

[Research Paper]

소방훈련시 화학보호복 착용에 따른 동작만족도 연구

방창훈[†] · 권정숙^{*}

경남대학교 소방방재공학과 교수, *경남대학교 의류산업과 교수

Wearing Acceptability of Chemical Protective Clothing during Fire Training

Changhoon Bang[†] · Jungsuk Kwan^{*}

Professor, Dept. of Fire and Disaster Prevention Engineering, Kyungnam University,

*Professor, Dept. of Clothing Industry, Kyungnam University

(Received May 6, 2020; Revised May 16, 2020; Accepted May 18, 2020)

요 약

본 연구는 소방훈련시 화학보호복 착용시 동작만족도를 분석하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다. 정적 동작만족도는 일반근무복에 비하여 화학보호복의 경우 21.7%~47.8% 정도 낮게 나타났다. 화학보호복 착용시 정적 동작자세에서는 고개 최대한 젖혀서 천장보기, 두팔 몸 앞에서 끌어안기, 비스듬히 굽혀 앉기, 과도하게 쪼그리고 앉기의 동작들이 낮게 나타났으며 통계적으로도 유의하게 낮은 결과를 보였다($p < .001$). 동적 동작만족도는 일반근무복에 비하여 화학보호복의 경우 19.2%~47.8% 정도 낮게 나타났다. 화학보호복 착용시 동적 동작자세에서는 뛰기, 중량물 20 kg 허리까지 들어올리기, 중량물 20 kg 들어 1 m 옮기기, 들것 들고 앞으로 걷기, 들것 들고 뒤로 걷기의 동작들이 낮게 나타났으며 통계적으로도 유의하게 낮은 결과를 보였다($p < .001$).

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the wearing acceptability of chemical protective clothing during fires and to provide basic data for the safety of firefighters. The results of the study were as follows: Wearer acceptabilities of chemical protective clothing under static movement (e.g., looking at the ceiling with maximum head bending, wrapping one's arms around oneself, sitting obliquely on the floor, and maintaining a crouching position) were 21.7%-47.8% lower than those of general uniforms. When wearing chemical protective suits, the acceptability under static movement was statistically low ($p < .001$). Wearer acceptabilities of chemical protective clothing under dynamic movement (e.g., running, lifting a heavy object (20 kg) up to the waist, lifting and moving a heavy object (20 kg) by 1 m, lifting a stretcher and walking forward, and lifting a stretcher and walking backward) were 19.2%-47.8% lower than those of general uniforms. When wearing chemical protective suits, the acceptability under dynamic movement was also statistically low ($p < .001$).

Keywords : Chemical protective clothing, Movement acceptability, Firefighter

1. 서 론

우리나라에서 화학물질로 인한 사고는 최근 5년간(2015-2019년) 379건이 발생하였으며, 발생 원인별로는 작업자부주의 122건, 운반차량사고 78건, 시설관리미흡 171건, 기타 8건으로 나타났으며, 발생 유형별로는 화재 18건, 폭발 30건, 누출 389건, 기타 42건이다⁽¹⁾. 화학물질로 인한 사고는 대부분 화학물질의 누출, 화재, 폭발로 발생되며 이는 발생지역의 주민들에게 엄청난 인적·물적 피해를 유발시키며, 사고 수습을

위하여 출동한 소방공무원들에게도 유해한 영향을 미친다.

산업현장의 건축물 내부에 있는 다양한 목적의 공간과 복도, 계단 등의 통로공간은 처음 이용하는 사람들에게는 매우 복잡하게 느껴진다. 이러한 건축물의 화학사고 발생 시 건물진입, 화재진압, 인명구조와 같은 매우 어려운 작업을 하여야 한다.

화학사고 발생 시 신속하고 정확한 작업을 위하여 화학보호복의 기능성은 중요하며 특히 최근에는 효율적인 소방활동 수행을 위하여 동작기능성과 인체쾌적성의 중요도가

[†] Corresponding Author, E-Mail: bangch@kyungnam.ac.kr, TEL: +82-55-249-2657, FAX: +82-505-999-2167

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

높다. 소방공무원들이 착용하는 화학 보호복은 신경·수포·혈액·질식 등의 화학 작용제 및 유해물질로부터 인체를 보호하기 위하여 공기호흡기가 내장된 완전 밀폐형으로 제작된 보호복을 의미한다⁽²⁾.

화학 보호복은 착용 시 정적인 상태로 인체에 입혀진 것이 아니라, 소방 활동을 수행하는 동작에 따라 변화하므로, 기능적 성능확보를 위해서는 인체를 이해하고, 착용된 인체의 동작특성과 방향이 효과적으로 분석되어야 한다. 하지만 이전의 연구는 단순히 실험실내에서의 동작가동범위(Range of motion, ROM)에 대한 연구가 주로 이루어졌다⁽³⁻⁸⁾.

화학 보호복의 착용으로 인한 소방관의 동작제한성은 다양한 건축물의 구조와 환경 그리고 소방 활동에 따라 복합적인 상호작용을 나타내고 있다. 또한 화학 보호복은 정적 동작에서 뿐만 아니라 동적 동작 시에도 잘 적용되어야 하므로, 동작 시 제한을 가하지 않도록 설계하는 것이 필요하다. 이를 위하여 동적 동작시 변화되는 화학 보호복의 상태와 소방 활동 동작과의 관계도 고려되어야 하며 이는 화학 보호복을 제작하는데 중요한 요소로써 평가되어야 한다.

Adams와 Keyserling⁽⁴⁾은 실험실 평가수준에서 의복 착용 시 최대 관절 각도를 측정하는 동작가동범위(ROM)의 유용함을 제안하였으며, 이후 많은 연구자들이 관련 연구를 진행하였다. Huck⁽⁵⁾은 보호 장구의 디자인에 따라 동작가동범위가 유의하게 감소한다고 하였으며 이는 착용자의 움직임에 제한을 가하여 착용자가 불편함을 느낀다고 보고하였다. Coca 등⁽⁸⁾은 표준 소방복 착용 시 경량 소방복에 비하여 한팔 수색과 물건을 들어 올리는 작업 등에서 동작가동범위(ROM)가 유의하게 감소함을 보고하였다.

많은 연구자들과 화학 보호복 제조자들은 보다 나은 화학 보호복 개발에 노력하고 있으나 이를 착용하는 소방공무원들의 착용만족도는 낮게 나타나고 있다⁽⁹⁾.

소방공무원의 작업동선을 고려하지 않은 디자인은 오히려 위험장소에서의 신체 활동에 저해요인으로 작용할 것으로 판단된다. 소방공무원은 작업도구와 보호 장비로 인하여 신체자세 조절에 큰 어려움을 가지며 이를 극복하기 위하여 교육과 훈련을 받고 있지만 열악한 작업환경과 신체 피로는 신체능력을 저하시킨다. Punakallio 등⁽¹⁰⁾은 소방공무원이 화재진압 또는 인명구조 시에 균형을 잡지 못하여 사고로 이어질 가능성이 있으며 방화복과 훈련방법에 대하여 개선사항이 필요하다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 소방공무원의 소방 활동을 분석하여 정적동작 16종과 동적동작 15종으로 구분하였으며 이를 바탕으로 소방공무원이 작업 시 착용하는 일반 근무복, 화학 보호복을 착용한 경우에 대한 동작만족도를 제시하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 연구대상

본 실험 대상은 경남 A소방서에 근무하며, 건강하고 근

Table 1. Characteristic of the Subjects (n = 12)

Age (yr)	Height (cm)	Weight (Kg)
31.2 ± 3.97	174.3 ± 2.76	70.8 ± 6.17

골격계 질환이 없는 남자 소방공무원 12명이다. 사전에 연구의 취지를 밝히고, 실험에 자발적으로 동의한 소방공무원들을 실험자로 선정하였으며, 본 연구에 대한 충분한 설명과 측정절차에 따르게 주의 사항을 고지하였다. 연구 대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2.2 연구방법

본 연구에서 수행한 피험자에게 각 측정에 대한 특성 및 방법에 대하여 설명하였다. 동작만족도 평가 실시전에 피험자는 간단한 스트레칭을 통하여 근육을 이완시키고, 조교의 시범동작을 보며 동작을 익히고 자연스러운 동작이 가능할 때 실험을 실시하였다.

피험자가 실험복 세트를 착용한 후 각 동작 별로 3번 반복하고 동작만족도를 평가하였으며, 평가는 매우 좋지 않다(1점)~매우 좋다(5점)의 5점 리커트 척도를 사용하였다. 또한 동작하는 동안 피험자는 디지털카메라를 이용하여 사진을 촬영하였다.

본 연구에서는 일반 근무복과 화학 보호복의 동작만족도를 평가하였다. 실험의 특성상 객관적 측정이 필요하며 이를 위해 실험복, 동작 순서에 따른 오차를 최소화 하였다. 이를 위해 실험순서는 무작위로 하였다. 동작만족도 평가실험에 사용된 의복은 소방공무원이 사무실 근무 시 착용하는 일반 근무복(Uniform, UNI)과 화학 보호복(Cheical protective clothing, CPC, Dupont Co.)을 착용한 경우로 하였다. 화학 보호복 착용 시에는 소방용 특수방화복과 공기호흡기 면체를 착용하고 그 외부에 화학 보호복(Level A)를 착용 후 실험을 실시하였으며 총 무게는 약 24 kg이다.

소방공무원이 자주 행하는 동작을 구분하기 위하여 소방공무원을 대상으로 직접 면담 및 비디오 관찰을 실시하여 정적동작 16항목과 동적동작 15항목으로 구분하였다. 실험실 온도는 20 °C, 상대습도는 55%이다.

2.3 자료분석




























자료의 처리는 SPSS 19.0을 이용하여 평균(M)과 표준편차(S.D)를 조사하였다. 실험전, 후의 검사는 paired t-test로 비교하였으며, 유의도는 p < .05로 설정 하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 정적 동작만족도 평가

정적 동작만족도는 Table 2와 같이 나타났다. 일반 근무복에서는 의자에 90° 앉기(14번)에서 3.2점으로 가장 높은 점수가 나타났으며, 오른(왼)무릎 최대한 세우기(10번)가 2.1점으

Table 2. Wearer Acceptability with Static Movement

Variable	Photo		Mean (S.D.)		t	
	UNI	CPC	UNI	CPC		
1. Standing position			3.1 (.51)	2.4 (.51)	3.17**	
2. Looking at ceiling by maximum bending head			2.9 (.67)	1.6 (.49)	5.22***	
3. Horizontal extension of both arms			2.9 (.51)	2.0 (.74)	3.53**	
4. Lifting both arms			2.5 (.52)	1.8 (.58)	2.97**	
5. Extending both arms			2.7 (.49)	1.9 (.51)	3.65**	
6. Bending the arms at 90° after extending arms			2.4 (.51)	1.7 (.65)	3.13**	
7. Maximum backward extension of both arms			2.4 (.51)	1.7 (.65)	3.13**	
8. Wrapping arms around oneself			2.3 (.49)	1.4 (.51)	4.46***	
9. Lifting leg and bending the knee at 90°	Right			2.4 (.51)	1.8 (.75)	2.53**
	Left			2.3 (.49)	1.8 (.75)	2.24**
10. Lifting leg and bending the knee at Max	Right			2.1 (.67)	1.3 (.49)	3.13**
	Left			2.1 (.67)	1.3 (.49)	3.13**
11. Bowing at 90°			2.4 (.51)	1.6 (.51)	3.97**	
12. Maximum bowing			2.3 (.62)	1.3 (.49)	4.01**	
13. Maximum twisting of the waist			2.7 (.49)	1.8 (.62)	4.01**	
14. Sitting in a chair at 90°			3.2 (.58)	2.2 (.72)	3.76**	
15. Sitting obliquely on the floor			2.4 (.51)	1.3 (.49)	5.27***	
16. Crouching position			2.3 (.49)	1.2 (.39)	6.44***	

로 가장 낮은 점수를 보였다. 화학 보호복에서는 선자세(1번)에서 2.4점으로 가장 높은 점수가 나타났으며, 과도하게 쪼그리고 앉기(16번)가 1.2점으로 가장 낮은 점수를 보였다.

두 집단을 비교하여 보면 전체적으로 16개의 평균 정적 동작만족도는 일반 근무복 2.5점, 화학 보호복 1.7점으로 약 33.7% 정도 낮게 나타나서 화학 보호복 착용 시 동작에

어려움을 느끼는 것으로 조사되었다.

일반 근무복과 화학 보호복의 세부 정적 동작 비교에서는 오른(왼)무를 최대한 세우기(10번)가 21.7%로 조사되었으며, 고개 최대한 젓혀서 천장보기(2번) 44.8%, 두팔 몸 앞에서 끌어안기(8번) 39.1%, 비스듬히 굽혀 앉기(15번) 45.8%, 과도하게 쪼그리고 앉기(16번) 47.8%의 동작들이 화학 보호복을 착용하였을 때 낮게 나타났으며 통계적으로도 유의하게 낮은 결과를 보였다($p < .001$).

화학 보호복 착용 시 상체의 움직임 없는 기본자세(1~8번)의 경우, 팔을 드는 행위를 하는 경우 팔의 이동 각도가 클수록 동작만족도가 낮게 나고, 특히 앞쪽 방향으로 팔을 들 경우, 뻗은 상태보다 굽힌 상태에 있어 움직임에 어려움이 있는 것을 확인할 수 있는데 이는 장비의 어깨에 대한 압박에 따른 팔의 이완과 화학 보호복의 뻗뻗함에 기인하는 것으로 판단된다. 팔의 복합적 움직임을 요구한 뒤의 두 움직임에서 90° 굽힘과 유사한 수준의 평가 결과가 도출된 것으로 보아, 현재의 화학 보호복은 팔의 복합적 움직임에 대해 불편함을 초래할 수 있는 상태인 것으로 판단된다. 이러한 결과는 화학사고시 화학물질 처리와 제독작업, 밸브류 등의 기구를 다루어야 하는 현장대원에게는 동작의 제한성을 초래하여 이차사고를 유발할 가능성이 있다.

정적 움직임 중 하체의 움직임(9~16번)의 경우 상체 움직임에 비해 높은 불편함을 보였다. 이는 상체 뒷면에 붙어 있는 공기호흡기의 영향으로 상체를 과도하게 숙임에 따라 화학 보호복이 위로 함께 딸려 올라가 불편함을 느끼고 정지자세에서의 움직임이 발생함에 따라 공기호흡기의 무게 중심축이 신체의 중심축에 영향을 주기 때문으로 판단된다.

본 실험에서 수행한 정적 동작 16항목에서 동작만족도는 일반 근무복에 비하여 화학 보호복의 경우 21.7%~47.8% 정도 낮게 나타났다.

3.2 동적 동작만족도 평가

동적 동작만족도는 Table 3과 같이 나타났다.

일반 근무복에서는 뒷걸음걷기(2번)에서 2.6점으로 가장 높은 점수가 나타났으며, 계단오르내리기(12번)가 2.1점으로 가장 낮은 점수를 보였다. 화학 보호복에서도 뒷걸음걷기(2번)에서 2.1점으로 가장 높은 점수가 나타났으며, 중량물 20 kg 들어 1 m 옮기기(8번), 중량물 20 kg 어깨에 매기(9번), 들것 들고 뒤로 걷기(15번)등의 동작이 1.2점으로 가장 낮은 점수를 보였다.

두 집단을 비교하여 보면 전체적으로 15개의 평균 동적 동작만족도는 일반 근무복 2.3점, 화학 보호복 1.4점으로 약 38.0%정도 낮게 나타나서 화학 보호복 착용 시 정적 동작에서 보다는 동적 동작에서 더 큰 어려움을 느끼는 것으로 조사되었다.

일반 근무복과 화학 보호복의 세부 동적 동작 비교에서는 호스끌기(10번)가 21.7%로 조사되었으며, 뛰기(3번) 45.8%, 중량물 20 kg 허리까지 들어올리기(7번) 45.8%, 중량물 20

kg 들어 1 m 옮기기(8번) 45.8%, 들것 들고 앞으로 걷기(14번) 43.5% 들것 들고 뒤로 걷기(15번) 47.8%의 동작들이 화학 보호복을 착용하였을 때 낮게 나타났으며 통계적으로도 유의하게 낮은 결과를 보였다($p < .001$).

동적 움직임 중 이동시에 일반적인 걷기의 경우 팔이나 다리가 90° 이하로 굽혀지게 되므로 장비를 착용한 화학 보호복의 경우 90° 이상의 관절의 가동을 요구하는 행동에 대해서는 장비를 착용하지 않은 일반 근무복에 비하여 매우 낮은 수치를 나타내며 이는 화학 보호복이 관절의 가동에 직접적으로 영향을 미치는 요소가 방화복임을 의미하는 것으로 판단할 수 있다.

동적 움직임 중 물체와 연관된 행동(7~11번)에서 기본적으로 물체를 드는 행동은 90° 이상의 관절의 가동을 필요로 하는 경우가 많기 때문에 화학 보호복 착용 시 더욱 동작에 대하여 불편함을 느끼고, 호스 전개는 경우 관절의 가동이 90°를 넘어가는 경우와 도구를 사용한 큰 움직임에서는 화학 보호복에 추가되는 장비의 무게가 소방장비의 운용에 대해 큰 영향을 미칠 정도로 크다는 것을 의미한다고 판단된다.

동적동작의 복합적 이동(12~15번)에서 계단을 오르내리는 경우 일반 근무복에 비하여 화학 보호복의 경우가 더 낮은 값이 나타났다. 사다리 오르기의 경우 손으로 사다리를 잡고 이동하여서 동작의 안정감을 느끼는 것으로 판단된다. 환자의 이송에 대해서는 일반 근무복과 화학 보호복의 경우 모두 평균 이하로 나오는 것을 확인할 수 있다. 환자의 이송 시 두 명의 움직임을 맞추어야 하는 불편과 환자의 안전, 장비의 무게가 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

본 연구에서 수행된 동적 움직임 15가지에 대해 검토해 본 결과, 화학 보호복은 90° 이상의 관절의 가동을 어렵게 만들며, 복합적이고 추가적인 움직임을 하는 데에 있어서 불편함을 배가시키는 것으로 나타났다. 또한 동적 동작만족도는 일반 근무복에 비하여 화학 보호복의 경우 19.2%~47.8% 정도 낮게 나타났다.


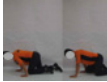







소방 공무원은 위험한 환경에서 다양한 보호복을 착용하고 화재진압, 구조 등의 업무를 수행하며, 매 순간 집중을 하지 않으면 안된다. 이를 위한 보호복의 제작과 훈련시 고난이도 동작의 연습은 필수적이다. 따라서 본 연구 결과로 도출된 동작만족도가 낮은 자세에 대한 훈련과 보호복 개선이 선행된다면 소방 현장에서의 안전사고 예방에 많은 도움이 될 것이라 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 소방공무원의 소방 활동을 분석하여 정적동작 16종과 동적동작 15종으로 구분하였으며 이를 바탕으로 소방공무원이 작업시 착용하는 일반 근무복과 화학 보호복을 착용한 경우에 대한 동작만족도를 연구하였다.

정적 동작만족도는 일반 근무복에 비하여 화학 보호복

Table 3. Wearer Acceptability with Dynamic Movement

Variable	Photo		Mean (S.D.)		t
	UNI	CPC	UNI	CPC	
1. Walking while bent at the waist			2.5 (.52)	1.7 (.49)	4.02**
2. Walking backwards			2.6 (.51)	2.1 (.67)	2.05**
3. Running			2.4 (.51)	1.3 (.45)	5.90***
4. 3 m crawl			2.3 (.49)	1.4 (.51)	4.46***
5. Lying on stomach and standing			2.4 (.67)	1.4 (.51)	4.11**
6. Passing obstacles			2.2 (.72)	1.3 (.49)	3.32**
7. Lifting a heavy object (20 kg) up to the waist			2.4 (.67)	1.3 (.49)	4.52***
8. Lifting and moving a heavy object (20 kg) by 1 m			2.3 (.65)	1.2 (.39)	5.33***
9. Loading a heavy object (20 kg) on the shoulder			2.2 (.72)	1.2 (.39)	4.24**
10. Hose extension			2.3 (.45)	1.8 (.75)	1.97**
11. Destroying obstacles with a hammer			2.3 (.45)	1.5 (.52)	3.76**
12. Climbing stairs			2.1 (.67)	1.3 (.49)	3.13**
13. Climbing a ladder			2.4 (.51)	1.7 (.78)	2.78**
14. Lifting a stretcher and walking forward			2.3 (.45)	1.3 (.49)	4.75***
15. Lifting a stretcher and walking backwards			2.3 (.45)	1.2 (.39)	6.29***

의 경우 21.7%~47.8% 정도 낮게 나타났다. 화학 보호복 착용 시 정적 동작자세에서는 고개 최대한 젖혀서 천장보기, 두팔 몸 앞에서 끌어안기, 비스듬히 굽혀 앉기, 과도하게 쪼그리고 앉기의 동작들이 낮게 나타났으며 통계적으로도 유의하게 낮은 결과를 보였다($p < .001$).

동적 동작만족도는 일반 근무복에 비하여 화학 보호복의 경우 19.2%~47.8% 정도 낮게 나타났다. 화학 보호복 착용 시 동적 동작자세에서는 뛰기, 중량물 20 kg 허리까지 들어 올리기, 중량물 20 kg 들어 1 m 옮기기, 들것 들고 앞으로 걷기, 들것 들고 뒤로 걷기의 동작들이 낮게 나타났으며 통

계적으로도 유의하게 낮은 결과를 보였다($p < .001$).

후 기

본 논문은 행정안전부 공간정보 기반 재난관리 맞춤형 콘텐츠 제공 기술개발사업의 연구비 지원(과제번호 18DRMS-B146826-01)에 의해 수행되었습니다.

References

1. "Chemical Information System", <https://icis.me.go.kr/pageLink.do>.
2. NEMA, Notification No. 2006-2 (2006).
3. E. V. Saul and J. Jaffe, "The Effects of Clothing on Gross Motor Performance.EP-12", US Army Quartermaster Research and Development Command (NTIS: AD-066 180) (1955).
4. P. S. Adams and W. M. Keyserling, "Three Methods for Measuring Range of Motion While Wearing Protective Clothing: a Comparative Study", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 12, pp. 177-191 (1993).
5. J. Huck, "Protective Clothing Systems: A Technique for Evaluating Restriction of Wearer Mobility", *Applied Ergonomics*, Vol. 19, No. 3, pp. 185-190 (1988).
6. J. Huck, "Restriction to Movement in Fire-fighter Protective Clothing: Evaluation of Alternative Sleeves and Liners", *Applied Ergonomics*, Vol. 22, No. 2, pp. 91-100 (1991).
7. A. Coca, R. Roberge, A. Shepherd, J. B. Powell, J. O. Stull and W. J. Williams, "Ergonomic Comparison of a Chem/bio Prototype Fire Fighter Ensemble and a Standard Ensemble", *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 104, No. 2, pp. 351-359 (2008).
8. A. Coca, W. J. Williams, R. J. Roberge and J. B. Powell, "Effects of Fire Fighter Protective Ensembles on Mobility and Performance", *Applied Ergonomics*, Vol. 41, No. 4, pp. 636-641 (2010).
9. R. L. Barker, "A Review of Gaps and Limitations in Test Methods for First Responder Protective Clothing and Equipment", NIOSH (2005).
10. A. Punakallio, S. Lusa and R. Luukkonen, "Protective Equipment Affects Balance Abilities Differently in Younger and Older Firefighters", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 74, No. 11, pp. 1151-1156 (2003).