[Research Paper]

화학사고 · 테러를 가정한 훈련 시나리오 설계를 위한 현장 대원의 활동성 분석과 훈련방안에 관한 연구

김시국 · 최수길* · 홍성철**†

호서대학교 소방방재학과 교수, *호서대학교 소방방재학과 대학원생, **호서대학교 안전공학과 교수

A Study on the Activity and Training Plan of a Field Crew for the Design of Training Scenarios Assuming Chemical Accidents and Terrorism

Si-Kuk Kim · Su-Gil Choi* · Sung-chul Hong**†

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

*Graduate Student, Dept. of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo Univ.,

**Professor, Dept. of Safety Engineering, Hoseo Univ.

(Received January 20, 2020; Revised January 31, 2020; Accepted February 3, 2020)

요 약

본 논문은 화학사고를 가정한 모의훈련 시나리오 설계 및 반복 훈련을 통한 구조대원의 활동성 분석에 관한 연구이다. 화학사고 및 테러에 의한 실내 현장의 복잡성을 기반으로 대응능력을 극대화하기 위해 2인 1조로 진행되는 12단계의 모의훈련 시나리오를 설계하여 소방대원의 역량 향상을 분석하였다. 모의훈련 시나리오에 따른 활동성 측정결과 최대심박수가 가장 큰 폭으로 하락하는 훈련은 2단계 구간으로 N1은 163 bpm에서 153 bpm, N2는 186 bpm에서 151 bpm, N3는 168 bpm에서 162 bpm, N4는 166 bpm에서 152 bpm으로 감소되는 것으로 나타났다. 허용활동시간의 강도 Level의 경우, 2단계에서 N1은 Level 5에서 Level 3로 감소, N2는 Level 5에서 Level 3로 감소, N3는 Level 4를 유지, N4는 Level 4에서 Level 3로 감소되어 최대허용활동시간이 늘어나는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This article is a study on the activity of rescue workers for designing simulation training scenarios assuming chemical accidents. On the basis of the complexity of the indoor scene in the case of chemical accidents and terrorism, we designed a 12-step simulation training scenario for two teams to analyze the improvement in firefighters' capabilities. On the basis of activity measurement in the simulation scenario, step 2 of training had the most drops in the maximum heart rate, as follow: N1, from 163 bpm to 153 bpm; N2, from 186 bpm to 151 bpm; N3, from 168 bpm to 162 bpm; and N4, from 166 bpm to 152 bpm. In terms of intensity level in the allowable activity time, it was found that in step 2 both N1 and N2 reduced from Level 5 to Level 3, N3 remained at Level 4, N4 reduced from Level 4 to Level 3, and the maximum allowable activity time increased.

Keywords : Firefighter, Training, Relative heart rate, Activity analysis, Chemical protective clothing

1. 서 론

2014년부터 2018년까지의 화학사고 발생건수를 살펴보면 5년간 총 449건의 화학사고가 발생되었다⁽¹⁾. 세부분류로 보면 누출사고 343건, 화재 26건, 폭발 40건, 기타 40건으로 기타의 경우 실험실 사고 등을 의미한다. 여기서 지표에 산

입되지 않은 사고건수를 포함하면 더 많은 화학사고가 발생한다고 봐도 무방하다. 대표적인 화학누출 사고인 구미 불산 사고는 막대한 인명피해 및 재산피해를 발생시켰으며, 이로 인한 현장대응에 관한 전문적인 교육 및 훈련시스템에 대한 요구가 제기되었다⁽²⁾. 불산 가스의 누출 시 대처 요령에서 요구하는 보호장비는 내화학성 보호의, 내화학성

† Corresponding Author, E-Mail: schong@vision.hoseo.edu. TEL: +82-41-540-9834, FAX: +82-41-540-5370

© 2020 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

장갑, 공기호흡기(전면형)를 요구한다⁽³⁾. 이러한 조건들을 만족하는 장비는 Level A(국내 산업안전보건법 분류 기준 1a 형식)의 화학보호복이며, KFI 인정기준에 적합한 화학보호복을 사용하여야 한다. 실제 화학사고 및 화학테러 현장에 초동조치 대원으로 임무를 수행하는 현장대응요원은 소방대원으로 사고 현장에서 사용되는 화학보호복은 가장 필수적인 장비이다. 이러한 화학보호복은 화재, 폭발, 충격, 굽힘 등의 외부적인 요인에 버텨야 하고, 이로 인한 내구성 및 안전성을 확보하기 위해 사용된 3중 구조(고무층/아라미드층/내화학층)의 다층구조로 되어있다. 이러한 재질적 구조에 의한 무게증가와 전신을 감싸고 있는 구조적인 문제로 활동성이 저하된다. 이에 따라 주기적인 훈련을 통하여 적응성 향상 및 신체적 부담을 저감하여야 하지만 훈련 장비 부족 및 근무자의 시간 분배에 있어서 어려움이 발생되고 체계적인 훈련절차에 많은 고충을 겪고 있기 때문에 소방용 화학보호복을 착용한 훈련이 이루어지지 못하고 있다. 또한 실제 소방대원들은 중앙119구조본부에서 화학사고 및 화학테러 대응훈련으로 장비활용법 등의 훈련을 수행하며, 각 시도별 위탁교육을 통한 연 1회 정도의 훈련을 받고 있어 화학테러 및 사고에 의한 일선 소방서 구조대원의 소방용 화학보호복 적응성을 향상시키기엔 턱없이 부족한 실정이다. 이러한 화학사고 및 화학테러에 의한 복합적인 재난 상황 중 실제 화학보호복에 익숙하지 않은 대원들이 착용 후 소방활동 진행 시 쉽게 탈진, 지치는 현상이 발생되고, 화학보호복 특성상 공기호흡기를 착용한 후 화학보호복을 착용하게 되는데, 공기호흡기의 경우 제한된 산소량으로 인하여 실제 호흡수가 미착용 상태에 비해 제한되며, 이로 인한 심박수 및 신체온도, 신체 부담이 가중되는 문제들이 발생된다. 이는 곧 과로로 이어지게 되며, 미숙달된 대원의 경우 이러한 경향들이 더욱 두드러지게 된다. 이러한 호흡을 조절할 수 있는 훈련이 필요하고, 연차별 주기적인 훈련이 더욱 많이 이루어지고 다각적인 평가방안을 가져야 화학보호복 착용상태에서의 활동성 향상과 안전성을 확보할 수 있을 것이다.

기준연구는^{(4),(5)} 화학보호복의 활동성 및 적응성 향상을 위해 고강도의 훈련에 초점을 맞춰 프로토콜을 설계하였고 화학사고 대응에 대한 다중이용시설과 같은 건축물 내에서의 화학물질 노출 시나리오 설계를 통한 훈련 프로토콜을 설계하였다. 하지만 화학사고 및 화학테러 발생 시 폭발 및 화재에 대한 2차 피해를 고려한 현장상황을 적용하지 않았으며, 반복 훈련을 통한 소방용 화학보호복의 적응성 향상여부의 실증 테스트가 이루어지지 않았다. 이에 따라 프로토콜을 설계의 실효성을 검증하여 훈련이 증가될수록 구조대원의 신체적 변화 및 활동성 증대의 유·무를 정량적으로 평가가 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본 논문은 화학사고·테러에 기인한 시나리오 설계 및 반복 훈련을 통한 구조대원의 활동성 분석과 훈련방안에 관한 연구로 실제 화학사고 및 화학테러 현장에서

업무를 수행하는 119구조대원을 대상으로 5회의 훈련을 진행, 심박수 및 호흡수 등의 신체변화를 분석하고 추가적인 최대허용활동시간을 도출하여 반복훈련을 통한 활동량의 증대를 정량적 수치화를 통해 소방대원의 효율적인 훈련방안을 제시하고 또한 향후 대처능력을 향상시킬 수 있는 테스트 베드의 기초데이터로 활용하고자 한다.

2. 최대허용활동시간과 신체부하량 측정

우정사업본부 집배원의 “노동강도와 신체부하량 측정 연구”에서는 심장박동수(이하; 심박수) 이용하여 신체부하량을 평가하는 연구를 진행하였다⁽⁶⁾. 신체활동을 위해서는 산소가 필요하게 되며, 고도의 활동이나 신체적 활동이 많아질 경우 산소를 공급하기 위해 심장은 더욱 빠르게 뛰어야 하기 때문에, 이로 인하여 심장박동은 증가하게 된다. 심박수의 경우 신체활동의 강도와 신체부하량을 반영하는 지표로 활용되고 있다.

119구조대원의 신체조건은 대원마다 다르며, 같은 소방활동을 하더라도 대원마다 분당 심박수가 150회 이상 되기도 하고 분당 170회가 되기도 한다. 따라서 신체조건을 반영하여 신체부하량을 평가하기 위해서는 상대심박수(Relative heart rate, RHR)를 사용하며, 상대심박수를 산출하는 공식은 식(1)과 같다.

$$RHR = \frac{(HR_{work} - HR_{rest})}{(HR_{max} - HR_{rest})} \times 100 (\%) \quad \text{식(1)}$$

여기서, HRwork은 활동 중의 평균심박수[bpm]를 의미하며, HRmax는 최대심박수 [bpm], HRrest는 안정시 심박수를 의미하며, 이러한 상대심박수를 통하여 최대허용활동시간(이하; 허용활동시간)을 산출할 수 있다.

허용활동시간이란 상대심박수를 기준으로 지속적으로 신체활동을 진행할 경우 허용할 수 있는 최대의 신체적 활동시간을 뜻하는 것으로 허용활동시간을 초과하여 활동한다면 육체적 피로가 축적되는 과로에 해당되게 된다. Table 1은 상대심박수와 허용활동시간을 나타낸 표로 상대심박수가 82.0~100%의 경우 허용활동시간은 0.5 h로 해당되고 가장 높은 강도의 신체적 활동으로 Level 5로 분류하였다. 상대심박수 68.0~81.9%일 경우 허용활동시간은 1 h, Level 4로 분류, 상대심박수 53.5~67.9%의 경우 허용활동시간은 2 h, Level 3으로 분류, 상대심박수 39.0~53.4%의 경우 허용활동시간은 4 h, Level 2로 분류, 상대심박수 30.5~38.9%의 경우 허용활동시간은 6 h, Level 1로 가장 낮은 단계를 적용하였다. 이를 통하여 화학사고 및 테러를 가정한 모의 훈련 시나리오를 진행 시 소방대원에게 훈련을 통한 신체적 부하량을 측정하고, 반복훈련을 통해 신체적 부하량의 변화 및 구조대원의 활동성을 분석하는 지표로 활용하고자 한다.

Table 1. Relative Heart Rate and Maximum Allowable Activity Time

Step	Relative Heart Rate (%)	Maximum Allowable Working Time (h)	Level
1	82.0~100	0.5 h	Level 5
2	68.0~81.9	1 h	Level 4
3	53.5~67.9	2 h	Level 3
4	39.0~53.4	4 h	Level 2
5	30.5~38.9	6 h	Level 1
6	16~30.4	8 h More than	usual

Table 2. Simulation Training Scenario

Step	Training Scenario
1	Transferring Disaster Victims from Search A Terrain to Safety
2	Carry the Toolbox and Seal it with a Leaky Wheel Valve Lock and Wrench on the Search A Terrain.
3	First Obstacle Breakthrough after Entering Search Terrain B (Hammer Swing out Fire Doors Five Times)
4	Second Obstacle Breakthrough (Hammer Swing out Fire Doors Five Times)
5	Remove Obstacles Caused by Collapse (Remove Stack of Desk)
6	Third Obstacle Breakthrough (Hammer Swing out Fire Doors Five Times)
7	Ladders Deployed due to Large Obstacles (Entry)
8	Use a Ladder to Pass Through Large Obstacles
9	Repair Toxic Gas Leak Piping (Tapping Pipe Finishing and Wheel Valve Locking)
10	Ladders Deployed due to Large Obstacles (Entry)
11	Use a Ladder to Pass Through Large Obstacles
12	Return to Safety Zone

3. 화학사고 · 테러를 가정한 훈련 시나리오 설계

Table 2는 건축물 내부 화학사고를 가정한 모의 훈련 시나리오의 설계안을 나타낸 것으로 화학사고 및 화학테러 현장에 일선으로 투입되는 구조대원의 대응능력 향상 및 신체적 부하 저감의 평가를 위하여 소방용 화학보호복(이하; 소방화학복) 및 공기호흡기 착용상태에서 2인 1조로 진행되는 총 12단계의 훈련 시나리오다. 해당 시나리오는 기존연구^{(4),(5)}를 통해 도출된 고강도의 훈련을 적용하였고, 화학사고 및 테러에 의한 건축물 붕괴 또는 화재에 의한 현장의 복잡성을 적용하여 시나리오 중 장애물을 루트벨 설치를 통해 구조대원의 대응능력을 극대화 하였고, 심리적 불안감을 고조시키기 위해 화재현장 및 화재 시 발생하는 불안요소인 백색소음을 B 수색지형에 스피커를 이용하여 발생 하였다. 또한 모든 훈련은 2인1조로 해결할 수 있도록 설정하였으며, 훈련 시간은 구조대원의 안전 및 기존연구에 따라 총 25 min으로 설정하였다^{(4),(5)}.

1단계 훈련은 일반 성인남성의 평균 체중인 약 70 kg의 요구조자(마네킹)를 바스켓들것을 사용하여 안전지대로 구출하는 훈련으로 설정하였다. 이와 같이 요구조자를 들것을 이용하여 구출하는 훈련을 설정한 이유는 소방 표준작전절차 및 행동요령에선 소방활동 중 1차적인 주된 임무가

인명구조인 것을 적용 하여 설정하였다. 2단계 훈련은 A 수색 지형에 있는 사고거점 지역의 누출 휠 밸브 잠금 및 파이프 플랜지 구멍에 플랜지 볼트(8개)완전히 체결하기로 설정하였다. 구조대원의 경우 인명구조를 완료할 경우 사고 대응 및 유독가스 확산방지를 위하여 대응조치를 취하여야 하기 때문에 누출지점으로 즉시 이동 후 누출방지작업을 진행 하도록 하였고, 2인 1조로 스페너(총 2개)를 이용하여 플랜지 볼트(8개)를 완전히 체결 하도록 진행 하였다. 3단계 4단계 훈련은 B 수색지형 돌입 후 장애물을 돌파하는 것으로 건축물에 설치되어 있는 방화문을 장애물로 가정하여 해머로 5회 타공 후 진입하는 것으로 설정하였다. 장애물의 경우 화학사고 및 화학테러 발생 시 폭발에 의한 건축물 붕괴 또는 화재에 의한 사고현장의 복잡성을 적용하여 설정하였다. 5단계 훈련은 건축물 붕괴에 의한 장애물 제거 작업으로 책상(16.5 kg) 8개를 2층으로 쌓아 올려 구조대원의 진로를 막아 장애물을 2인 1조로 책상 8개 모두 진로상 제거하는 것으로 설정하였다. 6단계 훈련은 3~4단계와 동일한 방화문을 장애물로 가정하여 해머로 5회 타공 후 진입하는 것으로 설정 하였다. 7~8단계 훈련은 대형 장애물로 인한 사다리를 전개하여 진입 및 통과하는 것으로 설정하였고, 이는 ASTM F1154-11의 규정⁽⁷⁾을 참고하여, 2.7 m 이상의 사다리를 이용하여 장애물 진입 및 통과하는 방안으로 설정하

Figure 1. Experimental equipments.

였다. 9단계 훈련은 B 수색지형에 있는 사고거점 지역의 누출 될 밸브 잠금 및 누출 배관의 테이핑 마감 작업으로 설정하였다. 또한 2단계와 9단계 훈련은 ASTM F1154-11 규정 및 구미 불산누출사고 등과 같이 유해가스사고 현장의 경우 손상 밸브의 누출 및 틈새 등에서 누출되는 유해가스를 확산방지를 위하여 대응조치를 취하기 때문에 2단계와 9단계의 경우 소방화화복을 이용한 작업 수행 시 세밀한 손작업과 집중력이 필요하기 때문에 고도의 집중력 및 숙련도 향상을 위하여 설정하였다. 10~11단계는 7~8단계와 같이 모든 작업을 수행 후 안전지대로 복귀를 위해 대형 장애물에 사다리를 전개진입 및 통과하는 것으로 설정하였다. 12단계는 현장지휘소 및 안전지대로 복귀하는 것으로 복귀 후 모의 훈련 시나리오가 종료되도록 하였다.

4. 훈련 시나리오에 따른 구조대원의 활동성 측정 및 훈련방안

4.1 실험대상 및 실험장비

실험대상은 화학사고시 1선으로 출동하는 현장대원 중 심으로 분석하고자 충청남도 A소방서 119구조대원(이하; 구조대원)의 협조를 얻어 모의 훈련 시나리오에 따른 활동성 측정실험을 진행하였다. 구조대원의 신체조건은 나이 27~41세(평균 32세), 키 167~175 cm(평균 173 cm), 몸무게 62 ~86 kg(평균 73 kg), 소방근무경력 1~11년(평균 4년)으로 실험 전 참여 동의서 작성 및 안전교육을 실시한 후 실험을 진행하였다.

Figure 1은 실험장비를 나타낸 것으로 Figure 1(a)의 심박수측정기(V800, Polar Electro Inc., Finland)와 전용 심박수 측정센서(Polar H10 bluetooth HR sensor)이다. 심박수 측정센서를 흉부에 착용하여, 모의 훈련 시나리오 각 단계별 구조대원의 심박수를 측정하는데 사용하였다. Figure 1(b)의 스마트스처(Hexoskin smart kit, Carre Technologies Inc., Canada)를 착용하여, 각 단계별 구조대원의 호흡수를 측정하는데 사용하였다. Figure 1(c)의 체중계(GL-6000, G-Tech International Co., Korea)를 이용하여 구조대원의 기초데이터인 체중을 측정하는데 사용하였다. Figure 1(d)는 자동혈압계(Omron M6, Omron Healthcare Inc., Japan)를 나타낸 것

으로 해당 기기로 실험 전 구조대원의 혈압 및 심박수를 측정하였고, 혈압계에 측정되는 심박수는 Figure 1(a)의 심박수측정기와 병행 체크를 통하여 구조대원의 안정상태를 확인 후 실험을 진행하였다.

4.2 실험방법

실험은 2인 1조로 A, B, C의 3개 팀으로 구성하고 Table 2의 모의 훈련 시나리오를 바탕으로 1단계에서 12단계까지의 훈련을 휴식 없이 실험을 진행하였다. 또한 구조대원 2인 1조로 이루어진 3개의 팀별 5회의 반복 훈련을 진행하였고, 훈련 미적응 및 불안감이 증대되는 첫 번째 훈련을 제외 후 2~3회의 훈련 데이터 평균값과 4~5회의 훈련 데이터 평균값을 비교 분석하여 반복훈련의 중요성 및 활동량 증대의 유·무를 정량화 하여 구조대원별 소방화화복의 적응성을 확인하고자 한다. 또한 반복 실험이 진행될수록 구조대원이 시나리오를 인지함에 따라 과업을 고의적으로 빠르게 수행하여 심박수 및 호흡수의 증대되는 현상과, 훈련 과업의 완성도가 떨어지는 팀은 신뢰성이 없다고 판단하여 3개의 팀 중 1팀을 선별해 본 정량적 평가 및 분석에 제외하였다.

Figure 2는 실험의 구성도를 나타낸 것으로 H대학교의 제1공학관 1층에서 실험을 진행하였다. 전체적인 실험은 A 수색지점, B 수색지점에 사고거점구역을 이중으로 설정하고 A 수색지점에 화학누출지점 및 요구조자인 마네킹(70 kg)이 위치하도록 설정하였다. B 수색지점은 화재 및 테러폭발에 의해 발생하는 장애물을 설치하여 구조대원의 팀워크와 대처능력을 극대화 할 수 있도록 설정하였으며, 화재현장 및 화재 시 발생하는 2차적인 불안요소인 백색소음을 인가하기 위해 스피커를 이용한 앱(Application)을 재생하였고, 이때 화재 시 울리게 되는 경종 음압기준인 최소 90 dB 이상으로 유지하여 실험을 진행하였다. 실험은 실제 현장 투입 시 복장과 동일하게 소방활동복과 면장갑을 착용한 상태에서 무전기를 소지 후, 1형식(긴급용) 소방화화복(SCA 1800K, SanCheong Co., Korea) 및 Self-contained breathing apparatus(SCBA) 45분용 그리고 구조헬멧을 착용하였다. 이때 착용한 화학보호복과 SCBA의 무게는 약 20 kg 정도이다.

실험의 신뢰성 및 구조대원의 안전성을 위해 각 단계별 훈련 속도는 평상시 걸음과 작업속도로 진행하도록 하였

Figure 2. Block diagram of experiment.

고, 소화화학복에 의하여 폐쇄공포증이 발생하는 경우를 대비해 응급수신호를 결정하였다. 또한 구조대원의 안전을 위해 훈련 중 데이터 측정요원을 제외한 안전요원을 2명 배치하여 실험을 진행하였다. 시나리오 훈련 회차에 따른 심박수(Heart rate) 및 호흡수(Breathing rate) 변화 측정을 통해 허용활동시간을 산출하고 분석하였다.

4.3 활동성 측정결과 및 훈련방안

실험결과는 각 훈련 단계별 2~3회와 4~5회 차수의 평균에 대한 심박수 최대값, 최소값, 평균값 위주로 분석하였다. 팀 A의 대원 1은 N1로 표기하였으며 대원 2는 N2, 팀 B의 대원 3은 N3, 대원 4는 N4로 제시하여 분석하였다. 추가적으로 허용활동시간을 산출하기 위한 각 대원의 기초데이터는 N1의 경우 신장 173 cm, 체중 68.9 kg, 안정시 평균 심박수 66 bpm, 최대심박수 163 bpm이다. N2의 경우 신장 174 cm, 체중 83.7 kg, 안정시 평균 심박수 64 bpm, 최대심박수 186 bpm 이다. N3의 경우 신장 174 cm, 체중 70.2 kg, 안정시 평균 심박수 73 bpm, 최대심박수 174 bpm 이다. N4의 경우 신장 171 cm, 체중 73.6 kg, 안정시 평균 심박수 66 bpm, 최대심박수 179 bpm이다.

Table 3는 1단계 훈련인 A 수색지형 돌입 후 성인남성의 평균 체중인 약 70 kg 요구조자(마네킹)를 바스켓 들것을 사용하여 안전지대로 이동하기의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. N1의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 154 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 153 bpm으로 근소한 차이를 보였으나, 평균 심박수가 4,5회 측정 시 약 12.66 bpm 감소하여 측정되었고 최종적으로 구간내의 상대심박수가 감소한 것을 확인할 수 있었다. N2의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 167 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 146 bpm으로 감소 측정되었다. N3의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 162 bpm으로 4,5회도 동일하게 측정되었으며 N4의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 163 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 156 bpm으로 감소

측정되어 N2와 N4는 4,5회 훈련이 지속 될수록 최대심박수가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 요구조자를 구출할 경우 바스켓 들것은 몸통(머리-몸)에 체중이 집중되어 실리게 되고 이에 따른 무게중심의 쏠림현상으로 인하여 요구조자의 체중이 집중된 대원에게는(N2, N4) 최대심박수가 높게 나타나는 것으로 판단되고 반대로 무게중심의 반대쪽인 들것은 비교적 쉽게 운반할 수 있는 것으로 판단되어 N1와 N3의 비교 편차가 크게 발생하지 않은 것으로 생각된다.

Table 4는 2단계 훈련인 사고거점 지역의 누출 휠 밸브 잠금 및 파이프 플랜지 구멍에 플랜지 볼트(8개) 완전 체결 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. N1의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 163 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 153 bpm으로 10 bpm 감소하였다. N2의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 186 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 151 bpm으로 35 bpm 대폭 감소하는 것으로 나타났다. N3의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 168 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 162 bpm으로 감소하였고 N4의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 166 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 152 bpm으로 14 bpm 감소하였다. 2단계 훈련의 경우 N1, N2는 모든 훈련 중 가장 높게 나타난 최대심박수에 해당되고, N4 또한 최대심박수가 10 bpm 이상 차이는 것을 확인하였다. 이는 부하강도가 가장 높았다는 것을 확인할 수 있는데 휠 밸브 잠금과 플랜치 볼트 8개 완전 체결 훈련은 스페너와 손작업이 주로 사용되어 원활이 진행되어야 하지만 소화화학복의 내부에 면장갑을 착용 하고 소화화학복의 두꺼운 보호장갑을 이용하여 작업을 진행하기 때문에 손동작 제약에 따른 활동성 저하 소화화학복 내부의 면장갑에 의한 미끌림 현상 등 작업을 더디게 하여 심박수가 높게 나타나는데 기인한 것으로 생각된다.

Table 5는 3단계 훈련인 안전지대에서 5.7 kg 해머를 지지하여 5회 타공 후 장애물을 돌파 및 진입하는 것으로 N1의 경우 2,3회 측정 최대심박수보다 4,5회 측정된 최대심박수가 24 bpm 감소한 것을 확인하였고, N2의 경우 14 bpm,

Table 3. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 1 Training)

Item		Training	Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
			Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
Team A	Number 1 (N1)	2 ~ 3	154	114	135.19	40	36	20	24.59	16
		4 ~ 5	153	98	122.53	55	36	15	25.82	21
	Number 2 (N2)	2 ~ 3	167	110	145.15	57	31	16	21.98	15
		4 ~ 5	146	104	127.86	42	26	15	19.85	11
Team B	Number 3 (N3)	2 ~ 3	162	98	133.59	64	38	11	26.49	27
		4 ~ 5	162	91	133.06	71	40	12	27.38	32
	Number 4 (N4)	2 ~ 3	163	123	145.13	40	23	15	18.25	8
		4 ~ 5	156	105	135.59	51	25	14	18.76	11

Table 4. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 2 Training)

Item		Training	Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
			Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
Team A	Number 1 (N1)	2 ~ 3	163	141	153.01	22	41	19	31.43	22
		4 ~ 5	153	106	129.32	47	45	16	30.83	29
	Number 2 (N2)	2 ~ 3	186	152	169.18	34	36	18	27.53	18
		4 ~ 5	151	124	137.96	27	33	18	25.09	15
Team B	Number 3 (N3)	2 ~ 3	168	125	149.47	43	47	18	30.37	29
		4 ~ 5	162	128	142.86	34	43	18	26.82	25
	Number 4 (N4)	2 ~ 3	166	131	146.46	35	25	16	20.53	9
		4 ~ 5	152	124	139.94	28	24	14	18.98	10

N3의 경우 7 bpm, N4의 경우 21 bpm으로 훈련 횟수가 증가할수록 최대심박수가 대폭 감소하는 것을 확인하였다. 이는 지속된 훈련에 의한 노후 후향 및 호흡수 조절 능력 향상 등 적응성이 향상되어 위와 같은 결과가 나타난 것으로 생각된다.

Table 6의 4단계 훈련은 3단계 훈련과 동일하며 N1의 경우 2,3회 측정 최대심박수보다 4,5회 측정된 최대심박수가 17 bpm 감소하였고, N2의 경우 11 bpm, N3의 경우 5 bpm, N4의 경우 2 bpm 감소하는 것을 확인 하였다.

Table 7의 5단계 훈련은 건축물 붕괴에 의한 장애물 제

Table 5. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 3 Training)

Item		Training	Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
			Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
Team A	Number 1 (N1)	2 ~ 3	151	139	146.89	12	37	21	29.56	16
		4 ~ 5	127	119	124.63	8	25	7	11.79	18
	Number 2 (N2)	2 ~ 3	164	153	160.72	11	35	21	29.56	14
		4 ~ 5	150	126	140.79	24	34	22	28	12
Team B	Number 3 (N3)	2 ~ 3	151	141	146.65	10	35	19	25.88	16
		4 ~ 5	144	135	139.76	9	32	19	23.74	13
	Number 4 (N4)	2 ~ 3	169	150	157.72	12	24	19	20.87	5
		4 ~ 5	148	136	143.49	19	22	16	19.39	6

Table 6. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 4 Training)

Item		Training	Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
			Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
Team A	Number 1 (N1)	2 ~ 3	143	138	140.04	5	35	30	32.37	5
		4 ~ 5	126	123	124.5	3	24	18	20.35	6
	Number 2 (N2)	2 ~ 3	165	161	163.19	4	35	28	30.48	7
		4 ~ 5	154	149	152.12	5	33	29	30.92	4
Team B	Number 3 (N3)	2 ~ 3	147	141	144.88	6	26	17	22.36	9
		4 ~ 5	142	132	137	10	38	25	30.72	13
	Number 4 (N4)	2 ~ 3	155	151	152.97	4	23	19	21.06	4
		4 ~ 5	153	144	148.06	9	21	19	20.31	2

거 작업으로 책상(16.5 kg) 8개를 2층으로 쌓아 올려 구조대원의 진로를 막아 장애물을 2인 1조로 제거하는 훈련의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. N1의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 153 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 138 bpm으로 15 bpm 감소 차이를 보였고, N2의 경우 2,3회 측정 심박수 최

대 167 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 153 bpm으로 14 bpm 감소 측정되었다. N3의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 152 bpm으로 4,5회 측정 심박수 최대 144 bpm으로 8 bpm 감소 차이를 보였고 N4의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 160 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 159 bpm으로 1 bpm 감소 측

Table 7. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 5 Training)

Item		Training	Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
			Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
Team A	Number 1 (N1)	2 ~ 3	153	142	148.05	11	38	21	29.01	17
		4 ~ 5	138	124	132.51	14	36	20	28.05	16
	Number 2 (N2)	2 ~ 3	167	161	163.84	6	33	14	24.85	19
		4 ~ 5	153	140	147.73	13	36	25	29.58	11
Team B	Number 3 (N3)	2 ~ 3	152	140	145.98	12	31	10	16.89	21
		4 ~ 5	144	133	139.26	11	27	11	18.53	16
	Number 4 (N4)	2 ~ 3	160	147	153.14	13	25	16	19.51	9
		4 ~ 5	159	144	148.96	15	22	15	18.88	7

Table 8. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 6 Training)

Item		Training	Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
			Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
Team A	Number 1 (N1)	2 ~ 3	148	143	145	5	33	28	31.33	5
		4 ~ 5	139	131	135.35	8	29	23	24.81	6
	Number 2 (N2)	2 ~ 3	165	161	162.25	4	29	27	28.08	2
		4 ~ 5	179	148	150.85	31	33	27	31.15	6
Team B	Number 3 (N3)	2 ~ 3	142	140	141.21	2	16	14	14.79	2
		4 ~ 5	141	135	138.31	6	28	11	18.56	17
	Number 4 (N4)	2 ~ 3	159	149	153.53	10	21	20	20.58	1
		4 ~ 5	154	152	153	2	21	17	19.42	4

정되었다. 5단계의 훈련의 경우 3~4단계 훈련에 비해 최대심박수가 증대되었는데 이는 2인 1조로 진행되어 백색소음으로 인한 의사소통의 불편함과 팀워크를 통한 손작업이 주된 과업이기 때문에 장애물을 내리고 옮기는 과정 중 활동성 제약으로 작업이 효율이 떨어지고 작업을 더디게

하여 심박수가 증대되는 것으로 생각된다. 하지만 이와 같은 훈련도 4,5회 훈련을 통하여 팀워크 능력 상승 및 작업의 활동성 증대로 인한 심리적 안정감으로 최대심박수가 감소하는 것을 확인하였다.

Table 8의 6단계 훈련은 3단계 4단계 훈련과 동일하며

Table 9. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 7 Training)

Item		Training	Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
			Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
Team A	Number 1 (N1)	2 ~ 3	149	139	140.85	10	40	21	29.37	19
		4 ~ 5	142	126	135.82	16	32	19	24.81	13
	Number 2 (N2)	2 ~ 3	165	150	157.12	15	44	16	26.37	28
		4 ~ 5	154	145	150.33	9	37	24	28.73	13
Team B	Number 3 (N3)	2 ~ 3	151	140	144.28	11	35	16	24.23	19
		4 ~ 5	141	128	135.66	13	31	8	14.01	23
	Number 4 (N4)	2 ~ 3	170	152	158.63	18	25	18	20.99	7
		4 ~ 5	158	145	153.03	13	26	16	21.14	10

N2의 경우 최대심박수가 2,3회 측정보다 4,5회 측정이 높게 측정되었고, 이는 대원별 개인능력에 따라 취약한 훈련에 대해서는 4,5회 훈련을 통하여도 역량 향상은 미비한 것으로 생각된다. N2를 제외한 N1, N3, N4의 경우 2,3회 측정보다 4,5회 측정이 N1은 9 bpm, N3은 1 bpm, N4는 5 bpm 감소하여 적응성이 소폭 증대된 것을 확인할 수 있었다.

Table 9의 7단계 훈련은 2.7 m 이상의 사다리를 전개하여 대형 장애물위로 진입하는 훈련으로 N1의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 149 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 142 bpm으로 7 bpm 감소 차이를 보였고, N2의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 165 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 154 bpm으로 11 bpm 감소 측정되었다. N3의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 151 bpm으로 4,5회 측정 심박수 최대 141 bpm으로 10 bpm 감소 차이를 보였고 N4의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 170 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 158 bpm으로 12 bpm 감소 측정되었다. 7단계 훈련의 경우 비교 편차가 크게 발생되었는데 이는 사다리의 경우 안전지대에서 소지 후 대형 장애물에 전개하여 대원별 순차적으로 진입하여야 하며 먼저 진입한 대원의 경우 사다리의 전복을 방지하기 위해 웅크린 후 사다리를 잡아야 하는 경우가 생기고 이때 양압에 의하여 행동 절차가 많아지면서 심리적 부담감이 증대된 것으로 판단된다. 또한 안전창의 시야각이 제한되어 자칫 잘못 더딜 경우 낙상사고 등으로 이어질 수도 있기 때문에 행동제약 및 심리적 부담감이 2,3회 훈련 진행 시 가중된 것으로 판단되고 반복훈련을 통한 4,5회의 안전성 및 작업의 효율성이 증대됨에 따라 최대심박수가 감소되는 것

으로 생각된다.

Table 10의 8단계 훈련은 7단계 훈련과 반대로 대형 장애물 전개 돌입 후 돌파 및 통과하는 훈련으로 사다리를 진행 방향에 이동 설치하여 진행 되었다. 감소 편차는 7단계 훈련보다 미비한 것으로 나타났고, 이는 7단계 훈련 중 양압 제거를 실시한 상태에서 진행되는 훈련이기에 비교적 활동성 제약이 덜한 것으로 판단되며 사다리를 통해 내려가는 훈련으로 올라갈 때와 반대로 발판을 보지 않고 발을 내려 편히 진행될 수 있는 점에 의해 편차가 미비한 것으로 생각된다.

Table 11의 9단계 훈련은 사고거점 지역의 누출 휠 밸브 잠금 및 폭발손상에 의한 노출 배관의 테이핑 마감 훈련으로 N1의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 155 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 149 bpm으로 6 bpm 감소 차이를 보였고, N2의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 181 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 165 bpm으로 16 bpm 감소 측정되었다. N3의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 167 bpm으로 4,5회 측정 심박수 최대 161 bpm으로 6 bpm 감소 차이를 보였고 N4의 경우 2,3회 측정 심박수 최대 179 bpm, 4,5회 측정 심박수 최대 177 bpm으로 2 bpm 감소 측정되었다. 9단계 훈련의 경우 N4는 모든 훈련 단계 중 가장 높게 나타난 최대심박수에 해당된다. 이는 손상에 의한 누출 배관의 테이핑 마감 처리 시 두꺼운 보호장갑을 이용하여 작업을 할 경우 테이프가 뜯기지 않는 현상이 발생되었고 장갑 미끌림 현상 등과 같은 이유로 작업 효율성이 저하되어 나타난 것으로 판단된다. 테이핑 훈련을 진행한 N4의 경우 4,5회 훈련이 진행되어도

Table 10. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 8 Training)

Item		Training	Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
			Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
Team A	Number 1 (N1)	2 ~ 3	148	136	142.65	12	36	28	30.84	8
		4 ~ 5	143	140	140.18	3	33	18	25.89	15
	Number 2 (N2)	2 ~ 3	176	159	168.18	17	40	26	31.97	14
		4 ~ 5	160	148	153.99	12	45	22	30.99	23
Team B	Number 3 (N3)	2 ~ 3	167	143	153.59	24	26	14	19.02	12
		4 ~ 5	158	136	144.76	22	28	16	21.19	12
	Number 4 (N4)	2 ~ 3	178	165	170.28	10	28	19	23.69	9
		4 ~ 5	175	157	165.59	21	29	21	24.35	8

Table 11. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 9 Training)

Item		Training	Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
			Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
Team A	Number 1 (N1)	2 ~ 3	155	139	144.11	16	38	21	29.01	17
		4 ~ 5	149	136	143.71	13	40	25	32.44	15
	Number 2 (N2)	2 ~ 3	181	162	173.15	19	37	20	28.79	17
		4 ~ 5	165	153	159.39	12	38	23	27.94	15
Team B	Number 3 (N3)	2 ~ 3	167	154	161.35	13	42	16	23.46	26
		4 ~ 5	161	151	156.72	10	40	17	24.61	23
	Number 4 (N4)	2 ~ 3	179	173	176.63	6	26	18	22.81	8
		4 ~ 5	177	151	165.59	26	25	19	22.41	6

최대심박수의 감소현상은 크게 발생되지 않는 것으로 나타났다. 대원별 취약한 훈련에 대해서는 4,5회 훈련을 통하여도 역량 향상은 미비한 것으로 나타났다. 이에 따라 지속적인 훈련 및 숙달 훈련을 통하여 대원별 취약한 프로토콜을 분석하여 집중 훈련을 통해 역량 향상을 극대화 하여야 될

것으로 판단된다.

Table 12는 10단계 훈련으로 7단계 훈련과 동일하며 N1의 경우 2,3회 측정 최대심박수보다 4,5회 측정된 최대심박수가 7 bpm 감소하였고, N2의 경우 10 bpm, N3의 경우 5 bpm, N4의 경우 13 bpm 감소하는 것을 확인하였다. Table

Table 12. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 10 Training)

Item		Training	Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
			Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
Team A	Number 1 (N1)	2 ~ 3	162	155	159.45	7	33	28	30.55	5
		4 ~ 5	139	136	137.11	3	36	26	29.39	10
	Number 2 (N2)	2 ~ 3	170	162	166.64	8	26	24	24.55	2
		4 ~ 5	160	157	158.39	3	38	27	33.89	11
Team B	Number 3 (N3)	2 ~ 3	165	160	162.13	5	31	19	26	12
		4 ~ 5	160	153	155.56	7	22	18	20.17	4
	Number 4 (N4)	2 ~ 3	172	168	170.44	4	23	18	21.44	5
		4 ~ 5	159	152	156	7	26	19	22.17	7

Table 13. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 11 Training)

Item		Training	Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
			Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
Team A	Number 1 (N1)	2 ~ 3	163	153	157.28	10	42	25	32.25	17
		4 ~ 5	156	137	148.95	19	35	23	29.39	12
	Number 2 (N2)	2 ~ 3	168	159	165.02	9	32	19	25.36	13
		4 ~ 5	166	160	163.32	6	39	23	30.58	16
Team B	Number 3 (N3)	2 ~ 3	173	160	166.17	14	26	11	17.89	15
		4 ~ 5	160	147	153.7	13	24	17	19.42	7
	Number 4 (N4)	2 ~ 3	177	168	172.74	9	26	16	21.39	10
		4 ~ 5	176	160	170.59	19	27	21	23.92	6

13는 11단계 훈련으로 8단계 훈련과 동일하며 N1의 경우 2,3회 측정 최대심박수보다 4,5회 측정된 최대심박수가 7 bpm 감소하였고, N2의 경우 2 bpm, N3의 경우 14 bpm, N4의 경우 1 bpm 감소하는 것을 확인하였다. N3은 총 훈련 중 가장 높은 심박수가 발생되었다. 위 결과를 통해 대원

별 신체적 능력 및 개인역량에 따라 훈련 중 느끼는 최대 강도는 개인차이가 있으며 이러한 결과를 통해 취약한 프로토콜을 분석하여 역량 향상을 극대화가 필요할 것으로 판단된다.

Table 14는 12단계인 현장지휘소 및 안전지대로 복귀하

Table 14. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 12 Training)

Item	Training	Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
		Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
Team A	Number 1 (N1)	2 ~ 3	163	143	155.87	20	43	27	33.69
		4 ~ 5	155	153	154.19	2	35	20	27.21
	Number 2 (N2)	2 ~ 3	175	164	169.11	11	37	18	26.14
		4 ~ 5	163	158	160.72	5	31	20	25.29
Team B	Number 3 (N3)	2 ~ 3	174	168	170.04	6	15	9	11.31
		4 ~ 5	161	154	157.62	7	30	20	25.28
	Number 4 (N4)	2 ~ 3	177	172	175.34	6	29	20	23.8
		4 ~ 5	176	170	174.11	9	31	22	28.06

(a) Lap by sections/relative heart rate (N1)

(b) Lap by sections/relative heart rate (N2)

(c) Lap by sections/relative heart rate (N3)

(d) Lap by sections/relative heart rate (N4)

Figure 3. Lap by sections/relative heart rate (Maximum allowable activity time)

는 것으로 N1의 경우 2,3회 측정 최대심박수보다 4,5회 측정된 최대심박수가 8 bpm 감소하였고, N2의 경우 12 bpm, N3의 경우 13 bpm, N4의 경우 1 bpm 감소하는 것을 확인하였다.

Figure 3은 대원별(N1, N2, N3, N4) 상대심박수를 통해 훈련 단계별 허용활동시간과 강도를 나타내는 그래프로써 N1의 경우 12단계의 훈련 절차 중 2,3회 측정 시 Level 5의 강도는 전체 훈련 중 50%(6개)로 분포되어 도출되었고,

Level 4의 강도 또한 50%(6개)로 분포되어 나타났다. 4,5회 측정 시 Level 5의 강도는 16.7%(2개), Level 4의 강도는 50%(6개), Level 3의 강도는 33.3%(4개) 분포되어 전체적인 강도 Level 비율이 하락 되었다.

N2의 2,3회 측정 시 Level 5의 강도는 50%(6개), Level 4의 강도는 41.7%(5개), Level 3의 강도는 8.3%(1개)로 분포되었고, 4,5회 측정 시 기존 측정되었던 Level 5는 측정되지 않았으며, Level 4의 강도가 75%(9개)로 측정되었다. Level 3의 강도는 16.7%(2개), Level 2의 강도 8.3%(1개)로 측정되어, N2 대원의 경우 모든 대원 중 가장 큰 폭으로 강도가 하락한 것을 확인할 수 있었다.

N3의 2,3회 측정 시 Level 5의 강도는 33.3%(4개), Level 4의 강도는 50%(6개), Level 3의 강도는 16.7%(2개)로 나타났다. 4,5회 측정 시 Level 5의 강도는 16.7%(2개), Level 4의 강도는 33.3%(4개), Level 3의 강도는 50%(6개)로 기존 2,3회 측정 시 나타났던 Level 3의 강도는 16.7%로 비율이 가장 낮은 반면, 4,5회 측정 시 Level 3의 강도는 50%로 약 33.3% 증대되어 전체적인 업무 강도가 하락한 것을 확인할 수 있었다.

N4의 2,3회 측정 시 Level 5의 강도는 58.3%(7개), Level 4의 강도는 41.7%(5개)로 분포되었고, 4,5회 측정 시 Level 5의 강도는 33.3%(4개), Level 4의 강도는 50%(6개), Level 3의 강도는 16.7%(2개)로 Level 5의 경우 기존 2,3회 측정보다 25%감소, 되었고, 측정되지 않았던 Level 3의 강도가 16.7%로 측정되면서 전체적인 허용활동시간의 강도가 낮게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

N1의 경우 2단계의 훈련이 최대심박수가 가장 높게 나와 강도가 높은 훈련이지만, 4,5회 측정 시 Level 3으로 하락되어 적응성 및 활동성이 개선된 것을 확인할 수 있었다. 또한 Level 5또는 4로 높게 분포되었던 1~4단계의 훈련이 4,5회 측정 시 Level 3으로 하락되어 신체부담이 감소한 것을 확인할 수 있었다. N1과 N2의 경우 4,5회 측정 시 활동성 및 적응성이 향상되어 업무 강도가 하락한 경우로 반복 훈련을 통한 신체적 변화와 숙련도가 가장 빠른 대원으로써 반복 훈련을 통한 활동성 증대를 확인하였다. 하지만 N4의 경우 강도가 높게 나온 8,9,11,12단계는 4,5회 훈련을 진행하여도 가장 높은 강도로 측정되었고 이를 통해 대원의 개인능력에 따라 취약한 훈련에 대해서는 4,5회 훈련을 통하여도 역량 향상은 미비한 것으로 나타났다. 이에 따라 지속적인 훈련 및 숙달을 통하여 대원별 취약한 프로토콜을 분석해 집중 훈련을 통한 역량 향상을 목표로 하여야 될 것으로 판단된다. 또한 상대심박수를 이용한 최대허용활동시간 지표를 활용하여 반복훈련을 통한 대원별 취약 프로토콜을 식별하는 것이 매우 중요 할 것으로 생각된다. 추가적으로 각각 대원의 적응성 및 활동성이 빠르게 개선되는 훈련은 배제하여 취약성훈련을 진행하는 것이 1회 훈련의 효율성을 높이는 방안으로 판단된다.

5. 결 론

화확사고·테러를 가정한 훈련 시나리오 설계 및 반복 훈련을 통한 구조대원의 활동성 분석 연구에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 반복훈련을 통한 구조대원의 활동성 분석을 위하여 기존연구를 통해 도출된 고강도의 훈련을 적용하였고, 화확사고 및 테러에 현장의 복잡성을 적용하여 12단계의 훈련 시나리오를 2인 1조로 해결할 수 있도록 설정하였다.

2. 훈련 시나리오를 통한 구조대원의 활동성 측정결과 반복 훈련에 따른 구조대원의 최대심박수가 가장 큰 폭으로 하락한 2단계의 경우 N1의 163 bpm에서 153 bpm으로, N2의 186 bpm에서 151 bpm으로, N3의 168 bpm에서 162 bpm으로, N4의 166 bpm에서 152 bpm으로 감소되어 나타났다. 같은 구간에서 허용활동시간의 강도 Level 또한 N1의 경우 Level 5에서 Level 3로, N2의 경우 Level 5에서 Level 3로, N3의 경우 Level 4를 유지하였고, N4의 경우 Level 4에서 Level 3로 나타나 반복훈련에 의한 활동성의 증대를 확인할 수 있었다. 또한 모든 대원 중 가장 큰 폭으로 강도가 하락한 N2대원의 경우 2,3회 측정 시 Level 5의 강도는 50%, Level 4의 강도는 41.7%, Level 3의 강도는 8.3%로 분포되었고, 4,5회 측정 시 기존 측정되었던 Level 5는 0%로 측정되지 않았으며, Level 4의 강도는 75%로 33.3% 증가 된 것으로 보이나 Level 5가 하락 되면서 하위 강도에 내포되었고, Level 3의 강도는 8.3% 증가되었으며, 측정되지 않았던 Level 2의 강도가 8.3% 측정되어 최대허용활동시간의 강도가 낮게 측정된 것을 확인할 수 있었다. 하지만 N4대원의 경우 2,3회 훈련을 진행하여 Level 5 강도로 측정된 8,9,11,12단계는 4,5회 훈련을 진행하여도 Level 5로 유지·분포되어 하락되지 않고 높게 측정된 것을 확인하였다.

3. 이상과 같은 반복훈련을 통해 모든 훈련 단계에서 최대심박수가 저하되어 최대허용활동시간의 강도가 낮게 나타나 활동성 및 신체적 능력이 향상되었지만, 일부 대원에게 크게 반영되지 않고 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 개인 능력 및 신체적 특성에 따라 반복훈련을 통하여도 숙련도 또는 역량향상이 부족한 대원으로 취약한 훈련 부분이 도출되는 것이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서 제안된 모의훈련 시나리오와 같이 화확보호복을 착용한 지속적인 훈련 및 숙달 훈련을 통해 대원별 취약한 프로토콜을 식별하고 집중 훈련을 실시하여 분야별 역량 향상이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구를 통해 제안될 수 있는 체계적 방법은 훈련 설계에 있어서 상위 레벨의 모듈을 배치하고, 배치 된 레벨의 훈련허용 강도가 몇 개까지 훈련을 통해 낮출 수 있는가의 형태로 진행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이는 단순한 공기 소모뿐만 아니라 개인의 허용활동강도와 이를 통해 활동성의 한계를 확장하는데 도움이 될 것으로 사료

된다. 추가적으로 본 연구의 경우 개별적인 능력의 한계를 빠르게 파악하기 위해서는 전체 분야별 훈련 진행을 통해 정량해야 하며, 이는 많은 시간이 소요됨을 예상할 수 있다. 따라서 대원 간 최대허용활동시간 지표를 활용하여 취약한 훈련을 도출하고 해당 훈련 프로토콜을 집중적으로 진행하는 것이 필요할 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&freq=Y
2. J. H. Park, "A Study on the System of Education and Training for Chemical Accidents Response in Korea", Doctoral Thesis, Korea Polytechnic University, pp. 1-138 (2019).
3. J. H. Bae, T. G. Hong, J. G. Kim and B. S. Jo, "A Study on Strengthening Response to Chemical Accidents", Industry-Academic Cooperation Foundation, Hanseo University (2016).
4. S. K. Kim, W. S. Lim and S. C. Hong, "Design of Daily Training Protocol for Field Crews Wearing Chemical Protective Clothing for Firefighting and Analysis of Activity", Fire Science and Engineering, Vol. 32, No. 4, pp. 110-121 (2018).
5. S. K. Kim and S. C. Hong, "Designing the Training Scenarios that Assuming Chemical Accidents in the Buildings and Analyzing Activities of Special Rescue Crew", Fire Science and Engineering, Vol. 33, No. 3, pp. 63-73 (2019).
6. J. T. Won, W. J. Choi, M. G. Moon and J. H. Park, "Labor Intensity and Body Load Measurement Study", Korea Post (2018).
7. ASTM F1154-11, "Standard Practices for Qualitatively Evaluating the Comfort, Fit, Function, and Durability of Protective Ensembles and Ensemble Components" (2011).