소방용 보호장구 착용시 주위온도변화에 따른 신체반응

Physiological Responses of Human Body Wearing Fire Fighting Equipment by Surrounding Temperature Change

방창훈*

Bang, Chang Hoon

Abstract

The aim of study intends to investigate the physiological responses of human body wearing fire fighting equipment by surrounding temperature change and to provide the base data for the safety of firefighter. Mean skin temperature rose by 1.3°C under WBGT 25°C and 1.5°C under WBGT 30°C. The maximum oxygen consumption increased 21.6% in WBGT 30°C(59.7±4.88 ml/kg/min) case than case of WBGT 25°C(49.1±3.94 ml/kg/min) and the results are statistically significant. The metabolic equivalent increased 22.1% in WBGT 30°C(17.1±1.39 METs) case than case of WBGT 25°C(14.0±1.13 METs) and the results are statistically significant. The weight loss increased 45.8% in WBGT 30°C(0.70±0.24 kg) case than case of WBGT 25°C(0.48±0.39 kg). It was concluded that physiological responses of human body varied considerably and reflected the differences in external heat load.

Key words : fire fighting equipment, physiological responses, mean skin temperature

요 지

본 연구에서는 소방용 보호장구 착용시 온도변화에 따른 신체반응을 연구하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 제공을 목적으로 한다. 연구결과 평균피부온도는 WBGT 25°C에서 약 1.3°C, WBGT 30°C에서 약 1.5°C 상승하였다. 최대산소섭취량은 WBGT 25°C의 경우 49.1±3.94 ml/kg/min, WBGT 30°C의 경우는 59.7±4.88 ml/kg/min로서 WBGT 30°C의 경우가 약 21.6% 높게 나타났으며 통계적으로 유의하게 나타났다($p<.05$). 대사당량은 WBGT 25°C의 경우 14.0±1.13 METs, WBGT 30°C의 경우 17.1±1.39 METs로서 대사당량은 약 22.1% 높게 나타났으며, 통계적으로 유의하게 나타났다($p<.05$). 체중감소는 WBGT 25°C의 경우 0.48±0.39 kg, WBGT 30°C의 경우 0.70±0.24 kg로서 약 45.8% 증가하였으나 통계적으로 유의하지는 않았다($p>.05$).

핵심용어 : 소방용 보호장구, 신체반응, 평균피부온도

1. 서 론

고온의 환경에서 화재진압을 하는 소방공무원은 대상물 진압, 방수, 인명구조 등의 활동을 수행하며 물리적, 화학적 위험요소로부터 신체를 보호하기위하여 소방방화복, SCBA 등 약 무게가 약 20 kg에 달하는 안전장구를 착용한다. 이와 같은 중량의 보호장구를 착용하고 이루어지는 신체활동은 신진대사적으로 많은 에너지를 소모하게 되며 이는 소방공무원의 건강상의 장애와 부상, 사고를 유발하게 된다.

현대의 건축물은 신진축소재를 사용하며 이는 연소시 이전에 비교할 수 없는 많은 에너지를 방출한다(Lawson, 1996). 이에 따라 새로운 소방방화복이 개발되었으며 이러한 소방방화복은 외부의 뜨거운 열기를 막기 위하여 다층구조로 되어 있어 두껍고, 무겁다. 또한 외부 열기를 막기 위한 밀폐구조

는 공기순환을 어렵게 하여 소방 활동중에 발생하는 신체대사열의 방출을 어렵게 하고, 땀의 배출을 막아 체온조절능력을 저하시키며 열스트레스를 유발시키기도 한다(Cheung et al, 2000).

소방공무원의 열스트레스에 미치는 요인으로는 체력, 병력 및 성격 등의 개인적인 요소와 작업종류와 강도, 주위온도, 보호장구 상태 등의 환경적인 요소로 구별되며 다양한 열적 장애의 원인이 되기도 한다(Richard, 2008).

일반적으로 고온의 열기에 장기간 노출되면 체온이 상승하고 탈수가 일어나며 열로 인한 장애가 발생할 가능성이 증가한다. 즉, 과도한 발한, 창백함, 근육경련, 피로감, 현기증, 두통 등의 증세가 나타나는 열탈진(heat exhaustion), 신체 내부의 염분과 수분의 부족과 불균형으로 근육에 경련이 일어나는 열경련(heat cramps), 탈수와 울혈로 인하여 두통 현기

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

증, 의식장애 등이 발생하는 열피로(heat fatigue), 직장체온 40°C이상의 고열과 뜨겁고 건조한 피부 및 경련이나 혼수와 같은 중추신경계에 장애를 동반하는 생명을 위협하는 열사병(heat stroke) 등이 발생한다(NIOSH, 1986; 서영환 등, 2006).

소방공무원은 화재현장에서 과도한 열기에 노출되며 이로 인하여 화상을 입는 경우가 발생한다. Moxr 등은 인간의 피부온도 39~41°C에서는 열고통을 느끼며, 41~43°C에서는 화상이 일어나며, 45°C이상에서는 부분적인 피사가 발생한다고 보고하였다(Moxr et al, 1947). Taylor는 플래시오버 화재상황의 가정한 실험에서 소방공무원의 상반신 최고피부온도는 91.1, 하반신의 경우 102.7°C에 도달한다고 보고하였으며, 만약 플래시 오버의 상황이 발생하면 소방공무원은 화상으로 인하여 사망에 이르게 된다(Taylor, 2006).

화재현장에서 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 있다. Fine 등의 연구에서는 군인들에게 보호복을 착용 후 고온 환경에서의 4-5시간의 훈련 후 인식능력의 감소가 발생한다고 보고하였으며(Fine, 1985) Sharma 등은 열스트레스로 인한 신체적 변화가 정신적인 집중도를 감소시킨다고 하였다(Sharma et al, 1986).

이상의 연구결과 소방공무원은 고온의 화재현장에서의 직무를 수행하며, 이 과정에서 신체온도상승, 탈수, 탈진, 집중도 감소 등이 발생하며 이는 소방공무원의 안전에 저해요인으로 작용할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 소방용 보호장구 착용시 온도변화에 따른 신체반응을 연구하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 연구대상

본 연구의 대상은 경남 K대학교 재학중이며, 근골격계 질환이 없는 건강한 남학생 8명을 대상으로 본 연구의 목표를 밝히고, 이에 동의하여 실험에 자발적으로 참여하고자 희망하는 학생들을 피험자로 선정 하였으며, 본 연구대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2.2 실험조건

본 연구에서 수행한 측정 대상자에게 각 측정에 대한 위험성, 특성 및 방법에 대하여 설명하였고, 실험참여에 오류를 범할 대상자는 제외시켰다.

측정 방법은 피험자들의 소방용 보호장구 착용시 온도변화에 따른 신체반응을 연구하기 위하여 소방용 보호장구로는 국내 A사의 소방방화복과 공기호흡기를 착용하였으며 무게는

18.6 Kg이다. 실험은 1주간의 여유를 두고 실시하였다.

온도조건은 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature Index)를 사용하여 WBGT 25°C(흑구온도 31.9°C, 건구온도 32.6°C, 습도 41.8%)와 WBGT 30°C(흑구온도 41°C, 건구온도 41.3°C, 습도 29.1%)으로 설정하였다. WBGT는 Yaglou 등에 의하여 고온 환경을 평가하는 온열지표로 제안되었으며, 특히 고온환경의 지표로서 노동과 운동시의 열중증 예방조치에 사용되어지고 있다(Yaglou et al, 1957).

본 실험에서는 중(Heavy)작업강도 하에서 지속적인 작업이 가능한 온도 WBGT 25°C와 중작업이 가능한 최고온도(25% work+75% rest; each hour)인 WBGT 30°C를 주위온도로 설정하였다(ACGIH, 1996). WBGT는 열중증온도계측기를 이용하여 측정하였다.

2.3 측정방법

1) 신체적 특성

Martin식 인체 계측기를 이용하여 피검자를 직립자세로 자연스럽게 취하고, 발꿈치는 붙이고 양 발끝은 30-40° 벌리고, 무릎은 펴고, 바닥에서 두 정점까지의 거리를 0.1 cm 단위로 측정 하였다. 체지방 검사는 체성분 검사기를 이용하여 1회 분석 하였다.

2) 운동 부하 검사 방법(GXT 검사)

지구력성 최대 운동 능력 후 체력의 변화를 알아보기 위하여 최대 운동부하검사 방법인 Bruce protocol을 실시하였다. 측정장비는 자동가스분석기와 트레드밀을 사용 하였다. 자동가스분석기와 트레드밀의 보정을 측정 1시간 전에 완료하고 측정하여 오차를 최소화하였다.

점진적 과부하 방법으로 측정을 실시하며 초기부하는 속도 1.7 mph, 경사도 10%로 3분을 1 stage로 하여 매 stage 3분마다 속도 0.8~0.9 mph, 경사도 2%씩 증가하였으며, 측정중단의 생리적 지표로서는 최대산소섭취량의 고원(plateau)상태, 연령에 따른 목표심박수의 도달, 호흡상이 1.2를 초과 하였을 때, 그리고 피험자가 더 이상 측정을 지속 할 수 없다는 표시(all-out)를 하였을 때, 측정을 중단하였다.

All-out 단계의 운동시간, 최대산소섭취량, 대사당량(MET), 최대칼로리 소비량을 측정하였다.

3) 신체반응측정

평균피부온도는 ISO 9886에 따른 4점 측정법을 이용하였으며, 평균피부온도는 열전대를 이용하여 측정하였으며 테이터치리장치를 이용하였다.

피험자는 실험실에 와서 반바지와 착용하고 체중을 측정한 후 온도 측정용 센서를 장착시킨 후 소방용 방화복을 착용시키고 그 후 10분정도 안정시키고 실험실로 입장 후 측정하였다.

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

표 1. 실험자 신체적 특성(n=8)

Age(yr)	Height(cm)	Weight(Kg)
22.8±0.45	174.8±6.93	70.0±6.78

온냉감(Thermal sensation)은 실험자가 느끼는 온도로 “참을수 없을 만큼 춥다”를 0으로 하고 “매우 덥다”를 7로 정하여 측정하였다(ASHRAE, 1992).

갈증감(Thirst sensation)은 “전혀 목마르지 않음”을 0으로 하고 “대단히 목이 마름”을 9으로 하여 측정하였다(Dianne et al, 1987).

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 6에서 20까지로 하고, 일반적으로 6~7은 “매우매우 가볍다”이며 대부분 외관상 건강한 사람들의 피로 한계는 “매우매우 힘들다”의 18~19가 지이다(ACSM, 2006). 본 실험에서는 3분마다 측정하였다.

온열감, 갈증감, 운동자각도는 운동시작 후 매 3분마다 측정하였다.

2.4. 자료분석

모든 자료의 처리는 SPSS 14.0 을 이용하여 평균(M)과 표준편차(S.D)를 산출하여, 도표화 하고 평균차 검증을 위하여 최대 신체 활동의 대사는 집단별 비교로 independent t-test 하였으며, 유의도는 .05로 설정 하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 온도변화에 따른 신체자각반응

그림 1에 주위온도변화에 따른 평균피부온도, 운동자각도, 갈증감, 온냉감을 나타내었다.

소방용 보호복을 착용하고 운동을 시작한 후 평균피부온도(Mean skin temperature)는 초기 1분 까지는 주위온도에 관계없이 일정하다가 이후 지속적으로 상승한다. 그리고 9분을 지나면 온도의 편차의 조금 크게 발생하는데 이는 땀의 배출로 인하여 국부적으로 온도변화가 생겨서 일어나는 현상으로 판단된다.

WBGT 25°C에서 운동시작시의 평균피부온도는 34.7°C이며, 운동시작후 12분에는 36.0°C을 나타내어 약 1.3°C의 평균피부온도 상승이 나타났으며, WBGT 30°C에서는 운동시작전의 평균피부온도는 35.7°C이며, 운동시작후 12분에는 37.2°C까지 올라가 약 1.5°C의 평균피부온도 상승이 나타났다. 이러한 결과는 다른 연구자들의 결과와 유사하게 나타났다며, Rossi의 경우 15분 운동후의 소방공무원의 직장온도는 주위 온도 31°C에서 0.6°C, 38°C에서 1.0°C상승한다고 보고하였다(Rossi, 2003). 또한 Smith 등은 약 6분간의 실제 소방작업과 10분간의 휴식을 3회 반복한 결과 직장의 온도가 1.4°C증가한다고 하였으며(Smith et al, 2005), Eglin 등은 소방지휘관을 대상으로 72±42°C의 고온환경 하에서의 훈련 중 직장온도가 약 0.7°C 상승하고 후드아래의 피부온도는 최고 55.5°C까지 올라갔다고 보고하였다(Eglin et al, 2004).

소방방화복은 고온의 열과 화염 위험한 물체로부터 소방공무원의 신체를 보호함과 동시에 작업 활동으로 인해 발생한 신진 대사열과 땀의 방출을 억제하여 신체의 온도조절능력을

소방용 보호장구 착용시 주위온도변화에 따른 신체반응

그림 1. 운동시간에 대한 평균피부온도, 운동자각도, 갈증감, 온냉감

떨어뜨리고 신체온도 상승을 초래하게 된다. 신체 온도상승은 체온조절능력의 저하와 호르몬과 면역계에 상당한 영향을 끼쳐 열스트레스를 유발하게 되며 열중증이 발생할 가능성이 증가한다. 따라서 온도경감을 위한 소방방화복의 개선과 체온 냉각방법에 대한 연구가 매우 필요하다고 판단된다.

운동자각도(RPE, Rating of Perceived Exertion)는 운동이 진행됨에 따라 실험자들은 힘들어 하였으며 12분경에는 “매

우 힘들다"라고 하였다. 시작 시에는 WBGT 25°C, 30°C의 차이가 거의 발생하지 않았으나 3분경이 온도가 높은 WBGT 30°C의 경우에 운동자각도가 높게 나타났으며 이후 그 차이는 점점 줄어들었다. 운동자각도는 주관적으로 느껴지는 "힘듦"의 정도를 나타낼 수 있으며, 이러한 느낌은 신체적 스트레스, 체력수준, 환경조건 등에 영향을 받는다(ACSM, 2006).

화재진압, 구조 등의 소방활동은 신체적으로 많은 부담이 되며 신체적인 피로의 자각도가 시간이 지남에 따라 증가하게 된다. Richard의 연구에서 18분간 표준형 소방방화복과 신형 방화복을 착용 경우에 대하여 실험한 결과 운동자각도는 방화복간의 차이는 거의 없었으며, 시간이 주요한 변수라고 보고하였다(Richard, 2008). 따라서 소방공무원의 안전을 위한 작업시간에 대한 보다 자세한 연구가 필요하다고 사료된다.

갈증감(Thirst sensation)은 운동시간이 지남에 따라 증가하였으며 12분경에는 실험자들이 매우 목말라 하였다. 실험이 진행됨에 따라 체온상승과 더불어 땀의 배출이 진행되어 신체는 탈수가 된다. 따라서 갈증감은 더욱 증가하게 된다. 즉, 일선에서 소방활동을 전개하기 전에는 충분한 수분을 섭취하여 탈수를 예방하여야 한다.

온냉감(Thermal sensation)은 운동시작 전에는 온도가 높은 WBGT 30°C의 경우에 조금 높게 나타났으나 시간이 지남에 따라 그 차이는 줄어들었으며 12분경에는 두 가지 경우 모두 매우 더워하였다.

주위 온도 WBGT 30°C의 경우 운동을 마칠 때의 평균피부온도는 약 37.2°C에 도달하며 방화복과 피부사이의 습도는 거의 100%까지 상승한다. 따라서 이러한 환경에서는 열생산과 열방산의 균형이 무너지게 되어 급격히 체온이 상승하여 심부체온까지 상승하게 된다. 즉 뇌의 시상하부에 존재하는 체온조절기능이 저하하여 의식장애, 신부전, 호흡부전 등이 발생하여 생명에 영향을 미치게 된다(서영환 등, 2006).

3.2 최대지친상태에서의 신진대사반응

표 2에 최대지친상태에서의 신진대사반응을 나타내었다.

운동 수행시간(EX time)은 WBGT 25°C의 경우 738.6±74.10 sec, WBGT 30°C의 경우는 757.1±47.79 sec로서 WBGT 30°C의 경우가 운동시간이 약 2.5% 높게 나타나고 있으나 통계적으로 유의하지 않았다.

최대산소섭취량(VO_2max)은 WBGT 25°C의 경우 49.1±3.94 ml/kg/min, WBGT 30°C의 경우는 59.7±4.88 ml/kg/min로서 WBGT 30°C의 경우가 약 21.6% 높게 나타났으며 통계적으

로 유의하게 나타났다($p<.05$). 최대산소섭취량은 체력수준 또는 심혈지구력을 예견할 수 있는 유력한 지표로 이용되고 있을 뿐만 아니라, 심혈관계질환의 임상적 징후를 검사하는 유용한 방법이다. 실험의 결과 주위 온도가 높을수록 더 많은 산소를 섭취하는 것으로 나타났다.

대사당량(MET)은 안정시의 산소 소비를 1MET로 환산한 것(ACSM, 2006)으로 WBGT 25°C의 경우 14.0±1.13 METs, WBGT 30°C의 경우 17.1±1.39 METs로서 대사당량은 약 22.1% 높게 나타났으며, 통계적으로 유의하게 나타났다($p<.05$). 이는 휴식시의 산소소비량의 14.0배와 17.1배에 해당하는 운동의 강도 또는 에너지소비량을 나타내는 것을 의미한다.

소방공무원의 에너지 소비대사당량은 약 8~12 METs로 일반적으로 앉아서 작업하는 사무직의 경우 1.5~2 METs에 비하면 상당히 많은 에너지를 소비하며 직업군중 최고의 작업 강도를 가진다(최대혁 등, 2008). 하지만 본 연구에서처럼 고온의 주위 환경에서는 더 많은 에너지를 소비하고 있음을 나타내고 있으며 이에 대한 보다 자세한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

체중감소(weight loss)는 WBGT 25°C의 경우 0.48±0.39 kg, WBGT 30°C의 경우 0.70±0.24 kg로서 약 45.8% 증가하였으나 통계적으로 유의하지는 않았다($p>.05$).

체중감소의 대부분은 발한으로 이루어지며, 발한은 체온이 상승할 때 적극적으로 증발에 의한 방열량을 증대시키는 작용을 의미한다. 체열을 발산시키는데 가장 불리한 환경조건은 무덥고 동시에 습도가 높은 조건으로 화재현장에서의 소방방화복을 착용한 소방공무원의 조건과 매우 유사하다. 이에 대하여 Rossi의 연구는 실제 소방훈련에서의 소방방화복의 습도는 거의 80~100%에 이르며 이는 열탕효과에 의한 화상의 위험성이 있다고 보고하였다(Rossi, 2003). 또한 다량의 발한에 의한 체내 수분손실은 혈액의 농축을 심화시켜 신체의 순화 및 체온조절 부담을 가중시킬 수 있다고 하였다(정일규 등, 2006). 이에 따라 미국 USDHA/USFA에서는 소방공무원의 탈수증 예방과 심부온도 저감을 위하여 SCBA 착용시 20분 작업 후 휴식시간 10분 동안 10~35°C의 물 56.6~113.2 g(2~4oz)를 섭취하도록 권고하고 있다(USDHA/USFA, 2008). 또한 NFPA 1584에서는 처음 한 시간 작업 후 약 1 l(32oz), 마지막 작업 후에는 0.5 l(16oz)이상의 물 또는 전해질이 포함된 스포츠음료를 마실 것으로 규정하고 있다(NFPA, 2007). 향후 이에 대한 자세한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

표 2. 최대지친상태에서의 신진대사반응

Variables	WBGT 25°C	WBGT 30°C	df	t	p
EX. time(sec)	738.6±74.10	757.1±47.79	14	-.593	.562
VO_2max (ml/kg/min)	49.1±3.94	59.7±4.88	14	-4.788	.000
MET	14.0±1.13	17.1±1.39	14	-4.781	.000
Weight loss(kg)	0.48±0.39	0.70±0.24	14	-1.386	.187

mean±SD; EX. time: exercise during time; VO_2max : peak maximal oxygen uptake; MET: metabolic equivalent

4. 결 론

본 연구에서는 소방용 보호장구 착용시 주위 온도변화에 따른 신체반응을 연구하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 하며 연구결과는 다음과 같다.

- 1) WBGT 25°C에서는 약 1.3°C, WBGT 30°C에서는 약 1.5°C의 평균피부온도 상승이 나타났다.
- 2) 최대산소섭취량($VO_2\max$)은 WBGT 25°C의 경우 49.1 ± 3.94 ml/kg/min, WBGT 30°C의 경우는 59.7 ± 4.88 ml/kg/min로서 WBGT 30°C의 경우가 약 21.6% 높게 나타났다으며 통계적으로 유의하게 나타났다($p < .05$). 즉 주위 온도의 상승은 최대산소섭취량에 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- 3) 대사당량(MET)은 WBGT 25°C의 경우 14.0 ± 1.13 METs, WBGT 30°C의 경우 17.1 ± 1.39 METs로서 대사당량은 약 22.1% 높게 나타났으며, 통계적으로 유의하게 나타났다($p < .05$). 이는 주위 온도의 상승에 따라 더 많은 에너지를 소모하고 있는 것으로 판단된다.
- 4) 체중감소(weight loss)는 WBGT 25°C의 경우 0.48 ± 0.39 kg, WBGT 30°C의 경우 0.70 ± 0.24 kg로서 약 45.8% 증가하였으나 통계적으로 유의하지는 않았다($p > .05$).

이상의 결과를 종합하면 소방용 보호장구 착용시 주위온도는 신체에 상당한 영향을 미침을 알 수 있다. 그러나 빈번한 화재현장에서의 사고에도 불구하고 고온 환경에서 소방공무원의 신체반응 현상을 이해하지 못하고 있으며, 효과적인 대책이 수립되지 않고 있는 실정이다. 따라서 소방공무원의 직무를 고려한 보다 자세한 연구가 필요하며 이를 통하여 소방공무원의 안전사고예방과 대국민 안전서비스의 향상이 이루어 질 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점으로 연구대상자가 소방전공 학생들로 한정되어 결과를 확대해석하여 일반화하는 것은 한계가 있으며 후속연구에서는 실제의 소방 작업이 소방공무원의 신체에 미치는 영향에 대한 세부적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 결과물은 2011학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원에 의한 것임.

참고문헌

서영환, 위승두 (2006) **스포츠의학 에센스**, 대경북스.
정일규, 윤진한 (2006) **휴먼퍼포먼스와 운동생리학**, 대경북스.
최대혁, 최희남, 전태원 (2008) **파워 운동생리학 제6판**, 라이프사이언스.
ACGIH (1996) TLVs and BEIs. Threshold Limit values for chemical substances and physical agents. Biological Exposure indices, American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

ACSM (2006) ACSM/Guidelines for exercise testing and prescription seventh edition, Lippincott Williams & Wilkins.
ASHRAE (1992) Standard 55-thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE Inc.
Cheung, S.S., McLellan, T.M., Tenaglia, S. (2000) The thermophysiology of uncompensable heat stress: physiological manipulations and individual characteristics, *Sports Med*, Vol.29, pp. 329-359.
Clare M. Eglin, Sue Coles, Michael J. Tipton., (2004) Physiological responses of fire-fighter instructors during training exercises, *Ergonomics*, Vol. 47, Issue 5, pp. 483-494.
Dianne B. engell, Owen Maller (1987), Thirst and fluid intake following graded hypohydration levels in humans, *Physiology & Behavior*, Vol. 40, pp. 229-236.
Fine B.J., Kobrick J.L. (1985) Effect of Heat and Chemical Protective Clothing on Cognitive Performance, US ARMY Research Institute of Environmental Medicine.
ISO Standard 9886 (2004) Ergonomics-Evaluation of thermal strain by physiological measurements Second edition, International Standard Organization, pp. 1-21.
Lawson, J. (1996) Fire fighter's protective clothing and thermal environments of structural fire fighting, NISTIR 5804, National Institute of Standards and Technology.
Moxr, A.R., HENRIQuES, F.C. (1947) Studies of Thermal Injury II. The Relative Importance of Time and Surface Temperature in the Causation of Cutaneous Burns, *The American Journal of Pathology*, Vol. 23, pp. 695-720.
Nas Taylor. (2006) Challenges to temperature regulation when working in hot environments, *Industrial Health*, Vol. 44, pp. 331-344.
NFPA (2007) NFPA 1584 Standard on the Rehabilitation Process for Members During Emergency Operations and Training Exercises, NFPA
NIOSH (1986) Working in hot environments, NIOSH Publication No. pp. 86-112.
Richard L. Jaehne. (2008) Firefighter fatalities and injuries : The role of heat stress and PPE, Illinois Fire Service Institute.
Roll, B.J., Wood, R.J., Rolls, E.T., Lind, H., Lind, W. and Ledingham, J. G.G. (1980) Thirst following water deprivation in humans. *Am. J. Physiol.*, Vol. 239, pp. 476-483.
Rossi René. (2003) Fire fighting and its influence on the body, *Ergonomics*, Vol. 46, Issue 10, pp. 1017-1033.
Sharma, V.M., Sridharan, K., Pichan, G., Panwar, M.R. (1986) Influence of heat-stress induced dehydration on mental functions. *Ergonomics*, Vol. 29, pp. 179-189.
Smith D.L., Petruzzello S.J., Chludzinski M.A., Reed J.J., Woods J.A. (2005) Selected hormonal and immunological responses to strenuous live-fire firefighting drills, *Ergonomics*, Vol. 48, Issue 1, pp. 55-65.
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.
U.S. Department of Homeland Security/United States Fire Administration. (2008) Emergency Incident Rehabilitation, FA-314

◎ 논문접수일 : 11년 06월 13일
◎ 심사의뢰일 : 11년 06월 20일
◎ 심사완료일 : 11년 08월 01일