

소방공무원의 방화복 착용 후 단계별 운동강도 변화 시 의복 내 온도·습도·발한량 차이

최서연* · 박일규** · 공일천** · 이동호**

*한서대학교 건강관리학과

**인천대학교 소방방재연구센터

The change in temperature·humidity·perspiration of fire suit when applying phased intensive exercises to fire fighter wearing fire suit

Seo-Yeon Choi* · Il-Gyu Park** · Il-Chean Kong** · Dong-Ho Rie**

*Dept. of Health Management, Hanseo University

**Fire Disaster Prevention Research Center of Incheon National university

Abstract

The purpose of this study was to verify the change in temperature·humidity·perspiration of fire suit when applying phased intensive exercises to fire fighter wearing fire suit. For this study, three male fire fighters took basic physical test and performed 10 minute phased intensive exercises -exercise intensity I (30%VO₂max), exercise intensity II (45%VO₂max), exercise intensity III (60%VO₂max) based on maximum oxygen consumption (VO₂max)- wearing fire suit (helmet, boots, air respirator) in treadmill and took a rest. The result of study shows that the temperature in the suit elevated during stabilization period after each exercise intensity, humidity elevated as exercise intensity increased, perspiration elevated as exercise intensity increased.

This study indirectly ascertained the fire suit's physiological change in fire fighters during field activities.

Key word: Fire Fighters, Fire Suit, Temperature, Humidity, Perspiration, Intensity of Work

1. 서론

소방공무원의 현장활동은 긴박한 상황 속에서 이루어지는 활동으로 화재진압, 구조, 구급, 화재조사 등 직무에 따라 업무가 매우 다양하다. 일반적으로 '소방'이라는 단어는 화재와 직·간접적인 관련성이 있는 업무로

인식되는데 실제 화재와 관련한 소방공무원의 현장활동은 2012년 기준 1일 118건 이상의 화재 진압 활동이 이루어지고 있으며[1], 소방공무원의 현장활동 업무는 위험과 직결되기 때문에 안전성 확보를 위하여 착용하는 방화복의 기능적 측면은 매우 중요하다.

† 본 연구는 2012~2013년도 소방방재청 차세대 핵심 소방안전 기술개발사업 소방공무원의 현장활동 작업강도 및 생리적 변화분석 과제 지원에 의하여 수행되었음

† Corresponding Author : Dong-Ho Rie, Fire Disaster Prevention Research Center of Incheon National university, (Songdo-dong)119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, Korea.

Tel : 032-835-4119, E-mail : sobang2012@hanmail.net

Received October 20, 2013; Revision Received March 19, 2013; Accepted March 19, 2013.

최근 기능성 의복에 대한 관심이 높아지고 있는데 기능성 의복은 환경과 업무에 맞고 사용자 중심의 의복 특성 반영이 중요하기 때문에 의복 설계 시부터 이러한 특징이 고려되고 있다.

의복 내 기능적 역할 중 온도 조절은 적절한 열균형을 형성하고 서열 환경에서 착용자가 좀 더 시원하고 건조 느낌을 지속적으로 가지도록 하여야 하며, 신속한 땀 증발을 위하여 열축적의 원인을 제거하고 습도와 신체 발한량의 균형을 유지 및 의복 착용으로 인한 쾌적함을 유지 시켜야 한다[2][3][4].

기능성 의복은 착용자의 수행도 향상을 지원하고 유해요인으로부터 보호하기 위해 특정 기능이 부가된 의복으로 정의되는데[5], 특정 사용자 집단을 수용하기 위한 의복과 특정 환경에서 적합하게 사용되기 위한 보호복으로 구분된다[6]. 물리적, 화학적, 또는 생리적 유해 요인으로부터 신체 보호를 위하여 착용되는 보호복은 소방복, 방염복, 화재방복, 전기 작업자복, 방탄복, 무진복 등이 대표적이며[7], 이중 소방용 방화복은 일반적으로 불에 타지 않는 내열성 기능을 갖추고 외부의 열기를 차단하는 단열성, 외부 충격에도 견디는 내구성, 물의 침투를 막는 방수성, 작업능률을 향상시키는 활동성과 가혹한 환경에서 구분이 가능한 식별성 등이 구비되어야 한다[8].

소방용 방화복에 관한 유럽 및 국제적인 성능기준은 조금씩 차이가 있지만 외부물질, 수분 방어막, 열 보호막의 3가지 주요 구성물을 바탕으로 이들 요소들이 혼합되거나 각 요소를 결합해서 제작된다. 유럽 내의 방화복에 관한 구조적 성능 기준은 EN469, 미국의 국립 화재보호협회(NFPA)에서는 NFPA1971(2000), 캐나다는 일반기준위원회(CGSB)의 CGSB155(1998)의 기준[9], 국내는 KFI인정 기준에 의하여 관리되고 있으며, 의복의 구조적 강도, 의류의 복사와 대류열에 대한 저항, 열 절연체 등을 고려하여 정해진다[10].

화재 현장에서 소방공무원은 진입 초기 이후 지속적으로 상승하는 고온으로 열스트레스에 노출되어 있으며[11], 탈수 등으로 인한 신체적 장애와 심리적 부담

감으로 인하여 인식과 판단능력의 저하 및 체온, 발한량, 심박수 등의 신체 생리적 반응을 경험하게 된다[8]. 또한 소방용 방화복 착용 후 약 20kg에 달하는 공기호흡기 착용과 소방호스, 도끼, 유압절단기 등의 진압장비 및 인명 구출시 사용되는 보호 장비와 들것 등의 구조장비의 이용 등으로 인하여 신체 온도의 상승 및 발한량이 지속적으로 증가 할 것으로 예상되기 때문에 소방용 방화복은 안전성을 고려한 인체공학적인 디자인, 의복 내 온도, 습도, 발한량 등 조절 기능이 필수적인 제공되어야 한다.

지금까지 소방공무원의 소방용 방화복 착용으로 인한 연구는 대부분 평균 피부온도, 심박수, 호흡수, 냉온감, 체중감소 등의 신체변화 연구를 중심으로 이루어져 왔으며[8][12], 소방용 방화복 착용으로 인한 불편감[9], 인간공학적 평가 디자인을 고려한 연구가 시도된 바가 있다[13].

이에 본 연구에서는 실험을 통하여 소방공무원의 현장 활동과 유사한 환경을 조성한 후 방화복 착용과 장비 및 기구 사용 등을 재현하여 작업 강도에 따른 의복 내 변화를 확인하고자 한다. 이를 통하여 소방공무원의 현장 활동 작업 강도에 따른 의복 내 변화를 확인하고 추후 소방용 방화복의 기능적 보완 및 개선의 기초자료 제공을 목적으로 진행하였다.

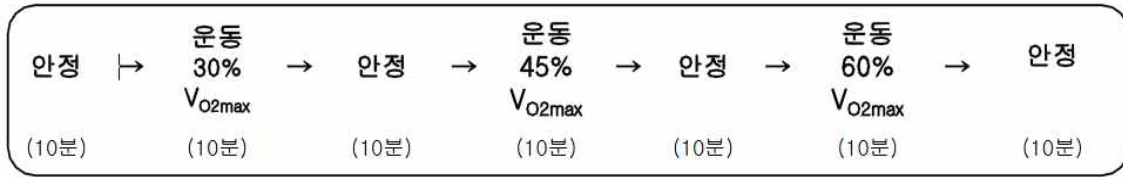
2. 연구 대상 및 방법

2.1 연구 기간 및 대상

본 연구는 소방공무원의 방화복 착용 후 단계별 운동강도 변화 시의 의복 내 온도·습도·발한량 차이를 알아보기 위하여 I대학의 스포츠·레저섬유연구센터에서 모의실험을 수행하였다. 실험 기간은 2012년 12월 14일부터 2013년 01월 18일까지이며, 재직 중인 남성 소방공무원 실험자 3명의 일반적 특성은 Table 1과 같이 평균 연령 44±10.0세, 평균 신장 174±8.9cm, 평균 체중 70±5.6kg이었다.

<Table 1> Fire fighters' (experimental subject) general characteristic

피험자	연령(세)	신장(cm)	체중(kg)	총 경력	현 작업 경력
A	44	171	64	18년	1년
B	34	184	75	8년	3년
C	54	167	71	24년 8개월	21년 8개월
Mean±SD	44±10.0	174±8.9	70±5.6	-	-



[Figure 1] Experimental procedure



[Figure 2] Fire suit used in the experiment I

2.2 연구 방법

2.2.1 실험 방법

본 실험 방법에서는 일본의 독립 행정 법인 소방 연구소에서 소방용 방화 옷의 쾌적한 성능, 기능 성능 평가에 관한 연구의 실험 계획[14]을 본 연구에 맞추어 수정 보완하였으며, [Figure 1]과 같이 실험 전 기초 체력 검사 후 최대산소섭취량(VO_{2max})을 기준으로 운동강도 I ($30\%VO_{2max}$), 운동강도 II ($45\%VO_{2max}$), 운동강도 III ($60\%VO_{2max}$)으로 작업강도를 설정하였다. 실험은 각 실험대상자별 총 3회 이루어졌으며, 1회는 기초체력검사, 2회는 활동복 착용 후 운동강도 I, II, III 실시, 3회는 소방용 방화복 착용 후 운동강도 I, II, III을 실시하였고, 이 중 소방용 방화복 착용 후 운동강도 I, II, III 실험 시 화재현장과 유사한 환경 설정을 위하여 헬멧, 장화, 공기호흡기를 착용하였다. 의복 내 온도, 습도, 발한량은 신체부위 가슴을 기준으로 측정하였다.

2.2.2 실험 의복 특성

본 실험 시 사용된 의복 및 장비는 [Figure 2]와 같이 소방공무원의 화재 현장 진화 시 착용하는 의복과 동일한 조건을 맞추기 위하여 소방용 방화복 안에 착용하는 활동복과 소방용 방화복, 안전화, 소방용 헬멧, 안전장갑 등을 함께 착용하였다.

2.2.3 실험 장비 특성

본 실험에서는 인공기후실(TABAI ESPEC(일본), EBL-5HW2P3A-23), 의복기후측정기(Gram Corp.(일본), LT-8B), 발한량측정기(SKINOS(일본), SRP7-2000), 신호수집 및 모니터링용 PC, 전극/ 센서 및 케이블을 사용하였고, 실제 실험 진행은 Figure 3과 같이 이루어졌다.



[Figure 2] Fire suit used in the experiment II

2.3 통계 방법

본 실험에 사용된 통계 분석방법은 Paired Samples t-Test를 실시하였으며, SPSS 18.0 프로그램을 사용하였다.

<Table 2> Difference in fire suit temperature in accordance with intensive exercise

의복 분류	운동강도	Mean±SD	F
활동복	시작 전 안정기	34.61±0.33	9.495***
	운동강도 I (30%V _{O2} max)	34.60±0.56	
	운동강도 I 측정 후 안정기	34.52±0.56	
	운동강도 II (45%V _{O2} max)	34.61±0.67	
	운동강도 II 측정 후 안정기	34.94±0.43	
	운동강도 III (60%V _{O2} max)	34.13±0.45	
방화복	시작 전 안정기	35.20±0.58	70.971***
	운동강도 I (30%V _{O2} max)	35.86±0.30	
	운동강도 I 측정 후 안정기	36.31±0.42	
	운동강도 II (45%V _{O2} max)	36.51±0.45	
	운동강도 II 측정 후 안정기	37.11±0.60	
	운동강도 III (60%V _{O2} max)	36.76±0.61	
	운동강도 III 측정 후 안정기	38.41±0.74	

*** p<0.001

3. 결과

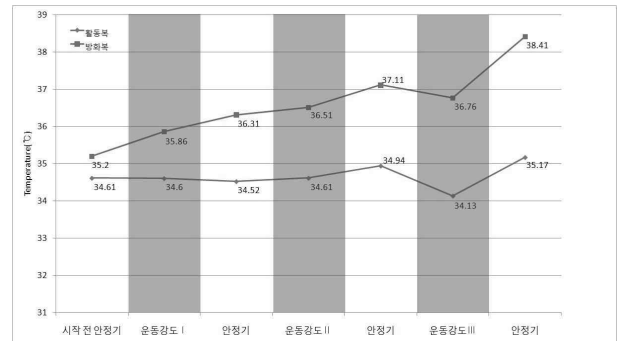
3.1 운동강도에 따른 활동복과 방화복의 의복 내 온도차이

운동강도에 따른 활동복과 방화복의 의복 내 온도는 <Table 2>와 같이 운동강도가 증가할수록 방화복 내 온도가 증가하는 것으로 나타났으며(F=70.971, p<0.001), 단계별 운동강도에 따른 활동복과 방화복의 온도 차이는 [Figure 4]와 같이 운동단계가 증가할수록 의복 내 온도 차이가 큰 것으로 나타났다.

3.2 운동강도에 따른 활동복과 방화복의 의복 내 습도 차이

운동강도에 따른 활동복과 방화복의 의복 내 습도는 <Table 3>과 같이 운동강도가 증가할수록 방화복 내

습도가 증가하는 것으로 나타났으며(F=59.637, p<0.001), 단계별 운동강도에 따른 활동복과 방화복의 습도 차이는 [Figure 5]와 같이 운동강도II 안정기 까지 의복 내 습도 차이가 증가하는 것으로 나타났으나 운동강도III 이후 의복 내 습도 차이가 낮아지는 것으로 나타났다.

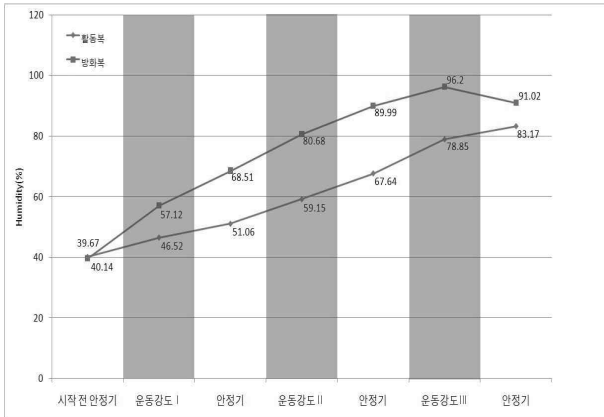


[Figure 4] Difference in fire suit and regular outfit temperature in change of phased intensive exercise

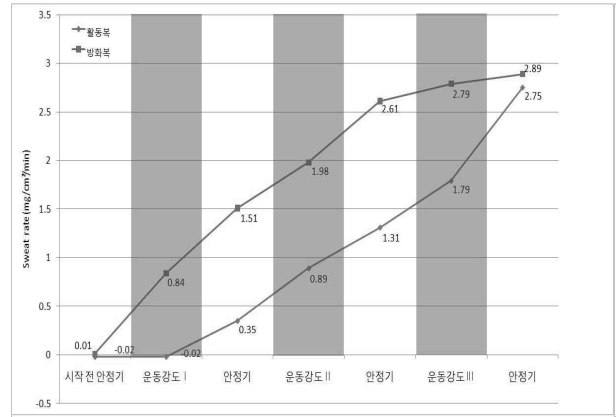
<Table 3> Difference in fire suit humidity in change of phased intensive exercise

의복 분류	운동강도	Mean±SD	F
활동복	시작 전 안정기	40.14±5.45	107.353***
	운동강도 I (30%V _{O2} max)	46.52±10.84	
	운동강도 I 측정 후 안정기	51.06±12.55	
	운동강도 II (45%V _{O2} max)	59.15±13.17	
	운동강도 II 측정 후 안정기	67.64±3.73	
	운동강도 III (60%V _{O2} max)	78.85±6.33	
방화복	시작 전 안정기	39.67±12.12	59.637***
	운동강도 I (30%V _{O2} max)	57.12±19.59	
	운동강도 I 측정 후 안정기	68.51±18.73	
	운동강도 II (45%V _{O2} max)	80.68±13.11	
	운동강도 II 측정 후 안정기	89.99±10.88	
	운동강도 III (60%V _{O2} max)	96.20±3.93	
	운동강도 III 측정 후 안정기	91.02±3.59	

*** p<0.001



[Figure 5] Difference in fire suit and regular outfit humidity in change of phased intensive exercise



[Figure 6] Difference in fire suit and regular outfit perspiration in change of phased intensive exercise

3.3 운동강도에 따른 활동복과 방화복의 의복 내 발한량 차이

운동강도에 따른 활동복과 방화복의 발한량은 <Table 4>와 같이 운동강도가 증가할수록 방화복의 발한량이 증가하는 것으로 나타났으며(F=60.618, p<0.001), 단계별 운동강도에 따른 활동복과 방화복의 발한량 차이는 [Figure 6]과 같이 운동강도II 안정기 까지 의복 내 발한량 차이가 증가하는 것으로 나타났으나 운동강도III 이후 의복 내 발한량 차이가 낮아지는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 소방공무원의 방화복 착용 후 현장활동으로 인한 운동강도(작업강도)를 단계별로 운동강도 I (30%VO₂max), 운동강도II(45%VO₂max), 운동강도III (60%VO₂max)로 설정 후 의복 내 온도·습도·발한량

차이를 알아보았으며, 다음과 같은 결론을 제시한다.

첫째, 소방복은 운동강도에 따른 의복 내 온도는 운동강도II(45%VO₂max)까지 증가하는 것으로 나타났으나 본 실험에서 고강도라고 할 수 있는 운동강도III에는 오히려 낮아지는 것으로 나타나 운동강도의 한계점에 다다르면 더 이상 상승하지 않는 것으로 나타났다. 또한 운동강도III 안정기에 의복 내 온도 상승이 다시 급상승 하는 것으로 나타나 운동 후 체내의 발열로 인한 의복 내 온도 상승을 예상할 수 있었다. 단계별 운동강도에 따른 활동복과 방화복의 의복 내 온도 차이는 운동단계가 증가할수록 차이가 큰 것으로 나타나 방화복의 열 방출 기능 보완이 필요한 것으로 파악되었다.

둘째, 방화복의 의복 내 습도는 운동강도가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났으며, 활동복과는 다르게 운동강도III 안정기에 의복 내 습도가 낮아지는 것으로 나타나 방화복이 땀증발 기능이 활동복에 비하여 높은 것으로 파악되었다. 단계별 운동강도에 따른 활동복과

<Table 4> Difference in fire suit perspiration in change of phased intensive exercise

의복 분류	운동강도	Mean±SD	F
활동복	시작 전 안정기	-0.02±0.03	67.155***
	운동강도 I (30%VO ₂ max)	-0.02±0.13	
	운동강도 I 측정 후 안정기	0.35±0.48	
	운동강도 II (45%VO ₂ max)	0.89±0.83	
	운동강도 II 측정 후 안정기	1.31±0.90	
	운동강도 III (60%VO ₂ max)	1.79±0.96	
	운동강도 III 측정 후 안정기	2.75±0.36	
방화복	시작 전 안정기	0.01±0.16	60.618***
	운동강도 I (30%VO ₂ max)	0.84±0.96	
	운동강도 I 측정 후 안정기	1.51±1.07	
	운동강도 II (45%VO ₂ max)	1.98±0.96	
	운동강도 II 측정 후 안정기	2.61±0.20	
	운동강도 III (60%VO ₂ max)	2.79±0.16	
	운동강도 III 측정 후 안정기	2.89±0.11	

*** p<0.001

방화복의 습도 차이는 운동강도Ⅱ 안정기까지 증가하는 것으로 나타났으나 운동강도Ⅲ 이후 낮아지는 것으로 나타나 방화복의 열축적 제거의 기능이 의복 내 습도를 줄여 주는 것으로 파악되었다.

셋째, 방화복의 의복 내 발한량은 운동강도가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났으나 운동강도Ⅱ 안정기 이후 증가폭이 낮아지는 것으로 나타나 운동강도의 한계점에 다다르면 신체 적응으로 인하여 땀의 배출이 적어지는 것으로 파악되었다. 단계별 운동강도에 따른 활동복과 방화복의 발한량 차이는 운동강도Ⅲ 안정기에서 그 차이가 가장 적은 것으로 나타났으며, 이는 방화복이 발한량의 균형 유지 기능이 활동복에 비하여 높기 때문으로 예상된다.

본 연구를 통하여 소방공무원의 현장활동 시 방화복 기능이 신체에 미치는 영향을 간접적으로 파악할 수 있었으며, 이 같은 결과에 토대할 때 화재 진압 시 열악한 환경 속에서 근무하는 소방공무원의 안전성 확보와 신체 기능 유지를 위하여 소방용 방화복에 대한 기능 측면의 강화가 요구된다.

추후 연구 대상자와 실험 횟수를 증가하여 객관성을 확보할 수 있도록 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

5. References

- [1] 소방방재청(2013). 2013년 소방행정자료 및 통계
- [2] Inhyeng Kang, Hyosuk Park, Han Sup Lee(2012). Assessment of Wear Comfort of Water-vapor-permeable (WVP) garments. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*. 36(9). pp.928-939.
- [3] Gavin, T. P.(2003). Clothing and thermoregulation during exercise. *Sports Medicine*. 33(13). pp.941-947.
- [4] Pascoe, D. D., Bellingar, T. A., & McCluskey, B. S.(1994). Clothing and exercise II: Influence of clothing during exercise-work in environmental extremes. *Sports Medicine*. 18(2). pp.94-108.
- [5] Watkins, S. M,(1995). *Clothing: the Portable Environment*. 2nd Ed., Iowa State University Press.
- [6] 최혜선, 손부현, 도월희, 김은경, 강여선(2003). 테크 니컬 웨어 설계, 서울: 수학사.
- [7] Rosenblad-Wallin, E.(1985). User-oriented product development applied to functional clothing design, *Applied Ergonomics*. 16(4). pp.279-287.
- [8] Chang-Hoon Bang(2013). Effects of Workload on Human Body wearing Firefighting Protective Clothing in High Temperature. *Journal of KOSHAM*. 13(2). pp.197-201.
- [9] Joo-Hee Kwon , Jei-Sun Lee, Ga-Eun Ha, Soo-Ae Kweon(2012). The Importance and Uncomfort Degrees of the Firefighters' Active Uniforms. *J. of Human Ecology*. 16(2), pp.91-98.
- [10] 소방방재청(2013). 소방용 방열복의 KFI인정기준
- [11] S.S. Cheung, T.M. McLellan and S. Tenagliahe(2000). Thermophysiology of Uncompensable Heat Stress: Physiological Manipulations and Individual Characteristics. *Sports Med*. 29. pp.329-359.
- [12] Chang-Hoon Bang, Jun-Kyoung Lee, Jung-Suk Kwan(2013). Physiological Changes According to Workload Wearing Aluminized Firefighter' Protective Clothing. *J. Kor. Inst. Fire Sci. Eng*. 27(4). pp.56-60
- [13] Jayoung Cho, Jungrim Jeong, Soonin Yeon, Joonho Chang, Heecheon You, Heeun Kim(2007). Development and Application of an Ergonomic Evaluation System for Functional Clothing: Evaluation of Flame proof Clothing and Identification of Design Problems. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*. 26(2). pp.1-13.
- [14] 獨立行政法人 消防研究所(2004). 消防用防火服の快適性能、機能性能の評價に關する 研究報告書

저 자 소 개

최 서 연



현 한국RMS(주) 수석연구원으로 재직중.
인하대학교 산업공학과 공학박사,
인하대학교 의학과 사회 및 예방의 학 박사 과정.
관심분야: 인간공학

주소: 인천광역시 남구 용현 1,4동 인하대학교 2북 668A

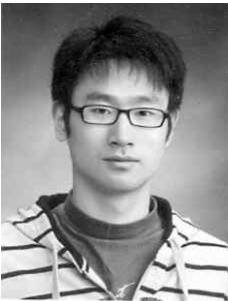
공 일 천



인천대학교 안전공학과 학사
현재 인천대학교 안전공학과 석사
과정
관심분야: 안전공학과 인간공학

주소: 서울시 강서구 등촌 3동 미주진로아파트 108동 1101호

박 일 규



인천대학교 안전공학과 석사 과정
현재는 인천대학교 소방방재연구
센터 연구원으로 활동 중
관심분야: 소방, 화재, 방재

주소: 인천논현동 반석 빌딩 203호

이 동 호



현재 인천대학교 안전공학과 교수.
인천대학교 안전과학교육연구소장
관심분야: 성능위주설계, 심부화재,
QRA기반 화재위험성평가, 친환경
소화약제, 화재안전
관심분야: 화재 일반, 기계안전

주소: 인천광역시 연수구 송도동 12-1 인천대학교 공과
대학 8호관 C동 351호