가상화재상황의 초고층 건물 진입에 따른 소방공무원의 생리학적 반응

유동훈

경북대학교

Abstract

Yoo, Dong-Hoon, Physiological Response in Accordance with High-Rise Building of Simulated Fire-Fighting in Fire-Fighters, *Exercise Science*, 23(3): 267-274, 2014. The purpose of this study was to investigate fire-fighters' physiological response in case of simulated fire-fighting of high-rise building. Eight male fire fighters (6 rescue workers, 2 fire suppression workers; 31.9 ± 4.4 yrs) participated in this study. Each participants performed under the three conditions (HB: entry of high-rise building, SF: simulated fire-fighting, CON: gym suit). The results were as follows: First, oxygen consumption was significantly different between SF and CON. Secondly, heart rates showed difference in both main effect and interaction effect of treatment and time. HB and SF were higher than CON at 3, 9, 12, and 15 min. Thirdly, tympanic temperature showed significant difference in main effect of time and interaction effect of treatment and time. SF was higher than HB and CON at 12, 15 min. Fourth, skin temperature showed difference in both main effect and interaction effect of treatment and time. SF was higher than HB and CON at 3, 6, 9, 12, and 15 min. Lastly, rating of perceived exertion showed significant difference in both main effect and interaction effect of treatment and time. SF was higher than CON at 6, 9, 12, and 15 min. Physical standard of fire-fighters based on this study will be suggested in order to provide the guideline for their job safety. Further research on physiological variables during various fire-fighting tasks should also be carried out for more systematic physical guideline to enhancing fire-fighters' job safety.

Key words : fire-fighter, oxygen consumption, heart rate, tympanic temperature, skin temperature

초 록

유동훈. 가상화재상황의 초고층 건물 진입에 따른 소방공무원의 생리학적 반응. 운동과학, 제23권 제3호, 267-274, 2014. 본 연구는 가상화재상황의 초고층 건물 진입에 따른 소방공무원의 생리학적 반응을 알아보고자 시도하였다. 남자 소방공무원 8명(구조대원 6명, 화재 진압대원 2명, 31.9 ± 4.4 세)을 대상으로 초고층 건물 진입(HB: entry of high-rise building), 가상화재상황의 초고층 건물 진입(SF: simulated fire-fighting), 비교처치(CON: gym suit)의 3가지 처치를 실시하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 가상화재상황의 초고층 건물 진입에 따른 산소섭취량은 소방장비착용과 비교처치와 유의한 차이가 나타났다. 둘째, 심박수는 처치와 시기의 주 효과, 처치와 시기의 상호작용효과 모두 유의한 차이가 나타났으며, 3, 9, 12, 15분에서 HB와 SF는 CON보다 높게 나타났다. 셋째, 심부온도는 시기의 주 효과와 상호작용효과에서 유의한 차이가 나타났지만, 처치의 주 효과는 유의한 차이가 없었으며, 12, 15분에서 SF는 HB와 CON보다 높게 나타났다. 넷째, 피부온도는 처치와 시기의 주 효과, 처치와 시기의 상호작용효과 모두 유의한 차이가 나타났으며, 3, 6, 9, 12, 15분에서 SF는 HB와 CON보다 높게 나타났다. 다섯째, 운동자각도는 처치와 시기의 주 효과, 처치와 시기의 상호작용효과 모두 유의한 차이가 나타났으며, 6, 9, 12, 15분에서 SF는 CON보다 높게 나타났다. 본 연구는 초고층 건축물 가상화재상황에서 소방 활동 시 생리학적 변화에 대한 객관적인 자료를 제시하고자 하였다. 추후 대규모 소방공무원들을 대상으로 화재상황에서 안전한 임무 수행을 위한 체력의 기준이 제시되어야 한다고 사료되며, 다양한 소방 활동 임무와 생리학적 변인에 관련된 연구가 이루어져야 할 것이다.

주요어 : 소방공무원, 산소섭취량, 심박수, 심부온도, 피부온도

I. 서론

오늘날 인구의 도시 집중화와 그에 따른 한정된 도시공간의 효율적 이용, 경제논리 등으로 인하여 1990년대 이후 초고층 건물을 활발하게 건설해 오고 있다. 초고층 건물의 기준은 높이가 200 m 이상 또는 층수가 50층 이상으로 정의하고 있다(이우성 등, 2012). 현재 우리나라에서 준공된 초고층 건물은 39개소, 공사 중인 곳이 51개소로 허가가 나가거나 설계 및 추진 중인 건물 등을 포함해 총 125개의 초고층 건물이 들어설 전망이다(한중우, 2013). 최근 초고층 건물은 도시 랜드마크(landmark)로서의 상징성과 도심재생이라는 사회적 화두와 맞물려 증가되고 있지만 화재 및 재해 발생 시 거주밀도의 증가로 인하여 일반 건물에 비해 높은 화재 위험성을 내포하고 있으며 대규모의 인명피해와 재산피해를 가져온다(이정용, 2013).

소방공무원은 자신의 목숨을 잃을 수 있는 매우 힘든 직업군 중 하나이며, 예측할 수 없는 긴급한 화재상황 속에서 그들만의 특유한 직업적인 활동을 수행한다. 화재현장에서 고온의 열과 유독가스로부터 신체를 보호하기 위하여 소방방화복과 공기호흡기 등 임무수행에 필요한 장비를 착용한다. 소방방화복은 화염, 고온의 열 기류와 고온물체로부터 신체를 보호하기 위하여 단열능력이 매우 높고, 외부 열 차단 효과가 극대화되지만 작업 활동으로 인해 발생하는 신진대사열과 땀의 방출을 억제하여 체온조절능력을 저하시켜 신체의 온도 상승을 초래하게 되는 역기능을 동반해 소방공무원의 열 스트레스를 유발시킨다(McLellan & Cheung, 2000). 고온 환경에서 신체활동은 체온의 상승을 유발하며 신체활동으로 생성하는 열을 냉각하기 위해 말초혈류량이 증가하고 발한량이 증가하는 등 열산 기전이 활발해지고, 증가된 열적 스트레스는 심혈관계의 적응과 증발로 대변되는 대사적 냉각 조절 활동에 의해 조절된다(Nielsen et al., 1990). 또한, 장시간 신체활동을 지속하게 되면 수분 손실량의 증가와 혈장량의 감소를 동반하는 탈수상태를 보이게 되며 탈수가 심해지면 혈액순환에 지장을 가져와 체온상승을 억제하는 체내 조절기능이 상실하게 된다(Dennis et al., 1997). Selkirk & McLellan(2004)은 소방방화복과 공기호흡기를 착용한 소방공무원의 신체활동 시 피부온도가 25 ℃에서 35 ℃로 상승하였고, 최대작업시간이 작업강도에 따라 최대 56%, 작업강도변화에 따라서는 최대 29%까지 감소한다고 보고하였다.

소방공무원의 화재현장 적응에 대한 체력이나 기술능력 미달은 안전사고를 일으킬 수 있는 큰 원인이 된다(Eglin et al., 2004). 따라서 대형화재진압을 위해 장시간 견딜 수 있는 체력과 현장상황에 맞게 대처할 수 있는 충분한 지식, 기술의 보유가 요구된다. 특히 화재진압에 따른 소방공무원의 생리학적 반응을 파악하는 것은 그들의 안전을 위해 무엇보다 중요하다 할 수 있다.

소방활동에 따른 생리학적 반응에 관련된 연구를 살펴보면, Bugajska et al.(2007)은 19명의 소방공무원을 대상(최대심박수: 170.8 ± 6.5 beats/min)으로 7가지 소방 활동 및 구조임무 중 20 m 사다리 오르는 최대심박수 159.4 ± 10.7 beats/min, 운동자각도 12.3 ± 2.8 , 호스 들고 5층 계단 오르는 최대심박수 164.4 ± 7.8 beats/min, 운동자각도는 13.2 ± 3.1 , 5층 희생자 구출하기는 최대심박수 164.2 ± 15.9 beats/min, 운동자각도는 13.7 ± 3.3 으로 각각의 임무는 개인별 최대심박수의 93-96%로 나타났으며, 운동자각도는 '약간 힘들다(somewhat hard)'로 나타났다. 허만동과 방창훈(2010)은 일반 대학생 8명을 대상으로 소방방화복과 공기호흡기의 무게와 같은 웨이트 자켓을 착용하여 트레드밀에서 Bruce protocol을 실시한 결과, 최대지친상태(all-out)는 웨이트 자켓 착용이 718.13 sec로 비교처치 853.38 sec보다 18.8% 짧게 나타났으며, 최대산소섭취량은 비교처치 44.33 ml/kg/min으로 웨이트 자켓 착용 37.69 ml/kg/min보다 17.6% 증가하였고, 최대심박수는 비교처치 199.38 beats/min으로 웨이트 자켓 착용 189.25 beats/min보다 5.4% 높게 나타났다. 방창훈 등(2013)도 일반대학생 9명을 대상으로 소방방화복과 공기호흡기를 착용하여 트레드밀에서 4 Mets와 8 Mets의 작업강도에서 실시한 결과, 고막온도는 실험 전후 4 Mets에서 0.6 ℃, 8 Mets에서 1.2 ℃ 상승하였고, 심박수는 실험 전후 4 Mets에서 51%, 8 Mets에서 93.3% 상승하였다.

초고층 건물 화재 시 소방공무원들의 대응 방안은 다수를 수용하는 건물의 계단, 엘리베이터 등의 시설은 대피자로 인한 혼란으로 현장에 진입하는데 장애가 되며, 엘리베이터 이용은 사실상 불가능하므로 계단 등을 통하여 진입하여야 한다(김재천, 2012). 그러나 선행연구에서 초고층 건물의 화재상황에 따른 소방공무원의 생리학적 반응에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 일선 현장의 소방공무원들을 대상으로 초고층 건물 화재 시 계단을 이용한 화재층 접근에 있어 그들의 생리학적 변화를 분석하여 소방공무원의 화재진압 시 안전을 위한 기초자료를 제공하기 위해 시도하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상은 D광역시 P소방서에 근무하는 소방공무원 8명(남자 구조대원: 6명, 화재진압 대원: 2명)으로 실험 전, 실험의 취지와 방법에 대한 설명을 충분히 이해하고 숙지하였다. 참가자의 신체적 특징은 <Table 1>에 제시된 바와 같다.

Table 1. Physical characteristics of participants

Variable	Mean±SD
Age (yrs)	31.9±4.4
Height (cm)	175.4±4.3
Weight (kg)	75.1±7.5

2. 실험설계 및 절차

본 연구에서 초고층 건물 실험은 D광역시에 소재하는 57층 건물에서 실시하였다. 가상화재상황은 실험실 내에 간이 챔버(chamber)를 설치하였으며, 온풍기를 이용하여 내부 공기온도를 35℃로 설정하였다(김도식과 심현주, 2008). 초고층 건물에서 운동량과 가상화재상황에서 운동량의 동일한 조건을 위해 운동시간 설정은 모든 피험자가 소방장비를 착용한 후 초고층 건물의 비상계단으로 진입하여 57층까지 도달하는 개인별 진입시간의 평균값으로 하였다. 초고층 건물의 제원은 높이 182.35 m, 계단 총 이동거리 438.5 m이었다. 트레드밀의 속도는 (속도=거리/시간)의 공식을 이용하여 설정하였으며, 경사도는 건물 높이, 총 이동거리를 피타고라스 정리와 삼각함수 공식을 사용하여 설정하였다. 가상화재상황의 초고층 건물 진입은 트레드밀 위에서 운동시간 15분, 속도 1.7 km/h, 경사도 22°로 실시하였다.

본 연구는 <Fig. 1>에 제시된 바와 같은 실험설계에 따라 진행하였다. 모든 참가자는 측정 전 48시간 동안 훈련 및 과도한 신체활동을 하지 않도록 하였다. 1차 측정은 초고층 건물에서 소방방화복(12 kg)과 공기호흡기(6.6 kg)를 착용하여 비상계단을 이용하여 57층까지 진입하도록 하였다. 2차 측정은 개인별 최대산소섭취량을 측정하였으며, 3차 측정은 가상화재상황에서 1차 측정과 동일한 복장으로 측정하였다. 4차 측정은 3차 측정과 비교하기 위하여 동일한 조건에서 체육복을 착용하여 측정하였다. 측정항목은 운동 전, 3분, 6분, 9분, 12분, 15분에 측정하였다. 측정 시 측정 결과에 영

향을 주지 않도록 일주일간의 측정 간격을 두었다. 그러나 본 연구의 제한점으로 피험자의 근무와 실험장소 섭외로 인하여 각 처치별 무선배정이 이루어지지 못하였다.

Fig. 1. Procedures of experiments.

3. 측정항목 및 방법

1) 최대산소섭취량

최대산소섭취량은 호흡가스분석기 Max-1(FITCO, USA)과 트레드밀(Trackmaster, USA)을 이용하여 0% 경사각으로 2분 동안 1.7 mph로 보행 연습 후 Bruce protocol로 all-out에 이를 때까지 최대산소섭취량을 측정하였다. 최대운동부하의 판정기준은 최대심박수(220-나이)가 되거나 호흡교환율 1.15 이상, 운동자각도 17이상 또는 피험자가 의지적으로 더 이상 운동을 수행할 수 없을 경우 중에서 둘 이상을 만족할 때를 최대로 간주하였다.

2) 심박수

심박수 측정은 무선 심박수 측정기(Polar 810i, USA)를 이용하였으며, 가슴부위에 송신기를 착용하여 고정시킨 후 수신기는 손목에 착용하여 심박수를 측정하였다.

3) 운동자각도

운동자각도(RPE: rating of perceived exertion)는 Borg (1982)의 15 RPE Scale(6-20 Scale)을 이용하여 측정하였다. 모든 피험자들에게 실험 전 15 RPE Scale의 적용에 대하여 충분히 설명을 하였으며, 실험 시 피험자들이 잘 볼 수 있도록

설치하였다. 운동부하 검사 시 호흡대사 자료를 수집하기 위해 피험자는 구두로 말하는 것이 불가능하므로 수신호로 표시하도록 하였다.

4) 심부온도 및 피부온도

일반적으로 심부온도 측정을 위해서는 직장, 귀, 식도의 온도를 측정한다(Newsham et al., 2002). Ericson & Woo(1994)는 고막온도가 체온조절증추가 있는 뇌의 시상하부 온도를 가장 정확하게 나타낼 수 있다고 보고하였다. 이에 본 연구는 고막온도를 심부온도로 측정하였으며, NET-100(HUBDIC, Korea)을 이용하였다. 피부온도는 비접촉체온계 FS-700(HUBDIC, Korea)을 이용하여 ISO 9886에 따른 4점 측정법으로 측정위치는 목뒤, 오른손등, 왼손등, 우측 정강이를 측정하여 평균값으로 하였다.

4. 자료처리 방법

각 측정항목에 대한 결과는 평균과 표준편차로 나타내었으며 통계분석은 SPSS 18.0 통계 프로그램(SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 소방공무원의 산소섭취량은 one-way ANOVA를 이용하였으며, 사후검증방법으로 Tukey를 이용하였다. 심박수, 심부온도, 피부온도 및 운동자각도의 처치와 시간의 평균차이를 알아보기 위하여 two-way ANOVA with repeated measure를 실시한 후 대비검정과 대응표본 t-검정을 이용하여 시간 사이와 처치 간의 차이를 검증하였다. 모든 분석의 통계적 유의수준(α)은 .05로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 최대산소섭취량

소방공무원의 산소섭취량 결과는 <Table 2>와 같다. 소방공무원의 최대산소섭취량은 49.4 ± 2.2 ml/kg/min으로 나타났다. 가상화재상황의 초고층 건물 진입(SF)에 따른 산소섭취량은 최대산소섭취량보다 낮게 나타났으나 유의한 차이는 없었다. 비교처치(CON)는 최대산소섭취량과 SF보다 유의하게 낮게 나타났다($p < .001$).

Table 2. Results of oxygen consumption

	Oxygen consumption (ml/kg/min)	F	Post-hoc
VO ₂ max	49.4 ± 2.2		
SF	43.6 ± 1.9	124.853***	c(a, b)
CON	34.8 ± 1.5		

values are Mean $\pm$ SD, SF: simulated fire-fighting, CON: gym suit, a: VO₂max, b: SF, c: CON, *** $p < .001$.

2. 심박수

소방공무원의 심박수 결과는 <Table 3>과 같다. 심박수의 변화는 처치($F_{(1,21)}=7.301$, $p < .01$)와 시기($F_{(1,21)}=476.873$, $p < .001$)의 주 효과에서 유의한 차이가 나타났으며, 처치와 시기의 상호작용효과($F_{(1,21)}=7.833$, $p < .001$)에서도 유의한 차이가 나타났다. 3분에서 CON은 초고층 건물 진입(HB), SF와 유의한 차이가 나타났으며($p < .01$), 6분에서 SF와 CON에서만 유의한 차이가 나타났으며($p < .01$). 또한 9분, 12분에서 CON은 HB($p < .05$), SF($p < .01$)와 유의한 차이가 나타났으며, 15분에서 SF는 HB($p < .05$), CON($p < .01$)과 유의한 차이가 나타났다.

3. 심부온도 및 피부온도

소방공무원의 심부온도 및 피부온도 결과는 <Table 3>과 같다. 심부온도의 변화는 처치($F_{(1,21)}=2.888$, $p < .05$)의 주 효과는 나타나지 않았지만, 시기($F_{(1,21)}=35.205$, $p < .001$)의 주 효과, 처치와 시기의 상호작용효과($F_{(1,21)}=4.561$, $p < .001$)에서 유의한 차이가 나타났다. 9분에서 SF는 CON과 유의한 차이가 나타났으며($p < .05$), 12분에서 SF는 HB($p < .05$), CON($p < .01$)과 유의한 차이가 나타났다. 또한 15분에서도 SF는 HB($p < .01$), CON($p < .05$)과 유의한 차이가 나타났다.

피부온도의 변화는 처치($F_{(1,21)}=52.337$, $p < .01$)와 시기($F_{(1,21)}=36.585$, $p < .001$)의 주 효과에서 유의한 차이가 나타났으며, 처치와 시기의 상호작용효과($F_{(1,21)}=4.872$, $p < .001$)에서도 유의한 차이가 나타났다. 0분에서 HB는 SF, CON과 유의한 차이가 나타났으며($p < .001$), HB는 3분에서 SF, CON($p < .001$), 6분 SF, CON($p < .01$), 9분 SF($p < .01$), CON($p < .05$), 12분 SF($p < .001$), CON($p < .01$), 15분에서 SF($p < .01$), CON($p < .05$)과 유의한 차이가 나타났다. SF는 0분을 제외한 모든 시점에서 CON과 유의한 차이가 나타났다($p < .01$).

4. 운동자각도

소방공무원의 운동자각도 결과는 <Table 3>과 같다. 운동자각도의 변화는 처치($F_{(1,21)}=14.113$, $p<.01$)와 시기($F_{(1,21)}=588.293$, $p<.001$)의 주 효과에서 유의한 차이가 나타났으며, 처치와 시기의 상호작용효과($F_{(1,21)}=10.472$, $p<.001$)에서도 유의한 차이가 나타났다. 두 처치 간 비교에서 SF가 운동 후 6분($p<.05$), 9분($p<.01$), 12분($p<.001$), 15분($p<.01$)에서 CON과 유의한 차이가 나타났다.

IV. 논의

소방공무원은 화재현장에서 고온의 열과 안전을 위해 소방보호 장비를 착용하여 자신의 목숨을 잃을 수 있는 화재 상황에서 임무를 수행한다. 본 연구는 초고층 건물에서 화재상황 시 진입에 따른 소방공무원의 생리학적 반응을 알아보고, 그들의 체력적 한계를 조사하고자 하였다.

소방공무원의 체력 수준은 작업강도를 결정하는 중요한 요소이며, 개인의 건강상태를 평가하는데 유용한 지표가 된다. 개인의 체력 수준을 평가함에 있어 특히 중요시 되는

것은 심폐기능에 관한 요소이며 이러한 심폐기능을 평가하는 주요 지표로는 최대산소섭취량을 들 수 있다. Saupe et al.(1991)은 소방공무원의 유산소 체력을 위한 최소의 기준을 확립하기 위하여 136명을 대상(20-65세)으로 최대산소섭취량을 측정한 결과 평균 35 ml/kg/min이었다. Bilzon et al.(2001)은 소방임무 수행에 요구되는 최소산소섭취량 수준은 41 ml/kg/min로 보고하였다. Gledhill & Jamnik(1992)의 연구에서 소방임무에서 요구되는 최대산소섭취량은 41.5 ml/kg/min로 조사되었으며, 소방공무원 지원자의 최대산소섭취량의 권고 수준은 45 ml/kg/min로 보고하였다. 본 연구에 참여한 소방공무원의 최대산소섭취량은 49.4 ± 2.2 ml/kg/min로 외국 소방공무원보다 높은 것으로 나타났다. 가상화재상황에서 초고층 건물 진입 시 산소섭취량이 비교 처치보다 높게 나타났다. Baker et al.(2000)이 7 km/h의 트레드밀 속도에서 일상복의 착용보다 소방방화복의 착용에서 심박수와 산소섭취량이 각각 17%, 11% 증가한다고 보고한 연구와 유사하게 나타났다. 이러한 결과는 고온에서 임무수행 시 적절한 발한과정은 삼투질 농도, 세포막 투과성 등 체내 항상성을 유지하는데 필수적인 요인으로 작용하지만, 고온 환경에서 개인의 신체를 보호하기 위해 착용한 소방방화복의 열 발산 억제와 그 무게로 인한 행동의 제한, 초고층

Table 3. Results of heart rate, tympanic temperature, skin temperature and RPE

	Treatment	0 min	3 min	6 min	9 min	12 min	15 min	Source	F
Heart rate (beats/min)	HB	89.4 ± 7.9	149.7 $\pm 15.1^{b**}$	154.9 ± 18.3	169.3 $\pm 12.7^{b*}$	171.7 $\pm 13.6^{b*}$	175.3 $\pm 9.5^{ab*}$	Treatment (T) Time (T) T×T	7.301 ^{**} 476.873 ^{***} 7.833 ^{***}
	SF	82.7 ± 5.3	156.0 $\pm 10.5^{b**}$	169.1 $\pm 8.0^{b**}$	175.6 $\pm 6.6^{b**}$	180.9 $\pm 4.1^{b**}$	185.9 $\pm 4.3^{b**}$		
	CON	83.4 ± 6.8	136.4 ± 10.7	145.3 ± 13.3	151.7 ± 13.9	154.7 ± 14.9	155.9 ± 16.2		
Tympanic temperature (°C)	HB	35.9 ± 0.8	36.3 ± 0.6	36.5 ± 0.5	36.6 ± 0.4	36.8 $\pm 0.4^a$	36.9 $\pm 0.4^{a**}$	Treatment (T) Time (T) T×T	2.888 35.205 ^{***} 4.561 ^{***}
	SF	36.2 ± 0.3	36.3 ± 0.3	36.5 ± 0.4	37.0 $\pm 0.4^{b*}$	37.4 $\pm 0.4^{b**}$	37.8 $\pm 0.3^{b*}$		
	CON	36.4 ± 0.4	36.2 ± 0.4	36.3 ± 0.4	36.4 ± 0.4	36.7 ± 0.4	36.9 ± 0.6		
Skin temperature (°C)	HB	28.6 $\pm 1.1^{ab***}$	29.7 $\pm 2.0^{ab***}$	30.3 $\pm 2.4^{ab**}$	31.0 $\pm 2.0^{a***b*}$	31.8 $\pm 0.9^{a***b**}$	33.4 $\pm 1.9^{a***b*}$	Treatment (T) Time (T) T×T	52.337 ^{***} 36.585 ^{***} 4.872 ^{***}
	SF	34.7 ± 0.8	35.7 $\pm 0.3^{b**}$	35.9 $\pm 0.6^{b**}$	36.7 $\pm 0.4^{b**}$	36.9 $\pm 0.4^{b**}$	37.3 $\pm 0.6^{b**}$		
	CON	34.5 ± 0.6	34.2 ± 0.8	34.3 ± 0.6	34.3 ± 1.0	35.2 ± 0.6	35.9 ± 0.4		
RPF (score)	SF	-	8.3 ± 1.5	11.4 ± 1.6	12.7 ± 1.5	13.9 ± 1.2	15.1 ± 1.3	Treatment (T) Time (T) T×T	14.113 ^{**} 588.293 ^{***} 10.472 ^{***}
	CON	-	8.1 ± 0.9	9.1 $\pm 0.7^{a*}$	10.1 $\pm 1.1^{a**}$	11.0 $\pm 1.0^{a***}$	12.4 $\pm 1.1^{a**}$		

values are Mean $\pm$ SD, HB: hige-rise building, SF: simulated fire-fighting, CON: gym suit, RPE: rating of perceived exertion, a: significantly different from SF, b: significantly different from CON, *** $p<.001$; ** $p<.01$; * $p<.05$.

건물의 화재 진압에 따른 높은 작업강도는 심장혈관계에 현저한 자극을 부가하여 심박수의 증가, 이미 증가된 발한량 및 호흡량에 의해서 보다 많은 에너지생성과 산소섭취량이 요구되기 때문이다(Costill, 1986).

소방공무원은 화재 발생 신고와 동시에 출동하게 되면 심박수는 약 50 beats/min 이상으로 급속히 증가하며(Barnard & Duncan, 1975), 화재진압 현장에서 고온 환경과 보호 장비, 소방호스 및 각종 무거운 도구의 사용도 심박수에 영향을 미친다. Skoldstrom(1987)은 트레드밀 걷기 동안 주변온도의 증가가 심박수에 미치는 영향은 일반옷보다 방화복 착용 시 더 높게 나타난다고 하였다. 본 연구에서도 심박수는 가상 화재상황의 초고층 건물 진입이 가장 높은 것으로 나타났으며, 초고층 건물 진입, 비교처치 순으로 높게 나타났다. Willmore & Costill(1999)은 운동수행 시 저온보다 고온에서 심박수의 증가와 함께 산소섭취량이 증가한다고 하였다. 주성범 등(2007)은 20대 남성 8명을 대상으로 고온(41 ℃)과 상온(21 ℃)에서 1 RM의 20-50% 강도로 서킷 트레이닝을 20분 실시한 결과, 운동 중 20분, 회복기 3분, 10분, 15분에서 고온 그룹에서 높게 나타났다. 고온에서 심박수 증가는 운동수행에 동원되는 근육과 열방출을 위한 피부혈관으로의 혈액량 공급이 분산되면서 정맥회귀 저하에 의한 1회 박출량이 부족해서라고 하였다. 그러나 본 연구에서 고온 환경의 비교처치보다 초고층 건물 진입에서 심박수가 더 높게 나타났다. 주변온도의 증가도 심박수에 영향을 미치지만, 소방용 보호장비의 착용이 심박수에 더 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이는 방화복과 공기호흡기의 무게, 방화복 착용 시 신체활동이 제한되는 특성으로 인한 작업강도 증가(Duggan, 1988), 방화복의 열 차단으로 인한 작업온도의 상승은 심박수의 증가를 가져온다(Selkirk & McLellan, 2004). 심부온도의 결과에서도 두 처치 간 유의한 차이가 없었으며, 피부온도의 경우 초고층 건물 진입이 비교처치보다 높은 증가를 나타내었다.

열 스트레스에 노출된 상태에서 나타나는 인간의 체온 변화는 대사적으로 큰 손실을 가져올 수 있기 때문에(Anestis et al., 2007) 작은 외부 온도의 변화에도 부분적 혹은 상당부분 생리적 변화를 초래할 수 있다(Dahlhoff et al., 2008). 소방 활동 중 대사열의 생산과 높은 주변 온도는 체온의 증가를 가져온다(Hancock, 1982). 체온의 증가는 신체활동능력 감소(Watson et al., 2005), 근력 혹은 근 수축력 감소(Thomas et al., 2006), 피로감 증대(Hargreaves, 2008) 등 여러 형태의 장애를 초래하게 된다. 본 연구에서 심부온도 및 피부온도의

증가는 가상화재상황의 초고층 건물 진입이 초고층 건물 진입, 비교처치보다 높게 나타났다. 방창훈 등(2013)의 4 METs와 8 METs의 운동부하에서 소방용 보호장비를 착용하여 운동을 실시한 결과 8 METs의 운동부하에서 더 높은 심부온도 및 피부온도의 상승을 보고한 연구와 유사하게 나타났다. 이러한 결과는 30 ℃ 이상의 고온에서 운동 시 체온이 현저히 상승되며, 대사 작용에 의해 발생한 열을 소방방화복으로 인하여 적절하게 발산하지 못할 경우 신체에 열이 축적되어 말초혈류량의 증가로 체온이 상승하게 된다(Lim et al., 2008). 가상 화재상황의 초고층 건물 진입은 심부온도 1.5 ℃ 증가하였는데, 심부온도의 증가는 신체와 정신에 영향을 미치며, 0.2 ℃의 심부온도 증가는 이중 작업(Dual task)의 수행을 감소시키고, 0.9 ℃ 증가는 에너지 효율을 감소시키며, 1.3 ℃ 상승은 약간의 정신 손상 및 인식 기능의 저하와 함께 열내성의 한계에 가까워진다고 보고되고 있다(Hancock, 1982).

운동자각도는 역동적인 운동 중 경험된 주관적 스트레스의 평가에 일반적으로 사용된다. 이는 신체활동 및 작업 시 근육, 관절과 심폐기능 등 심리적으로 느끼는 주관적 강도로 객관적인 생리적 변인을 정량화한 것이다(Borg, 1982). Joanna et al.(2007)의 소방공무원 운동자각도 결과는 사다리 오르기 12.3±2.8, 호스 들고 계단 오르기 13.2±2.8, 희생자 구조는 13.7±3.3으로 '가볍다 혹은 알맞다(11)'와 '조금 힘들다(13)'의 결과를 나타내었다. 본 연구에서 가상화재상황의 초고층 건물 진입의 운동자각도는 15.1±1.3으로 '힘들다(15)'의 결과를 보여 선행연구의 소방 임무보다 힘든 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 가상화재상황의 초고층 건물 진입 시 생리학적 반응은 9분에서 개인별 최대심박수의 95%, 심부온도는 0.8 ℃ 증가를 보여 체력 저하가 나타났다. 따라서 초고층 건물의 실제 화재상황 시 소방공무원의 안전을 위한 소방 활동은 9분 전, 후로 사료되며, 추후 다양한 연령대와 많은 인원을 대상으로 한 연구가 이루어져야 할 것이다.

V. 결론

소방공무원의 산소섭취량, 심박수, 심부온도, 피부온도 및 운동자각도는 가상화재상황의 초고층 건물 진입에서 가장 높게 나타났다. 소방 활동 후 9분에서 체력 저하가 나타났으며, 15분에서 위험 수준으로 나타났다. 초고층 건물에

서 화재발생 시 화재층에 접근하기 위해서는 비상구 계단을 통하여 이루어지며, 이러한 연구결과는 초고층 건물에서 소방 활동 시 소방공무원의 안전을 위한 생리학적 반응의 기초자료를 제공한다는 점에서 의의가 있다. 또한, 본 연구의 참가자들은 화재현장에 투입되는 구조 및 화재진압대원으로 체력적으로 우수하였다. 추후 체력 향상을 위한 트레이닝보다 내열성 향상을 위한 열 적응 트레이닝 연구가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

- 김도식, 심현주 (2008). 방화복의 내구특성 변화에 관한 연구. 한국섬유공학학회지, 45(6): 395-400.
- 김재천 (2012). 초고층 건물 소방대응 개선방안에 관한 연구. 미간행 석사학위논문. 목원대학교.
- 방창훈, 이준경, 권정숙 (2013). 소방방열복 착용시 작업강도에 따른 신체변화. 한국화재소방학회지, 27(4): 56-60.
- 이우성, 윤정미, 공하성 (2012). 초고층 건축의 화재 안전관리에 관한 연구. 대한안전경영과학회 학술대회논문집 (pp. 471-478). 서울: 온누리미디어.
- 이정용 (2013). 초고층 건축물 효율적인 화재진압에 관한 연구. 미간행 석사학위논문. 경기대학교.
- 주성범, 이원재, 박기범, 하명수 (2007). 상온 및 고온에서의 circuit weight training 적용에 따른 생리적 변인의 변화. 한국체육과학회지, 16(2): 537-545.
- 한종우 (2013). 초고층 건축물의 피난설비와 소방 안전대응 관리에 관한 연구. 미간행 석사학위논문. 강원대학교.
- 허만동, 방창훈 (2010). 소방용 보호장구의 무게가 신체활동능력에 미치는 영향. 한국화재소방학회지, 24(1): 128-133.
- Anestis, A., Lazou, A., Portner, H. O., & Michaelidis, B. (2007). Behavioral, metabolic, and molecular stress responses of marine bivalve *Mytilus galloprovincialis* during long-term acclimation at increasing ambient temperature. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 293(2): 911-921.
- Baker, S. J., Grice, J., Roby, L., & Matthews, C. (2000). Cardiorespiratory and thermoregulatory response of working in fire-fighter protective clothing in a temperate environment. *Ergonomics*, 43(9): 1350-1358.
- Barnard, R. J., & Duncan, H. W. (1975). Heart rate and ECG responses of fire fighters. *J. Occup. Med.*, 17(4): 247-250.
- Bilzon, J. L., Scarpello, E. G., Smith, C. V., Ravenhill, N. A., & Rayson, M. P. (2001). Characterization of the metabolic demands of simulated shipboard Royal Navy fire-fighting tasks. *Ergonomics*, 44(8): 766-780.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 14(5): 377-381.
- Bugajska, J., Zużewicz, K., Szmauz-Dybko, M., & Konarska, M. (2007). Cardiovascular stress, energy expenditure and subjective perceived ratings of fire fighters during typical fire suppression and rescue tasks. *JOSE*, 13(3): 323-331.
- Costill, D. L. (1986). *Inside Running: Basics of Sports of Physiology*. Indianapolis: Benchmark Press.
- Dahlhoff, E. P., Fearnley, S. L., Bruce, D. A., Gibbs, A. G., Stoneking, R. et al. (2008). Effects of temperature on physiology and reproductive success of a montane leaf beetle: implications for persistence of native populations enduring climate change. *Physiol. Biochem. Zool.*, 81(6): 718-732.
- Dennis, S. C., Noakes, T. D., & Hawley, J. A. (1997). Nutritional strategies to minimize fatigue during prolonged exercise: fluid, electrolyte and energy replacement. *J. Sports Sci.*, 15(3): 305-313.
- Duggan, A. (1988). Energy cost of stepping in protective clothing ensembles. *Ergonomics*, 31(1): 3-11.
- Eglin, C. M., Coles, S., & Tipton, M. J. (2004). Physiological responses of fire-fighter instructors during training exercises. *Ergonomics*, 47(5): 483-494.
- Erickson, R. S., & Woo, T. M. (1994). Accuracy of infrared ear thermometry and traditional temperature methods in young children. *Heart & Lung*, 23(3): 181-195.
- Gledhill, N., & Jamnik, V. K. (1992). Characterization of the physical demands of firefighting. *Can. J. Sport Sci.*, 17(3): 207-213.
- Hancock, P. A. (1982). Task categorization and the limits of human performance in extreme heat. *Aviat. Space Environ. Med.*, 53(8): 778-784.
- Hargreaves, M. (2008). Physiological limits to exercise performance in the heat. *J. Sci. Med. Sport*, 11(1): 66-71.
- Lim, C. L., Byrne, C., & Lee, J. K. (2008). Human thermoregulation and measurement of body temperature

- in exercise and clinical settings. *Ann. Acad. Med. Singapore*, 37(4): 347-353.
- McLellan, T. M., & Cheung, S. S. (2000). Impact of fluid replacement on heat storage while wearing protective clothing. *Ergonomics*, 43(12): 2020-2030.
- Newsham, K. R., Saunders, J. E., & Nordin, E. S. (2002). Comparison of rectal and tympanic thermometry during exercise. *South Med. J.*, 95(8): 804-810.
- Nielsen, B., Savard, G., Richter, E. A., Hargreaves, M., & Saltin, B. (1990). Muscle blood flow and muscle metabolism during exercise and heat stress. *Journal of Applied Physiology*, 69(3): 1040-1046.
- Saupe, K., Sothmann, M., & Jasenof, D. (1991). Aging and the fitness of fire fighters: the complex issues involved in abolishing mandatory retirement ages. *Am. J. Public Health*, 81(9): 1192-1194.
- Selkirk, G. A., & McLellan, T. M. (2004). Physical work limits for Toronto firefighters in warm environments. *J. Occup. Environ. Hyg.*, 1(4): 199-212.
- Skoldstrom, B. (1987) Physiological responses of firefighters to workload and thermal stress. *Ergonomics*, 30(11): 1589-1597.
- Thomas, M. M., Cheung, S. S., Elder, G. C., & Sleivert, G. G. (2006). Voluntary muscle activation is impaired by core temperature rather than local muscle temperature. *J. Appl. Physiol.*, 100(4): 1361-1369.
- Watson, P., Hasegawa, H., Roelands, B., Piacentini, M. F., Looverie, R. et al. (2005). Acute dopamine/noradrenaline reuptake inhibition enhances human exercise performance in warm, but not temperate conditions. *J. Physiol.*, 565(3): 873-883.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1999). *Physiology of sport and exercise* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

논문투고일 : 2014. 08. 00
심사일 : 2014. 00. 00
심사완료일 : 2014. 00. 00