Fire Sci. Eng., Vol. 32, No. 4, pp. 110-121, 2018
DOI: https://doi.org/10.7731/KIFSE.2018.32.4.110

ISSN : 2508-6804 (Online)
ISSN : 1738-7167 (Print)

[Research Paper]

# 소방용 화학보호복 착용 현장대원의 일상 훈련용 프로토콜 설계 및 활동성 분석

김시국 · 임우섭* · 홍성철**†

호서대학교 소방방재학과 교수, *한국소방산업기술원 책임연구원, **호서대학교 안전환경기술융합학과 교수

# Design of Daily Training Protocol for Field Crews Wearing Chemical Protective Clothing for Firefighting and Analysis of Activity

Si-Kuk Kim · Woo-Sub Lim* · SungChul Hong**†

Professor, Dept. of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

*Senior Researcher, Korea Fire Institute

**Professor, Dept. of Convergence Technology for Safety and Environment, Hoseo University

(Received July 11, 2018; Revised August 8, 2018; Accepted August 8, 2018)

## 요 약

본 논문은 소방용 화학보호복 착용 현장대원의 일상 훈련용 프로토콜 설계 및 활동성 분석에 관한 연구이다. 화학사고 및 화학테러 현장에 최초 투입되는 소방대원들의 대처능력 향상 및 안전성 확보를 위해 총 10단계의 일상 훈련용 프로토콜을 설계하였다. 설계된 프로토콜은 크게 소방용 화학보호복 일상 적응을 위한 광범위 활동 프로토콜(1, 2, 6, 7, 9단계)과 손을 활용한 정밀작업 프로토콜(3, 4, 5단계) 그리고 강한 신체적 부담을 요구하는 프로토콜(8, 10단계)로 구성하였다. 프로토콜에 따른 활동성 측정결과 소방용 화학보호복 착용 시가 미착용 시보다 평균최대심박수는 1단계 20.32%, 2단계 18.69%, 3단계 25.23%, 4단계 34.77%, 5단계 27.44%, 6단계 30.24%, 7단계 25.33%, 8단계 22.25%, 9단계 22.80%, 10단계 20.85% 증가되는 것으로 나타났다. 평균최대호흡수는 1단계 및 2단계를 제외하고 3단계 1.92%, 4단계 4.11%, 5단계 1.24%, 6단계 3.95%, 7단계 0.93%, 8단계 10.23%, 9단계 3.36%, 10단계 15.10% 증가되는 것으로 나타났다.

## ABSTRACT

The present article is concerned with a study on the daily training protocol for field crews wearing chemical protection clothing for firefighting and the analysis of activity. To improve coping ability of & secure safety for firefighting crews initially incorporated in the fields of chemical accident & chemical terror, 10 steps in total of daily training protocol have been designed. The designed protocol is largely composed of the extensive activity protocol for daily adaptation of firefighting chemical protection clothing (steps 1, 2, 6, 7 & 9), the precision operation protocol utilizing hands (steps 3, 4 & 5), and the protocol requiring strong physical burdens (steps 8 & 10). According to the measurement results for activity as a result of the protocol, the average maximum heart rate upon wearing the firefighting chemical protection clothing was shown to increase by step 1 20.32%, step 2 18.69%, step 3 25.23%, step 4 34.77%, step 5 27.44%, step 6 30.24%, step 7 25.33%, step 8 22.25%, step 9 22.80% and step 10 20.85% compared with the time of not wearing them. The average maximum breathing rate was shown to increase by step 3 1.92%, step 4 4.11%, step 5 1.24%, step 6 3.95%, step 7 0.93%, step 8 10.23%, step 9 3.36% and step 10 15.10%, except for steps 1 & 2.

**Keywords :** Chemical protective clothing, Firefighter, Daily training, Protocol, Activity analysis

† Corresponding Author, E-Mail: schong@hoseo.edu, TEL: +82-41-540-9834, FAX: +82-41-540-5370
ⓒ 2018 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

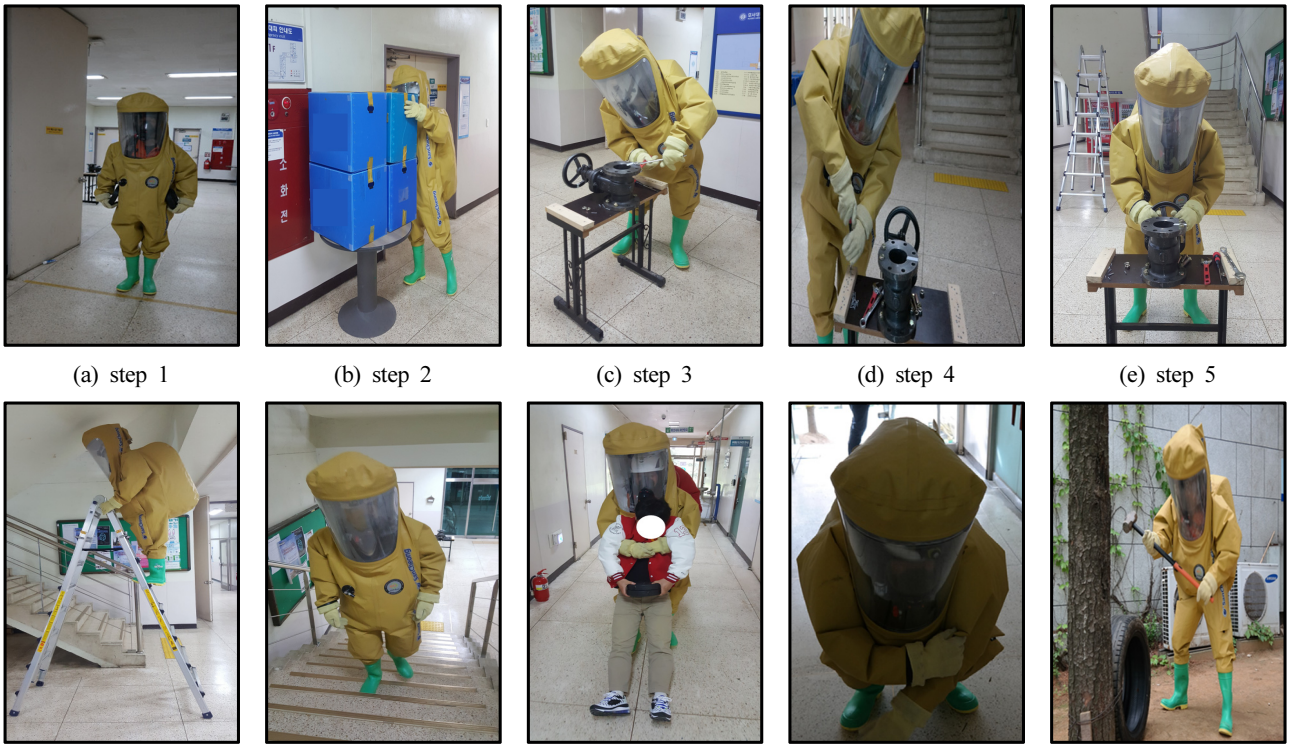
## 1. 서 론

e-나라지표로부터 시계열 조회[1]를 통하여 2013년부터 2017년까지의 화학사고 발생건수를 살펴보면 5년간 연평균 93.4건으로 나타나고 있다. 화학사고는 화재, 폭발, 누출, 기타를 포함하고 있으며 여기서 지표에 산입되지 않은 사고건수를 포함하면 연평균 100건 이상을 상회한다고 봐도 무방하다. 또한, 산업의 발전과 함께 이념, 종교적 문제로 발생하는 국내·외 화학테러 위협의 증가까지 더해지면서 국민의 화학안전에 대한 불안이 증가하는 것이 현실이며, 이에 따른 현장대응요원의 안전 역시 크게 위협받고 있다. 화학물질로 인한 사고현장 및 화학테러 현장에 가장 먼저 투입되어 인명구조 업무 및 초동조치 업무를 수행하는 현장대응요원은 소방대원이다[2]. 화학사고 현장 및 화학테러 현장에 투입되는 일선 현장대원들이 착용하는 화학보호복은 가장 필수적인 안전장치로써 생존력과 업무수행력을 보장하기 위한 가장 중요한 도구이다. 이러한 화학보호복은 한국소방산업기술원(KFI) 인정기준[3]에 의한 소방용 화학보호복과 고용노동부 보호구 안전인증고시에 따른 화학물질용 보호복[4]으로 구분되어 있다. 2016년 이전에 중앙119구조본부 및 소방서에 보급된 화학보호복의 경우 내화학성만 보유하였지만, 2016년 1월 1일부터는 내화학성 및 난연성 그리고 열방호성이 있는 Level A의 소방용 화학보호복 또는 1a형식(긴급용)의 화학물질용 보호복(이하; 소방용 화학보호복)을 보급하고 있다. 이는 화학물질 사고유형 중 화재가 가장 높고, 그다음으로 누출, 폭발 그외 복합적으로 나타는 화재 및 폭발, 화재 및 누출, 폭발 및 누출 등 순으로 나타나[5,6], 화재 및 폭발로부터 현장대원의 안전성을 확보하기 위해서는 3중구조(고무층 / 아라미드층 / 내화학층)의 소방용 화학보호복 착용은 필수적이다. 하지만, 화학물질로부터 소방대원의 안전성을 확보하기 위해 착용하는 소방용 화학보호복은 3중의 다층화 구조로 인한 무게증가[7,8]로 혼자서 착용하기 어렵고 착용상태에서 구조적인 문제로 인해 활동성 저하가 나타나게 된다. 또한, 밀폐구조로 인해 체온상승 및 땀의 과다배출 그리고 땀이 외부로 배출되지 않는 내부 고임 및 내부 김서림 문제가 나타나고 있다. 이로 인해 소방대원이 소방용 화학보호복을 착용하고 작업할 경우 신체적 부담과 정신적 스트레스를 증가를 시키게 되고[7,8] 심지어는 소방대원의 폐쇄공포증이 나타나는 경우가 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 소방용 화학보호복의 지속적인 착용 훈련을 통해 적응성을 향상시키는 것이 필수요소이다. 즉, 소방용 화학보호복 착용 훈련에 대한 프로토콜의 구비는 현장대원의 안전성 확보 및 대응능력 향상에 필수적인 요소이지만, 국내·외적으로 규정된 훈련 프로토콜은 미비한 상태이다. 또한, 화학사고 및 화학테러 현장의 경우 다른 재난사고에 비해 위험성이 매우 높은 사고형태를 지니기 때문에 소방대원의 안전성을 담보할 수 없는 최악의 사태가 발생할 수 있다. 이에 따라 현재 중앙119구조본부에서 화학사고 및 화학테러 대응훈련으로 장비를 이용한 누출방지 활동, 제독, 구조, 경계선 설정, 탐지 외 관련 장비활용법 등의 훈련을 수행하고 있지만, 각 시도별로 위탁교육을 통해 연 1회 정도 훈련을 받고 있는 것에 그치고 있기 때문에 실효성에 대한 문제가 나타난다. 특히, 119화학구조센터가 출동하기까지 사전 현장대응 업무를 수행하는 일선 소방서 소방대원의 경우 자체적으로 지속적인 훈련을 실시하여 안전성 확보 및 철저한 사전대비가 매우 중요하지만, 훈련장비 부족 및 근무자의 시간배분에 있어서 많은 고충을 겪고 있기 때문에 소방용 화학보복을 착용한 일상 훈련이 현재 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이에 따라 각 소방서에서도 간단하면서도 일상적인 반복훈련을 통하여 화학사고 및 화학테러 현장에서 소방대원의 활동성 향상을 통해 안전성을 확보하고, 또한 기존 중앙119구조본부에서 수행되고 있는 훈련에서 부족한 부분을 추가적으로 보완할 수 있는 훈련 프로토콜의 설계가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 소방용 화학보호복 착용상태에서 평상시 반복 훈련을 통하여 화학사고 및 화학테러 현장에서 소방대원이 보다 향상된 활동능력을 발휘하고 안전성을 확보할 수 있도록 일상 훈련용 프로토콜을 설계하였고, 추가적으로 설계된 프로토콜을 바탕으로 활동성 측정을 통해 훈련강도에 따른 소방대원의 심박수 및 호흡수 등의 신체변화를 분석하였다.

## 2. 소방용 화학보호복 착용 현장대원의 일상 훈련용 프로토콜 설계

Figure 1은 화학사고 및 화학테러 현장 일선에 최초 투입되는 현장대원들의 대처능력 향상 및 안전성 확보를 위해 설계된 소방용 화학보호복(이하 ; 소방화학복) 착용 현장대원의 일상 훈련용 프로토콜 설계안을 나타낸 것으로 총 10단계로 설계하였다. Figure 1 (a)은 1단계 훈련을 나타낸 것으로 7 kg 바벨(아령)을 들고 25 m 직선거리를 4회 왕복하여 총 200 m 걷는 훈련으로 설정하였다. 이는 화학물질안전원(National institute of chemical safety; NICS)의 소방방재요원 화학재난 대응과정에 따르면 화학테러 및 화학사고 현장의 경우 현장대원이 대기 중에 누출된 유해화학물질을 검출하기 위해 시료채취장비(AVS-550) 7 kg와 테들러백(10 ℓ)을 들고 사고지점의 원점부근에서 시료를 채취하는 점에서 고안하였다[9]. 또한, 중앙119구조본부에서 발간한 화생방테러·사고 대응매뉴얼에 의하면, 오염지역(Hot zone)의 경우 유해화학물질 사고지역으로부터 바람을 등지고 200 m 이상인 지역으로 설정[10]하고 있어 현장대원이 인명구조 및 시료채취 등 초기대응 등을 위해 최소 200 m을 걸어가야 하는 점을 참고하였다. Figure 1 (b)은 2단계 훈련을 나타낸 것으로 ASTM F1154-11의 규정[11]을 참고하여 30 ℓ이상의 운송용기 4개에 각각 4 kg의 무게로 채운 후 운송용



(a) step 1 (b) step 2 (c) step 3 (d) step 4 (e) step 5

(f) step 6 (g) step 7 (h) step 8 (i) step 9 (j) step 10

**Figure 1.** Protocol design for daily training.

기 4개를 바닥에서 들어서 테이블 위에 올려다가 다시 내려놓는 것으로 설정하였다. Figure 1 (c)은 3단계 훈련을 나타낸 것으로 플랜지 구멍에 완전히 장착된 육각 볼트와 너트 2세트를 렌치와 스패너를 이용하여 완전히 풀고, 다시 반대쪽 플랜지 구멍에 볼트와 너트 2세트를 렌치와 스패너를 이용하여 완전히 장착하는 것으로 설정하였다. Figure 1 (d)은 4단계 훈련을 나타낸 것으로 드라이버를 이용하여 직결피스 나사를 각목에 완전히 조여 박기로 설정하였다. Figure 1 (e) 5단계 훈련을 나타낸 것으로 휠 밸브를 완전하게 잠갔다 완전하게 다시 풀기 4회로 설정하였다. 3~5단계 훈련의 경우 ASTM F1154-11의 규정[11] 참고 및 불산 누출사고 현장에서와 같이 유해가스 누출사고 현장의 경우 초동대응이 밸브 및 틈새 등에서 누출되는 유해가스를 차단하는 조취를 취하기 때문에 작업수행 능력 중 고도의 집중력 및 숙련도 향상을 위해 필요한 손작업 위주로 정하였다. Figure 1 (f)은 6단계 훈련을 나타낸 것으로 ASTM F1154-11의 규정[11]을 참고하여, 2.7 m 이상의 사다리를 이용하여 사다리 5칸까지 두발로 올라갔다 다시 완전히 내려와 두발도 착지하기 3회로 설정하였다. Figure 1 (g)은 7단계 훈련을 나타낸 것으로 계단 3층까지 올라갔다 내려오기로 설정하였는데, 이는 기존 연구논문[12,13] 참고 및 지하철 등과 같은 실내에서 화학테러 발생 시 현장대원이 계단을 이용하여야 한다는 점, 평상시 현장대원이 일상 훈련을 위한 장소인 소방서의 경우 소방차 등의 주차를 위해 층고가 약 3층 높이 정도되는 것을 감안하였다. Figure 1 (h)은 8단계 훈련을 나타낸 것으로 일반 성인남성 체중인 약 70 kg의 요구조자를 들고 20 m 이동하기로 설정하였는데, 이는 기존 연구논문[12,13] 참고 및 화학테러 및 화학사고 현장에서 소방대원의 주된 임무가 인명구조인 것을 주안점으로 두었다. 즉, 소방전술 및 일반적인 화학사고 및 화학테러 시의 행동요령과 관련된 매뉴얼에서는 최소 2인의 현장대원(최대 4인)이 들것을 이용하여 요구조자를 구조하도록 하고 있으나, 본 연구에서는 위급상황을 가정하여 1인 1요구조자의 구조형태로 설정하였으며, 추가적으로 고려된 사항은 현재 중앙119구조본부에서 수행되고 있는 화학사고 및 화학테러 대응훈련에서는 없는 육체적으로 과도한 부하량을 겪는 상태를 설정한 훈련을 대안으로 추가하였다. Figure 1 (i)은 9단계 훈련을 나타낸 것으로 소방화학복 양압을 최대한 제거 후 다시 원상태로 양압을 설정하는 것으로 하였는데, 이는 화학구조대원들과의 면담을 통해 도출된 프로토콜로써 구조대원들이 소방화학복을 입고 좁은 공간을 통과할 때 소방화학복의 양압을 빼고, 다시 통과 후 양압을 설정하는 경우가 종종 있는데, 평상시 훈련이 안되면 어렵다는 요청이 있어 반영하였다. Figure 1 (j)는 10단계 훈련을 나타낸 것으로 5.7 kg 해머를 이용하여 고무타이어 30회 타격하기로 설정하였는데, 이는 극한의 구조현장에서 강인한 체력과 지구력은 필수적으로 현장대원인 확보하고 있어야 할 능력으로 판단되기 때문에 설정하였다.

(a) heart rate monitor (b) breathing rate monitor (c) blood pressure monitor (d) tympanic thermometer (e) body weight scale

**Figure 2.** Experimental equipments.

사전 모의실험을 진행을 통해 일상 훈련용 프로토콜의 훈련시간은 소방화학복을 착용하지 않은 상태에서는 약 13분 이내에 10단계 훈련이 종료되고, 소방화학복을 착용한 상태에서는 약 20분 이내에 10단계 훈련이 종료되는 것으로 나타났다. 이와 같이 소방화학복을 착용한 상태에서 약 20분의 훈련시간을 설정한 이유는 중앙119구조본부 면담결과 소방화학복의 경우 공기호흡기를 착용하고 활동하게 되는데, 일반적으로 소방서에 보급된 공기호흡기의 경우 대부분 45분용(화학구조대 60분용 보급)을 사용하고 있으며, 소방화학복 착용에 따른 활동성 제약, 대원들의 신체조건 및 현장상황에 따라 바뀌는 불규칙한 심호흡수, 이동 및 탈출 시간 제외, 그리고 화학보호복의 양압에 사용되는 공기량을 제외하면, 평균적으로 구조활동에 사용 가능한 공기량은 약 20～30분인 것으로 추정되었다. 특히, 화학테러 및 화학사고 현장에서 미확인물질 및 위험성물질이 노출될 경우 대원들의 심리적 불안감이 더욱 가중되며, 구조상황까지 겹치게 될 경우 실질적인 구조활동 시간은 이보다 더 줄어들 수 있기 때문에 본 프로토콜의 경우 약 20분 이내의 활동시간이 가능하도록 설정하였다.

## 3. 일상 훈련용 프로토콜에 따른 활동성 측정실험

제안된 일상 훈련용 프로토콜을 바탕으로 추가적으로 활동성 측정실험을 진행하여 훈련 단계별 신체변화 및 업무 적합도를 측정하였다.

### 3.1 실험대상 및 실험장비

본 실험의 대상자는 화학사고시 1차적으로 출동하는 현장대원으로 중심으로 분석하고자 아산소방서 119구조대원(이하; 구조대원)의 협조를 얻어 진행하였다. 실험에 참여한 구조대원은 10명으로 신체조건은 나이 34～43세, 키 170～180 cm, 몸무게 71～77 kg, 구조대 근무경력 2～10년으로 실험참여 동의서 작성 및 안전교육실시 후 실험을 진행하였다.

Figure 2는 실험장비를 나타낸 것이다. Figure 2 (a)는 심박수측정기(V800, Polar Electro Inc., Finland)와 전용 심박수 측정센서인 Polar H10 bluetooth HR sensor를 나타낸 것으로 심박수 측정센서를 실험대상자의 가슴에 착용하고, 심박수 측정기를 이용하여 일상 훈련용 프로토콜의 각 단계별 심박수를 실시간 측정하는데 사용하였다. Figure 2 (b)는 호흡수 측정이 가능한 스마트셔츠(Hexoskin smart kit, Carre Technologies Inc., Canada)를 나타낸 것으로 스마트셔츠를 착용하고 일상 훈련용 프로토콜의 각 단계별 호흡수를 실시간 측정하는데 사용하였다. Figure 2 (c)는 자동혈압계(Omron M6, Omron Healthcare Inc., Japan)를 나타낸 것으로 실험 전·후 실험대상자의 혈압변화를 측정하는데 사용하였다. Figure 2 (d)는 고막온도계(IRT-4520, Braun GmbH Inc., Germany)를 나타낸 것으로 실험 전·후 실험대상자의 신체온도변화를 측정하는데 사용하였다. 일반적으로 신체의 온도변화 측정은 7점법을 이용해 귀(고막), 이마, 겨드랑이, 직장(항문), 입 등 여러 부위에서 측정이 가능하나, 본 연구에서는 기존문헌[7,14]을 바탕으로 고막의 온도를 측정하였다. 즉, 고막의 경우 체온 조절 기관인 시상하부와 같은 동맥에서 혈액을 공유하기 때문에 귓속의 온도가 심부 체온을 가장 잘 반영하게 된다[7,14]. 이는 이마나 겨드랑이의 경우 온도는 편리하게 잴 수 있으나, 심부 체온을 잘 반영하지 못하고, 직장의 온도는 심부 체온을 느리게 반영하고, 소방화학복을 입고 훈련 후 측정하기에는 땀범벅인 상태에서 측정에 대한 부담이 작용한다. 입은 심부의 체온을 잘 반영하지만, 섭취한 음식물 및 호흡 등에 따라 온도가 달라질 수 있기 때문에 측정의 편의성 및 정확도를 고려한 고막온도를 대상으로 측정하였다. Figure 2 (e)는 체중계(GL-6000, G-Tech International Co., Korea)를 나타낸 것으로 실험 전·후 속옷(팬티)만 입은 상태에서 체중변화를 측정하여 체수분 감소량을 분석하였다.

### 3.2 실험방법

실험은 설계된 일상 훈련용 평가 프로토콜을 바탕으로 Figure 3과 같이 소방화학복 미착용 상태(Case 1)와 착용 상태(Case 2)로 구분하여 활동성 측정을 실시하였고, 실험대상자인 구조대원들은 심박수측정센서와 스마트셔츠를 착용한 상태에서 모든 실험을 진행하여 각 단계별 심박수 및 호흡수의 변화를 실시간 측정하였다. 또한, 실험 전·후 자

(a) case 1 (b) case 2

**Figure 3.** Experimental conditions.

**Table 1.** Results of Heart Rate and Breathing Rate According to The Step 1 Training

| Item | Heart Rate | | | Breathing Rate | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Maximum | Minimum | Average | Maximum | Minimum | Average |
| Case 1 (a) | 101.67 bpm | 85.67 bpm | 93.00 bpm | 25.67 rpm | 15.67 rpm | 21.33 rpm |
| Case 2 (b) | 122.33 bpm | 102.67 bpm | 115.33 bpm | 23.00 rpm | 17.00 rpm | 19.33 rpm |
| Increase / Decrease Rate (b - a) / a × 100 | 20.32% | 19.84% | 24.01% | -10.40% | 8.49% | -9.38% |
| Increase / Decrease Ratio (b / a) | 1.20 times | 1.20 times | 1.24 times | 0.90 times | 1.08 times | 0.91 times |

동혈압계, 고막체온계, 체중계를 이용하여 신체변화를 추가적으로 확인하였다. 먼저, 소방화학복 미착용 상태의 경우 Figure 3 (a)과 같이 활동복만 입은 상태에서 각 단계별 훈련을 연속으로 진행하였다. 그 후 1시간의 충분한 휴식을 취한 뒤, 소방화학복 착용 상태에서 실험을 진행하였다. 소방화학복 착용 상태의 경우 Figure 3 (b)과 같이 실제 현장에 투입되는 구조대원의 복장과 동일하게 활동복 위에 공기호흡기(45분용)와 면체 그리고 소방헬멧과 면장갑 착용 후 3중구조(고무층 / 아라미드층 / 내화학층)의 Level A 소방화학복(SCA 1800K, SanCheong Co., Korea)을 입은 상태에서 각 단계별 훈련을 연속으로 진행하였다. 이때, 착용한 소방화학복 및 장비의 무게는 약 20 kg 정도로 측정되었고, 사전조사 결과 소방화학복 착용 시 숙련된 구조대원들도 폐쇄공포증이 오는 경우가 종종 있기 때문에 실험의 안전성을 위해 실험 전 응급수신호를 결정 후 실험을 진행하였다. 또한, 각 단계별 훈련속도는 화학테러 및 유해가스 사고 시 현장대원의 안전성 확보가 최우선이기 때문에 조급한 행동을 삼가도록 규정하고 있어, 속보가 아닌 평상시 걸음과 일상 훈련 상으로 실험을 진행하도록 하였다. 실험의 분석은 개인마다 편차가 크기 때문에 각 단계별 최대, 최소, 평균값을 측정하여 가장 높게 측정된 데이터와 가장 낮게 측정된 데이터는 제외하고 8명의 평균값(최대, 최소, 평균)으로 나타내었다.

## 4. 일상 훈련용 프로토콜에 따른 활동성 측정실험결과

Table 1은 1단계 훈련인 7 kg 바벨(아령)을 들고 25 m 직선거리를 4회 왕복하여 총 200 m 걷는 프로토콜의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 심박수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대심박수 101.67 bpm, 평균최소심박수 85.67 bpm으로 측정되었지만, 착용상태에서는 평균최대심박수 122.33 bpm으로 20.32% 증가, 평균최소심박수 102.67 bpm으로 19.84% 증가하는 것으로 측정되었다. 호흡수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대호흡수 25.67 rpm, 평균최소호흡수 15.67 rpm으로 측정되었고, 착용상태에서는 평균최대호흡수 23.00 rpm으로 10.40% 감소, 평균최소호흡수 17.00 rpm으로 8.49% 증가되는 것으로 측정되었다. 1단계 훈련의 경우 심박수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 최대심박수 및 최소심박수에서 1.20배 증가되는 것으로 나타났는데 이는 소방화학복 착용으로 인한 부담감이 다소 증대된 결과로 생각된다. 반면, 호흡수는 심박수처럼 큰 차이를 관찰할 수 없었으나, 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대호흡수는 0.90배로 감소되고, 평균최소호흡수는 1.08배 증가되었는데, 이는 공기호흡기를 통한 호흡으로 인해 평상시보다 구조대원들이 호흡수를 자체적으로 조절하기 때문인 것으로 생각된다.

Table 2는 2단계 훈련인 30 ℓ 이상의 운송용기 4개에 각

**Table 2.** Results of Heart Rate and Breathing Rate According to The Step 2 Training

| Item | Heart Rate | | | Breathing Rate | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Maximum | Minimum | Average | Maximum | Minimum | Average |
| Case 1 (a) | 107.00 bpm | 90.00 bpm | 97.00 bpm | 23.67 rpm | 15.00 rpm | 18.67 rpm |
| Case 2 (b) | 127.00 bpm | 118.00 bpm | 123.67 bpm | 23.67 rpm | 16.67 rpm | 20.33 rpm |
| Increase / Decrease Rate (b - a) / a × 100 | 18.69% | 31.11% | 27.49% | 0.00% | 11.13% | 8.89% |
| Increase / Decrease Ratio (b / a) | 1.19 times | 1.31 times | 1.27 times | 1.00 times | 1.11 times | 1.09 times |

**Table 3.** Results of Heart Rate and Breathing Rate According to The Step 3 Training

| Item | Heart Rate | | | Breathing Rate | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Maximum | Minimum | Average | Maximum | Minimum | Average |
| Case 1 (a) | 107.00 bpm | 88.33 bpm | 96.33 bpm | 26.00 rpm | 18.33 rpm | 22.00 rpm |
| Case 2 (b) | 134.00 bpm | 116.00 bpm | 124.00 bpm | 26.50 rpm | 20.00 rpm | 23.00 rpm |
| Increase / Decrease Rate (b - a) / a × 100 | 25.23% | 31.33% | 28.72% | 1.92% | 9.11% | 4.55% |
| Increase / Decrease Ratio (b / a) | 1.25 times | 1.31 times | 1.29 times | 1.02 times | 1.09 times | 1.05 times |

각 4 kg의 무게로 채운 후 운송용기 4개를 바닥에서 들어서 테이블 위에 올려다가 다시 내려놓는 프로토콜의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 심박수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대심박수 107.00 bpm, 평균최소심박수 90.00 bpm으로 측정되었지만, 착용상태에서는 평균최대심박수 127.00 bpm으로 18.69% 증가, 평균최소심박수 118.00 bpm으로 31.11% 증가하는 것으로 측정되었다. 호흡수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대호흡수 23.67 rpm, 평균최소호흡수 15.00 rpm으로 측정되었고, 착용상태에서는 평균최대호흡수 23.67 rpm으로 미착용상태와 동일하게 측정되었고, 평균최소호흡수 16.67 rpm으로 11.13% 증가되는 것으로 측정되었다. 2단계 훈련의 경우 심박수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대심박수 1.19배, 평균최소심박수 1.31배 증가되는 것으로 나타났는데, 이는 소방화학복 착용 시간이 길어짐에 따라 전체적인 심박수가 증가되었고, 특히 소방화학복 착용으로 인한 심리적 부담으로 인해 평균최소심박수가 크게 상승하는 것으로 생각된다. 반면, 호흡수는 심박수처럼 큰 차이를 관찰할 수 없었으나, 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최소호흡수가 1.11배 증가되었는데, 이는 심리적 부담으로 인해 평균최소호흡수가 증가된 것으로 생각된다.

Table 3은 3단계 훈련인 플랜지 구멍에 완전히 장착된 육각 볼트와 너트 2세트를 렌치와 스패너를 이용하여 완전히 풀고, 다시 반대쪽 플랜지 구멍에 볼트와 너트 2세트를 렌치와 스패너를 이용하여 완전히 장착하는 프로토콜의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 심박수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대심박수 107.00 bpm, 평균최소심박수 88.33 bpm으로 측정되었지만, 착용상태에서는 평균최대심박수 134.00 bpm으로 25.23% 증가, 평균최소심박수 116.00 bpm으로 27.67% 증가하는 것으로 측정되었다. 호흡수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대호흡수 26.00 rpm, 평균최소호흡수 18.33 rpm으로 측정되었고, 착용상태에서는 평균최대호흡수 26.50 rpm으로 1.92% 증가, 평균최소호흡수 20.00 rpm으로 9.11% 증가되는 것으로 측정되었다. 3단계 훈련의 경우 심박수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대심박수 1.25배, 평균최소심박수 1.31배 증가되는 것으로 나타났다. 이는 기존의 활동복 상태에서 면장갑을 착용한 경우 손작업이 원활하지만, 소방화학복을 착용한 상태에서 손작업을 진행 할 경우 소방화학복에 부착된 3중구조(고무층 / 아라미드층 / 화학층)의 두꺼운 화학보호장갑을 이용한 손작업이 진행되기 때문에 활동제약으로 인한 작업더딤 현상과 볼트와 너트의 조임방향과 풀림방향의 착오로 인한 작업지연 등 심리적인 불안이 가중되어 나타난 것으로 생각된다. 반면, 호흡수는 심박수처럼 큰 차이를 관찰할 수 없었으나, 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최소호흡수 1.02배, 평균최소호흡수 1.09배 증가되었는데, 이는 심박수 증가와 동일하게 나타난 것으로 생각된다.

Table 4는 4단계 훈련인 드라이버를 이용하여 직결피스나사를 각목에 완전히 조여 박기 프로토콜의 활동성 측정

**Table 4.** Results of Heart Rate and Breathing Rate According to The Step 4 Training

| Item | Heart Rate | | | Breathing Rate | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Maximum | Minimum | Average | Maximum | Minimum | Average |
| Case 1 (a) | 99.67 bpm | 92.00 bpm | 96.00 bpm | 24.33 rpm | 20.33 rpm | 22.33 rpm |
| Case 2 (b) | 134.33 bpm | 121.67 bpm | 127.67 bpm | 25.33 rpm | 20.33 rpm | 22.67 rpm |
| Increase / Decrease Rate (b - a) / a × 100 | 34.77% | 32.25% | 32.99% | 4.11% | 0.00% | 1.52% |
| Increase / Decrease Ratio (b / a) | 1.35 times | 1.32 times | 1.33 times | 1.04 times | 1.00 times | 1.02 times |

**Table 5.** Results of Heart Rate and Breathing Rate According to The Step 5 Training

| Item | Heart Rate | | | Breathing Rate | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Maximum | Minimum | Average | Maximum | Minimum | Average |
| Case 1 (a) | 105.67 bpm | 92.33 bpm | 99.00 bpm | 26.67 rpm | 19.67 rpm | 23.00 rpm |
| Case 2 (b) | 134.67 bpm | 126.33 bpm | 130.00 bpm | 27.00 rpm | 20.33 rpm | 24.00 rpm |
| Increase / Decrease Rate (b - a) / a × 100 | 27.44% | 36.82% | 31.31% | 1.24% | 3.36% | 4.35% |
| Increase / Decrease Ratio (b / a) | 1.27 times | 1.37 times | 1.31 times | 1.01 times | 1.03 times | 1.04 times |

결과를 나타낸 것이다. 심박수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대심박수 99.67 bpm, 평균최소심박수 92.00 bpm으로 측정되었지만, 착용상태에서는 평균최대심박수 134.33 bpm으로 34.77% 증가, 평균최소심박수 121.67 bpm으로 29.67% 증가하는 것으로 측정되었다. 호흡수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대호흡수 24.33 rpm, 평균최소호흡수 20.33 rpm으로 측정되었고, 착용상태에서는 평균최대호흡수 25.33 rpm으로 4.11% 증가, 평균최소호흡수 20.33 rpm으로 미착용시와 동일하게 측정되었다. 4단계 훈련의 경우 심박수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대심박수 1.35배, 평균최소심박수 1.32배 증가되는 것으로 나타났다. 이는 3단계 훈련과 동일하게 소방화학복 착용 시 화학보호장갑을 이용한 손작업이 원활하지 않고, 면체를 착용한 상태에서 소방화학복의 안면창을 보고 작업을 진행하여야하기 때문에 피스를 조이는 과정에 고개를 숙이는 경우 시야각이 자유롭지 않은 문제가 복합적으로 작용한 것으로 생각된다. 반면, 호흡수는 심박수처럼 큰 차이를 관찰할 수 없었으나, 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대호흡수가 1.04배 증가되었는데, 이는 심박수 증가와 동일하게 나타난 것으로 생각된다.

Table 5는 5단계 훈련인 휠 밸브를 완전하게 잠갔다 완전하게 다시 풀기 4회 프로토콜의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 심박수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대심박수 105.67 bpm, 평균최소심박수 92.33 bpm으로 측정되었지만, 착용상태에서는 평균최대심박수 134.67 bpm으로 27.44% 증가, 평균최소심박수 126.33 bpm으로 34.00% 증가하는 것으로 측정되었다. 호흡수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대호흡수 26.67 rpm, 평균최소호흡수 19.67 rpm으로 측정되었고, 착용상태에서는 평균최대호흡수 27.00 rpm으로 1.24% 증가, 평균최소호흡수 20.33 rpm으로 3.36% 증가하는 것으로 측정되었다. 5단계 훈련의 경우 심박수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대심박수 1.27배, 평균최소심박수 1.37배 증가되는 것으로 나타났다. 이는 3단계 훈련과 동일하게 소방화학복을 착용 시 화학보호장갑을 이용한 손작업의 활동제약 및 지속적인 작업 등으로 나타난 것으로 생각된다. 반면, 호흡수는 심박수처럼 큰 차이를 관찰할 수 없었으나, 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대호흡수 1.01배, 평균최소호흡수 1.03배 미비하게 증가되었는데, 이는 심박수 증가와 동일하게 나타난 것으로 생각된다.

Table 6은 6단계 훈련인 2.7 m 이상의 사다리를 이용하여 사다리 5칸까지 두발로 올라갔다 다시 완전히 내려와 두발도 착지하기 3회 프로토콜의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 심박수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대심박수 111.33 bpm, 평균최소심박수 98.33 bpm으로 측정되었지만, 착용상태에서는 평균최대심박수 145.00 bpm으로 30.24% 증가, 평균최소심박수 129.33 bpm으로 31.00% 증가하는 것으로 측정되었다. 호흡수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대호흡수 25.33 rpm, 평균최소호흡수 20.67 rpm으로 측정되었고, 착용상태에서는 평균최대호흡수 26.33 rpm으로 3.95% 증가, 평균최소호흡수 21.00 rpm으로 1.60% 증가하는 것으로 측정되었다. 6단계

**Table 6.** Results of Heart Rate and Breathing Rate According to The Step 6 Training

| Item | Heart Rate | | | Breathing Rate | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Maximum | Minimum | Average | Maximum | Minimum | Average |
| Case 1 (a) | 111.33 bpm | 98.33 bpm | 103.33 bpm | 25.33 rpm | 20.67 rpm | 23.00 rpm |
| Case 2 (b) | 145.00 bpm | 129.33 bpm | 136.33 bpm | 26.33 rpm | 21.00 rpm | 23.00 rpm |
| Increase / Decrease Rate (b - a) / a × 100 | 30.24% | 31.53% | 31.94% | 3.95% | 1.60% | 0.00% |
| Increase / Decrease Ratio (b / a) | 1.30 times | 1.32 times | 1.32 times | 1.04 times | 1.02 times | 1.00 times |

**Table 7.** Results of Heart Rate and Breathing Rate According to The Step 7 Training

| Item | Heart Rate | | | Breathing Rate | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Maximum | Minimum | Average | Maximum | Minimum | Average |
| Case 1 (a) | 123.67 bpm | 109.00 bpm | 118.33 bpm | 35.67 rpm | 22.00 rpm | 27.33 rpm |
| Case 2 (b) | 155.00 bpm | 137.67 bpm | 148.00 bpm | 36.00 rpm | 23.00 rpm | 27.67 rpm |
| Increase / Decrease Rate (b - a) / a × 100 | 25.33% | 26.30% | 25.07% | 0.93% | 4.55% | 1.24% |
| Increase / Decrease Ratio (b / a) | 1.25 times | 1.26 times | 1.25 times | 1.01 times | 1.05 times | 1.01 times |

훈련의 경우 심박수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대심박수 1.30배, 평균최소심박수 1.32배 증가되는 것으로 나타났다. 이는 사다리를 이용한 작업의 경우 소방화학복 시 활동성이 원활하지 못하고, 면체 및 소방화학복의 안면창을 이용한 발판확인은 시야각이 제한되기 때문에 자칫 잘못 더딜 경우 낙마사고 등으로 이어질 수 있기 때문에 행동제약 및 심리적부담이 가중된 것으로 생각된다. 반면, 호흡수는 심박수처럼 큰 차이를 관찰할 수 없었으나, 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대호흡수 1.04배, 평균최소호흡수 1.02배 미비하게 증가되었는데, 이는 심박수 증가와 동일하게 나타난 것으로 생각된다.

Table 7은 7단계 훈련인 계단 3층까지 올라갔다 내려오기 프로토콜의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 심박수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대심박수 123.67 bpm, 평균최소심박수 109.00 bpm으로 측정되었지만, 착용상태에서는 평균최대심박수 155.00 bpm으로 25.33% 증가, 평균최소심박수 137.67 bpm으로 26.30% 증가하는 것으로 측정되었다. 호흡수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대호흡수 35.67 rpm, 평균최소호흡수 22.00 rpm으로 측정되었고, 착용상태에서는 평균최대호흡수 36.00 rpm으로 0.93% 증가, 평균최소호흡수 23.00 rpm으로 4.55% 증가하는 것으로 측정되었다. 7단계 훈련의 경우 심박수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대심박수 1.25배, 평균최소심박수 1.26배 증가되는 것으로 나타났다. 이는 6단계 훈련과 동일하게 소방화학복 착용 시 활동성 저하 및 시야각 제한 등으로 인해 행동제약 및 심리적부담이 가중된 것으로 생각된다. 반면, 호흡수는 심박수처럼 큰 차이를 관찰할 수 없었으나, 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대호흡수 1.01배, 평균최소호흡수 1.05배 미비하게 증가되었는데, 이는 심박수 증가와 동일하게 나타난 것으로 생각된다. 또한, 7단계 훈련의 경우 3층 계단 높이를 올라갔다 내려갔다 오기는 유산소운동으로 인해 평균최대호흡수가 전체 훈련단계 중 가장 높게 나타났다.

Table 8은 8단계 훈련인 일반 성인남성 체중인 약 70 kg의 요구조자를 들고 20 m 이동하기 프로토콜의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 심박수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대심박수 136.33 bpm, 평균최소심박수 109.33 bpm으로 측정되었지만, 착용상태에서는 평균최대심박수 166.67 bpm으로 22.25% 증가, 평균최소심박수 145.00 bpm으로 32.63% 증가하는 것으로 측정되었다. 호흡수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대호흡수 29.33 rpm, 평균최소호흡수 20.33 rpm으로 측정되었고, 착용상태에서는 평균최대호흡수 32.33 rpm으로 10.23% 증가, 평균최소호흡수 26.67 rpm으로 31.19% 증가하는 것으로 측정되었다. 8단계 훈련의 경우 심박수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대심박수 1.22배, 평균최소심박수 1.33배 증가되는 것으로 나타났다. 이는 소방화학복 착용 시 내부 양압 및 움직임의 제한을 받기 때문에 요구조자를 운반하기 위한 자세 확보 및 유지가 매우 어렵기 때문에 활동성 저하를 더욱 가중시켜 나타난 것으로 생각된

**Table 8.** Results of Heart Rate and Breathing Rate According to The Step 8 Training

| Item | Heart Rate | | | Breathing Rate | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Maximum | Minimum | Average | Maximum | Minimum | Average |
| Case 1 (a) | 136.33 bpm | 109.33 bpm | 124.33 bpm | 29.33 rpm | 20.33 rpm | 24.33 rpm |
| Case 2 (b) | 166.67 bpm | 145.00 bpm | 158.33 bpm | 32.33 rpm | 26.67 rpm | 30.67 rpm |
| Increase / Decrease Rate (b - a) / a × 100 | 22.25% | 32.63% | 27.35% | 10.23% | 31.19% | 26.06% |
| Increase / Decrease Ratio (b / a) | 1.22 times | 1.33 times | 1.27 times | 1.10 times | 1.31 times | 1.26 times |

**Table 9.** Results of Heart Rate and Breathing Rate According to The Step 9 Training

| Item | Heart Rate | | | Breathing Rate | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Maximum | Minimum | Average | Maximum | Minimum | Average |
| Case 1 (a) | 133.00 bpm | 117.00 bpm | 125.67 bpm | 30.33 rpm | 24.00 rpm | 26.67 rpm |
| Case 2 (b) | 166.33 bpm | 153.00 bpm | 159.67 bpm | 31.35 rpm | 24.95 rpm | 28.33 rpm |
| Increase / Decrease Rate (b - a) / a× 100 | 22.80% | 30.77% | 27.05% | 3.36% | 3.96% | 6.22% |
| Increase / Decrease Ratio (b / a) | 1.23 times | 1.31 times | 1.27 times | 1.03 times | 1.04 times | 1.06 times |

다. 또한, 8단계 훈련의 경우 소방화학복 착용 시 밀폐된 보호복 특성으로 인해 미착용 시보다 육체적 강도가 가장 크게 증가하여 평균최대심박수가 전체 훈련단계 중 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 당초 설계한 과부하 상태의 적응훈련으로 타당하다는 결과를 보여주고 있었다. 호흡수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대호흡수 1.10배, 평균최소호흡수 1.31배 증가되었는데, 이는 8단계 훈련의 경우 운동 강도가 가장 크지만 요구조자 운반시 호흡을 순간적으로 참는 현상이 나타나, 평균최대호흡수는 7단계 훈련보다 낮게 나타났지만, 순간적으로 숨을 몰아서 쉬기 때문에 평균최소호흡수 및 평균호흡수는 7단계 훈련보다 높게 나타난 것으로 생각된다.

Table 9는 9단계 훈련인 소방화학복 양압을 최대한 제거 후 다시 원상태로 양압 설정하기 프로토콜의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 심박수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대심박수 133.00 bpm, 평균최소심박수 117.00 bpm으로 측정되었지만, 착용상태에서는 평균최대심박수 163.33 bpm으로 22.80% 증가, 평균최소심박수 153.00 bpm으로 30.77% 증가하는 것으로 측정되었다. 호흡수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대호흡수 30.33 rpm, 평균최소호흡수 24.00 rpm으로 측정되었고, 착용상태에서는 평균최대호흡수 31.35 rpm으로 3.36% 증가, 평균최소호흡수 24.95 rpm으로 3.96% 증가하는 것으로 측정되었다. 9단계 훈련의 경우 심박수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대심박수 1.23배, 평균최소심박수 1.31배 증가, 호흡수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대호흡수 1.03배, 평균최소호흡수 1.04배 증가되었다. 이와 같은 원인은 9단계 훈련의 경우 양압을 제거하고 다시 양압을 설정하는 프로토콜로 육체적인 부담이 상대적으로 낮은 훈련이지만, 8단계 훈련 후 바로 진행하였기 때문에 상대적으로 심박수 및 호흡수가 높게 나타난 것으로 생각된다.

Table 10은 10단계 훈련인 5.7 kg 해머를 이용하여 고무타이어 30회 타격하기 프로토콜의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 심박수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대심박수 132.67 bpm, 평균최소심박수 120.67 bpm으로 측정되었지만, 착용상태에서는 평균최대심박수 160.33 bpm으로 20.85% 증가, 평균최소심박수 146.67 bpm으로 21.55% 증가하는 것으로 측정되었다. 호흡수의 경우 소방화학복 미착용상태에서는 평균최대호흡수 30.67 rpm, 평균최소호흡수 21.67 rpm으로 측정되었고, 착용상태에서는 평균최대호흡수 35.30 rpm으로 15.10% 증가, 평균최소호흡수 26.00 rpm으로 19.98% 증가하는 것으로 측정되었다. 10단계 훈련의 경우 심박수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대심박수 1.21배, 평균최소심박수 1.22배 증가되었고, 호흡수는 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대호흡수 1.15배, 평균최소호흡수 1.20배 증가되었다. 10단계 훈련의 경우 8단계 훈련다음으로 육체적 강도가 크기 때문에 평균최대심박수가 8단계 및 8단계 훈련으로 증가된 9단계 훈련을 제외하고 높게 나타났으며, 마지막 훈

**Table 10.** Results of Heart Rate and Breathing Rate According to The Step 10 Training

| Item | Heart Rate | | | Breathing Rate | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Maximum | Minimum | Average | Maximum | Minimum | Average |
| Case 1 (a) | 132.67 bpm | 120.67 bpm | 127.00 bpm | 30.67 rpm | 21.67 rpm | 26.00 rpm |
| Case 2 (b) | 160.33 bpm | 146.67 bpm | 155.67 bpm | 35.30 rpm | 26.00 rpm | 31.00 rpm |
| Increase / Decrease Rate (b - a) / a × 100 | 20.85% | 21.55% | 22.57% | 15.10% | 19.98% | 19.23% |
| Increase / Decrease Ratio (b / a) | 1.21 times | 1.22 times | 1.23 times | 1.15 times | 1.20 times | 1.19 times |

**Table 11.** Average Exercise Intensity According to Heart Rate

| Leavel (Heart Rate) | Level 1 (104～114 ppm) | Level 2 (114～133 ppm) | Level 3 (133～152 ppm) | Level 4 (152～171 ppm) | Level 5 (171～190 ppm) |
|---|---|---|---|---|---|
| Exercise Intensity | Very Light | Light | Moderate | Hard | Maximum |
| Case 1 | 59.40% | 38.20% | 2.40% | 0.00% | 0.00% |
| Case 2 | 21.80% | 43.80% | 25.00% | 8.60% | 0.80% |

**Table 12.** Body Change Before and After Training

| Item | Body Temperature Increase | | Body Water Reduction | | Blood Pressure Increase | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Maximum | Average | Maximum | Average | Maximum | Average |
| Case 1 | 0.1 ℃ | 0.06 ℃ | 0 g | 0 g | 28 mmHg | 20 mmHg |
| Case 2 | 0.2 ℃ | 0.08 ℃ | 300 g | 200 g | 52 mmHg | 30 mmHg |

련단계로 인한 육체적 부담 및 호흡법 등으로 인해 평균최대호흡수가 7단계 훈련을 제외하고 두 번째로 높게 나타났고, 평균호흡수는 31.00 rpm으로 10단계 훈련 중 평균호흡수가 가장 높게 나타났다. 즉, 10단계 훈련인 고무타이어 타격의 경우 타격방법에 의해 횟수마다 들숨과 날숨의 호흡을 진행하기 때문에 호흡수가 증가된 것으로 생각된다.

Table 11은 일상 훈련용 프로토콜에 따른 훈련단계별 활동성 측정 시 심박수 측정기인 Polar에서 제공하는 심박수에 따른 평균운동강도 결과를 나타낸 것이다[15,16]. 심박수에 따른 운동강도는 크게 워밍업단계인 level 1부터 호흡과 근육을 최대로 사용하는 level 5단계로 구성된다[15,16]. 일상 훈련용 프로토콜의 심박수에 따른 평균운동강도의 경우 소방화학복 미착용 상태에서는 level 1 59.40%, level 2 38.20%, level 3 2.40%로 측정되었지만, 소방화학복 착용 상태에서는 level 1 21.80%, level 2 43.80%, level 3 25.00%, level 4 8.60%, level 5 0.8%로 평균운동강도가 크게 증가하는 것으로 측정되었다.

결과적으로 동일한 훈련 프로토콜을 가지고 평가 했을 때 소방화학복 미착용 시 활동성의 제약이 거의 없기 때문에 훈련강도의 부담이 크게 가진 않지만, 유해화학물질로부터 현장대원의 안전성을 확보하기 위해 3중구조의 밀폐된 소방화학복을 착용할 경우 활동성 저하 및 심리적 부담 등으로 인해 에너지 소모가 크게 증가되면서 심박수의 상승으로 이어져 평균운동강도가 최고 level인 level 5까지 상승하는 것으로 나타났다. 즉, 앞의 훈련단계별 최대심박수의 경우 평균최대심박수로 나타내어 8단계 훈련에서 평균최대심박수가 166.67 bpm으로 가장 높게 측정되었지만, 구조대원별 세부적으로 분석해보면, 8단계 훈련에서 최대심박수가 182 ppm까지 상승하는 구조대원이 나타나면서 평균운동강도가 level 5까지 측정되었다.

Table 12는 일상 훈련용 프로토콜에 따른 훈련 전·후 신체변화량을 나타낸 것이다. 훈련 전·후 신체변화량의 경우 소방화학복 착용 여부에 따른 신체적 부담감을 확인하기 위해 최대값 위주로 분석을 진행하였다. 소방화학복 미착용 훈련의 경우 훈련 전보다 훈련 직후 체온증가량은 최대 0.1 ℃ 증가, 체수분감소량은 0 g, 혈압증가량은 최대 28 mmHg 증가되는 것으로 측정되었지만, 소방화학복 착용 훈련의 경우 훈련 전보다 훈련 직후 체온증가량은 최대 0.2 ℃ 증가, 체수분감소량은 최대 300 g 감소, 혈압증가량 최대 52 mmHg 증가되어 소방화학복 착용에 따른 신체변화가 크게 나타났다. 즉, 체온증가량의 경우 미비하게 나타났지만, 체수분감소량의 경우 밀폐된 소방화학복 특성상 에너지 소모가 증대되면서 땀 배출이 많아져 체수분감소가 크게 나타났고, 소방화학복 착용에 따른 신체부담으로 혈

압이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 논문은 소방용 화학복 착용 현장대원의 일상 훈련용 프로토콜 설계 및 활동성분석 연구로써 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 화학사고 및 화학테러 현장 일선에 최초 투입되는 현장대원들의 대처능력 향상 및 안전성 확보를 위해 총 10단계의 일상 훈련용 프로토콜을 설계하였고, 크게 세가지의 구성으로 설정하였다. 첫째, 일상적 보호복 적응을 위한 광범위 활동 프로토콜(1, 2, 6, 7, 9단계), 둘째, 손을 활용한 정밀작업 프로토콜(3, 4, 5단계), 강한 신체적 부담을 요구하는 프로토콜(8, 10단계)로 구성하였고, 전체 훈련 프로토콜의 경우 현장대원들의 구조활동 시간을 고려하여 약 20분의 활동시간이 되도록 설정하였다.

2. 일상 훈련용 프로토콜에 따른 활동성 측정결과 소방화학복 착용 시가 미착용시보다 평균최대심박수가 각 단계별 훈련에서 크게 증가하는 것으로 측정되었다. 1단계 20.32%, 2단계 18.69%, 3단계 25.23%, 4단계 34.77%, 5단계 27.44%, 6단계 30.24%, 7단계 25.33%, 8단계 22.25%, 9단계 22.80%, 10단계 20.85% 증가되었다. 평균최대호흡수는 1단계 및 2단계를 제외하고 3단계 1.92%, 4단계 4.11%, 5단계 1.24%, 6단계 3.95%, 7단계 0.93%, 8단계 10.23%, 9단계 3.36%, 10단계 15.10% 증가되었고, 특히 신체적 부하강도가 높은 8단계 및 10단계에서 평균최대호흡수가 크게 증가하였다. 또한, 전체 훈련단계 중 평균최대심박수는 8단계 훈련에서 나타났고, 소방화학복 미착용 시 136.33 bpm, 착용 시 166.67 bpm으로 소방화학복을 착용하였을 때 최대 30.34 bpm이상 심박수가 상승하여, 신체적 부담이 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 평균최대호흡수는 7단계에서 소방화학복 미착용 시 35.67 rpm, 착용 시 36.00 rpm으로 최대호흡수의 큰 차이는 관찰되지 않았다.

3. 일상 훈련용 프로토콜의 심박수에 따른 평균운동강도의 경우 소방화학복 미착용 시 level 1 59.40%, level 2 38.20%, level 3 2.40%로 측정되었지만, 소방화학복 착용 시 level 1 21.80%, level 2 43.80%, level 3 25.00%, level 4 8.60%, level 5 0.8%로 평균운동강도가 크게 증가하는 것으로 측정되었다. 소방화학복 미착용 시 훈련 직후 체온증가량은 최대 0.1 ℃ 증가, 체수분감소량은 0 g, 혈압증가량은 최대 28 mmHg 증가되는 것으로 측정되었지만, 소방화학복 착용 시 훈련 직후 체온증가량은 최대 0.2 ℃ 증가, 체수분감소량은 최대 300 g 감소, 혈압증가량은 최대 52 mmHg 증가되어 소방화학복 착용에 따른 신체변화가 크게 나타났다.

이상과 같은 결과 소방용 화학보호복 착용은 활동성 저하 및 심리적 부담감이 크게 나타면서 심박수의 증가와 더불어 신체변화에 영향이 크게 나타나는 것으로 관찰되었다. 하지만, 본 실험조건은 개인적인 컨디션 및 신체능력 그리고 숙련도에 따라 결과가 다르게 나타날 수 있으며, 특히 실제 화학사고 현장의 경우 이보다 더 큰 부담으로 인해 전체적인 변화가 더욱 크게 나타날 것이다. 이에 따라 실제 현장을 반영할 수 있는 일상 훈련용 프로토콜의 추가적인 설계가 지속적으로 필요하며, 이를 바탕으로 화학사고 및 화학테러 현장에서 소방대원이 보다 향상된 활동능력을 발휘하고 안전성을 확보할 수 있도록 체계적이며, 지속적인 훈련이 병행되어야 될 것으로 생각된다. 또한, 현재 소방대원의 훈련 시 개개인의 신체적 특성에 대한 객관적인 관리 자료가 없기 때문에 본 연구결과와 같이 일상 훈련용 모니터링 도구로 활용하여, 개인별 지속적인 관찰 및 관리를 통해 소방대원의 대처능력 향상 및 안전성을 확보할 수 있는 기반이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 정부(경찰청, 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 환경부, 소방청)의 재원으로 한국연구재단-국민위해인자에 대응한 기체분자식별·분석기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2017M3D9A1075451).

## References

1. http://www.index.go.kr/potal/stts/idxMain/selectPoSttsIdxSearch.do?idx_cd=4088&stts_cd=408802.
2. J. Chae, “A Study on the Improvement of the Disaster Response System for Hazardous Materials Accidents”, Korean Public Administration Review, Vol. 49, No. 2, pp. 473-506 (2015).
3. Korea Fire Institute (Standard No. 204), “KFI Recognition Standard of Chemical Protective Clothing for Firefighting” (2015).
4. Ministry of Employment and Labor Notice (No. 2017-64), “Safety Certification Notice of Protective Equipment” (2017).
5. J. K. Park, “System Improvement for Chemical Accident Response”, KEI FOCUS, Korea Environment Institute, Vol. 1, No. 2, pp. 1-29 (2013).
6. Gyeonggi-do Fire Service, Inha University, “A Study on the Analysis of Hazardous Material Accident Types and Improvement of Safety Management System”, Research Service Final Report, pp. 1-365 (2016).
7. C. H. Bang and J. S. Kwon, “A Study on the Physiological Response Wearing Fire Chemical Protective Clothing”, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 15, No. 1, pp. 231-236 (2015).
8. R. Ilmarinen, H. Lindholm, K. Koivistoinen and P. Helisten, “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).
9. National Institute of Chemical Safety, "NICS Firefighter Chemical Disaster Response Process" (2014).
10. National 119 Rescue Headquarters, "CBR Terrorism & Accident Response Manual" (2012).
11. ASTM F1154-11, "Standard Practices for Qualitatively Evaluating the Comfort, Fit, Function, and Durability of Protective Ensembles and Ensemble Components" (2011).
12. S. Kim and J. Y. Lee, "Development of Firefighting Performance Test Drills while Wearing Personal Protective Equipment", Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 1, pp. 138-148 (2016).
13. J. M. Deakin, R. P. Pelot, J. M. Smith, J. M. Stevenson, L. A. Wolfe, S. W. Lee, S. P. Jaenen, S. A. Hughes, J. W. Dwyer and A. D. Hayes, "Development of a Bona Fide Physical Maintenance Standard for CF and DND Fire Fighters", Final Report Submitted to Canadian Forces Personnel Support Agency, Queen's University, Kingston, Canada (1996).
14. R. S. Ericson and T. M. Woo, "Accuracy of Infrared Ear Thermometry and Traditional Temperature Methods in Young Children", Heart & Lung: The Journal of Critical Care, Vol. 23, No. 3, pp. 181-195 (1994).
15. https://support.polar.com/e_manuals/M600/Polar-M600-user-manual-Korean/Content/heart-rate-zones.htm.
16. https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=12117742&memberNo=2610633.