

소방방열복 착용시 작업강도에 따른 신체변화

방창훈[†] · 이준경* · 권정숙**

경남대학교 소방방재공학과, *기계공학부, **패션의류학과

Physiological Changes According to Workload Wearing Aluminized Firefighter's Protective Clothing

Chang-Hoon Bang[†] · Jun-Kyoung Lee* · Jung-Suk Kwan**

Dept. of Fire & Disaster Prevention Engineering

*Mechanical Engineering

**Fashion and Clothing, Kyungnam Univ.

(Received May 29, 2013; Revised July 18, 2013; Accepted August 9, 2013)

요 약

본 연구에서는 소방방열복 착용시 작업강도가 신체에 미치는 영향을 조사하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 하며 연구에서 얻어진 결과를 제시하면 다음과 같다. 작업종료시(20분)에 작업강도가 4 METs에서 8 METs로 증가함에 따라 평균피부온도차(33.3%), 고막온도차(57.1%), 심박수(32.5%), 운동자각도(75.6%) 등은 통계적으로 유의하게 높게 나타났으며, 온냉감과 체중감소는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이상의 결과 소방방열복 착용시 작업강도의 증가는 신체에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

ABSTRACT

The aim of study intends to investigate physiological changes according to workload wearing aluminized firefighter's protective clothing and to provide the base data for the safety of firefighter. The results of the study are as follows. To increase work intensity 4 to 8 METs after experiment (20 min), mean skin temperature change (33.3%), tympanic temperature change (57.1%), heart rate (32.5%), RPE (75.6%) is statistically significantly higher and thermal Sensation, weight loss are not statistically significant. It was concluded that physiological changes of human body varied considerably by increase of workload wearing aluminized firefighter's protective clothing.

Keywords : Aluminized firefighter's protective clothing

1. 서 론

화재현장의 플래시오버, 백드래프트 상황에서는 거의 1000 °C 이상으로 온도가 상승하게 되며 이때 소방공무원은 근접작업을 수행하기 위하여 소방방열복을 착용하게 된다.

Taylor는 플래시오버 화재상황을 가정한 실험에서 소방공무원의 상반신 최고피부온도는 91.1 °C, 하반신의 경우 102.7 °C에 도달한다고 보고하였으며, 만약 플래시오버의 상황이 발생하면 소방공무원은 화상으로 인하여 사망에 이르게 된다⁽¹⁾.

소방방열복은 화염, 고온의 열기류와 고온물체로부터 신체를 보호하기 위하여 단열성능을 매우 높게 하여 외부 열

차단 효과를 극대화한다. 이는 작업 활동으로 인해 발생하는 신진 대사열과 땀의 방출을 억제하여 체온조절능력을 저하시켜 신체의 온도 상승을 초래하게 되는 역기능을 동반하여 소방공무원의 열스트레스를 유발시키기도 한다⁽²⁾.

화재현장에서 진압, 수색, 구조 활동을 하는 소방공무원은 구조물의 지리적 정보, 진입경로, 공기호흡기 산소량의 정보 등을 파악하여 중요한 결정을 한다. 하지만 열스트레스와 탈수 등으로 인한 신체적 장애와 심리적 부담감은 인식과 판단능력의 저하를 초래할 수 있으며 이는 체온 및 심박수 증가 등의 신체반응으로 즉시 나타나게 된다.

이는 소방공무원의 안전에 큰 위협요소가 되며, 소방공무원의 사고예방과 안전을 위하여 이에 대한 연구가 절실히 요구된다.

[†]Corresponding Author, E-Mail: bangch@kyungnam.ac.kr
TEL: +82-55-249-2657, FAX: +82-505-999-2167

ISSN: 1738-7167
DOI: http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2013.27.4.56

본 연구는 소방방열복 착용시 작업강도가 신체에 미치는 영향을 분석하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

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

2.2 연구방법

실험에서는 국내 A사의 소방방열복을 착용하였으며 무게는 8.8 kg이다. 실험은 1주간의 여유를 두고 실시하였다.

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

온도조건은 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature Index)⁽³⁾를 사용하여 WBGT 20 °C(흑구온도 24.4 °C, 건구온도 25.4 °C, 습도 53.8 %)로 설정하여 주위 온도에 의한 영향을 최소화하였다. WBGT는 Yaglou⁽³⁾ 등에 의하여 고온 환경을 평가하는 온열지표로 제안되었으며, 근로자들의 열환경 적합성 여부를 판정하는 지표로 ISO⁽⁴⁾, NISOH⁽⁵⁾, ACGIH⁽⁶⁾ 등에서 추천하고 있다.

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

평균피부온도(Mean skin temperature)는 ISO 9886⁽⁷⁾에 따른 4점 측정법을 이용하였으며, 측정위치는 목뒤, 오른쪽 등, 왼손등, 오른쪽 정강이다. 평균피부온도는 thermostat를 이용하여 측정하였으며 데이터처리장치를 이용하였다.

고막온도(Tympanic temperature)는 고막체온계를 이용하여 실험전·후 측정하였다.

일반적으로 심부온도(Core temperature) 측정을 위해서는 직장(Rectum), 귀(Tympanic membrane), 식도(Esophagus)의 온도를 측정한다⁽⁸⁾.

Ericson 등⁽⁹⁾은 고막온도가 체온조절중추가 있는 뇌의 시상하부 온도를 가장 정확하게 나타낼 수 있다고 보고하

였으며, 이에 본 연구에서는 직장온도보다 빠른 반응변화를 보이는 고막온도가 직장온도보다 정확하게 반영할 수 있는 지표로 판단되어 고막온도를 심부온도로 측정하였다.

심박수(Heart rate)는 심박호흡 측정센서를 가슴에 부착하고 소방방열복을 착용하였으며 무선으로 데이터를 전송하여 컴퓨터에서 처리하였다.

온냉감(Thermal sensation)은 실험자가 느끼는 온도로 “참을수 없을 만큼 춥다”를 0으로 하고 “매우 덥다”를 7로 정하여 측정하였다⁽¹⁰⁾.

운동자각도(RPE, Rating of Perceived Exertion)는 운동내성을 관찰하는 신뢰할 만한 지표이며 체력수준, 환경수준, 일반적인 피로수준에 영향을 받으며, 피로가 임박함을 예측할 수 있는 지표로 이용되며, 범위의 척도는 0에서 10까지이다⁽¹¹⁾.

실험자의 수분상태를 표준화하기 위하여 실험 1시간 전에 250 ml의 물을 섭취하게 하였으며, 실험종료 후에는 땀을 잘 닦은 후 체중을 측정하여 순수 체중 감소량을 측정하였다.

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

2.3 결과처리

모든 자료의 처리는 SPSS 14.0을 이용하여 평균(M)과 표준편차(S.D)를 산출하였다. 최대 신체활동 전, 후의 체력검사는 paired t-test로 비교하였으며, 유의도는 .05로 설정하였다.

3. 결과 및 논의

Figure 1에 소방방열복을 착용한 경우의 작업강도에 따른 평균피부온도(Mean skin temperature)를 나타내었다.

작업강도 4 METs인 경우 작업시간 약 10분 정도에서 작업시간에 따른 평균피부온도의 상승율은 감소했으나, 전

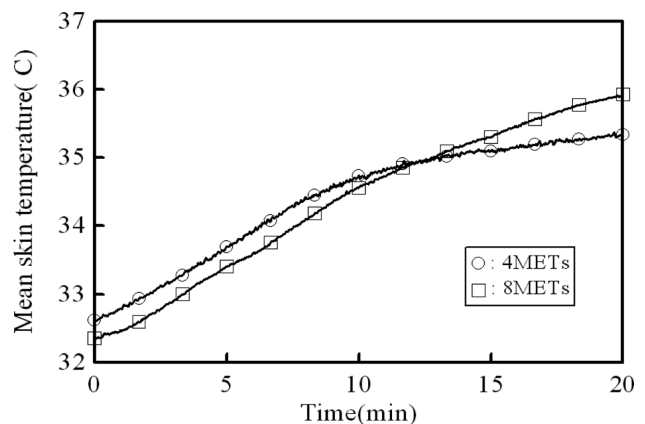


Figure 1. Mean skin temperature during walking in the workload.

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

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

반적으로 작업시간에 따라 평균피부온도는 선형적으로 상승하였고, 실험 20분간 평균피부온도는 약 2.7°C 상승하였다. 작업강도 8 METs인 경우에도 작업시간에 따른 평균 피부온도의 상승율은 일정하게 상승하였으며, 14분 이후부터 다소 완만하게 상승하였다. 실험 종료시에는 평균피부온도가 실험전에 비하여 약 3.6°C 정도 높게 나타났다. 즉 작업종료시 실험전·후의 평균피부온도차는 작업부하가 증가함에 따라 높게 나타난다.

신체온도는 열생성과 열손실의 차로 나타나 체온이 상승한다. 작업강도가 증가함에 따라 신체의 근육격계는 더욱 많은 활동을 하고 이는 열생성을 촉진하게 되고, 신체의 온도를 관장하는 시상하부에서는 땀분비를 자극하여 증발에 의한 열배출을 활성화하고 피부의 혈류량을 증가시켜 체온을 낮추기 위한 생리학적 반응을 한다. 특히 고온작업에 적합하도록 만들어진 소방방열복은 외부와의 단열효과가 기존의 소방방화복보다도 매우 우수하여 운동이 진행됨에 따라 내부의 포화증기압은 거의 100%에 도달한다. 따라서 땀의 증발로 인한 온도저하는 어렵게 되고 피부온도는 더욱 상승하게 된다.

Figure 2에 실험전·후 고막온도(Tympanic temperature) 변화를 나타내었다.

4 METs의 경우는 고막온도는 실험전후 0.6°C, 8 METs의 경우에는 1.2°C 상승하였다.

일반적으로 체온은 심부온도를 의미하며 심부온도를 통해 개인의 건강상태와 질병의 유무 및 회복상태의 진행 정도를 분석할 수 있다⁽¹²⁾.

고막온도의 상승은 신체내부의 온도가 상승하였음을 의미하며 20분간의 비교적 단시간동안의 급격한 심부온도 상승은 고체온증 및 열사병 등을 유발해 신체에 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

Figure 3에 작업강도에 따른 온냉감(Thermal sensation) 변화를 나타내었다. 전체적으로 10분경까지 상승한 후 완만히 상승하며 작업강도가 높은 경우에 온냉감을 더욱 느

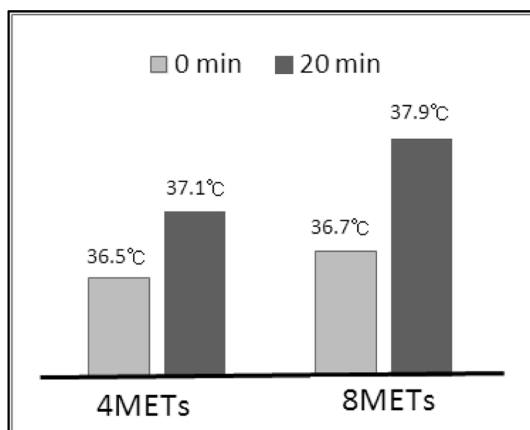


Figure 2. Tympanic temperature during walking in the workload.

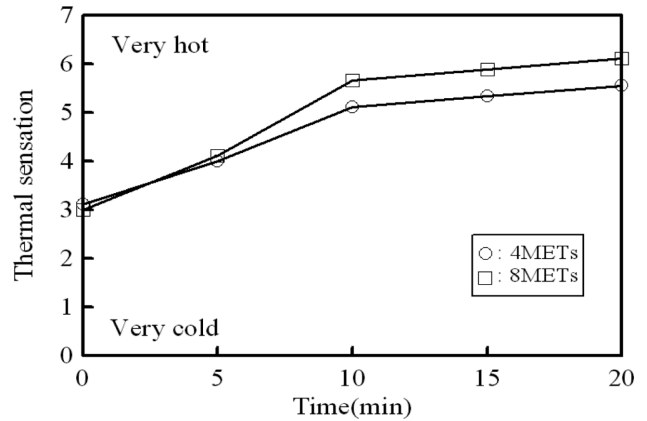


Figure 3. Thermal sensation during walking in the workload.

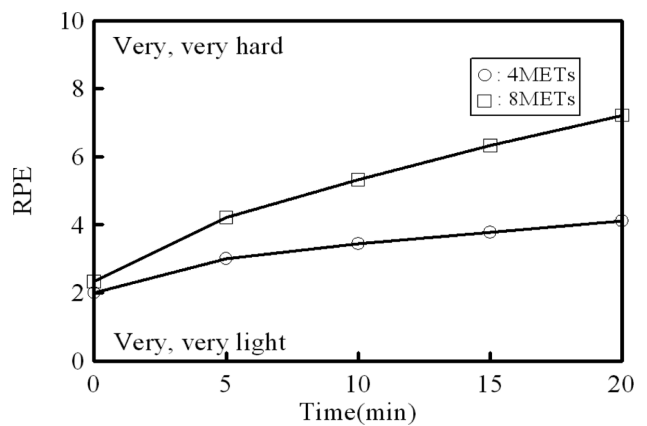


Figure 4. Rating of perceived exertion during walking in the workload.

낌을 알 수 있다. 소방방열복을 착용한 경우 알루미늄 외피 소재가 외부의 초고온 환경에 견딜수 있도록 만들어져서 신체대사활동으로 발생된 체열이 외부로 배출되지 못하고 내부에 축적되어 실험자들이 느끼는 온냉감이 더 크게 나타나며, 향후 소방공무원의 체감온도 저감을 위한 능동적 신체냉각 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

운동자각도(RPE, Rating of Perceived Exertion)를 Figure 4에 나타내었으며, 운동자각도는 주관적으로 느껴지는 “힘듦”의 정도를 나타낼 수 있으며, 이러한 느낌은 신체적 스트레스, 체력수준, 환경조건 등에 영향을 받는다. 작업강도가 높은 경우가 처음부터 높게 나타났으며, 시간이 지남에 따라 실험자들이 점점 힘들어 하였다.

작업강도에 따른 심박수(Heart rate) 변화를 Figure 5에 나타내었다.

작업강도가 4 METs인 경우 심박수는 5분경까지 증가하고 이후 완만히 상승하여 실험전·후 약 51% 증가하였다. 업강도가 8 METs인 경우에는 5분까지는 급격히 상승하고 이후 상승폭은 감소하지만 지속적으로 상승하여 실험 종료시에는 처음에 비하여 약 93.3% 상승하였다.

운동시작과 동시에 심박수가 상승하는 것은 작업근육과

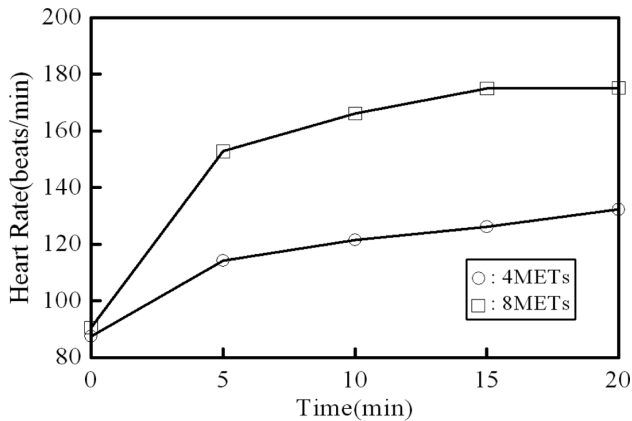


Figure 5. Heart rate during walking in the workload.

관절부에 있는 수용체로부터의 신경반사가 원인이며, 작업 강도가 증가함에 따라 심박수가 증가함을 알 수 있으며 이는 심혈관계에 많은 부담을 미치게 된다. 2011년 미국 소방공무원의 직무중 사망원인의 62%가 심장마비로 조사되어 그 위험성이 매우 높다고 할 수 있으며⁽¹³⁾, 국내에서도 소방공무원의 안전을 위하여 시급히 이에 대한 자세한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Table 2에 실험전후의 평균피부온도차, 고막온도차, 심박수, 운동자각도, 온냉감, 체중감소의 신체변화를 나타내었다.

실험 전후의 평균피부온도차는 작업강도 4 METs의 경우 2.7 °C, 작업강도 8 METs의 경우 3.6 °C를 나타냈으며 통계적으로 유의하게 높게 나타나고 있다($p < .05$).

고막온도차는 작업강도 4 METs의 경우 0.7 °C, 작업강도 8 METs의 경우 1.1 °C를 나타냈으며 통계적으로 유의하게 높게 나타나고 있다($p < .05$).

심박수는 작업강도 4 METs의 경우 분당 132.2회, 작업강도 8 METs의 경우 분당 175.1회로 작업강도가 높은 경

우가 유의하게 높게 나타나고 있다($p < .05$). 즉 작업강도가 증가함에 따라 심박수는 32.5 % 정도 높게 나타남을 알 수 있다.

운동자각도는 작업강도 8 METs의 경우가 75.6 % 정도 유의하게 높게 나타났으며($p < .05$), 온냉감과 체중감소는 작업강도에 따라 10.9 %, 33.3 % 높게 나타났으나, 통계적으로는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

4. 결 론

본 연구에서는 소방방열복 착용시 작업강도에 따른 신체변화를 연구하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 하며 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 작업강도 8 METs의 경우가 작업강도 4 METs의 경우보다 평균피부온도차는 작업종료시(20분)에 33.3 %, 고막온도차는 57.1 % 정도 높게 나타났으며 통계적으로 유의하게 높게 나타나고 있다($p < .05$).

둘째, 심박수와 운동자각도는 작업강도가 4 METs에서 8 METs로 증가함에 따라 작업종료시(20분)에 32.5 %, 75.6 % 정도 높게 나타났으며 통계적으로 유의하게 높게 나타나고 있다($p < .05$).

셋째, 온냉감과 체중감소는 작업종료시(20분)에 작업강도에 따라 10.9 %, 33.3 % 높게 나타났으나, 통계적으로는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

이상의 결과 소방방열복 착용시 작업강도의 증가는 신체에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다. 소방공무원은 매우 위험한 물리적·화학적 환경에서 직무를 수행하며 신체보호를 위하여 각각의 환경에 적합한 보호장구를 착용한다. 하지만 신체에 미치는 영향에 대한 기초적인 데이터는 매우 부족한 상태이며 이의 연구에 대한 보다 많은 행정적·재정적 지원이 필요한 실정이다.

본 연구의 제한점으로 연구대상자가 소방전공 학생들로

Table 2. Physical Responses on 20 min after Walking in the Workload

Variance	Condition	n	M±SD	df	t	p
Mean skin temperature change ($T_{20 \text{ min}} - T_{0 \text{ min}}$, °C)	4 METs	9	2.7±0.23	16	-4.655	.000
	8 METs	9	3.6±0.50			
Tympanic temperature change ($T_{20 \text{ min}} - T_{0 \text{ min}}$, °C)	4 METs	9	0.7±0.51	16	-2.418	.028
	8 METs	9	1.1±0.23			
Heart Rate (beats/min)	4 METs	9	132.2±15.73	16	-6.877	.000
	8 METs	9	175.1±10.13			
RPE (Rating of Perceived Exertion)	4 METs	9	4.1±1.54	16	-5.572	.000
	8 METs	9	7.2±0.67			
Thermal Sensation	4 METs	9	5.5±1.13	16	-1.213	.243
	8 METs	9	6.1±0.78			
Weight Loss (kg)	4 METs	9	0.3±0.09	16	-1.513	.150
	8 METs	9	0.4±0.17			

한정되어 결과를 확대해석하여 일반화 하는 것은 한계가 있으며 후속연구에서는 다양한 조건에서의 내·외적요인에 따른 신체변화 연구가 수행될 예정이다.

References

1. N. Taylor, "Challenges to Temperature Regulation when Working in Hot Environments", *Industrial Health*, Vol. 44, pp. 331-344 (2006).
2. S. S. Cheung, T. M. McLellan and S. Tenaglia, "The Thermophysiology of Uncompensable Heat Stress: Physiological Manipulations and Individual Characteristics", *Sports Med.*, Vol. 29, pp. 329-359 (2000).
3. C. P. Yaglou, A. M. Baetjer, W. Machle, W. J. McConnell, L. A. Shady, C. E. A. Winslow et al., "Thermal Standards in Industry", *American Journal of Public Health*, Vol. 40, pp. 131-143 (1950).
4. ISO 7243, Hot Environments-Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Geneva: International Standards Organization (2003).
5. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Hot Environments (Revised Criteria 1986)", [DHHS (NIOSH) Publication No. 86-113]. Cincinnati, OH: Author (1986).
6. ACGIH, TLVs and BEIs, "Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents. Biological Exposure Indices", American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH (1996).
7. ISO Standard 9886, "Ergonomics-Evaluation of Thermal Strain by Physiological Measurements Second Edition", International Standard Organization, pp. 1-21 (2004).
8. K. 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 (2003).
9. R. Ericdon and T. 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).
10. ASHRAE, "Standard55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", ASHRAE Inc (1992).
11. ACSM, "ACSM'Guidelines for Exercise Testing and Prescription Seventh Edition", Lippincott Williams & Wilkins (2006).
12. B. Kozier, G. Erd and R. Oliveri, "Fundamentals of Nursing: Concept, Process, Practice (4th ed)", California: Addison-wesley Nursing (1991).
13. R. F. Fahy, P. R. LeBlanc and J. L. Molis, *FIREFIGHTER FATALITIES IN THE UNITED STATES - 2011*, NFPA (2012).