소방용 보호장구 착용과 하지 근육 피로가 보행 시 하지관절의 움직임에 미치는 영향 연구

Effects of Firefighting Equipment and Muscular Fatigue on Movement of the Lower Extremity Joints while Walking

유동훈*

Yoo, Donghoon*

Abstract

This study aimed to examine the changes in the movement of the lower extremity joints while walking with firefighting equipment and muscular fatigue. The subjects of this study included nine male college students (age: 25.33 ± 2.18 years, height: 176.78 ± 4.35 cm, weight: 74.89 ± 8.71 kg), who were subjected to contrast treatment (CON), firefighting equipment treatment (FFE), and fatigue treatment (FFE+fatigue). We found that the joint angles showed significant differences between treatment effects in the right hip joint, and the right and left knee joints. Therefore, the role of the knee joint was critical in maintaining stability while walking with firefighting equipment and muscular fatigue. Further research on muscular fatigue and the ability of firefighters to adapt while on duty should be conducted.

Key words : Firefighting Equipment, Muscular Fatigue, Lower Extremity Joints, Joint Angle

요 지

본 연구는 소방용 보호장구의 착용과 하지 근육 피로가 보행 시 하지관절의 움직임에 대한 변화를 알아보고자 시도하였다. 연구대상자는 남자 대학생 9명(연령: 25.33 ± 2.18 세, 신장: 176.78 ± 4.35 cm, 체중: 74.89 ± 8.71 kg)으로 비교처치(CON), 소방용 보호장구 처치(FFE), 피로 처치(FFE+Fatigue)를 수행하였다. 연구결과, 우측 엉덩관절, 우측 및 좌측 무릎관절에서 관절 각도는 처치 간 유의한 차이가 나타났다. 이상의 결과, 소방용 보호장구 착용과 피로에 대하여 보행 시 안정성을 유지하기 위해 무릎관절의 역할이 중요한 것으로 나타났다. 추후 소방관을 대상으로 다양한 소방직무 수행 시 발생하는 피로와 적응에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

핵심용어 : 소방용 보호장구, 근육 피로, 하지관절, 관절 각도

1. 서 론

소방관은 극도로 위험한 직종으로 2006~2016년 동안 순직한 소방관이 60명으로 화재진압 24명(40%), 구조 19명(28.3%), 구급 3명, 교육·훈련 3명, 기타 13명의 순이었다(Kim, 2016). 10년간 부상 소방관은 3,241명으로 화재진압 시 부상 소방관이 754명, 구급 752명, 구조 342명 순이었다

(Kim, 2016). 부상 및 건강장애와 관련하여 Kwon et al. (2019)은 부산시 소방관을 대상으로 화재진압대원, 구조 및 구급대원의 유해인자 중 낙상 위험을 언급하였으며, 미국에서 소방관 부상의 범주를 이끄는 하나인 STF (Slip, Trip, Fall)는 화재장소에서 매년 2,800건 이상이 발생하는 것으로 보고되고 있다(Karter and Molis, 2009).

소방관은 화재 및 구조 작업 시 개인의 신체를 보호하기

*교신저자, 정회원, 경남대학교 교육문제연구소 연구조교수(Tel: +82-55-249-2986, Fax: +82-505-999-2167, E-mail: ydh0701@kyungnam.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Research assistant professor, Institute for Educational Research, Kyungnam University

위해 소방방화복과 공기호흡기(Self contained breathing apparatus, SCBA) 등 무게가 20 kg이 넘는 소방용 보호장구(Fire fighting equipment, FFE)를 착용한다. 소방방화복의 착용은 피부를 보호하지만 열 발산을 방해하며, 걷기 시 평상복 착용에 비해 신체대사율이 21% 증가하는 것으로 보고되고 있다(Dorman and Havenith, 2009). 각종 유해가스로부터 호흡계통을 보호하기 위한 SCBA도 작업능력에 영향을 미치는데, SCBA에 익숙하지 않은 초보자의 경우 경험자들에 비해 많은 공기를 사용하고 보다 큰 호흡곤란을 가지는 것으로 보고되었다(Donovan and McConnell, 1999). 이러한 소방용 보호장구의 착용은 소방활동 시 신체의 피로도를 더욱 증가시키며, 이동성 감소 및 무게 중심의 변화를 가져와 낙상과 관련한 문제를 야기할 수 있다(Park et al., 2010).

이전의 여러 연구에서 소방 직무수행 시 소방방화복과 SCBA의 착용은 보행 속도의 감소, 심혈관 질환 및 혈중 염증지표 증가, 화재진압 시 발에 걸리고 미끄러질 위험이 증가하여 작업 능력이 저하된다는 결과를 보고하고 있다(Louhevaara et al., 1995; Kincl et al., 2002; Yoo et al., 2015). 현재 우리나라 소방관들에게 지급되고 있는 전형적인 소방방화복은 실제 인체 치수에 비해 부피가 큰 맷을새를 만들고, 옷의 중량을 증가시켜 인체의 동작 범위를 제한하게 된다(Kim and Park, 2015). 또한, 화재진압 시 소방방화복의 피부 보호를 위한 낮은 통기성은 열 스트레스와 체온의 상승으로 이어져 근피로 발병과 탈수의 촉진, 심혈관 질환의 증가, 인지기능의 방해 등 인체에 무수한 영향을 미친다(Smith et al., 2004; Yoo, 2018). 특히 열 스트레스는 근육 피로의 조기 발병을 초래하며, 걷기와 관련된 소방관의 생체 역학적 변화에 부정적 영향을 미쳐 다양한 부상에 영향을 줄 수 있다. 그러나 소방용 보호장구와 소방활동으로 인한 피로가 이동성과 STF 위험에 어떠한 영향을 미치는지 이해할 필요가 있고, 이와 관련한 객관적인 데이터는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 소방용 보호장구의 착용과 격렬한 소방활동으로 인한 피로가 보행 시 하지관절의 움직임에 어떠한 영향을 주는지 알아보고, 그와 관련한 기초자료를 제공하고자 시도하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 연구 대상

본 연구를 위해 신경 및 근골격계에 이상이 없는 K 대학교 남자 대학생 9명을 피험자로 선정하였다. 모든 피험자는 실험 전, 실험의 취지와 방법을 숙지하였으며, 실험 전 K 대학교 생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인을 통해 작성된 참여 동의서를 작성하고 실험에 참여하였다. 연구대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of the Subjects

(N = 9)

Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
25.33 ±2.18	176.78 ±4.35	74.89 ±8.71	23.90 ±1.87

Mean±SD. BMI: body mass index

2.2 실험 절차

본 실험에 앞서 모든 피험자는 소방용 보호장구를 착용 후 자연스러운 보행 동작을 수행하기 위해 사전 적응 연습을 충분히 실시하였으며, 피로를 유발할 수 있는 강도 높은 신체활동을 실험 3주전부터 금지하였다.

소방용 보호장구 착용과 피로가 보행 시 하지관절의 움직임을 알아보기 위하여 3가지 처치를 하였다. 비교처치(CON)는 반팔, 반바지와 운동화를 착용하였으며(약 1.2 kg), 소방용 보호장구 처치(FFE)는 헬멧, 방화두건, 소방방화복, 장갑, 안전화와 SCBA를 착용하였다(약 23.2 kg). 피로 처치(FFE+Fatigue)는 소방용 보호장구를 착용하고 피로를 준 후 보행을 하였다. 피로를 주기 위해 Gregory et al. (2008)의 계단 오르기 머신에서 시행하는 피로 프로토콜을 참고하였다. 본 연구에서는 계단 오르기 머신과 유사한 스텝퍼(stepper)를 이용하였으며, 피험자는 소방용 보호장구를 착용하고 스텝퍼에서 3분간 운동을 실시하였다(처음 20초: 50 min/step, 이후 2분 40초: 60 min/step).

모든 피험자는 실험 1시간 전에 도착하여 하지관절의 움직임을 분석하기 위해 Myomotion sensor를 해당 부위에 고정하는 작업을 실시하였다. 피험자는 3가지 처치 중 CON, FFE의 순서는 무작위로 실시하였으며, FFE+Fatigue 처치는 피로 프로토콜의 적용으로 인하여 충분한 휴식 후 마지막에 실시하였다(Fig. 1). 보행은 K대학교 M관의 복도에서 10 m 구간을 설정하여 중간 부분의 자연스러운 보행 양상을 선택하였으며, 각 처치마다 3회씩 실시하여 평균값으로 분석하였다. 보행 시 처치 간 측정오류를 최소화하기 위해 메트로놈(metronome)으로 보행 속도를 조절하였으며, 보행 속도는 Davids (1992)의 보행 시 적용되는 빠른 보행(125 steps/min)을 실시하였다.

Fig. 1. Scene of Experiment

2.3 측정 방법

보행 동작 분석을 위해 3D 완전무선 동작분석기 시스템(Myomotion System, Noraxon co., USA)을 사용하였으며, 100 Hz의 Sampling Rate로 하지관절 각도의 데이터를 획득하였다. 보행 시 동작의 분석을 위해 Myomotion sensor를 허리(waist), 양쪽 허벅지(thigh), 양쪽 정강이(tibia)와 양쪽 발등(dorsum of foot)에 부착하였다. 각 처치의 동작 비교를 위해 시상면(sagittal plane)을 기준으로 4개의 하지관절각을 설정하였다. 첫째, 체간 기울기(Pelvic tilt, PT)는 상체의 기울어진 정도로 수직선상에서 +각은 뒤로 기울어진 정도, -각은 앞으로 기울어진 정도를 의미한다. 둘째, 엉덩관절 각도(Hip angle, HA)는 골반과 대퇴가 이루는 상대각으로 +각은 굴곡(Flexion), -각은 신전(Extension)을 의미한다. 셋째, 무릎관절 각도(Knee angle, KA)는 대퇴와 하퇴가 이루는 상대각으로 +각은 굴곡, -각은 신전을 의미한다. 마지막으로 발목관절 각도(Ankle angle, AA)는 하퇴와 발이 이루는 상대각으로 -각은 배측굴곡(Dorsi flexion), +각은 저측굴곡(Plantar flexion)을 의미한다.

보행 시 분석의 용이성을 위해 처음 오른발 뒤꿈치가 지면에 닿는 순간(Right heel contact1, RHC1), 왼발 앞꿈치가 지면에서 떨어지는 순간(Left toe take-off, LTO), 왼발 뒤꿈치가 지면에 닿는 순간(Left heel contact, LHC), 오른발 앞꿈치가 지면에서 떨어지는 순간(Right toe take-off, RTO), 다시 오른발 뒤꿈치가 지면에 닿는 순간(Right heel contact2, RHC2)의 5개 중요 이벤트(Event)를 설정하였다(Fig. 2).

Fig. 2. Definition of Events

2.4 자료 분석

각 측정항목에 대한 결과는 평균과 표준편차로 나타내었으며 통계분석은 SPSS 20.0 통계 프로그램(SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 3가지 처치 간의 하지관절의 각도 차이를 규명하기 위하여 일원변량분석(one-way ANOVA)을 실시하였으며, 이때 유의한 차이가 나타났을 경우 Bonferroni 방법으로 사후검증을 실시하였다. 모든 통계적 유의수준은 $p < .05$ 로 하였다.

3. 결과 및 분석

Table 2에 소방용 보호장구 착용과 피로에 따른 보행 시 5개의 이벤트에서 체간 기울기, 엉덩관절, 무릎관절 및 발목관절의 관절 각도를 비교하여 나타내었다.

체간 기울기는 세 처치 간 통계적 유의한 차이는 나타나지 않았으나 CON보다 FFE가 다소 뒤로 기울여지는 경향을 보였다. 이는 SCBA의 착용에 의한 결과로써, Singh and Koh (2009)는 걷거나 선 자세에서 배낭의 착용은 자세 불균형을 야기하여 신체 중심을 후방과 상위로 이동시킨다고 보고하였다. FFE에서 피로를 준 후에는 체간이 전방으로 기울여지는 경향이 나타났으며, 이는 피로로 인하여 자세의 불안정성이 증가되어 균형을 위해 신체중심을 낮추기 위한 것으로 사료된다.

엉덩관절 각도는 RHA의 RTO 이벤트에서 처치 간 유의한 차이가 나타났다($p < .001$). 사후검증 결과, CON은 FFE ($p < .001$), FFE+Fatigue ($p < .01$)와 유의한 차이가 나타났다. 우측 엉덩관절에서 FFE는 CON보다 RHC1, LTO에 굴곡 각도의 증가와 LHC, RTO에서 신전 각도의 증가가 나타났다. 이는 소방용 보호장구의 무게 부하로 인한 추진력을 증가시키기 위한 것으로 사료되며, 엉덩관절 각도의 증가는 증가된 무게를 분산시키고 추진력을 일으키는 증거라고 보고하였다(Leardini et al., 2007). 그러나 통계적 유의한 차이는 없었지만, FFE+Fatigue에서 피로로 인하여 엉덩관절의 각도는 FFE보다 낮게 나타났다.

무릎관절 각도의 결과를 살펴보면, RKA의 LHC 이벤트($p < .01$), LKA의 RHC1, LHC와 RHC2 이벤트에서 처치 간 유의한 차이가 나타났다($p < .001$). 사후검증 결과, RKA는 CON과 FFE, FFE+Fatigue는 유의한 차이가 나타났다($p < .01$). LKA에서도 CON은 FFE, FFE+Fatigue와 유의한 차이를 보였다($p < .001$). 무릎관절은 착지 후 체중이 착지발로 이동하면서 부하의 완충을 위하여 무릎을 약간 구부리게 되며, 이후 추진력을 얻기 위해 무릎을 신전하면서 무릎관절 각도는 다시 증가하게 된다(Lee, 2009). 본 연구에서 착지 후에 무릎관절의 굴곡 각도는 FFE+Fatigue, FFE, CON 순으로 나타났다. 무릎관절을 펴는 구간에서 신전 각도는 FFE+Fatigue, FFE가 CON보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. Parijat and Lockhart (2008)은 하지의 근피로를 증가시켜 보행을 할 경우 착지 시 무릎은 신전 각도가 증가되고, 발목은 배측굴곡 각도가 증가하는 것으로 보고하였다. 그러나 본 연구에서 착지 시 FFE+Fatigue가 무릎관절의 신전 각도는 가장 작은 각도를 나타내어 상반된 결과를 보였다. 이러한 결과는 피험자들이 착지 시 무릎관절의 굴곡 각도를 크게 하여 충격을 줄인다는 연구 보고와 유사하게 나타났으며(Malinzak et al., 2001), 하지관절 중에서 무릎관절은 착지 시 부하를 많이 받는 부위로서 충격 흡수를 위해 주요한 역할을 하는 것으로 보고되고 있다(Decker et al., 2003).

발목관절 각도는 착지 시 충격력을 완충하기 위하여 변화되고 충격력의 완충 역할이라는 측면에서 운동역학적 의미가 크며(Lee, 2009), 하지의 추진을 위해 toe-off 시점에서 급격히 족저굴곡 현상이 나타나고 이후 최대로 나타난다(Winter, 1983). 본 연구에서 발목관절 각도는 세 처치 간

Table 2. Results of Lower Limb Joint Angle During Gait

(unit: degree)

Variables	Event	CON	FFE	FFE+Fatigue	F	p
PT	RHC1	1.13±2.98	2.58±4.55	-0.30±6.11	.743	.486
	LTO	1.70±3.29	7.59±6.01	5.05±5.72	2.629	.093
	LHC	1.26±2.82	2.21±4.30	0.15±5.12	.487	.621
	RTO	2.43±3.24	7.67±6.14	5.21±6.13	1.920	.169
	RHC2	1.17±2.87	2.44±4.66	-0.11±5.96	.597	.559
RHA	RHC1	6.13±3.81	5.82±4.65	7.18±4.60	.212	.810
	LTO	5.13±3.44	9.08±3.54	7.86±4.52	2.201	.133
	LHC	-5.55±3.70	-9.75±6.02	-6.77±3.46	1.813	.185
	RTO	3.01±3.23	-5.41±4.17a***	-2.95±3.58a**	11.084	.000***
	RHC2	5.97±3.76	5.72±4.55	7.02±4.48	.210	.812
LHA	RHC1	-5.97±3.33	-9.54±6.11	-10.53±6.33	1.562	.230
	LTO	5.14±2.05	5.54±4.11	4.73±4.03	.108	.898
	LHC	11.16±6.81	14.83±7.20	14.19±7.85	.578	.569
	RTO	6.53±4.18	7.03±4.70	6.79±3.87	.028	.973
	RHC2	-5.89±3.27	-9.64±6.13	-10.35±6.17	1.599	.223
RKA	RHC1	-2.26±1.59	-4.08±4.01	-5.04±3.11	1.694	.205
	LTO	-11.37±3.64	-10.69±5.26	-10.51±4.62	.079	.924
	LHC	-10.89±2.84	-5.51±2.32a**	-5.56±3.64a**	8.593	.002**
	RTO	-40.00±9.38	-44.67±9.69	-45.49±8.66	.840	.444
	RHC2	-2.09±1.65	-4.77±3.18	-4.94±3.43	2.504	.103
LKA	RHC1	-12.76±2.61	-5.77±2.97a***	-5.88±2.38a***	18.020	.000***
	LTO	-43.87±6.49	-48.16±6.88	-49.34±6.61	1.488	.246
	LHC	2.50±1.82	-5.79±4.48a***	-6.22±3.92a***	14.942	.000***
	RTO	-9.92±3.92	-9.79±4.85	-11.19±6.37	.181	.836
	RHC2	-12.88±2.08	-5.80±2.76a***	-6.01±2.34a***	22.349	.000***
RAA	RHC1	-6.50±4.19	-5.57±2.54	-6.86±4.23	.252	.779
	LTO	17.65±6.02	15.23±7.98	14.26±8.63	.418	.663
	LHC	-8.38±7.30	-7.25±2.69	-6.53±3.38	.288	.752
	RTO	69.34±8.23	74.56±9.13	74.62±9.13	.943	.403
	RHC2	-6.43±4.89	-5.38±2.15	-6.40±3.99	.190	.828
LAA	RHC1	-16.25±9.00	-18.10±3.25	-16.67±5.55	.184	.833
	LTO	30.29±9.77	29.17±19.84	31.04±18.70	.025	.975
	LHC	-6.15±2.52	-7.08±4.78	-5.62±2.05	.391	.681
	RTO	-3.10±2.87	-4.03±2.39	-3.84±4.26	.180	.836
	RHC2	-16.69±8.98	-18.13±2.75	-16.04±4.25	.258	.775

Values=Means±SD. CON: control, FFE: fire fighting equipment. PT: pelvic tilt, RHA: right hip angle, LHA: left hip angle, RKA: right knee angle, LKA: left knee angle, RAA: right ankle angle, LAA: left ankle angle. RHC1: right heel contact1, LTO: left toe take-off, LHC: left heel contact, RTO: right toe take-off, RHC2: right heel contact2. a: significantly different from CON. *** $p<.001$, ** $p<.01$.

통계적 유의한 차이는 없었다. 이는 Birrell and Haslam (2009)의 보행 시 군용 배낭의 부하 추가는 무릎과 엉덩관절의 운동범위는 차이가 나타났지만, 발목관절의 변화는 없었다는 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 착지 시 부하는 발, 무릎, 엉덩이, 척추로 전이되며, 신체는 발목관절, 무릎관절, 엉덩관절을 통하여 부하의 전이를 최소화하고 흡수한다 (Dufek and Bates, 1990). 본 연구에서 소방용 보호장구와 피로에 의한 충격을 엉덩관절 및 무릎관절에서 효과적으로

조절함으로써 발목관절의 전이가 최소화 되어 처치 간 차이가 없는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 소방용 보호장구의 착용과 피로가 보행 시 하지관절의 움직임에 대한 변화를 알아보고자 하였다. 그 결과, 우측 엉덩관절에서 RTO 이벤트, 우측 무릎관절에서

LHC 이벤트, 좌측 무릎관절은 RHC1, LHC와 RHC2 이벤트에서 각 관절 각도는 처치 간 유의한 차이가 나타났다. 이상의 연구결과, 소방용 보호장구의 착용과 피로에 대하여 보행 시 안정성을 유지하기 위해 무릎관절의 역할이 보다 중요한 것으로 나타났다. 따라서 현장 소방관의 화재진압 시 안전을 위하여 체력단련 시 무릎관절의 주변 근육 강화를 우선하여 시행하여야 할 것이다. 추후 연구에서는 소방관을 대상으로 상·하체 근육의 근전도 및 생체역학 변인들을 추가하여 다양한 소방직무 수행 시 발생하는 피로와 적응에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2017R1D1A1B04030587).

References

- Birrell, S.A., and Haslam, R.A. (2009). The effect of military load carriage on 3-D lower limb kinematics and spatiotemporal parameters. *Ergonomics*, Vol. 52, No. 10, pp. 1298-1304.
- Davids, J.R. (1992). Gait analysis: normal and pathological function (review of *Gait analysis: Normal and pathological function*, by Jacquelin Perry). *Journal of Pediatric Orthopaedics*, Vol. 12, No. 6, p. 815.
- Decker, M.J., Torry, M.R., Wyland, D.J., Sterett, W.I., and Steadman, J.R. (2003). Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clinical Biomechanics*, Vol. 18, No. 7, pp. 662-669.
- Donovan, K.J., and McConnell, A.K. (1999). Do fire-fighters develop specific ventilatory responses in order to cope with exercise whilst wearing self-contained breathing apparatus? *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, Vol. 80, No. 2, pp. 107-112.
- Dorman, L.E., and Havenith, G. (2009). The effects of protective clothing on energy consumption during different activities. *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 105, No. 3, pp. 463-470.
- Dufek, J.S., and Bates, B.T. (1990). The evaluation and prediction of impact forces during landings. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 22, No. 3, pp. 370-377.
- Gregory, D.E., Narula, S., Howarth, S.J., Russell, C., and Callaghan, J.P. (2008). The effect of fatigue on trunk muscle activation patterns and spine postures during simulated firefighting tasks. *Ergonomics*, Vol. 51, No. 7, pp. 1032-1041.
- Karter, M.J., and Molis, J.L. (2009). *US Firefighter Injuries - 2008*. National Fire Protection Association.
- Kim, J.U. (2016). On average, six firefighters lost their lives every year for 10 years...3,241 people injured (October 7, 2016). *Yonhap News*. Retrieved from <https://www.yna.co.kr/view/AKR20161007045300004>
- Kim, S., and Park, H. (2015). Impact of firefighters' protective clothing and equipment on upper body range of motion. *Fashion & Textile Research Journal*, Vol. 17, No. 4, pp. 635-645.
- Kincl, L.D., Bhattacharya, A., Succop, P.A., and Clark, C.S. (2002). Postural sway measurements: A potential safety monitoring technique for workers wearing personal protective equipment. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 17, No. 4, pp. 256-266.
- Kwon, S.A., Lee, M.K., Park, S.H., Kim, D.Y., and Ryu, S.I. (2019). An empirical study on firefighters' health hazard factors. *Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 19, No. 3, pp. 520-529.
- Leardini, A., Sawacha, Z., Paolini, G., Ingrosso, S., Natio, R., and Benedetti, M.G. (2007). A new anatomically based protocol for gait analysis in children. *Gait & Posture*, Vol. 26, No. 4, pp. 560-571.
- Lee, C.H. (2009). Kinetic differences between normal-design running shoes and spring-loaded running shoes. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 19, No. 3, pp. 581-592.
- Louhevaara, V., Ilmarinen, R., Griefahn, B., Künemund, C., and Mäkinen, H. (1995). Maximal physical work performance with European standard based fire-protective clothing system and equipment in relation to individual characteristics. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, Vol. 71, No. 2-3, pp. 223-229.
- Malinzak, R.A., Colby, S.M., Kirkendall, D.T., Yu, B., and Garrett, W.E. (2001). A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks. *Clinical Biomechanics*, Vol. 16, No. 5, pp. 438-445.
- Parijat, P., and Lockhart, T.E. (2008). Effects of quadriceps fatigue on the biomechanics of gait and slip propensity. *Gait & Posture*, Vol. 28, No. 4, pp. 568-573.

- Park, K., Hur, P., Rosengren, K.S., Horn, G.P., and Hasio-Wecksler, E.T. (2010). Effect of load carriage on gait due to firefighting air bottle configuration. *Ergonomics*, Vol. 53, No. 7, pp. 882-891.
 - Singh, T., and Koh, M. (2009). Effects of backpack load position on spatiotemporal parameters and trunk forward lean. *Gait & Posture*, Vol. 29, No. 1, pp. 49-53.
 - Smith, D.L., Dyer, K., and Petruzzello, S.J. (2004). Blood chemistry and immune cell changes during 1 week of intensive firefighting training. *Journal of Thermal Biology*, Vol. 29, No. 7-8, pp. 725-729.
 - Winter, D.A. (1983). Biomechanical motor patterns in normal walking. *Journal of Motor Behavior*, Vol. 15, No. 4, pp. 302-330.
 - Yoo, D.H. (2018). Changes in central neurotransmitter and blood component levels during fire-fighting in a high-rise building. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 6, pp. 183-188.
 - Yoo, D.H., Huh, Y.S., Kim, K.H., Shin, J.S., and Bang, C.H. (2015). A change of body temperature and inflammatory markers wearing fire fighting equipment. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 6, pp. 231-235.
-

Received	June 13, 2019
Revised	June 17, 2019
Accepted	June 24, 2019