 심박수는 약 26.3% 정도 높게 나타남을 알 수 있다.

호흡수(Respiration rate)는 작업강도 4 METs의 경우가 분당 32.4회, 작업강도 8 METs의 경우가 분당 37.6회로 16% 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 운동자각도(RPE, Rating of Perceived Exertion)는 작업강도 8 METs의 경우가 유의하게 37.2% 정도 높게 나타났다($p<.05$).

체중감소(Weight Loss)는 작업강도 4 METs의 경우 0.2 kg, 작업강도 8 METs의 경우 0.5 kg로 작업강도가 높은 경우가 유의하게 높게 나타나고 있다($p<.05$). 체중감소는 거의 대부분 땀의 배출로 일어나며 체온이 정상 이상으로 올라갈 때 신경계가 땀샘을 자극하여 피부표면에 땀을 분비시킨다.

이 땀이 증발할 때 열을 잃게 되어 피부온도를 낮춘다. 즉 작업강도가 증가함에 따라 신체내부의 온도는 증가하고 이에 따라 땀의 배출이 많아짐을 알 수 있으며, 탈수의 가능성이 증가하게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 소방방화복과 공기호흡기 착용시 작업강도에 따른 신체반응을 연구하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 하며 실험결과 다음과 같은 결과를 구하였다.

첫째, 평균피부온도차(Mean skin temperature change)는 작업강도 4 METs의 경우 2.1°C, 작업강도 8 METs의 경우 2.7°C로 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

둘째, 심박수(Heart rate)는 작업강도 4 METs의 경우 분당 134.4회, 작업강도 8 METs의 경우 분당 169.7회로 유의하게 높게 나타났으나($p<.05$), 호흡수(Respiration rate)는 작업강도

4 METs의 경우가 분당 32.4회, 작업강도 8 METs의 경우가 분당 37.6회로 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

셋째, 체중감소(Weight Loss)는 작업강도 4 METs의 경우 0.2 kg, 작업강도 8 METs의 경우 0.5 kg로 작업강도가 높은 경우가 유의하게 높게 나타났다($p<.05$).

이상의 결과 소방방화복과 공기호흡기 착용시 작업강도의 증가는 신체의 평균피부온도, 심박수와 체중감소 등에 영향을 미치는 것으로 연구되었다.

본 연구의 제한점으로 연구대상자가 소방전공 학생들로 한정되어 결과를 확대해석하여 일반화 하는 것은 한계가 있으며 후속연구에서는 다양한 조건에서 작업강도의 내·외적요인에 대한 세부적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 결과물은 2012학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원에 의한 것임.

참고문헌

- 방창훈, 허만동, 박은주, 권정숙, 이준경, 이현정, 신재숙 (2012) 소방공무원의 작업강도 요인 분석에 관한 고찰, **한국화재소방학회 춘계학술논문발표회 논문집**, pp. 309-312.
- 소방방재청 (2008) 2007년도 소방공무원 순직공상 통계 분석결과, 소방방재청.
- 소방방재청 (2011) 소방방재 주요통계 및 자료, 소방방재청.
- 정일규, 윤진한 (2006) 휴먼퍼포먼스와 운동생리학, 대경북스.
- 최대혁, 최희남, 전태원 (2008) 파워 운동생리학 제6판, 라이프사이언스.
- ACGIH (1996) Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents. Biological Exposure Indices, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH.
- ACSM (2006) ACSM/Guidelines for exercise testing and prescription seventh edition, Lippincott Williams & Wilkins.
- ISO 9886 (2004) Ergonomics-Evaluation of thermal strain by physiological measurements Second edition, International Standard Organization, pp. 1-21.
- ISO 7243 (2003) Hot Environments-Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature), International Standards Organization.
- National Institute for Occupational Safety and Health (1986) Crite-

- ria for a recommended standard: Occupational exposure to hot environments (revised criteria 1986), NIOSH Publication No. 86-113.
- NFPA (2008) Annual Survey of Fire Departments for U.S. Fire Experience, NFPA.
- Rita, F. Fahy, Paul, R. LeBlanc, Joseph, L. Molis (2010) FIRE-FIGHTER FATALITIES IN THE UNITED STATES - 2009, NFPA.
- Yaglou, C.P., Baetjer, A.M., Machle, W., McConnell, W.J., Shaudy L.A., Winslow, C-EA, et al. (1950) Thermal standards in industry, *Am J Publ Health*, Vol. 40, pp. 131-143.

◎ 논문접수일 : 2012년 05월 08일
 ◎ 심사의뢰일 : 2012년 05월 11일
 ◎ 심사완료일 : 2012년 06월 13일