

4구급대원의 PPE(Personal Protective Equipment)착용 시 CPR 동작분석에 관한 연구

신동민 · 정재한* · 김승용** · 홍은정*** · 김경용**** · 한용택†

한국교통대학교 응급구조학과 · *한국소방산업기술원 · **한국교통대학교 경영정보학과
한국교통대학교 산학협력단 · *강원대학교 응급의료재활학과
(2015. 6. 11. 접수 / 2015. 9. 24. 수정 / 2015. 9. 30. 채택)

A Study on the Motion Analysis of CPR on EMT Who Wearing PPE

Dong-min Shin · Jae-han Chung* · Seung-yong Kim** · Eun-jung Hong***
Kyoung-yong Kim**** · Yong-taek Han†

Department of Paramedic Science, Korea National University of Transportation · *Korea Fire Institute
**Department of Management Information System, Korea National University of Transportation
***Department of Industry-Academic Cooperation Foundation, Korea National University of Transportation
****Department of Emergency Medical Rehabilitation, Kang-Won National University
(Received June 11, 2015 / Revised September 24, 2015 / Accepted September 30, 2015)

Abstract : The purpose of this study is to find out its effect on changes in the joint angle and the success rate of cardiopulmonary resuscitation by conducting cardiopulmonary resuscitation (CPR) when wearing and not wearing PPE (personal protective equipment) targeting 20 paramedics with more than 5 years of experience. The subjects carried out CPR in 30:2 for 4 minutes and collected images were digitized by Kwon3D XP Software Package(Version 4.0) and then data were obtained. Data, which were collected by analyzing the motion when starting in one cycle, when pressing to the maximum, in the final position (relaxed), were analyzed by using SPSS 18.0. In conclusion, during CPR, the angle of the both shoulder joints was not significant ($p>.05$) and the angle of the right elbow joint was reduced in all positions and was statistically significant ($p<.05$) and the angle of the left was significantly reduced in the maximum pressure posture and the final position ($p>.05$). In the case of the trunk, the angle increased statistically significantly at all stages ($p<.01$, $p<.001$). Also, during CPR, the average compression rate was significantly reduced after wearing PPE ($p<.05$) and average hand escape time by cycle increased statistically significantly ($p<.05$) but chest compression execution rate at the correct depth did not show any significant difference between the two groups ($p>.05$).

Key Words : PPE(personal protective equipment), CPR, motion analysis

1. 서론

1.1. 연구의 필요성 및 목적

현대 사회는 복잡화·고도화·가속화되면서 소방의 역할과 기능은 더욱 중시되고 있다. 현재 광역지방자치단체의 소방본부는 생활안전의 확보를 위한 생활소방 서비스를 국민들에게 확대함으로써 안전을 위한 중요한 역할을 수행하고 있다. 소방공무원들은 제한된

동작으로 많은 활동을 수행하며 그러한 일을 할 때 신체적 요구도가 아주 많은 직업 중 하나로써¹⁾, 화재 진압 및 각종 재난대응 상황에서 화학적인 유해물질뿐만 아니라 생물학적인 또는 물리화적인 유해 환경에 노출되어 있고, 화재 및 재해 재난의 특수 작업환경으로 소방공무원의 건강은 항상 위협받고 있다. 특히 산업전반에 사용되고 있는 석면분진에 의하여 피부나 호흡기 장애의 위험성에 노출되어 있고, 불안정한 연소의 현

† Corresponding Author : Yong-Taek Han, Tel : +82-31-289-2957, E-mail : rthan102@hanmail.net
Korea Fire Institute, 331, Jisamro, Gihyung-gu, Yongin City, Gyeonggi-do 17088, Korea

장에서 발생하는 각종 유독가스에 직접적인 영향을 받고 있다²⁾.

CBRN(Cheical, Biological, Radiological and Nuclear) 특수재난의 경우 일반 재난과 달리 재난에 의해 발생한 환자에 대한 인명구조 및 응급처치 이외에도 화생방 및 핵 물질의 확산 및 2차 오염을 방지하기 위해 재난 현장을 오염도에 따라 구역화 하고 오염물질의 탐지, 채취, 수거, 제독 및 오염 환자 격리와 같은 추가적인 현장 처치 과정이 반드시 이루어져야 하는 특성을 갖고 있다. 따라서 CBRN 특수재난 대응을 위해서는 일반 자연재난 상황과 달리 현장 재난 대응 체계 각 구성 요소들의 핵심 기능이 작동 가능하도록 특별히 고안된 고유한 CBRN 대응 관련 제반 기술 및 장비 사용이 반드시 고려되어야 한다³⁾.

이와 같이 특수 재난에 노출되는 인력들에 대해 위험한 환경(온도, 신체적, 생물학적, 환경적 및 화학적) 등에 대한 보호를 위하여 개인보호장비(personal protective equipment, PPE)가 현재 개발되어 있다¹⁾. 개인 보호 장비는 소방복(turnout coat), 바지, 부츠, 장갑, 호흡기구(breathing apparatus) 및 헬멧 등으로 구성되어 있으며, 화염이나 고열뿐만 아니라 위험한 액체, 신체 및 전기적 위험성에서 보호하는 기능을 한다⁴⁾. Boorady et al.은 개인보호장비가 화상을 크게 줄이는데 크게 작용한다고 하였다⁵⁾. 우리나라의 경우에도 국민안전처 고시 제 2015-1호 “구급장비 기준” 제2조 별표 1에서 구급대원의 유해화학 구조용 화학보호복 A급, C급 등에 대하여 고시하고 있다. 미국 산업 안전 보건청(The Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서는 개인 보호 장비를 보호에 정도에 따라서 4가지 단계로 규정하고 있다.

Level A는 노출된 위험 물질이 가장 심한 단계의 위험성을 가지는 경우로서 가능한 최대의 차단 및 보호를 목표로 한다. 양압환기가 가능한 스쿠바(SCBA) 장비와 함께 인체가 외부와 완전히 차단되어 화학 물질 및 증기가 차단 가능한 캡슐형 수트 및 장갑 등을 포함한다. Level B는 level A와 비교하여 비슷한 수준의 호흡기 보호 역할을 하나 피부에 대한 보호는 level A에 비해 한단계 감소한 보호 단계이다.

Level C는 노출된 위험 물질의 농도 및 종류가 알려져 있으며 level A와 level B와 같은 스쿠바에 의한 호흡이 아닌 공기 정화기를 통하여 호흡기 질환의 전파를 차단하고 오염된 공기를 정화 후 호흡이 가능한 경우에 해당된다. Level D는 최소한의 보호를 시행하는 단계로 호흡기나 액체의 분출 등으로 피해 가능한 알

려진 큰 위험 물질에 대한 노출 또는 위협이 없는 경우에 해당된다.

한편 최근 연구에서는 개인보호장비가 대원들과 환경사이에 장벽을 형성하여 움직임 감소시키고 이로 인해 근육의 염좌등을 증가시키는등의 활동 수행에 있어서 부정적인 영향을 미친다고 하였다⁶⁻⁸⁾. Smith의 연구에서도 PPE로 인해 부피가 커지고 무게도 증가하여 활동을 제약하고 신체적인 부담(strains)을 증가시킨다고 하였다⁹⁾.

특히, 이와같은 PPE 장비의 경우 체구가 큰 유럽과 미국 지역에서 개발이 시작되어, 한국인 및 동양인의 체구에 맞지 않는 기본적인 문제점들을 가지고 있다. 따라서, 본 연구를 수행하면서 이와같은 기본적인 문제점들에 대해서 보완할 수 있다고 판단되며, 특히 국내 소방공무원 구급대원을 대상으로 개인보호장비 착용과 관련된 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구는 구급대원이 개인보호장비를 착용한 후 병원전 단계에서 환자에게 심폐소생술을 시행하는 경우 구급대원의 신체활동과 임무수행에 있어 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였으며 이를 토대로 효과적인 구급대원들의 개인보호장비 개발 등에 기초 자료가 되고자 시행하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상자

본 실험은 2014년 12월 16일 및 12월 17일 2일에 걸쳐서 충북 증평 한국 교통대학교 보건관 2층 시뮬레이션 센터에서 진행되었으며, 본 실험에 참여한 구급대원은 충북 지역 소방 소속의 5년 이상의 경력을 가진 119 구급대원 20명을 대상으로 하였으며 모든 피험자는 사전에 실험에 대한 충분한 설명 후 서면으로 동의를 받았다. 피험자들은 번호가 들어있는 상자에서 번호를 선택한 후 홀수번호가 나오면 PPE 미착용, 짝수번호가 나오면 PPE 착용후 심폐소생술을 하였으며 심폐소생술 후 피험자들의 피로 회복을 위하여 충분한 휴식(1시간 이상)을 취한 후 PPE 미착용자는 착용, PPE 착용했던 자는 미착용 한 후 심폐소생술을 다시 실시하였다.

본 실험에서 피험자는 OSHA PPE level C에 해당하는 개인 보호 장비(Tychem C, 방독면 #6800, 3M)를 착용한 후 Laerdal 사의 Resusci Anne QCPR® 마네킨을 사용하여 심폐소생술을 실시하였으며, Fig. 1에서 PPE 착용장비 및 CPR 동작 실험을 보여주고 있다.



Fig. 1. PPE(Personal protective equipment) and CPR.

2.2. 심폐소생술

연구자의 시작 신호와 함께 실험이 시작되며 피험자는 재난상황에서 발생한 심정지 환자에게 시행한다는 가정 하에 바닥에 설치된 마네킨에 30:2의 1인 심폐소생술을 4분 동안 시행하였다. 본 실험에서는 반응 확인의 단계는 생략 하였으며 바로 30번의 가슴압박 및 2번의 호흡 보조로 이루어진 30:2의 1인 구조술을 반복하였다. 중간 단계에서 맥박 확인은 시행하지 않았다.

2.3. 동작분석

본 연구에서 적외선 카메라(MotionMaster 100, Visol, USA) 6대를 사용하여 대상자들의 동작을 촬영하였다. 각각의 고속 카메라는 랜선을 통해 동조(synchronization)되었고, 촬영과 동시에 3차원 위치 좌표를 얻을 수 있는 카메라의 속도는 100frame/s로 설정하여 촬영하였고, 영상분석의 동조를 위해 Visol사의 VSAD-101인 전압 5V의 신호 발생기 2대를 각 기기와 Sync LED를 연결하고, 불빛이 모든 카메라에 잘 보일 수 있도록 Fig 2와 같이 설치하였다.

한편, 3차원 공간좌표 설정을 위해 연구대상자의 가슴압박을 할 수 있을 정도의 범위(가로 1 m, 세로 1 m, 높이 2 m)의 통제점 틀(control object)을 설치한 후 6대의 카메라를 작동시켜 통제점 틀을 10초간 촬영한 다



Fig. 2. The infrared camera using in this experiment.

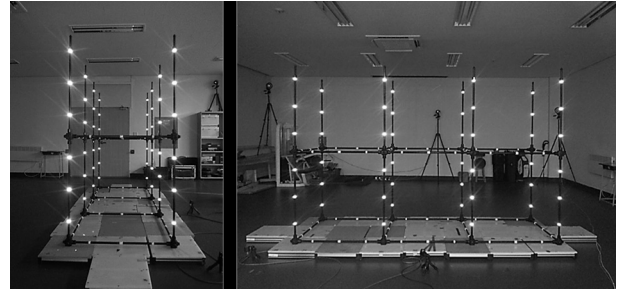


Fig. 3. The control objects in this experiment.



Fig. 4. The synchronized analog to digital converter.

음 제거하였다. 실공간의 좌표계의 설정(reference frame)은 대상자가 운동하는 방향을 Y축, 지면에 대하여 수직방향을 Z축으로 하고 Z축에서 Y축으로의 벡터의 외적(cross product)을 X축으로 하여 Fig. 3과 같이 장착하였다.

또한, 영상 분석을 위해 10 mm 반사마커를 가슴압박 동작 시 필요한 분절점에 부착하였으며, 영상 시스템의 시간적 동조를 위해서 Qualysis사 A/D보드의 외부 트리거(trigger)를 이용하였다. 이를 통해 영상분석 시스템에 전기 신호를 입력할 수 있으며 이 전기 신호를 통해 각각의 시스템에서 획득한 자료를 Fig. 4와 같이 동조시켰다.

이와 같이 촬영된 데이터들은 Visol사의 Kwon3D XP Software Package(Version 4.0)을 이용하여 2차원 영상에 대한 디지털라이징을 거쳐 3차원 데이터를 얻으며, 알고리즘들을 통한 프로세싱을 거쳐 부착된 반사 마커에 대한 원자료를 수집, 처리하여 가슴압박 주기에 따라 각 관절과 체간의 관절 각도를 분석하였으며, 모든 데이터의 통계분석 방법은 개인 보호복 착용 유무에 따라 심폐소생술 후 관절의 변화를 알아보기 위하여 SPSS 18.0을 사용하였다. 각 측정항목들의 정규성 검증을 위하여 Kolmogorov-Smirnov 이용하였으며 정규성

여부가 검정되어 모수통계방법인 paired t test를 분석하였고, 통계학적 유의수준 α 는 0.05로 하였다.

3. 연구 결과

3.1. 관절의 각도 변화

어깨관절의 경우에는 심폐소생술 주기 중 개인보호복 비착용 시 오른쪽 어깨관절의 시작자세, 가장 깊이 압박했을 때, 끝 자세로 돌아왔을 때의 각도는 각각 $38.37 \pm 9.75^\circ$, $43.57 \pm 7.12^\circ$, $40.34 \pm 7.18^\circ$ 였고, 개인보호복 착용 시 각각의 각도는 $39.06 \pm 9.16^\circ$, $41.25 \pm 7.41^\circ$, $37.12 \pm 7.13^\circ$ 로 비교적 개인보호복 착용 후 각도가 감소하는 것으로 나타났으나 통계학적으로 유의하지 않았다. 왼쪽 어깨관절의 경우에는 개인보호복 비착용 시 작 자세에서의 각도는 $39.15 \pm 10.55^\circ$, $42.90 \pm 6.34^\circ$, $39.71 \pm 6.73^\circ$ 였으며, 착용 후 $38.29 \pm 6.19^\circ$, $43.65 \pm 5.31^\circ$, $39.92 \pm 5.85^\circ$ 로 나타났으나 통계학적으로 유의하지 않아 개인보호복 착용 시에 양쪽 어깨관절의 각도는 큰 차이가 나지 않는 것으로 Fig. 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

한편, 심폐소생술 주기 중 개인보호복 비착용 시 오른쪽 팔꿈치관절의 시작자세, 가장 깊이 압박했을 때, 끝 자세로 돌아왔을 때의 각도는 각각 $154.39 \pm 11.39^\circ$, $154.60 \pm 8.57^\circ$, $154.79 \pm 9.34^\circ$ 였고, 착용 시 각각의 각도는 $145.39 \pm 15.34^\circ$, $143.42 \pm 15.53^\circ$, $145.27 \pm 14.81^\circ$ 로 각도가 감소하는 것으로 나타났으며 통계학적으로 유의하였다($p < 0.05$). 개인보호복 비착용 시 왼쪽 팔꿈치관절의 각 자세별 각도는 $158.92 \pm 17.87^\circ$, $160.92 \pm 8.53^\circ$, $163.67 \pm 7.87^\circ$ 였으며, 착용 후 $158.42 \pm 9.26^\circ$, $154.97 \pm 7.93^\circ$, $157.25 \pm 7.29^\circ$ 로 나타났고 압박자세와 끝자세에서 통계학적으로 유의하게 감소하는 것으로 나타나($p < 0.05$) 개인보호복 착용 시 양쪽 팔꿈

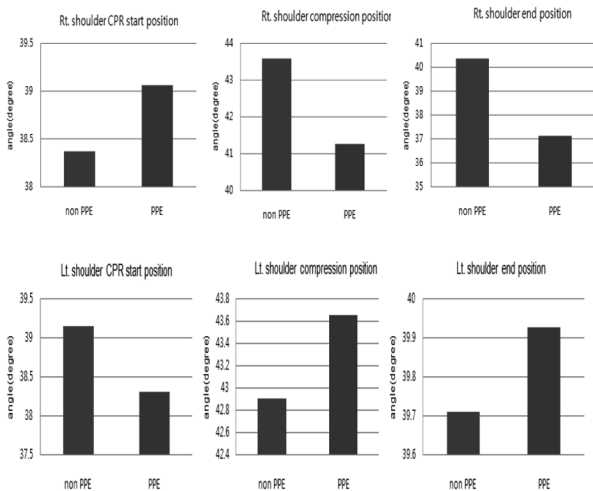


Fig. 5. The comparison of both shoulder angle.

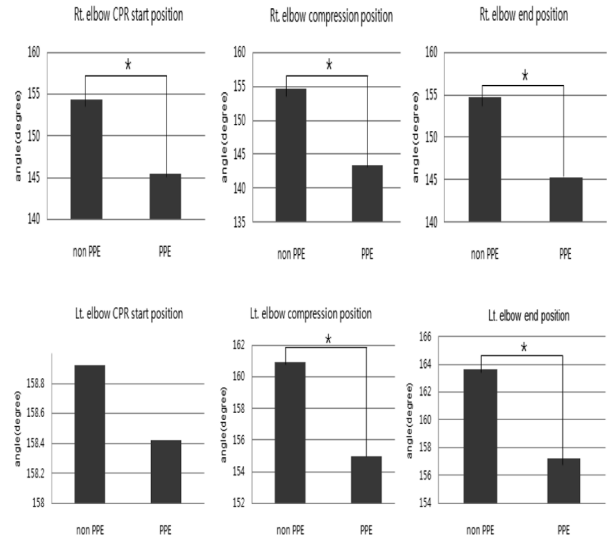


Fig. 6. The Comparison of both elbow angle.

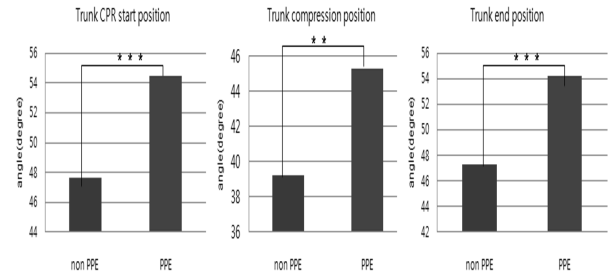


Fig. 7. The comparison of trunk angle.

이 비착용 시에 비해 팔꿈치가 굽혀지는 것으로 Fig. 6과 같은 결과를 확보할 수 있었다.

그리고, 체간의 경우에는 심폐소생술 주기 중 개인보호복 비착용 시 체간의 시작자세, 가장 깊이 압박했을 때, 끝 자세로 돌아왔을 때의 각도는 각각 $47.67 \pm 3.65^\circ$, $39.26 \pm 4.42^\circ$, $47.33 \pm 4.64^\circ$ 였고, 착용 시 각각의 각도는 $54.45 \pm 6.13^\circ$, $45.29 \pm 5.62^\circ$, $54.23 \pm 5.89^\circ$ 로 증가하는 것으로 Fig. 7과 같이 나타났고 통계학적으로 유의하였다($p < 0.01$, $p < 0.001$).

3.2. 심폐소생 성공률 비교

개인보호복 비착용군과 착용군의 평균 가슴압박 속도는 각각 117.8+14.2초, 111.9±13.9초로 개인보호복을 착용할 경우 가슴압박의 속도가 떨어짐을 알 수 있었고 통계학적으로 유의하였다($p < 0.05$). 5 cm 이상의 적절한 가슴 압박의 수행률은 각각 54.9% 및 56.6%로 개인보호복 착용 시에 더 높았으나 통계학적으로 유의하지 않았다. 각 심폐소생술 주기별 평균 손이탈 시간은 비착용 및 착용군에서 각각 11.1초 및 12.5초로 착용군

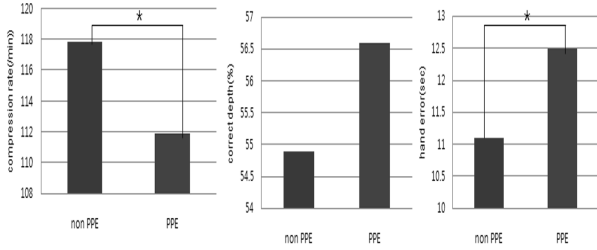


Fig. 8. The comparison of CPR success.

에서 더 길었고($p < 0.05$), 개인별 평균 차이는 1.3초로 나타났으며 Fig. 8에서 결과 값을 보여주고 있다.

4. 고찰

Coca et al.의 연구에서 PPE를 입었을 때 관절각도의 감소와 임무 수행능력이 유의하게 감소하였고¹⁰⁾, Park et al. 연구에서도 PPE를 입은 소방대원의 걸음거의 속도가 느려지고 보폭은 넓어지며 움직임의 어려움이 증가하였다¹¹⁾. 본 연구에서도 심폐소생술에 있어 수직을 유지해야 하는 팔꿈관절의 경우 PPE를 입은 후에 각도가 감소하는 것으로 나타나 팔꿈이 수직상태를 유지하는 것이 어려운 것으로 나타났다. 또한 환자에게 최대한 몸을 굽혀 압박력을 전달해야 하는 체간의 경우는 오히려 PPE를 입은 상태에서 각도가 증가하는 것으로 나타나 체간의 적절한 굽힘이 이루어지지 않아 이 또한 압박력에 영향을 미칠 것으로 생각되며 다음 주기로 넘어가는 것에도 적절한 반응을 주기 어려울 것이며 이로 인하여 심폐소생 성공률에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 1인 구조시 구급대원이 가슴압박과 함께 시행해야 하는 과정에서의 가슴압박이 중지되는 손이탈 시간 및 비율의 경우 개인보호복을 착용한 군에서 더 나쁜 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 각 심폐소생술 주기별 평균 손이탈 시간은 비착용 및 착용군에서 각각 11.1초 및 12.5초로 착용군에서 더 길었고 ($p < 0.05$), 개인별 평균 차이는 1.3초로 나타났다. 이는 30:2 심폐소생술시에 1주기별 약 1.3초 정도로 개인보호복을 착용하였을 시 환자가 심폐소생술에서 덜 흉부 압박을 받음을 시사하며 이는 심폐소생술이 길어질수록 비례하여 늘어날 것이다. 이는 장갑을 포함한 개인보호복의 착용이 부정적인 영향을 미치며 개인보호복의 낮은 이동성이 심폐소생술 시행시 가슴 압박과 환기 술기로의 전환이 지연될 수 있음을 시사하고 있다. Ben-Abraham et al.은 CBRN (Chemical, Biological, Radiological and Nuclear) 보호장비가 정맥주사 주입이 더 어렵다고 하였다¹²⁾. 이러한 이유로 Park et al.과

Punakallio et al.은 PPE가 피로율을 증가시키고, 유연성과 운동성을 감소시키며 중력 중심점을 변화시키기 때문이라고 하였다¹³⁻¹⁴⁾.

이와같은 문제는 한국인의 표준 체형에 맞춘 PPE의 장비를 표준화하여 제작하면, 이와같은 문제점에 대하여 개선을 이룰 수 있다고 판단이 되며 매우 시급한 문제라 판단된다.

5. 결론

본 연구는 5년 이상의 경력을 가진 구급대원을 대상으로 개인보호복을 입었을 때와 입지 않았을 때의 심폐소생술 시 여러 관절에 어떠한 변화가 있는지, 심폐소생 성공률에는 어떠한 영향을 미치는지 파악하고자 하였으며 정리하면 다음과 같다.

1. 심폐소생에서 압박 시 중요한 팔꿈 관절의 각도는 개인 보호복을 착용하지 않았을 때에 비해 착용하였을 때에 더 굽혀졌고, 체간의 경우는 특히 심폐소생술의 중요 시점인 최대압박 기간에 체간의 각도가 증가하는 것으로 나타나 상체가 환자로부터 더 멀어져 적절한 압박이 이루어지지 않을 것으로 예측된다.

2. 심폐소생술의 경우 가슴 압박의 지표에는 양군에서 크게 차이나지 않았으나 1인 구조시 구급대원이 가슴압박과 함께 시행해야 하는 과정에서의 가슴압박이 중지되는 손이탈 시간 및 비율의 경우 개인 보호복을 착용한 군에서 더 나쁜 결과를 나타냄을 알 수 있었다.

3. 심폐소생술 시 팔꿈관절의 각도 감소와 어깨관절과 체간과의 각도 증가는 필요 이상의 근육 수축 등으로 장시간 응급처치를 할 경우 신체의 근육들의 비효율적인 반응으로 인해 구급대원들의 피로가 증가할 것으로 사료된다. 이는 보호복이 신체에 밀착되지 못하고 탄력성이 떨어지기 때문에 응급처치에 적절한 자세를 취하거나 유지하기 부적절하기 때문으로 생각된다.

4. 따라서 향후 개인보호복은 응급처치에 필요한 인체의 관절 각도가 충분히 유지될 수 있도록 관절의 유연성을 확보하기 위해 관절부위의 탄력성 소재와 장시간의 활동 등을 고려하여 땀의 흡수나 통풍 등을 고려한 섬유의 사용이 적합할 것으로 사료된다.

본 연구는 일부 구급대원을 대상으로 하여 일반화하기에 제한이 있으나 구급대원의 응급처치 활동과 관련된 연구가 부족한 상황에서 본 연구가 향후 구급활동과 관련된 동작분석 및 개인보호복 개발 등에 대한 기초 자료로 이용되고자 한다.

감사의 글 : 본 연구는 소방방재청 차세대핵심소방안

전기기술개발사업 “2013-NEMA14-003-01010000-2014”의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- 1) A. Coca, W. J. Williams, R. J. Roberge and J. B. Powell, “Effects of Firefighter Protective Ensembles on Mobility and Performance”, *Appl. Ergon.*, Vol. 41, No. 4, pp. 636-641, 2010.
- 2) G. G. An, “A Study on the Approaches to Protect Fire Officers from Occupational Diseases-Focusing on Gyung-sangnam-Do”, Master’s Thesis, Kyung-nam University, 2010.
- 3) J. M. Chung, D. H. Seol, J. B. Park, K. S. Seo, J. H. Lee and H. D. Kim, “Analysis of Transportation of Victims of the Subway Fire in Dae-gu,” *Jour. Kor. Soc. Emer. Medi.*, Vol. 14, No. 5, pp. 514-521, 2003.
- 4) H. J. Park, S. Y. Kim, K. Morris, M. Moukperian, Y. J. Moon and J. Stull, “Effect of Fire-fighters’ Personal Protective Equipment on Gait”, *Appl. Ergon.*, Vol. 48, pp. 42-48, 2015.
- 5) L. M. Boorady, J. Barker, Y. A. Lee, S. H. Lin, E. Cho and S. P. Ashdown, “Exploration of Firefighter Turnout Gear Part 1: Identifying Male Firefighter user Needs” *Jour. Text. Appar. Technol. Manag.*, Vol. 8, pp. 1-13, 2013.
- 6) S. S. Chiou, N. Turner, J. Zwiener, D. L. Weaver and W. E. Haskell, “Effect of Boot Weight and Sole Flexibility on Gait and Physiological Responses of Firefighters in Stepping Over Obstacles”, *Jour. Hum. Factors Ergo. Soc.*, Vol. 54, pp. 373-386, 2012.
- 7) A. Punakallio, “Balance Abilities of Workers in Physically Demanding Jobs: with Special Reference to Firefighters of Different Ages”, *Jour. Spor. Sci. Med.*, Vol. 13, No. 1, pp. 1-47, 2005.
- 8) T. M. Sobehi, K. G. Davis, P. A. Succop, W. A. Jetter and A. Bhattacharya, “Postural Balance Changes in on-duty Firefighters: Effect of Gear and Long Work Shifts”, *Jour. Occup. Environ. Med.*, Vol. 48, pp. 68-75, 2006.
- 9) D. L. Smith, “Firefighter Fatalities and Injuries: the Role of Heat Stress and PPE”, Firefighter Life Safety Research Center, 2008.
- 10) A. Coca, R. Roberge, A. Shepherd, J. B. Powell, J. O. Stull, and W. J. Williams, “Ergonomic Comparison of a Chem./Bio Prototype Firefighter Ensemble and a Standard Ensembles on Mobility and Performance” *Appl. Ergon.*, Vol. 104, No. 2, pp. 636-641, 2007.
- 11) K. Park, K. S. Rosengren, G. P. Horn, D. L. Smith and E. T. Hsiao-Wecksler, “Assessing Gait Changes in Firefighters due to Fatigue and Protective Clothing”, *Safe. Scie.*, Vol. 49, No. 5, pp. 719-726, 2011.
- 12) R. Ben-Abraham, I. Gur, Y. Vater and A. A. Weinbroum, “Intraosseous Emergency Access by Physicians Wearing Full Protective Gear”, *Acad. Emerg. Med.*, Vol. 10, No. 2, pp. 1407-1470, 2003.
- 13) K. Park, P. Hur, K. S. Rosengren, G. P. Horn and E. T. Hsiao-Wecksler, “Effect of Load Carriage on Gait due to Firefighting Air Bottle Configuration”, *Ergonomics*, Vol. 53, No. 7, pp.882-891, 2010.
- 14) A. Punakallio, S. Lusa and R. Luukkonen, “Protective Equipment Affects Balance Abilities Differently in Younger and Older Firefighters”, *Avia. Spa. & Envir. Medi.*, Vol. 74, pp.1151-1156, 2003.