

[Research Paper]

## 건물 내부 화학사고를 가정한 모의 훈련 시나리오 설계 및 특수구조대원의 활동성 분석

김시국 · 홍성철<sup>\*†</sup>

호서대학교 소방방재학과 교수, \*호서대학교 안전환경기술융합학과 교수

## Designing the Training Scenarios that Assuming Chemical Accidents in the Buildings and Analyzing Activities of Special Rescue Crew

Si-Kuk Kim · Sungchul Hong<sup>\*†</sup>

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

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

(Received April 5, 2019; Revised April 13, 2019; Accepted April 13, 2019)

### 요 약

본 논문은 건물 내부 화학사고를 가정한 모의 훈련 시나리오 설계 및 특수구조대원의 활동성 분석에 관한 연구이다. 화학사고 발생 시 구조대원의 대응능력 향상 및 안전성을 확보하기 위해 2인 1조로 진행되는 총 8단계의 모의 훈련 시나리오를 설계하고 활동성을 측정하였다. 모의 훈련 시나리오에 따른 활동성 측정결과 구조대원의 전체 평균 최대 심박수는 4단계에서 177.50 ppm으로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 5단계 176.67 ppm, 2단계 171.17 ppm, 3단계 169.33 ppm, 6단계 162.17 ppm, 7단계 159.58 ppm, 8단계 148.75 ppm, 1단계 139.33 ppm 순으로 나타났다. 전체 평균 최대 호흡수는 4단계에서 38.17 rpm으로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 5단계 37.58 rpm, 6단계 32.00 rpm, 7단계 31.58 rpm, 3단계 31.33 rpm, 2단계 31.08 rpm, 8단계 28.00 rpm, 1단계 22.67 rpm 순으로 나타났다. 추가적으로 체수분 감소량 측정결과 훈련강도로 인해 최대 0.7 g까지 감소되는 것으로 측정되었다.

### ABSTRACT

This study examined the activity of the simulated training scenarios and special rescue crew assuming a chemical accident inside the building. To improve the response ability and safety of rescue personnel in the event of a chemical accident, a total of eight stages of simulated training scenarios were conducted and the activity was measured. As a result of the activity measurement according to the simulation training scenario, the average maximum heart rate of the rescuers was the highest at 177.50 ppm in the 4<sup>th</sup> stage, and then 176.67 ppm for the 5<sup>th</sup> stage, 171.17 ppm for the 2<sup>nd</sup> step, 169.33 ppm for the 3<sup>rd</sup> step, 162.17 ppm for the 6<sup>th</sup> step, 159.58 ppm for the 7<sup>th</sup> step, 148.75 ppm for the 8<sup>th</sup> step, and 139.33 ppm for the 1<sup>st</sup> step. The mean maximum respiratory rate was the highest at 38.17 rpm in the 4<sup>th</sup> stage, followed by 37.58 rpm in the 5<sup>th</sup> stage, 32.00 rpm in the 6<sup>th</sup> stage, 31.58 ppm in the 7<sup>th</sup> stage, 31.33 rpm in the 3<sup>rd</sup> stage, 31.08 rpm in the 2<sup>nd</sup> stage, and 28.00 rpm in the 8<sup>th</sup> stage. The 1<sup>st</sup> stage was 22.67 rpm. In addition, body water reduction measurements were reduced by up to 0.7 g due to the training intensity.

**Keywords** : Chemical accident, Firefighter; Training; Building; Activity analysis

<sup>†</sup> Corresponding Author, E-Mail: [schong@vision.hoseo.edu](mailto:schong@vision.hoseo.edu). TEL: +82-41-540-9834, FAX: +82-41-540-5370

© 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

## 1. 서 론

Chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN), 즉 화학생방으로 표현되는 사건은 각각 개별사건의 종류와 상관 없이 현장에 투입되어 인명구조 및 초동초지 업무를 수행하는 현장대응요원은 소방대원이다. 이러한 CBRN 사건에서는 화재를 동반하는 상황에 대비하여 2016년 1월부터 내화화성 및 난연성, 그리고 열방호성이 있는 Level A(국내 산업안전보건법 분류 기준 1a 형식)의 소방용 화학보호복을 사용하고 있다. 이는 화학사고 현장 및 화학테러 현장에 투입되는 일선 대원의 필수적인 개인 안전장치로서 생존력과 업무수행력을 보장하기 위한 가장 기초적인 도구이다<sup>(1)</sup>.

최전방에서 현장대원의 필수 장비로 활용되는 소방용 화학보호복은 기술적 한계로 인하여 성능과 활동성 측면에서 트레이드오프 관계를 갖는 것이 가장 큰 단점으로 나타나고 있다. 결국 화재 및 폭발, 그리고 화학물질의 위해성으로부터 현장대원의 안전성을 확보하기 위해 사용된 3중 구조(고무층 / 아라미드층 / 내화학층)의 다층구조로 인한 무게증가는 혼자서 감당하기에 쉽지 않을 정도이고, 재질의 특성과 전신을 감싸고 있는 구조적인 문제로 활동성 저하를 유발하고 있다. 더욱이 밀폐구조와 단열효과로 인하여 체온상승에 의한 열스트레스 증가, 수분의 과다 손실 및 김서림, 그리고 정신 및 신체적 부담으로 인한 폐쇄공포증 등 소방대원의 2차적 피해로 이어지기도 한다. 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 많은 선행 연구들이 있어왔고, 제조사의 기술적 접근을 제외하면, 현장에 투입되는 소방 현장대원의 지속적 훈련을 통해 화학보호복 착용 적응성을 향상시키는 것이 화학보호복을 착용함으로써 발생하는 부수적 피해를 저감하는 대안이 될 수 있다. 이러한 의미에서 보호복 착용상태에서의 활동성 훈련은 의미가 있으나, 실제 국내외적으로 규정된 훈련 프로토콜은 미비한 실정이다. 따라서 화학보호복을 착용한 상태에서의 사건 대응 훈련이 필요하고, 또한 활동성 분석을 수행할 수 있도록 일정한 모듈형태의 훈련 단위, 그리고 사건 흐름에 입각한 시나리오 선정이 필요하다<sup>(2,3)</sup>. 시나리오를 선정하기 위해서는 CBRN이 혼재되어 발생하는 경우도 상정할 수 있으나 실험의 변수를 고정하고, 실험 결과의 효율적 분석을 위하여 단일 사건으로 고정하는 것이 바람직하다. 또한 공간적 상황을 설정하여 화학보호복을 착용한 상태에서 소방대원의 종합적인 활동 부담을 모듈별로 분석하는 것이 추후 현장대원이 실제 사건에서 겪게 되는 활동 부담을 파악하고, 훈련하는데 활용될 수 있을 것이다.

화학물질안전원 화학물질종합정보시스템의 2014년 1월부터 2018년 12월까지 5년간의 발생형태별 화학사고 통계에 따르면 사고형태에서 화학물질의 누출이 전체 463건 중 353건으로 약 76%를 차지하고 있으며, 그 중에서 산업현장의 작업공정에서 발생한 경우가 136건으로 가장 많았고, 그 다음이 116건으로 저장탱크에서의 누출, 그리고 기타가

113건으로 확인되고 있다. 이러한 결과는 물론 여러 관점에서 해석이 가능할 수 있으나 일면으로는 국내 화학사고 대응에 대한 소방현장대원의 경험치가 산업시설의 실외 환경에 적용되었다는 것으로 해석할 수 있고, 다중이용시설과 같은 건축물 내에서의 화학물질 누출 환경에 대해서는 실전경험이 상대적으로 낮다는 것을 판단할 수 있다. 과거 2006년 중각역 일산화탄소 가스누출사고 당시의 초기 현장 보도 자료와 정식사고원인조사 결과를 보면 사고원점은 초기에 특정하였으나 누출 경로에 대한 판단이 초기 보도와 정식사고원인조사가 매우 달랐다는 것을 알 수 있다. 공식 발표된 누출 경로는 환기시설을 통한 확산이었는데 초기 보도 자료에서는 계단 등 이동 통로를 이용하여 확산한 것으로 판단되었기 때문이다. 이처럼 건물 내부에서의 상황은 복잡하고, 밀폐계의 구조가 손쉽게 파악되지 않기 때문에 잦은 혼선이 발생할 수 있다는 점을 인지해야 한다. Hwang et al. (2018)과 같은 연구에서는 골든타임의 중요성에 대하여 논하였으며 통상 국내외에 적용 가능한 시간대를 5~8분으로 확인하고 있으며<sup>(4)</sup>, 충청남도 소방본부와 충남연구원이 발간한 ‘화재, 구급사고의 출동 소요시간 분석’에서는 68.5%에 이르는 경우가 충남권에 한정하여 5분 내에 도착했다는 보고를 하였다. 그만큼 골든타임의 중요성은 매우 높은 것으로 인식되고 있는 것이다. 그러나 건물 내부에서의 활동과 대응에 관해서는 비교적 연구가 미진한 상태인데, 실제 건물 내부에서 화학사고, 즉 화학물질 누출에 의해 이동 불가에 놓인 요구조자는 실제 골든타임 내에 도착한 대원으로부터 다시금 골든타임 내에 발견되어야 한다는 것이고, 이러한 부분에 있어서 현장대원의 활동성은 매우 중요한 요소임이 분명하게 나타난다. 결국 이와 같은 상황은 현장에서 대응하는 요원의 안전과도 직결되는 문제로서 실제 건물 내에서의 화재뿐만 아니라 화학사고에 대비한 모의 훈련과 이에 따른 화학보호복 착용상태에서의 활동성 분석이 반드시 필요하다.

따라서 본 연구에서는 건물 내부에서의 화학사고를 가정하여 시나리오를 구성하였고, 모듈별로 모의 훈련을 수행하여 활동성을 분석, 향후 건물 내에서의 화학사고 현장에서 소방대원이 보다 향상된 활동능력을 발휘하고 안전성을 확보한 상태에서 구조와 대응활동을 수행할 수 있도록 훈련강도에 따른 심박수 및 호흡수 등 신체 변화를 분석하여 제시하였다.

## 2. 건물내부 화학사고를 가정한 모의 훈련 시나리오 설계

Table 1은 건물내부 화학사고를 가정한 모의 훈련 시나리오를 나타낸 것으로 소방용 화학보호복(이하; 소방화학복) 및 공기호흡기 착용상태에서 2인 1조로 진행하는 총 8단계의 시나리오로 설정하였고, 사전 모의 훈련 진행결과 평균 25 min의 시간이 소요되었다. 이와 같이 훈련 단계 및

**Table 1.** Simulation Training Scenario

Step	Training Scenario
1	Take a 10 kg Baskets to the Accident Site 200 m Away from the Command Post
2	Move to 7 <sup>th</sup> Floor Accident Area (Step up to the 7 <sup>th</sup> Floor)
3	Scouring an Accident Victim on 7 <sup>th</sup> Floor
4	A 70 kg Accident Victim is Transferred to the 6 <sup>th</sup> Floor using a Stretcher where Placed in Safe Outdoor
5	1st Accident Response: 8 Flange Bolts of Leak Pipe Installed on 7 <sup>th</sup> floor Fully Tighten
6	2 <sup>nd</sup> Accident Response: Endpoint Wheel Valve of Leak Pipe Installed on 7 <sup>th</sup> Floor Fully Tighten
7	Escape from the 7 <sup>th</sup> Floor Accident Area to the First Floor Outdoors (go down the Stairs to the 7 <sup>th</sup> Floor)
8	Return to the Command Post 200 m Away from the First Floor

시간을 설정한 이유는 기존 연구결과<sup>(1)</sup>를 바탕으로 화학사고 발생 시 소방화학복 및 공기호흡기(일선소방서 45분용, 특수구조대 및 화학구조대 60분용)를 착용한 상태에서 구조 활동이 이루어지는데, 소방화학복의 양압에 사용되는 공기량, 사고지점으로의 이동 및 탈출에 필요한 공기량, 소방화학복의 활동성 저하에 따른 불규칙한 호흡으로 급격히 소모되는 공기량 등을 제외하면, 구조 활동에 사용 가능한 공기량은 평균 20~30 min으로 추정되기 때문에 안전성 및 실제 활동가능시간을 고려하여 약 25 min 정도의 시나리오로 설정하였다. 1단계 훈련은 현장지휘소에서 10 kg 바스켓들것을 들고 200 m 지점 사고거점건물로 이동하기로 설정하였다. 이는 화학사고 발생 시 구조대원의 1차 목표는 인명구조로 소방전술 매뉴얼<sup>(2,3)</sup>에 의거하여 최소 2인(최대 4인)이 한 팀으로 들것을 이용한 작전을 요구하고 있어, 본 훈련에서도 2인 한 팀으로 10 kg 바스켓들것을 들도록 하였다. 또한, 화생방테러·사고 대응 매뉴얼<sup>(2)</sup>에 상에서 오염 지역(Hot zone)의 경우 화학사고지역으로 부터 200 m 이상인 지역으로 설정하고 있어, 이점을 참고하여 사고거점건물까지 200 m 이동하도록 하였다. 2단계 훈련은 7층 사고거점구역으로 진입하기(7층 계단 올라가기)로 설정하였다. 이는 기존 연구논문<sup>(5-7)</sup>을 참고하여 화학사고 및 화학사고를 위장한 화학테러의 경우 인구가 밀집된 지하철 및 복합쇼핑몰 등과 같은 실내에서 발생할 경우가 높으며, 실내 화학사고 발생 시 구조대원들이 인명구조를 위해서는 계단을 이용한 다는 점을 고안하였다. 또한, 본 실험이 진행된 중앙소방학교 소방종합훈련타워 7층의 경우 암흑화된 내부로 미로구조 형태를 띠고 있어 화학테러 및 화학사고에서 발생할 수 있는 가장 최악의 시나리오를 구현할 수 있기 때문에 사고거점구역으로 설정하였다. 3단계 훈련은 7층 거점지역에서 요구조사 수색으로 설정하였다. 이는 한치앞도 안 보이는 최악의 현장에서도 구조대원의 임무는 인명구조이기 때문에 먼저 내부 수색을 진행하여 요구조자를 발견하도록 하였다. 이때, 7층 내부의 경우 2단계에서 언급했듯 가시거리 0인 최악의 상태로 진행하기 위해 랜턴을 사용하지 않고, 구조대원들의 직감에 의한 수색을 진행하도록 하였다. 4단계 훈련은 일반 성인남성 체중인 약 70 kg

의 요구조사(마네킹)를 바스켓들것을 이용하여 안전지대인 6층 옥외탈출로로 이송하기로 설정하였다. 이와 같이 2인 1조로 바스켓들것을 이용하여 요구조자를 6층까지 이송하도록 설정한 이유는 소방화학복을 착용할 경우 활동성 저하로 인한 육체적 부담이 크고, 암흑화된 미로구조에서의 탈출은 심리적 부담을 가중시킬 수 있기 때문에 실험 중 발생할 수 있는 사고 위험성을 최소화하고 구조대원의 안전성을 확보하기 위해 1층까지 이송은 배제하였다. 또한, 소방종합훈련타워 6층의 경우 외벽이 개방되어 있는 공간으로 옥외탈출이 가능한 장소이기 때문에 6층을 안전지대로 설정하였다. 추가적으로 4단계 훈련의 경우 70 kg의 마네킹을 이용하여 기존 중앙119구조본부에서 화학테러 및 화학사고 대응훈련에서 진행되지 않은 육체적 부담감을 최대한으로 설정하였다. 5단계 훈련은 7층 사고거점구역의 1차 누출 파이프의 플랜지볼트 8개 완전 조이기, 6단계 훈련은 7층 사고거점구역의 2차 누출 휠 밸브 완전 잠그기로 설정하였다. 5단계 및 6단계 훈련의 경우 인명구조를 마친 구조대원의 경우 사고확산 방지를 위해 대응조치를 즉시 취해야하기 때문에 다시 7층 사고거점구역내로 이동 후 누출방지작업을 진행하도록 하였고, 실험의 안전성 및 정확한 사고처리를 위해 1차 및 2차의 누출지점을 발견할 경우 누출지점을 랜턴으로 비추어 2인 1조로 스페너(2개)를 이용한 1차 누출 파이프 플랜지 볼트(8개) 완전히 조이기, 손을 이용한 2차 누출 휠 밸브를 완전히 잠그기를 진행하도록 하였다. 또한, ASTM F1154-11 규정 및 불산 누출사고 등 유해가스사고 현장의 경우 초동대응이 밸브 및 틈새로 누출되는 유해가스를 차단하는 조취<sup>(1)</sup>이기 때문에 5단계 및 6단계 훈련의 경우 소방화학복을 이용한 작업 수행 시 고도의 집중력 및 숙련도 향상을 위한 목적으로 손작업 위주의 훈련으로 설정하였다. 7단계 훈련은 7층 사고거점구역에서 벗어나기(7층 계단 내려가기), 8단계 훈련은 사고거점건물에서 200 m 지점 현장지휘소로 복귀하기로 설정하였다. 모든 사고처리가 끝난 구조대원들은 사고거점구역에서 벗어나기 위해 7층 계단을 내려간 후, 다시 현장지휘소로 복귀한 후 모의 훈련 시나리오가 종료되도록 하였다.

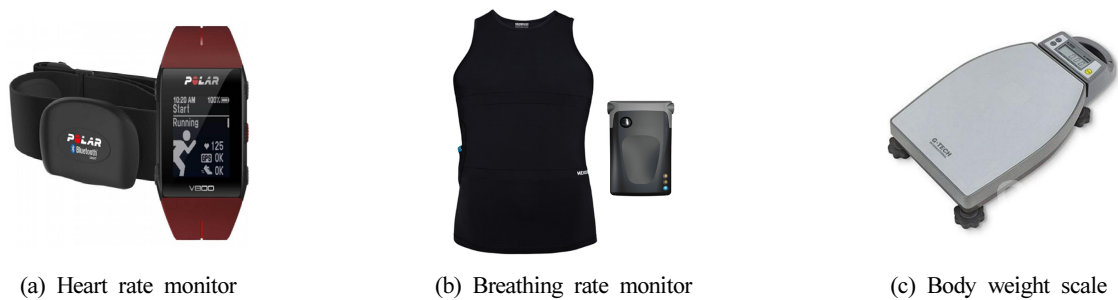


Figure 1. Experimental equipments<sup>(1)</sup>.

### 3. 모의 훈련 시나리오에 따른 특수구조대원의 활동성 측정

#### 3.1 실험대상 및 실험장비

실험대상은 충청·강원 119특수구조대 12명을 대상으로 모의 훈련 시나리오에 따른 활동성 측정실험을 진행하였다. 특수구조대원(이하; 구조대원)의 신체조건은 나이 26~47세(평균 36세), 키 163~186 cm(평균 175 cm), 몸무게 62~98 kg(평균 79 kg), 소방근무경력 2~9년(평균 6년)으로 실험 전 참여 동의서 작성 및 안전교육을 실시한 후 실험을 진행하였다.

Figure 1는 실험장비를 나타낸 것이다. Figure 1(a)의 심박수측정기(V800, Polar Electro Inc., Finland)와 전용 심박수 측정센서(Polar H10 bluetooth HR sensor)를 착용하여, 모의 훈련 시나리오 각 단계별 심박수를 측정하는데 사용하였고, Figure 1(b)의 스마트셔츠(Hexoskin smart kit, Carre Technologies Inc., Canada)를 착용하여, 각 단계별 호흡수를 측정하는데 사용하였다. Figure 1(c)의 체중계(GL-6000, G-Tech International Co., Korea)를 이용하여 실험 전·후의 체중변화 측정(속옷만 착용)을 통해 체수분 감소량을 분석하는데 사용하였다.

#### 3.2 실험방법

Figure 2는 실험의 구성도를 나타낸 것으로 중앙소방학교의 소방종합훈련센터 및 소방종합훈련타워에서 실험을 진행하였다. 전체적인 실험은 소방종합훈련센터를 현장지휘소로 소방종합훈련타워 7층을 사고거점구역으로 설정하고, 한 팀당 2인 1조로하여 A, B, C, D, E, F의 7개 팀으로 구성하여 Table 1의 모의 훈련 시나리오를 바탕으로 1단계에서 8단계 훈련을 휴식 없이 연속적으로 실험을 진행하였다. Figure 2에서 보는 바와 같이 미로구조 형태로 된 소방훈련타워 7층 내부에 붉은색 표시지점을 1차 누출지점으로 노란색 표시지점을 2차 누출지점으로 설정하고, 초록색 표시지점에 요구조자인 마네킹(70 kg)이 위치되도록 설정하였고, 실험의 신뢰성 및 정확성을 높이기 위해 실험 전 시나리오에 대한 부분만 설명할 뿐 1차 및 2차 누출지점 및 요구조자의 위치 정보에 대한 부분은 실험대상자들에게 제공하지 않았다. 실험은 실제 현장 투입 시 복장과 동일하게

활동복을 입은 상태에서 1형식(긴급용) 소방화학복(SCA 1800ET-RK, SanCheong Co., Korea) 및 Self-contained breathing apparatus (SCBA) 60분용 그리고 구조헬멧을 착용하였고, 이때 소방화학복 및 SCBA의 착용 무게는 약 20 kg 정도이다. 또한, 화학사고 및 화학테러 사고 시 현장대원의 안전성 확보가 최우선이기에 모의 훈련 시나리오 각 단계별 훈련 속도는 평상시 걸음과 작업속도로 진행하도록 하였고, 소방화학복을 착용할 경우 숙련된 대원들도 폐소공포증이 발생하는 경우가 있어 실험 전 응급수신호를 결정한 후 진행하였다. 모의 훈련 시나리오에 따른 활동성 분석은 각 단계별 훈련강도에 따른 심박수(Heart rate) 및 호흡수(Breathing rate) 변화 그리고 체수분 감소량 측정을 통해 확인하였다.

#### 3.3 활동성 측정결과

전체적인 결과는 개인별 신체특성 및 컨디션에 따라 편차가 크기 때문에 각 단계별 전체 평균에 대한 최대값, 최소값, 평균값 위주로 분석하였고, 훈련강도에 따른 신체적 부담감 증대로 인해 가장 높게 측정된 개인을 대상으로 추가적으로 최대값 위주로 분석을 진행하였다.

Table 2는 1단계 훈련인 현장지휘소에서 10 kg 바스켓들 것을 들고 200 m 지점 사고거점건물로 이동하기의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 전체 평균 심박수는 최대 139.33 bpm, 최소 105.08 bpm, 평균 125.50 bpm으로 측정되었고, 최대 심박수는 E팀 1번 구조대원이 최대 160 bpm까지 측정되었다. 전체 평균 호흡수는 최대 22.67 rpm, 최소 15.08 rpm, 평균 18.67 rpm으로 측정되었고, 최대 호흡수는 D팀 1번 구조대원이 최대 29 rpm까지 측정되었다. Table 3은 2단계 훈련인 7층 사고거점구역으로 진입(7층 계단 올라가기)하기의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 전체 평균 심박수는 최대 171.17 bpm, 최소 129.08 bpm, 평균 153.67 bpm으로 측정되었고, 최대 심박수는 C팀 2번 및 E팀 1번 구조대원이 최대 185 bpm까지 측정되었다. 전체 평균 호흡수는 최대 31.08 rpm, 최소 19.08 rpm, 평균 24.92 rpm으로 측정되었고, 최대 호흡수는 E팀 2번 구조대원이 최대 40 rpm까지 측정되었다. 2단계 훈련의 경우 1단계 훈련보다 전체적인 심박수 및 호흡수가 크게 증가하였는데,

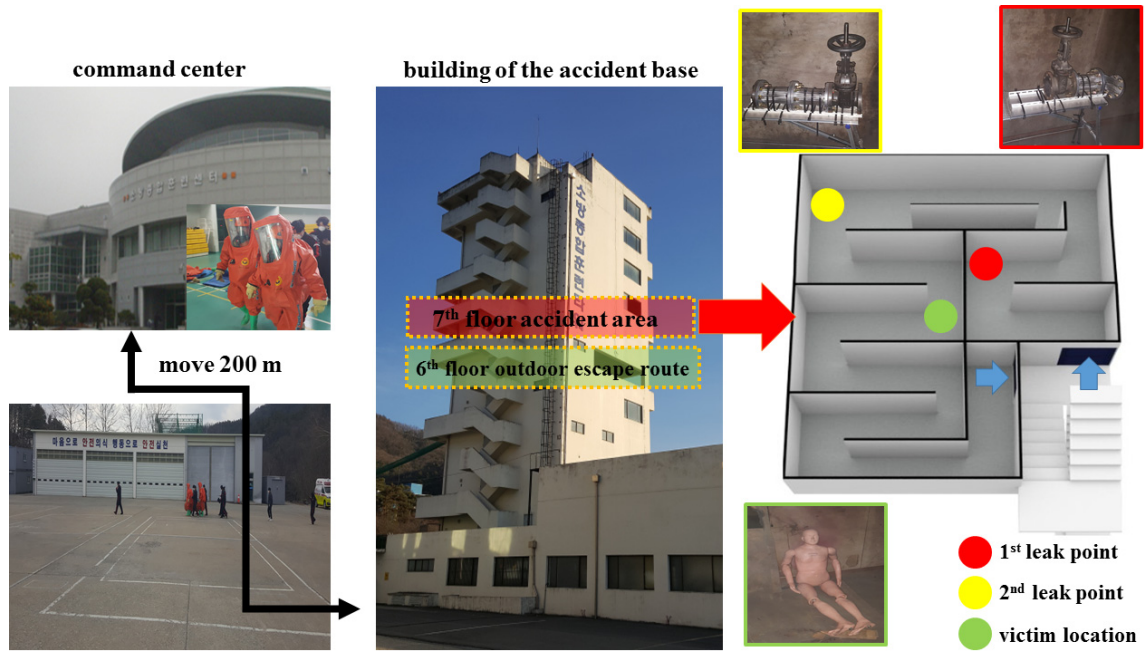


Figure 2. Block diagram of experiment.

Table 2. Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 1 Training)

Item		Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
		Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
A Team	1	126	84	110	42	24	19	22	5
	2	139	103	126	36	18	13	15	5
B Team	1	159	133	149	26	28	16	21	12
	2	106	85	98	21	25	17	20	8
C Team	1	147	106	132	41	19	13	17	6
	2	144	117	133	27	20	13	15	7
D Team	1	138	80	118	58	29	21	25	8
	2	118	84	107	34	17	11	14	6
E Team	1	160	133	146	27	23	13	17	10
	2	152	110	134	42	25	13	19	12
F Team	1	157	127	138	30	27	21	25	6
	2	126	99	115	27	17	11	14	6
Total Average		139.33	105.08	125.50	34.25	22.67	15.08	18.67	7.58



이는 소화화학복 및 SCBA 착용으로 인한 개인별 20 kg 하중 증가 및 바스켓들것(10 kg) 하중 추가와 더불어 소화화학복 착용에 따른 활동성 저하로 인해 계단 7층까지 올라가야하는 신체적 부담이 크게 증가된 것으로 생각된다. Table 4는 3단계 훈련인 7층 사고거점구역에서 요구조사수색하기의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 전체 평균

심박수는 최대 169.33 bpm, 최소 144.17 bpm, 평균 157.00 bpm으로 측정되었고, 최대 심박수는 B팀 1번 구조대원이 최대 188 bpm까지 측정되었다. 전체 평균 호흡수는 최대 31.33 rpm, 최소 22.67 rpm, 평균 27.08 rpm으로 측정되었고, 최대 호흡수는 E팀 2번 구조대원이 최대 45 rpm까지 측정되었다. 3단계 훈련의 경우 2단계 훈련보다 평균 심박


**Table 3.** Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 2 Training)

Item		Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
		Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
A Team	1	157	124	144	33	31	23	26	8
	2	166	137	153	29	20	15	19	5
B Team	1	183	157	172	26	39	24	29	15
	2	143	102	128	41	28	17	23	11
C Team	1	181	146	167	35	27	14	20	13
	2	185	142	169	43	30	20	23	10
D Team	1	164	81	129	83	36	19	30	17
	2	157	80	122	77	28	16	23	12
E Team	1	185	153	173	32	31	19	24	12
	2	179	152	171	27	40	24	33	16
F Team	1	182	152	167	30	38	23	30	15
	2	172	123	149	49	25	15	19	10
Total Average		171.17	129.08	153.67	42.08	31.08	19.08	24.92	12.00



**Table 4.** Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 3 Training)

Item		Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
		Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
A Team	1	159	129	144	30	33	23	28	10
	2	176	140	157	36	27	20	22	7
B Team	1	188	169	180	19	34	24	31	10
	2	142	102	123	40	28	22	24	6
C Team	1	158	134	145	24	25	19	23	6
	2	177	155	166	22	30	24	27	6
D Team	1	163	135	147	28	34	23	28	11
	2	156	134	148	22	25	19	23	6
E Team	1	186	155	169	31	26	21	24	5
	2	179	159	170	20	45	26	35	19
F Team	1	185	168	178	17	40	31	36	9
	2	163	150	157	13	29	20	24	9
Total Average		169.33	144.17	157.00	25.17	31.33	22.67	27.08	8.67



수 및 호흡수가 조금 더 증가하였는데, 이는 2단계 훈련 직후 3단계 훈련이 바로 진행되어 심박수 및 호흡수가 증가된 것도 있지만, 7층 내부의 경우 한치 앞도 안 보이는 미로구조의 공간으로 가시도 0인 상태에서 팀별 직감에 의해

요구조자 수색을 진행하였기 때문에 폐소공포 및 심리적 부담이 크게 작용하여 심박수 및 호흡수 증가에 기인한 것으로 생각된다. 다만, Table 4의 3단계 훈련사진의 경우 내부가 다보이지만, 이는 훈련 내용을 보여주기 위해 실험중

**Table 5.** Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 4 Training)

Item		Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
		Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
A Team	1	173	131	159	42	41	23	33	18
	2	176	140	169	36	30	20	27	10
B Team	1	184	157	172	27	42	25	35	17
	2	151	94	131	57	30	20	27	10
C Team	1	188	133	169	55	39	26	33	13
	2	185	156	174	29	41	22	32	19
D Team	1	174	140	158	34	40	25	33	15
	2	155	128	143	27	29	20	25	9
E Team	1	186	148	170	38	36	22	28	14
	2	181	158	172	23	51	24	38	27
F Team	1	192	165	180	27	45	28	37	17
	2	185	156	174	29	34	24	29	10
Total Average		177.50	142.17	164.25	35.33	38.17	23.25	31.42	14.92




료 후 별도로 랜턴을 켜서 촬영한 것이다(이하 7층 내부사진 동일). Table 5는 4단계 훈련인 약 70 kg의 요구조자(마네킹)를 바스켓들것을 이용하여 안전지대인 6층 옥외탈출로로 이송하기의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 전체 평균 심박수는 최대 177.50 bpm, 최소 142.17 bpm, 평균 164.25 bpm으로 측정되었고, 최대 심박수는 F팀 1번 구조대원이 최대 192 bpm까지 측정되었다. 전체 평균 호흡수는 최대 38.17 rpm, 최소 23.25 rpm, 평균 31.42 rpm으로 측정되었고, 최대 호흡수는 E팀 2번 구조대원이 최대 45 rpm까지 측정되었다. 4단계 훈련의 경우 70 kg의 요구조자를 10 kg의 바스켓들것으로 가시도 0인 상태에서 협소한 미로공간을 탈출하여 안전지대인 6층 옥외탈출로까지 이송하기 때문에 신체적 및 심리적 부담감이 가장 크게 작용하여, 전체 훈련 단계 중 심박수 및 호흡수가 가장 높게 측정된 것으로 생각된다. Table 6은 5단계 훈련인 7층 사고거점구역내의 1차 누출 파이프의 플랜지볼트 8개 완전 조이기의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 전체 평균 심박수는 최대 176.67 bpm, 최소 133.50 bpm, 평균 153.08 bpm으로 측정되었고, 최대 심박수는 F팀 1번 구조대원이 최대 192 bpm까지 측정되었다. 전체 평균 호흡수는 최대 37.58 rpm, 최소 21.42 rpm, 평균 28.92 rpm으로 측정되었고, 최대 호흡수는 E팀 2번 및 F팀 1번 구조대원이 최대 45 rpm까지 측정되었다. 5단계 훈련의 경우 전체 훈련 단계 중 2번째로 심박수 및 호흡수가 높게 측정되었는데, 이는 부하강도가 높은 4단계 훈련 직후 진행되어 나타난 결과일 수 있지만, 플랜지볼트 8개를 완전히 잠그기 위해서는 스패너를 이용한 손작

업이 원활하여야 하지만, 소방화학복을 착용한 손작업의 경우 소방화학복에 부착된 3층 구조(고무층/아라미드층/화학층)의 두꺼운 보호장갑을 이용하여 작업을 진행하기 때문에 손작업의 활동성 제약으로 작업 효율이 떨어지고, 공기호흡기 면체를 착용한 상태에서 소방화학복 안면창을 통해 작업을 진행하기 때문에 시야각 저하 및 안면창 김서림 등이 작업을 더디게 하여 심박수 및 호흡수가 높게 나타나는데 기인한 것으로 생각된다. Table 7은 6단계 훈련인 7층 사고거점구역내의 2차 누출 휠 밸브 완전 잠그기의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 전체 평균 심박수는 최대 162.17 bpm, 최소 132.67 bpm, 평균 148.83 bpm으로 측정되었고, 최대 심박수는 E팀 1번 및 F팀 2번 구조대원이 최대 186 bpm까지 측정되었다. 전체 평균 호흡수는 최대 32.00 rpm, 최소 20.58 rpm, 평균 26.50 rpm으로 측정되었고, 최대 호흡수는 E팀 2번 구조대원이 최대 42 rpm까지 측정되었다. 6단계 훈련의 경우 5단계 훈련에 비해 심박수 및 호흡수가 감소하였는데, 이는 휠 밸브의 경우 손으로 돌려 잠그는 방식으로 5단계 스패너를 이용한 손작업에 비해 작업적인 제한 요소가 낮고, 단계별 훈련으로 7층 내부에 어느 정도 적응되었기 때문에 심박수 및 호흡수가 상대적으로 감소한 것으로 생각된다. Table 8은 7단계 훈련인 7층 사고거점구역에서 번어나기(7층 계단 내려가기)의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 전체 평균 심박수는 최대 159.58 bpm, 최소 133.83 bpm, 평균 145.08 bpm으로 측정되었고, 최대 심박수는 E팀 1번 및 2번 그리고 F팀 2번 구조대원이 최대 185 bpm까지 측정되었다. 전체 평균 호흡수는 최대 31.58 rpm,


**Table 6.** Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 5 Training)

Item		Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
		Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
A Team	1	175	128	151	47	40	24	30	16
	2	170	145	154	25	32	20	25	12
B Team	1	179	133	153	46	37	20	30	17
	2	146	99	122	47	35	22	27	13
C Team	1	189	122	153	67	41	20	30	21
	2	188	145	164	43	37	22	28	15
D Team	1	171	122	142	49	39	25	30	14
	2	146	122	135	24	25	19	22	6
E Team	1	190	146	166	44	37	20	27	17
	2	184	148	163	36	45	21	35	24
F Team	1	192	146	168	46	45	24	34	21
	2	190	146	166	44	38	20	29	18
Total Average		176.67	133.50	153.08	43.17	37.58	21.42	28.92	16.17



**Table 7.** Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 6 Training)

Item		Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
		Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
A Team	1	149	116	132	33	35	22	27	13
	2	165	146	155	19	26	17	24	9
B Team	1	162	139	149	23	36	23	30	13
	2	130	91	109	39	31	19	25	12
C Team	1	152	136	146	16	27	19	24	8
	2	170	150	160	20	36	18	26	18
D Team	1	148	127	142	21	31	26	29	5
	2	151	115	132	36	24	18	21	6
E Team	1	186	140	168	46	27	18	22	9
	2	185	144	171	41	42	21	32	21
F Team	1	162	148	154	14	35	27	31	8
	2	186	140	168	46	34	19	27	15
Total Average		162.17	132.67	148.83	29.50	32.00	20.58	26.50	11.42




최소 19.50 rpm, 평균 25.08 rpm으로 측정되었고, 최대 호흡수는 E팀 2번 구조대원이 최대 41 rpm까지 측정되었다. 7단계 훈련의 경우 6단계에 비해 전체적으로 심박수 및 호흡수가 감소되었는데, 이는 모든 구조 및 대응 활동을 마치고

사고거점구역에서 벗어나기 때문에 심리적 안정감이 커져 나타난 것으로 생각된다. Table 9는 8단계 훈련인 사고거점건물에서 200 m 지점 현장지휘소로 복귀하기의 활동성 측정결과를 나타낸 것이다. 전체 평균 심박수는 최대



**Table 8.** Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 7 Training)

Item		Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
		Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
A Team	1	149	127	137	22	34	23	27	11
	2	169	147	156	22	30	17	21	13
B Team	1	149	134	142	15	34	19	27	15
	2	130	100	114	30	31	20	25	11
C Team	1	147	133	139	14	26	15	21	11
	2	175	143	159	32	36	19	27	17
D Team	1	138	124	128	14	33	20	26	13
	2	151	120	130	31	24	17	20	7
E Team	1	185	147	163	38	27	16	21	11
	2	185	147	167	38	41	23	32	18
F Team	1	152	137	143	15	33	27	30	6
	2	185	147	163	38	30	18	24	12
Total Average		159.58	133.83	145.08	25.75	31.58	19.50	25.08	12.08



**Table 9.** Results of Heart Rate and Breathing Rate (Step 8 Training)

Item		Heart Rate (bpm)				Breathing Rate (rpm)			
		Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.	Max.	Min.	Avg.	Max. - Min.
A Team	1	147	124	132	23	33	24	27	9
	2	151	141	145	10	20	15	20	5
B Team	1	146	131	138	15	28	20	24	8
	2	118	102	108	16	28	20	24	8
C Team	1	145	130	136	15	23	19	21	4
	2	154	142	146	12	30	21	25	9
D Team	1	130	118	123	12	30	20	25	10
	2	139	119	127	20	20	14	16	6
E Team	1	170	146	160	24	22	15	20	7
	2	168	145	159	23	39	20	30	19
F Team	1	147	134	139	13	33	24	29	9
	2	170	147	159	23	30	17	22	13
Total Average		148.75	131.58	139.33	17.17	28.00	19.08	23.58	8.92



148.75 bpm, 최소 131.58 bpm, 평균 139.33 bpm으로 측정되었고, 최대 심박수는 E팀 1번 및 F팀 2번 구조대원이 최대 170 bpm까지 측정되었다. 전체 평균 호흡수는 최대 28.00 rpm, 최소 19.08 rpm, 평균 23.58 rpm으로 측정되었고, 최대

호흡수는 E팀 2번 구조대원이 최대 39 rpm까지 측정되었다. 8단계 훈련의 경우 모든 훈련을 마치고 현장지휘소로 최종 복귀하는 단계로써 심리적 안전감이 가장 크게 작용하여 1단계 다음으로 심박수 및 호흡수가 가장 낮게 측정

**Table 10.** 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
Total Average	-	-	Step 1, 8	Step 3, 6, 7	Step 2, 4, 5
Step 1 (Max.)	8.33%	25.00%	33.33%	33.33%	-
Step 2 (Max.)	-	-	8.33%	33.33%	58.33%
Step 3 (Max.)	-	-	8.33%	41.67%	50.00%
Step 4 (Max.)	-	-	8.33%	8.33%	83.33%
Step 5 (Max.)	-	-	16.67%	8.33%	75.00%
Step 6 (Max.)	-	8.33%	25.00%	41.67%	25.00%
Step 7 (Max.)	-	8.33%	41.67%	16.67%	33.33%
Step 8 (Max.)	-	16.67%	50.00%	33.33%	-

**Table 11.** Body Water Reduction After Training

No. of Persons	A Team	B Team	C Team	D Team	E Team	F Team
1	0.2 g	0.3 g	0.6 g	0.3 g	0.7 g	0.3 g
2	0.2 g	0.2 g	0.3 g	0.2 g	0.5 g	0.4 g

된 것으로 생각된다. 추가적으로 8단계 훈련 종료시점에서 호흡수가 전체적으로 높았던 E팀 2번 구조대원의 공기호흡기 잔량이 0이어서 구조대원의 안전을 위해 소방화확복 및 SCBA 시스템을 탈착 후 복귀하였다.

Table 10은 추가적으로 모의 훈련 시나리오에 따른 단계별 활동성 측정결과를 바탕으로 Polar (심박수 측정기)에서 제공하는 심박수에 따른 운동강도를 나타낸 것으로 심박수에 따른 운동강도는 크게 very light 단계인 level 1부터 maximum 단계인 level 5단계로 구성된다. 먼저, 최대 심박수의 전체 평균값에 따른 훈련 단계별 운동강도를 분석해보면 1단계 및 8단계 훈련은 level 3, 3단계 및 6단계, 7단계 훈련은 level 4, 2단계 및 4단계, 5단계 훈련은 level 5로 측정되었다. 또한, 각 훈련 단계별 개인별 최대 심박수에 따른 최대 운동강도를 분석해보면, 1단계 훈련의 경우 level 3 및 level 4에서 33.33%, 2단계 훈련의 경우 level 5에서 58.33%, 3단계 훈련의 경우 level 5에서 50.00%, 4단계 훈련의 경우 level 5에서 83.33%, 5단계 훈련의 경우 level 5에서 75.00%, 6단계 훈련의 경우 level 4에서 41.67%, 7단계 훈련의 경우 level 3에서 41.67%, 8단계 훈련의 경우 level 3에서 50.00%로 가장 높게 나타났다.

#### 4. 결 론

본 논문은 건물 내부 화학사고를 가정한 모의 훈련설계 및 특수구조대원의 활동성 분석 연구로써 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 화학사고 및 화학사고를 위장한 화학테러에 대한 대

응능력 향상 및 구조대원의 안전성을 확보하기 위해 2인 1조로 진행되는 총 8단계의 모의 훈련 시나리오를 설계하였고, 크게 4가지로 구성하였다. 1단계 및 2단계는 현장지휘소에서 사고거점지역으로 이동, 3단계 및 4단계는 사고거점지역에서 요구조사 수색 및 구조, 5단계 및 6단계는 사고거점지역에서의 대응조취, 7단계 및 8단계는 사고거점지역에서 현장지휘소로 복귀하는 것으로 설정하였다.

2) 모의 훈련 시나리오에 따른 활동성 측정결과 구조대원의 전체 평균 최대 심박수는 4단계에서 177.50 ppm으로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 5단계 176.67 ppm, 2단계 171.17 ppm, 3단계 169.33 ppm, 6단계 162.17 ppm, 7단계 159.58 ppm, 8단계 148.75 ppm, 1단계 139.33 ppm 순으로 나타났다. 전체 평균 최대 호흡수는 4단계에서 38.17 rpm으로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 5단계 37.58 rpm, 6단계 32.00 rpm, 7단계 31.58 ppm, 3단계 31.33 rpm, 2단계 31.08 rpm, 8단계 28.00 rpm, 1단계 22.67 rpm 순으로 나타났다. 또한, 실험 전·후 체중변화를 통한 체수분 감소량 측정결과 최대 0.7 g까지 감소되는 것으로 측정되었다.

이상과 같은 결과 화학사고시 소방대원의 안전성을 확보하기 위해 착용하는 소방화확복의 경우 활동성 저하 및 심리적 부담감 가중 등으로 인해 심박수 및 호흡수 증가 등 신체적 부담이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 본 연구에서 제안된 모의 훈련 시나리오와 같이 소방화확복을 착용한 지속적인 훈련을 통해 적응성 및 숙련도의 향상이 필요할 것으로 생각된다. 하지만, 본 연구의 경우 개인적인 신체 및 업무 능력 그리고 당일 컨디션 등에 의해 결과가 다르게 나

타날 수도 있다. 따라서 지속적인 훈련과 훈련 시 대원들의 심박수 및 호흡수 등 신체적 특성에 대한 지속적인 모니터링을 통해 관리가 된다면 소방대원의 안전성을 최대한 확보할 수 있을 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. 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).
2. National Institute of Chemical Safety, "NICS Firefighter Chemical Disaster Response Process" (2014).
3. National 119 Rescue Headquarters, "CBR Terrorism & Accident Response Manual" (2012).
4. E. Hwang, J. Choi and D. Choi, "A Study on the Effective Methods of Securing the Golden Time of Fire Engine Move Out", *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 5, pp. 119-126 (2018).
5. 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).
6. S. Y. 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).
7. 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).
8. ASTM F1154-11, "Standard Practices for Qualitatively Evaluating the Comfort, Fit, Function, and Durability of Protective Ensembles and Ensemble Components" (2011).