3차원 인체형상과 3차원 동작분석에 의한 방화복 소매패턴 개발

한설아¹⁾ · 남윤자²⁾ · 윤혜준³⁾ · 이상희¹⁾ · 김현주⁴⁾

¹⁾수원대학교 패션디자인과

²⁾서울대학교 의류학과/서울대학교 생활과학연구소

³⁾한국생산기술연구원 스마트의류기술센터

⁴⁾단국대학교 패션산업디자인과

Development of Sleeve Patterns of Structural Firefighting Protective Clothing using by 3D Body Shape and 3D Motion Analysis

Sul Ah Han¹⁾, Yun Ja Nam²⁾, Hyejun Yoon³⁾, Sang Hee Lee¹⁾, and Hyun Joo Kim⁴⁾

¹⁾Major in Fashion Design, College of Art & Design, The University of Suwon; Suwon, Korea

²⁾Dept. of Clothing & Textiles, Seoul National University/Research Institute of Human Ecology, Seoul National University; Seoul, Korea

³⁾Smart Apparel Technology Center, Korea Institute of Industrial Technology; Seoul, Korea

⁴⁾Fashion Merchandise Design, College of Art, Dankook University; Seoul, Korea

Abstract : This study aims at developing ergonomics patterns for the sleeve of structural firefighting protective clothing through 3D motion analysis in order to ensure efficiency and safety of firefighters who are exposed to harmful environment at work. A new research pattern was developed by applying the total results of 3D motion analysis, changes of body surface length measurements, and 2D data on 3D body shape analysis on the size 3 patterns of the existing coat sleeve. For the sleeves, we used the body surface length of the range of shoulder's flexion and the joint angle of the range of wrist's ulnar deviation. And for the production of structural firefighting protective clothing using the research pattern, we recruited a recognized producer of structural firefighting protective clothing designated by KFI. Unlike everyday clothes, structural firefighting protective clothing should be able to fully protect the wearers from the harmful environment that threatens their lives and should not cause any restrictions on their movement. Therefore, the focus of research and development of such protective clothing should be placed on consistent development of new technologies and production methods that will provide protection and comfort for the wearer rather than production cost reduction or operational efficiency. This study is meaningful as it applied 3D motion analysis instead of the existing methods to develop the patterns. In particular, since 3D motion analysis enables the measurement of the range of motion, there should be continuous research on the development of ergonomics patterns that consider workers' range of motion.

Key words: protective clothing, structural firefighting, 3D body shape, 3D motion analysis, motion capture

1. 서 론

보호복은 작업자의 '안전성(safety)'과 '편안함(comfort)'을 향상시킬 수 있도록 디자인되어야 한다. 이 두 가지 요소는 열적 스트레스(heat stress), 작업능률저하(reduced task efficiency), 인체 동작범위 감소(reduced range of motion) 등과 같은 여러 가지 측면에서 작업자의 업무수행 능력에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Adams et al., 1994). 만약 작업자의 동작이 보호복의 적절치 못한 맞음새(fit)와 디자인으로 인해 제한을 받게 되면 업무 효율 저하는 물론이고, 외부 위험으로부터 인체를 보

호하기 보다는 부상을 야기할 수도 있다(Huck, 1988). 그러나 보호복에 있어서 문제는 '보호(protection)'와 '편안함(comfort)'을 동시에 추구해야 한다는 것이다(Parsons, 1994). 일반적으로 보호복은 '보호'의 의미에만 치중하다보니 실제 착용 시 동작에 지장을 주지 않고, 편안함을 느끼게 하면서 해당 업무를 수행할 수 있도록 하는 인간공학적 기능에 소홀한 것이 사실이며, 보호복 관련 연구들 역시 '보호'에 초점을 맞추어 소재의 물성과 이에 대한 효과만을 주로 다루고 있다(Adams et al., 1994).

소방용 방화복의 경우 방수복이 주를 이루었던 국내 소방복에 방화복이 도입된 시기는 2003년이기 때문에 이에 관한 국내 연구는 방화복 소재의 열화특성에 대한 연구(Kim, 2006)를 제외하고는 찾아보기 힘든 실정이다. 2003년 이전의 방수복에 관

Corresponding author; Hyejun Yoon
Tel. +82-2-3406-3223, Fax. +82-2-3406-3210
E-mail: previa0325@hotmail.com

한 연구는 소재 성능(Jeong & Lee, 2002; Shin, 2006; Yoo et al., 1999) 및 실태조사(Kim & Lee, 1997; Chung et al., 1998) 등이 주를 이루고 있다. 외국의 경우 기능성 향상을 위한 연구(Huck et al., 1996; Huck & Kim, 1997; Kim, 1996)가 진행된 바 있으나 인간공학적 실험을 바탕으로 방화복의 패턴 및 디자인을 개선한 것이 아닌 실태조사 결과에 따라 불편하다고 답한 부위에 임의로 소재와 디자인 요소 등을 추가로 삽입하여, 개발된 방화복이나 현재 사용하고 있는 방화복의 여러 디자인에 대해 동작범위를 측정함으로써 동작적응능 평가를 한 것에 지나지 않는다. 그러나 소방업무 특성상 상반신의 경우 팔 동작이 주를 이루고 있으며, 방화복의 소매 끝에 편물토시가 부착되어 있고, 팔동작 시 소매가 위로 따라 올라가거나 내려가지 않아야 하므로 외국의 방화복 상의 치수체계에서는 목뒤손목안쪽길이를 기준치수로 선정하고 있다. 인체가 다양한 동작에 적응할 수 있는 기능적인 의복을 만들기 위해 운동의 동작을 연구하고, 동작에 따른 관절의 가동영역과 피부의 변화량을 파악함으로써, 적절한 여유분을 선정하고 인체 구조와 동작 움직임의 형태에 잘 맞도록 하는 패턴 설계가 요구된다(Kim, 2005). 따라서 본 연구에서는 현직 소방대원을 대상으로 3차원 인체형상 분석과 3차원 동작분석을 실시하여 이를 기존 방화복 소매패턴에 적용함으로써 새로운 인간공학적인 방화복 소매패턴을 개발하고자 한다.

2. 3차원 동작분석

인체측정학(anthropometry)은 인체치수를 비롯하여 각 부위의 부피, 무게중심, 관성, 질량 등 신체의 물리적 특성을 다루는데, 인체치수는 일반적으로 구조적 치수(structural dimension)와 기능적 치수(functional dimension)로 구분할 수 있다.

구조적 치수는 표준자세에서 움직이지 않는 피험자를 인체계측기 등으로 측정하는 것인데 반해, 기능적 치수는 움직이는 몸의 자세로부터 측정하는 것(Yoon et al., 2002)이다. 기능적 치수라고 할 수 있는 동작분석은 2차원적 측정기술에서 출발하여 현재는 3차원 측정기술이 보편화되어 가고 있으며, 운동역학 분야에서 가장 활용도가 높은 분석방법 중의 하나로, 기록된 영상으로부터 여러 가지 운동변인과 자세변인을 계측하는 분석방법이다(Park et al., 2005). 일반적으로 동작분석을 통해 인체 동작범위에 대한 관절각 측정이 가능하다. 특히 3차원적인 측정기법은 인간의 동적인 동작 측정에 있어서 피험자가 일정 시간 동안 한 가지 동작을 지속적으로 취하고 있어야 하는 구속성과 실험자와 피험자 간의 간섭이 발생하는 단점을 해결해 주고 있어 그 사용범위가 확대되어가고 있다(Ryu & Park, 2000). 또한 특별히 기준면에 대한 주의를 하지 않아도 되는데, 이는 분석 프로그램에서 동작의 궤적을 그래프로 가시화할 수 있어 그래프 상(time domain)의 최고점과 최저점과의 차이로 각도 범위를 쉽게 분석할 수 있기 때문이다(Lim et al., 1998).

70년대 초반부터 사용되어온 3차원 분석법은 대부분 기하방

식(geometric 3D analysis method)으로, 카메라의 설치조건 변인과 기하(geometry)를 이용하여 피사점의 공간좌표를 계산하였고, 1970년대 초반부터 이를 보완한 DLT(Direct Linear Transformation) 방식이 개발되어 최근까지 대부분 이 방식을 사용하였다. 그러나 현재는 NLT(Non-Linear Transformation) 방식이 주로 이용되고 있다. NLT 방식은 DLT 방식과 같이 통제점을 일일이 조립해야 하는 번거로움 없이 T자 모양의 완드(wand)를 이용하여 공간상에서 움직이는 것을 촬영함으로써 3차원 좌표치를 생성하기 때문에 사용이 간편하다는 장점이 있다. 완드를 이용하여 캘리브레이션 한 후 피험자는 최소한의 계측복만을 착용한 상태에서 마커(marker)와 클러스터(cluster)를 관절이나 분절(segment)에 부착하고 관련 실험 동작을 수행하게 된다. 마커는 작은 구형의 물체에 반사물질을 도포하여 빛이나 적외선을 반사시킴으로써 모든 방향에서 잘 보이도록 제작된 것으로, 관절과 같은 인체 특정 부위에 부착하는 것이다. 마커의 사이즈는 0.25-4 cm까지 다양하며, 일반적으로 3차원 동작분석 시 사용되는 마커는 2-2.5 cm 이다. 클러스터는 플라스틱 판 또는 막대에 2-4개의 마커를 부착한 것으로, 이는 위팔, 아래팔, 몸통 등의 분절에 부착함으로써 클러스터에 부착된 마커들이 서로 독립적이 아닌 상대적으로 움직인다는 장점이 있어 3차원 동작 분석 시 마커와 클러스터를 함께 사용하고 있다. 3차원 동작분석 시스템으로는 Motion Analysis (Motion Analysis, 미국), Elite (BTS spa, 이태리), OPTOTRAK CERTUS (Northern Digital Inc., 캐나다), VICON (Vicon Motion Systems, 영국), Qualisys (Qualisys AB, 스웨덴), Kwon3D (비솔, 한국) 등이 있다.

3. 연구방법

3.1. 피험자

피험자는 3차원 동작분석과 인간공학적인 방화복 소매 패턴 개발에 있어서 현 방화복의 문제점과 개선방안에 대한 제안이 가능하고, 소방현장활동 동작 수행에 어려움이 없는 소방대원으로 하였다. 선정된 피험자는 방화복 상의 3호를 착용하는 경력 2년의 만 29세 현직 소방대원이며, 피험자의 3차원 인체측정치는 Table 1과 같다.

3.2. 실험 방법

3.2.1. 3차원 인체측정 및 체표길이 변화 측정

피험자의 상반신 인체형상과 치수, 동작에 따른 체표길이 변화를 파악하기 위해 3차원 인체측정을 실시하였다. 피험자는 계측복으로 인체 실루엣이 드러나며, 동작 시 의복에 의한 간섭을 가능한 적게 받도록 하기 위해 탄력성 있는 스판 소재의 회색 반바지를 착용하였다. 3차원 인체측정 시에는 백색 수영모를 착용하도록 함으로써 피험자의 검은 색 머리카락이 레이저 흡수를 막아 발생하는 데이터 오차를 최소화 하였다. 측정에 사용된 3차원 인체측정 스캐너는 Hamamatsu사(일본)의

Table 1. 3D Body measurement

(unit:cm)

Height/Breadth/Depth		Length		Circumference	
height	173.5	waist front length	34.0	neck circumference	40.4
cervical height	146.7	neck shoulder point to breast point	26.3	neck base circumference	45.7
front cervical height	140.3	neck point to breast point to waistline	44.5	armscye circumference	44.9
shoulder height	139.2	waist back length	42.0	chest circumference	105.6
axilla height	127.6	scye depth length	19.8	waist circumference	75.2
waist height	107.4	shoulder length	16.6	upper arm circumference	34.2
neck breadth	14.0	posterior shoulder length	47.0	elbow circumference	29.1
acromion to acromion breadth	41.8	interscye	42.1	wrist circumference	18.3
chest breadth	37.1	back interscye breadth	40.4	vertical trunk circumference	160.5
waist breadth	27.7	underarm length	43.5	body weight(kg)	70
armscye depth	15.0	arm length	55.0		
bust depth	23.9	upperarm length	33.0		
waist depth	19.7	cervicale to wrist length	78.2		

Body Line Scanner이며 3차원 인체형상에서 체표길이는 Rapidform 2006(INUS Technology Inc., 한국)을 이용하여 측정하였다. 동작에 따른 체표변화량(cm)은 동작자세 체표길이와 정자세(3차원 인체측정자세) 체표길이의 차로 산출하였고, 변화율(%)은 변화량의 백분율로 구하였다. Table 2는 동작에 따른 체표길이 측정 항목이다.

3.2.2. 3차원 동작분석

본 실험에 사용된 3차원 동작분석 장비와 소프트웨어는 캘

리브레이션과 장비의 이동, 분석 소요 시간이 타 장비에 비해 비교적 용이하다고 판단한 Qualisys 시스템(Qualisys AB, 스웨덴)이다. 상반신 주요 관절에 대한 3차원 동작분석은 가로 780 cm, 세로 560 cm, 높이 350 cm의 공간에서 Oqus 카메라(Qualisys motion capture camera with high-speed video: Qualisys AB, 스웨덴) 6대를 사용하여 측정하였다. 선정된 측정 부위의 주요 관절과 분절에는 마커와 클러스터를 부착하였다. 본 실험에 사용된 Oqus 카메라의 일반적 사양은 Table 3과 같다. 3차원 동작분석을 위한 측정용어와 측정항목, 측정방법은 제

Table 2. Body surface length according to motion

Motion		Measurement	Abbreviation
Range of Elbow's Flexion		Arm Length	EF-AL
		Underarm Length	EF-UAL
		Upperarm Length	EF-UpAL
Range of Shoulder's Adduction		Arm Length	SAdd-AL
		Underarm Length	SAdd-UAL
		Cervicale to Wrist Length	SAdd-CWL
Range of Shoulder's Abduction		Arm Length	SAbd-AL
		Underarm Length	SAbd-UAL
Range of Shoulder's Extension		Arm Length	SE-AL
		Underarm Length	SE-UAL
Range of Shoulder's Flexion		Arm Length	SF-AL
		Underarm Length	SF-UAL

Table 3. Oqus camera using for 3D motion analysis

Oqus camera specification	
model	Oqus 100 series
camera size	18.5×11×12.4 cm
CMOS sensor size(pixels)	250fd
maximum frame rate at full resolution and reduced field-of-view	1,000fps
x-coordinate full scale range (camera unit)	41,000
y-coordinate full scale range (camera unit)	31,000
maximum video frame rate	250fps
maximum video buffer capacity	3,800frames
maximum video buffer capacity	15.2s

5차 한국인 인체치수조사사업(Korean Agency for Technology and Standards, 2004)을 기준으로 하였다. 측정항목은 팔 4개 동작, 엄지손가락과 손목 5개 동작, 아래팔과 팔꿈치 5개 동작으로 총 14개 동작을 선정하였으며 모든 동작은 좌우 4회 반복 측정하였다. Table 4의 측정항목에 제시된 그림은 제5차 한국인 인체치수조사사업의 동측정 방법의 것을 사용하였다.

3차원 동작분석은 크게 모션캡처, 분석, 리포팅의 3단계로 이루어진다.

1단계, 모션캡처를 위해 Oqus 카메라 6대를 설치한 후, NLT 통제점을 이용하여 기준 좌표계를 설정하였다. 마커와 클러스터를 부착한 피험자에게 똑바로 선 상태에서 양팔을 90° 구부리게 한 후, 이 자세를 6대의 카메라로 동시에 촬영함으로써 static file을 형성하였다. 이것은 모든 마커와 클러스터가 카메라에 촬영되었는지 확인하고 카메라의 위치를 재조정하는 과정이다. 이와 같은 과정을 거친 후 정해진 동작에 대해 모션캡처

를 실시하였다. 2단계, 모션캡처된 영상을 사용하여 분석하는 단계로 Fig. 1과 같이 QTM(Qualisys Track Manager: Qualisys AB, 스웨덴)을 이용해 3차원 좌표치를 생성하는 라벨링 작업을 실시하였다. 분석 시 노이즈에 의한 오차를 제거하기 위해 Butterworth 2차 저역 통과 필터(low-pass filter)를 이용하여 스무딩(smoothing)하고, 차단 주파수는 6.0 Hz로 설정하였다. 라벨링 작업을 통해 지워진 마커를 복원한 후, C3D file로 export하여 저장하고 분석을 실시하였다. 엄지손가락과 손목의 동작범위 추출은 QTM을 사용하였다. 이외에는 Fig. 2와 같이 Visual 3D(C-motion, Inc., 미국)를 사용하여 동작범위를 추출하였다. 3단계, QTM과 Visual 3D를 사용하여 추출된 동작범위 데이터는 Excel 2007에 리포팅하였다. 반복 측정된 횟수마다 동작범위 최대값과 최소값을 구하고, 이들 값들의 평균차로 관절각을 산출하였다.

Table 4. Measurement on range of arm

Range of Shoulder's Adduction/Abduction		Range of Wrist's Flexion/Extension
Range of Shoulder's Extension/Flexion		Range of Forearm's Pronation/Supination
Range of Thumb's Abduction		Range of Forearm's Adduction/Abduction
Range of Wrist's Radial/Ulnar Deviation		Range of Elbow's Flexion

Fig. 1. Labeling process using QTM.

Fig. 2. Visual 3D.

4. 결과 및 고찰

4.1. 동작에 따른 체표길이 변화

팔과 몸통동작에 따른 체표길이 변화를 분석하기 위해, 총 5개 동작을 3차원 인체측정 하였다. 3차원 인체형상 데이터 상에서의 체표길이 변화는 Table 5와 같으며 팔과 몸통동작에 따른 인체부위별 체표길이 12개 항목을 측정하였다.

팔동작에 따른 체표길이 변화량을 관찰한 결과 팔굽힘범위 동작의 팔길이(SF-AL)만이 -2.5 cm 수축한 것으로 나타났다. 이 외의 팔동작에 따른 체표길이 변화는 모두 신장된 것으로 조사되었는데, 가장 큰 변화량을 보인 항목은 팔 굽힘범위동작

의 팔 안쪽길이(SF-UAL)로 15 cm 신장된 것으로 나타났다. 그 다음으로는 팔 벌림범위동작의 팔안쪽길이(SAbd-UAL) 13.5 cm, 팔꿈치 굽힘범위동작의 팔 안쪽길이(EF-UAL) 13 cm, 팔 모음범위동작의 팔 안쪽길이(SAdd-UAL) 13 cm 순인 것으로 나타났다. 따라서 팔 펴범위동작의 팔 안쪽길이(SE-UAL)가 4 cm 신장된 것을 제외하고는 모든 팔동작에서 팔 안쪽길이가 10 cm 이상 신장된 것으로 조사되었다.

최소 변화량을 보인 항목은 팔 모음범위 동작의 팔길이(SAdd-AL)로 1.4 cm 만이 신장되었으며, 그 다음으로 팔꿈치 굽힘범위동작의 위팔길이(EF-UpAL) 2 cm, 팔 굽힘범위동작의 팔길이(EF-AL) -2.5 cm, 팔 펴범위동작의 팔길이(SE-AL) 3 cm

Table 5. Body surface length change rate according to arm and body motion

Motion	Measurement	Abbreviation	Anatomical position (cm)	Motion (cm)	Change quantity* (cm)	Change rate* (%)
Range of Elbow's Flexion	Arm Length	EF-AL	56	63.2	7.2	12.9
	Underarm Length	EF-UAL	49	62	13	26.5
	Upperarm Length	EF-UpAL	33	35	2	6.1
Range of Shoulder's Adduction	Arm Length	SAdd-AL	55	56.4	1.4	2.5
	Underarm Length	SAdd-UAL	43.5	56.5	13	29.9
	Cervicale to Wrist Length	SAdd-CWL	78.2	82.2	4	5.1
Range of Shoulder's Abduction	Arm Length	SAbd-AL	55	58.6	3.6	6.5
	Underarm Length	SAbd-UAL	43.5	57	13.5	31
Range of Shoulder's Extension	Arm Length	SE-AL	55	58	3	5.5
	Underarm Length	SE-UAL	43.5	47.5	4	9.2
Range of Shoulder's Flexion	Arm Length	SF-AL	55	52.5	-2.5	-4.5
	Underarm Length	SF-UAL	43.5	58.5	15	34.5

*change quantity = motion-anatomical position

change rate(%) = (change quantity/anatomical position)×100

Table 6. Joint angle of range of shoulder's adduction/abduction

(unit : degree)

Motion		repetition	Range of motion				average	Joint angle*
			1	2	3	4		
Shoulder's adduction	left	maximum value	32.21	32.93	33.32	33.73	33.05	33.01
		minimum value	0.02	0.11	0.02	0.02	0.04	
	right	maximum value	40.49	42.57	39.03	37.68	39.94	38.73
		minimum value	0.02	3.62	1.19	0.01	1.21	
Shoulder's abduction	left	maximum value	79.77	76.83	76.67	78.27	77.89	73.63
		minimum value	2.40	2.15	4.80	7.68	4.26	
	right	maximum value	71.20	77.53	81.60	84.18	78.63	77.59
		minimum value	0.24	0.05	1.32	2.54	1.04	

* joint angle = average of maximum value - average of minimum value

의 순인 것으로 나타났다. 그러나 팔꿈치 굽힘범위동작의 팔길이(EF-AL)는 7.2 cm 신장된 것으로 조사되었으므로 팔동작에 따른 팔길이의 변화량 중 최대를 나타냈다. 전반적으로 팔동작에 따른 체표길이 변화량은 팔길이에서 최소 변화량을, 팔 안쪽길이에서 최대 변화량을 보이는 것으로 관찰되었다.

팔동작에 따른 체표길이 변화율을 관찰한 결과, 팔 굽힘범위동작의 팔 안쪽길이(SF-UAL)가 34.5%로 가장 큰 변화율을 나타냈다. 그 다음으로 팔 벌림범위동작의 팔 안쪽길이(SAbd-UAL) 31%, 팔 모음범위 동작의 팔안쪽길이(SAdd-UAL) 29.9%, 팔꿈치 굽힘범위 동작의 팔 안쪽길이(EF-UAL) 26.5%인 것으로 나타났다. 팔 모음범위동작의 팔 안쪽길이(SAdd-UAL)와 팔꿈치 굽힘범위동작의 팔 안쪽길이(EF-UAL)는 변화량에 있어서 13 cm로 동일하였으나, 변화율을 산출한 결과 29.9%, 26.5%로 나타나 팔 모음범위 동작의 팔 안쪽길이(SAdd-UAL)의 변화율이 큰 것으로 조사되었다. 팔꿈치 굽힘범위동작의 팔길이(EF-AL) 변화율은 12.9%로 팔동작에 따른 팔길이의 변화 중 최대를 나타냈다.

팔동작에 따른 체표길이의 최소 변화율을 나타낸 항목은 팔 모음범위 동작의 팔길이(SAdd-AL)로 2.5%의 변화율을 보였고, 그 다음으로 팔 모음범위 동작의 목뒤손목안쪽길이(SAdd-CWL)로 5.1%, 팔 굽힘범위동작의 팔길이(SF-AL)로 4.5%, 팔 펴범위동작의 팔길이(SE-AL)로 5.5% 순인 것으로 조사되었다. 팔꿈치 굽힘범위동작의 위팔길이(EF-UpAL)는 변화량이 2 cm로 두 최소 변화량 중 두 번째인 것으로 나타났으나, 변화율에 있어서는 6.1%인 것으로 조사되었다. 팔 모음범위동작의 목뒤손목안쪽길이(SAdd-CWL)는 변화량이 4 cm이었으나, 변화율은 5.1%의 세 번째로 최소 변화율을 나타냈다.

이상에서 보는 바와 같이 팔동작에 따른 최대/최소 변화량과 변화율은 그 순위에 있어서 다소간의 차이가 있긴 하지만, 전반적으로 팔 안쪽길이에 있어서 최대 변화량과 변화율을, 팔길이에 있어서 최소 변화량과 변화율을 보이는 것으로 분석되었다. 또한 팔동작 중 팔길이의 변화율이 가장 큰 동작은 팔 굽힘범위동작(EF-AL)으로 12.9%였으며, 팔 안쪽길이의 변화율이 가장 큰 동작은 팔 굽힘범위동작(SF-UAL)인 34.5%로 나타났다.

4.2. 3차원 동작분석을 이용한 관절각 분석

4.2.1. 팔 관절각

팔 모음/벌림범위(Range of Shoulder's Adduction/Abduction)의 관절각은 Table 6과 같이 전반적으로 팔 벌림범위가 팔 모음범위에 비해 큰 것으로 조사되었다. 팔 모음범위에 있어서는 오른쪽이 38.73°로 왼쪽 33.01°에 비해 상대적으로 관절각이 큰 것으로 나타났으며, 팔 벌림범위에 있어서는 오른쪽 77.59°, 왼쪽 73.63°로 오른쪽 관절각이 비교적 큰 것으로 관찰되었다.

팔 펴/굽힘범위(Range of Shoulder's Extension/Flexion)의 관절각은 Table 7과 같이 전반적으로 팔 굽힘범위가 팔 펴범위에 비해 큰 것으로 조사되었다. 팔 펴범위에 있어서는 오른쪽이 52.14°로 왼쪽 51.97°에 비해 상대적으로 크게 나타났으며, 팔 굽힘범위에 있어서는 오른쪽 161.41°, 왼쪽 159.18, 오른쪽 관절각이 큰 것으로 조사되었다.

다른 동작들에 비해 팔 동작범위는 방화복 어깨, 소매, 겨드랑 아래슬기, 앞길, 옆길, 뒷길, 앞품, 뒤품에 광범위하게 영향을 미치므로 동작에 따른 체표변화율과 더불어 방화복의 패턴 개발에 중요하게 다루어져야 한다. 따라서 소매패턴 개발에는 팔 동작의 최대 관절각인 팔 굽힘범위를 적용하여 방화복 소매 설계 시 앞판과 소매 패턴을 겹쳐 최대각이 161.41° 되도록 함으로써 전체적인 소매와 암홀, 고깃의 형태를 변형하고 소매길이를 늘려주어 팔 굽힘범위 동작 시 방화복 상의길이가 위쪽으로 많이 따라 올라가지 않는 방향으로 패턴을 개발하고자 한다.

4.2.2. 엄지손가락/손목 관절각

엄지손가락과 손목의 동작범위는 방화복 소매부리에 부착된 편물토시의 엄지손가락을 끼우는 구멍 너비와 소매부리 너비의 패턴 개발을 위해 측정하였다.

엄지손가락 벌림범위는 방화복 소매부리 끝에 부착된 편물토시의 엄지손가락 끼우는 구멍을 활동이 편하도록 개선하기 위해 측정하였다. 엄지손가락 벌림범위(Range of Thumb's Abduction)의 관절각은 Table 8과 같이 엄지손가락 오른쪽 벌림범위가 28.06°로 엄지손가락 왼쪽 벌림범위 27.57° 보다 비

Table 7. Joint angle of range of shoulder's extension/flexion

(unit : degree)

Motion		repetition	Range of motion				average	Joint angle*
			1	2	3	4		
Shoulder's extension	left	maximum value	57.88	52.20	52.50	45.77	52.09	51.97
		minimum value	0.13	0.01	0.22	0.13	0.12	
	right	maximum value	53.17	55.08	50.79	49.60	52.16	52.14
		minimum value	0.02	0.00	0.05	0.00	0.02	
Shoulder's flexion	left	maximum value	160.06	158.40	159.32	159.34	159.28	159.18
		minimum value	0.04	0.01	0.08	0.25	0.10	
	right	maximum value	160.08	162.92	162.52	160.67	161.55	161.41
		minimum value	0.28	0.03	0.21	0.03	0.14	

* joint angle = average of maximum value - average of minimum value.

교적 큰 것으로 조사되었다. 따라서 편물토시에 엄지손가락을 끼우는 구멍의 위치와 크기에 엄지손가락 오른쪽 벌림범위의 최대 관절각인 28.06°를 적용하여 신속한 착의가 가능하고, 동작에 불편함이 없도록 개선하고자 한다.

방화복의 소매부리 너비의 패턴 개발을 위해 손목 노쪽/자쪽 범위(Range of Wrist's Radial/Ulnar Deviation), 손목 굽힘/펼침 범위(Range of Wrist's Flexion/Extension)의 4개 동작범위를 측정하였다. 그 결과 손목 노쪽/자쪽범위의 관절각은 Table 9와 같이 손목 오른쪽 노쪽범위가 8.8°로 손목 왼쪽 노쪽범위 6.94°에 비해 컸으며, 손목 자쪽범위에 있어서는 오른쪽이 24.33°로 왼쪽 23.51°에 비해 큰 것으로 나타났다. 또한 오른쪽, 왼쪽 모두 손목 자쪽범위가 손목 노쪽범위에 비해 관절각이 큰 것으로 관찰되었다.

손목 굽힘/펼침범위의 관절각은 Table 10과 같이 손목 굽힘범위에 있어서 오른쪽이 45.92°로 왼쪽 30.99°에 비해 큰 것으로 나타났다. 그러나 손목 펼침범위에 있어서는 왼쪽이 56.9°로 오른쪽 54.16°에 비해 관절각이 크게 나타났다.

손목 굽힘범위의 관절각은 손목 펼침범위 관절각에 비해 작은 것으로 관찰되었다. 손목의 노쪽/자쪽범위, 굽힘/펼침범위의 4개 동작에 대한 관절각을 동시에 비교한 결과, 전반적으로 오른쪽 관절각이 왼쪽보다 컸으나 손목 펼침범위에 있어서는 반대로 왼쪽이 오른쪽에 비해 큰 것으로 관찰되었다. 관절각이 상대적으로 큰 것으로 조사된 손목 오른쪽 노쪽범위, 손목 오른쪽 자쪽

범위, 손목 오른쪽 굽힘범위, 손목 왼쪽 펼침범위를 그래프 상에서 비교한 결과, 손목 왼쪽 펼침범위의 관절각이 가장 컸으며 손목 오른쪽 노쪽범위가 가장 작은 것으로 나타났다. 따라서 소매부리 너비 설정 시 손목 노쪽/자쪽범위 중 상대적으로 관절각이 큰 손목 오른쪽 자쪽범위 24.33°, 또는 손목 굽힘/펼침범위 중 상대적으로 관절각이 큰 손목 왼쪽 펼침범위의 56.9°를 패턴 상에 적용하고자 한다.

4.2.3. 아래팔/팔꿈치 관절각

아래팔 옆침/뒤침범위(Range of Forearm's Pronation/Supination), 아래팔 모음/벌림범위(Range of Forearm's Adduction/Abduction)의 4개 동작범위를 측정하였다. 그 결과 아래팔 옆침/뒤침범위의 관절각은 Table 11과 같이 전반적으로 아래팔 뒤침범위가 아래팔 옆침범위에 비해 큰 것으로 나타났다. 아래팔 옆침범위에 있어서는 왼쪽 관절각이 32.25°, 아래팔 뒤침범위에 있어서는 오른쪽 관절각이 64.17°로 큰 것으로 관찰되었다.

아래팔 모음/벌림범위에 있어서는 Table 12와 같이 전반적으로 아래팔 모음범위가 아래팔 벌림범위에 비해 관절각이 큰 것으로 조사되었다. 아래팔 모음범위는 왼쪽이 69.26°로 오른쪽 50.57°에 비해 관절각이 크게 나타났으며, 아래팔 벌림범위는 오른쪽 45.34°, 왼쪽 45.35°로 거의 차이가 없었다.

Table 8. Joint angle of range of thumb's abduction

(unit : degree)

Motion		repetition	Range of motion				average	Joint angle*
			1	2	3	4		
Thumb's abduction	left	maximum value	48.83	47.86	48.05	48.83	48.39	27.57
		minimum value	21.66	20.50	20.35	20.77	20.82	
	right	maximum value	50.06	54.12	54.39	54.10	53.17	28.06
		minimum value	25.84	24.27	25.53	24.80	25.11	

* joint angle = average of maximum value - average of minimum value.

Table 9. Joint angle of range of wrist's radial/ulnar deviation

(unit : degree)

Motion		repetition	Range of motion				average	Joint angle*
			1	2	3	4
Wrist's radial left		maximum value	179.40	178.70	177.92	-	178.67	6.94
		minimum value	169.53	174.55	171.11	-	171.73	
	right	maximum value	174.79	178.43	179.59	178.04	177.71	8.8
		minimum value	167.34	167.46	169.94	170.89	168.91
Wrist's ulnar left		maximum value	174.64	172.82	172.95	172.01	173.11	23.51
		minimum value	145.14	155.15	151.95	146.14	149.60	
	right	maximum value	156.07	178.58	176.78	175.42	171.71	24.33
		minimum value	135.88	153.23	154.16	146.24	147.38	

* joint angle = average of maximum value - average of minimum value.

Table 10. Joint angle of range of wrist's flexion/extension

(unit : degree)

Motion		repetition	Range of motion				average	Joint angle*
			1	2	3	4
Wrist's flexion left		maximum value	179.60	179.76	178.94	179.52	179.46	30.99
		minimum value	150.80	145.80	149.32	147.97	148.47	
	right	maximum value	170.10	176.43	178.21	175.01	174.94	45.92
		minimum value	128.00	129.91	130.21	127.97	129.02
Wrist's extension left		maximum value	171.40	174.59	169.51	170.20	171.43	56.9
		minimum value	116.43	116.29	112.79	112.59	114.53	
	right	maximum value	168.50	173.88	167.55	167.81	169.44	54.16
		minimum value	113.79	112.17	119.51	115.63	115.28	

* joint angle = average of maximum value - average of minimum value.

Table 11. Joint angle of range of forearm's pronation/supination

(unit : degree)

Motion		repetition	Range of motion				average	Joint angle*
			1	2	3	4
Forearm's pronation left		maximum value	38.38	29.50	30.91	30.76	32.39	32.25
		minimum value	0.02	0.44	0.04	0.07	0.14	
	right	maximum value	23.63	24.85	23.95	22.88	23.83	23.63
		minimum value	0.06	0.44	0.15	0.13	0.20
Forearm's supination left		maximum value	61.90	62.75	65.99	-	63.55	62.26
		minimum value	0.07	0.14	3.66	-	1.29	
	right	maximum value	69.49	69.13	70.99	71.79	70.35	64.17
		minimum value	6.48	6.52	5.69	6.04	6.18	

* joint angle = average of maximum value - average of minimum value.

4.2.4. 팔꿈치

팔꿈치 굽힘범위(Range of Elbow's Flexion)의 관절각은 Table 13과 같이 왼쪽이 133.17°로, 오른쪽 130.66° 보다 크게 나타났다. 팔꿈치 굽힘범위는 겨드랑둘레, 소매길이, 소매너비에 영향을 미치는 요소(Cho et al., 2007)이다. 그러나 실질적으로 이에 대한 패턴 개발을 위해서는 관절각보다 팔꿈치 굽힘 범위 동작에 대한 체표변화율을 적용하는 것이 더 적절할 것으로 판단된다.

로 판단된다.

4.3. 세부패턴 개발

4.3.1. 소매

소방용방화복규격서에서의 소매의 형태는 셋인형(이중구조) 또는 라글란형이며, 소매부리 너비는 37 cm로 열풍이 쉽게 침입할 수 없고, 소방용 장갑의 손목가리개가 안쪽으로 들어갈 수

Table 12. Joint angle of range of forearm's adduction/abduction

(unit : degree)

Motion		repetition	Range of motion					Joint angle*
			1	2	3	4	average
Oream's adduction	left	maximum value	67.77	71.16	71.38	74.92	71.31	69.26
		minimum value	0.01	0.02	3.95	4.20	2.05	
	right	maximum value	54.05	46.11	53.71	49.01	50.72	50.57
		minimum value	0.14	0.10	0.27	0.10	0.15
Oream's abduction	left	maximum value	47.23	45.44	43.58	-	45.42	45.34
		minimum value	0.11	0.06	0.06	-	0.08	
	right	maximum value	46.72	43.73	46.06	45.06	45.39	45.35
		minimum value	0.01	0.04	0.09	0.03	0.04	

* joint angle = average of maximum value - average of minimum value.

Table 13. Joint angle of range of elbow's flexion

(unit : degree)

Motion		repetition	Range of motion					Joint angle*
			1	2	3	4	average
Elbow's flexion	left	maximum value	144.52	144.10	144.18	142.83	143.91	133.17
		minimum value	8.63	8.71	13.71	11.90	10.74	
	right	maximum value	143.26	142.07	142.01	142.26	142.40	130.66
		minimum value	8.41	12.02	15.66	10.85	11.74	

* joint angle = average of maximum value - average of minimum value.

있는 구조로 규정하고 있다. 또한 Fig. 3과 같이 소매부리 바깥쪽으로 벨크로가 부착된 손목조임끈을 사용하도록 하고 있으며, 전체 소매길이는 60.5 cm, 팔꿈치에는 직경 15 cm 이상의 패드를 부착하도록 하고 있다(Ministry of public administration and security, 2004).

선행연구 결과(Han et al., 2008) 기존 방화복은 소매부리가 좁아 신속하게 장갑을 착용하는데 어려움이 있으며 진동돌레와 소매길이에 대해 동작 시 불편함을 느끼고 있었으며, 특히 불편한 겨드랑아래술기와 넉넉지 못한 뒷길이 때문에 동작에 제한을 받는 것으로 나타났다. 이에 따라 기존 방화복을 살펴본 결과, 겨드랑아래술기에 고갯을 삽입하여 동작의 편의성을 고려하긴 하였으나, 팔굽힘동작 시 방화복 상의길이가 상당부분 들어 올려져 심한 경우 등과 허리 부위가 외부에 노출되는 것으로 분석되었다. 또한 팔꿈치에 평면형태의 패드와 안소매술기에 한 개의 턱(tuck)을 삽입하였을 뿐, 팔의 형태나 동작을 고려한 인간공학적 요소가 반영되어 있지 않았다.

이러한 결점을 보완하고자 기존의 한 장 소매를 두 장 소매로 구성하여 팔꿈치 부분을 입체화 하였다. 또한 팔길이 신장률이 팔 굽힘범위 동작에서 12.9%(7.2 cm)로 나타난 것을 반영하여 소매길이에 겨드랑아래술기에 동일하게 3.5 cm 씩 늘어나도록 기존패턴을 수정하였다. 기존 방화복과 달리 Fig. 5와 같이 소매길이가 54.3 cm에 폭 10 cm의 커프스를 부착함으로써, 전체적으로 소매길이가 60.8 cm에서 64.3 cm로 길어지게 하였다.

Fig. 3. Existing wristband. **Fig. 4.** Existing edge of a sleeve.

커프스는 기존 방화복의 소매부리의 손목조임끈은 제거하고, 손목의 동작범위를 확보하기 위해 손목 노쪽/자쪽범위 중 상대적으로 관절각이 큰 손목 오른쪽 자쪽범위 24°를 적용하여 소매부리 너비의 끝부분을 넓혀주었고, 칼라와 마찬가지로 접어서

Fig. 5. Development pattern applying joint angle of wrist.

사용 할 수 있도록 구성하였다.

고깃은 전체적으로 길이는 24.5 cm에서 23.3 cm로 1.2 cm 줄여주고 폭은 10.5 cm에서 11 cm로 0.5 cm 늘려주어, 팔 굽힘 범위 동작 시 상의길이의 변동이 거의 없도록 하는데 도움이 되도록 하였다. 이와 같이 관절각과 체표길이 변화를 적용하여 개발한 소매 연구패턴은 Fig. 6과 같다.

연구패턴으로 제작한 방화복의 소매는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 두 장 소매에 손목조임끈을 제거하고 커프스를 부착한 형태이다. 팔꿈치 패드는 기존 방화복과 동일하나 소매가 길어짐에 따라 자연스럽게 길이 방향으로 1 cm 길어지도록 구성하였다.

Fig. 6. Existing and development sleeve pattern.

또한 연구 방화복의 소매는 Fig. 8과 같이 커프스까지 더하여 손등을 충분히 가리도록 하였으며, 장갑 착용과 기타 손목 동작이 용이하도록 커프스 끝부분이 자연스럽게 넓혀진 형태를 나타내고 있다.

4.3.2. 소매부리 끝 편물토시

소방용방화복규격서에서는 Fig. 9와 같이 토시의 끝에 엄지손가락용 직경 4cm의 구멍과 손바닥 너비 3cm의 편물을 설치하여 흘러내림을 방지하도록 규정하고 있다(Ministry of public administration and security, 2004). 선행연구 결과(Han et al, 2008) 현직 소방대원들은 소매부리 토시를 가장 불편한 부위 중 하나로 지적하였는데, 그 이유에 대해 엄지손가락을 끼우게 되어있는 구멍의 너비와 전체적인 크기가 신체와 맞지 않기 때문이라고 하였다. 즉 기존 방화복에 부착된 편물토시는 손등과 손바닥을 보호할 수 있는 크기와 길이가 아닌 단순히 엄지손가락을 끼어 현장 작업 시 손목노출을 억제하는 정도의 기능만을 가진 것으로 소방대원들은 착의, 탈의, 팔동작 시 토시로 인해 불편함이 발생한다고 하였다.

이러한 편물토시를 인간공학적으로 개선하고자 우선 제5차 한국인 인체치수조사사업(Korean Agency for Technology and Standards, 2004)에서 20-59세 성인남성의 손바닥직선길이와 손너비의 평균을 조사한 결과, 손바닥직선길이의 평균은 10.7 cm, 손너비의 평균은 8.4 cm인 것으로 나타났다. 따라서 토시길이를 손바닥 너비의 3 cm로 규정한 것은 매우 적절치 못한 것으

Fig. 7. Development of a sleeve.

Fig. 8. Development of a cuff.

Fig. 9. Existing knitting arm warmer.

로 판단되어 제5차 한국인 인체치수조사사업 결과를 반영하여 토시 패턴을 새롭게 개발하였다. 개발된 토시패턴 길이는 11 cm로 하였고, 손목부분을 감싸는 것까지 고려하여 손목 쪽으로 4 cm 길이를 연장하여 총 15 cm가 되도록 하였다. 토시 너비는 손너비 평균을 적용하여 8 cm로 하였다. 엄지손가락을 끼우는 구멍의 너비설정을 위해 엄지손가락 오른쪽 벌림범위의 최대 관절각인 28°를 Fig. 10과 같이 적용하였다. 이때 엄지손가락 이동길이가 5.34 cm이므로, 기존 4 cm이었던 것을 소수점 이하는 제외하고 5 cm로 넓혀주었다. 이와 같은 방법으로 설계된 토시 연구패턴은 Fig. 11과 같다.

토시의 연구패턴을 이용하여 제작된 방화복의 토시는 Fig. 12와 같다. 이처럼 소매의 커프스를 상황과 편의에 따라 접어서 사용하도록 하였고, 토시는 기존 방화복의 것과 달리 손등과 손바닥을 완전히 덮어서 보호할 수 있도록 하였다. 엄지손가락 구멍너비도 기존패턴 보다 1 cm가 커지게 하여 동작에 방해가 되지 않도록 하였다.

Fig. 10. Joint angle of range of thumb's abduction.

Fig. 11. Development of arm warmer pattern.

Fig. 12. Development of knitting arm warmer.

5. 결 론

보호복이 갖추어야 할 중요한 두 가지 요건 중 ‘안정성’은 유해한 환경적 요소를 완벽하게 차단 할 수 있는 최첨단 신소재의 물성으로, ‘편안함’은 작업자의 인체정보를 반영한 인체 동작범위와 체표면 변화를 적용한 인간공학적 패턴을 개발해야 한다. 모든 인체 동작 중에서 가장 주를 이루는 것은 팔동작이다. 특히 소방업무 특성상 상반신의 경우 팔동작이 주를 이루고 있으며, 방화복의 소매 끝에 편물토시가 부착되어 있고, 팔동작 시 소매가 위로 따라 올라가거나 내려가지 않아야 하므로 외국의 방화복 상의 치수체계에서는 목뒤손목안쪽길이를 기준 치수로 선정하고 있다.

본 연구는 현직 소방대원을 대상으로 3차원 인체형상 분석

과 3차원 동작분석을 실시하여 이를 기존 방화복 소매패턴에 적용함으로써 새로운 인간공학적인 방화복 소매 패턴을 개발하였다. Qualisys 시스템(Qualisys AB, 스웨덴)의 3차원 동작분석 장비를 사용하여 팔모음/별립범위, 팔뚝/굽힘범위의 관절각을 측정 한 결과 팔 굽힘범위의 관절각이 가장 큰 것(오른쪽 161.41°)으로 나타났다. 팔 동작범위는 방화복 어깨, 소매, 겨드랑 아래술기, 앞길이, 옆길이, 뒷길이, 앞품, 뒤통에 광범위하게 영향을 미친다. 그러므로 관절각이 가장 큰 것으로 나타난 팔 굽힘범위에 대해 3차원 인체형상을 분석한 결과 겨드랑 아래술기가 늘어난 것을 볼 수 있었으며, 안소매 길이 역시 현저하게 늘어난 것을 확인할 수 있었다. 따라서 이러한 체표면 변화의 양상을 소매패턴 개발에 반영하여 전체적인 소매형태와 길이, 암홀과 고깃의 형태를 변형하였다. 엄지손가락의 관절각은 오른쪽이 28.06° 로 왼쪽 27.57° 에 비해 크게 나타났으므로 이를 편물토시의 엄지손가락 끼우는 구멍 개선에 적용하여 신속한 착의가 가능하고, 동작에 불편함이 없도록 하였다. 손목노쪽/자쪽범위, 손목굽힘/뽀뽀범위에 있어서는 손목뽀뽀범위가 가장 큰 것(왼쪽 56.96°)으로 나타나 이를 소매 커프스에 적용하였다. 이러한 결과를 기존 방화복 소매패턴에 적용하였다. 기존의 한 장 소매를 두 장 소매로 구성하여 팔꿈치 부분을 입체화 하였다. 또한 팔길이 신장률이 팔 굽힘범위 동작에서 12.9% (7.2 cm)로 나타난 것을 반영하여 소매길이를 겨드랑아래술기에 동일하게 3.5 cm 씩 늘어나도록 기존패턴을 수정하였다. 기존 방화복과 달리 소매길이가 54.3 cm에 폭 10 cm의 커프스를 부착함으로써, 전체적으로 소매길이가 60.8 cm에서 64.3 cm로 길어지게 하였다. 커프스는 기존 방화복의 소매부리의 손목조임끈은 제거하고, 손목의 동작범위를 확보하기 위해 손목 오른쪽 자쪽범위 24° 를 적용하여 소매부리 너비의 끝부분을 넓혀주었고, 칼라와 마찬가지로 접어서 사용 할 수 있도록 구성하였다. 고깃은 전체적으로 길이는 24.5 cm에서 23.3 cm로 1.2 cm 줄여주고 폭은 10.5 cm에서 11 cm로 0.5 cm 늘려주어, 팔 굽힘범위 동작시 상의 길이의 변동이 거의 없도록 하였다. 엄지손가락을 끼우는 구멍의 너비설정을 위해 엄지손가락 오른쪽 별립범위의 최대 관절각을 적용하였다. 이때 엄지손가락 이동길이가 5.34 cm이므로, 기존 4 cm이었던 것을 5 cm로 넓혀주었다.

본 연구는 방화복 상의 소매만을 개발 대상을 하였으나 실제로 소방대원이 현장에 투입되기 위해서는 기동복 위에 방화복을 착용해야 하고 장갑과 헬멧, 안전화, 공기호흡기까지 구비해야 한다. 따라서 화재현장에서 이러한 장비로 인한 동작제한을 최소화하기 위해서는 방화복 상의뿐만 아니라 일체의 장비에 대해서도 인간공학적 설계와 개발이 이루어져야 할 것이다. 또한 남성뿐만이 아닌 여성 소방대원들을 위한 방화복의 치수 체계와 패턴 개발 역시 중요하게 다루어져야 한다. 현재 3차원 동작분석을 통해 도출된 관절각을 의류 패턴에 적용한 연구가 미비한 상태이다. 그러나 향후 특수한 작업환경에서 위험한 상황에 노출되어 있는 작업자들을 위한 기능복, 보호복, 작업복 등은 의복으로 인한 동작제한을 최소화하고, 작업능률을 향상

시키기 위해 작업자들의 동작범위를 파악해서 패턴에 적용해야만 최대한의 효과를 얻을 수 있는 만큼 관련 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- Adams, P. S, Slocum, A. C & Keyserling, W. M. (1994). A model for protective clothing effects on performance. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 6(4), 6-16.
- Cho, J. Y., Jeong, J. R., Yeon, J. H., You, H. C., & Kim, H. E. (2007). Development and application of an ergonomic evaluation system for functional clothing : Evaluation of flame-proof clothing and identification of design problem. *Journal of the Ergonomics society of Korea*, 26(2), 1-13.
- Chung, J. S., Sim, H. J., & Lee, Y. S. (1998). A study of the Korean standards for firefighters' uniforms. *Journal of the Korean Economics Association*, 36(9), 1-11.
- Han, S. A., Nam, Y. J., & Choi, Y. L. (2008). A survey of Korean firefighters regarding their satisfaction with protective clothing. *Journal of Korean Society of Costume*, 58(9), 166-175.
- Huck, J., Maganga, O., & Kim, Y. H. (1996). Protective overalls : evaluation of garment design and fit. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 9(1), 45-61.
- Huck, J., & Kim, Y. H. (1997). Coveralls for grass fire fighting. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 9(5), 346-359.
- Huck, J. (1988). Protective clothing systems : A technique for evaluating restriction of wearer mobility. *Applied Ergonomics*, 19(3), 185-190.
- Jeong, J. S., & Lee, Y. S. (2002). A study on the textile for protective clothing of fire fighters. *Journal of the Korean economics association*, 40(5), 15-24.
- Kim, D. S. (2006). *A study on the durability of protective cloth of fire fighter*. Unpublished doctor's thesis, Soongsil University, Seoul.
- Kim, E. K., & Lee, M. S. (1997). A Study on the Actual Condition of Korean Firefighter's Protective Clothing. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 21(1), 93-103.
- Kim, S. S. (2005). *A study of the working clothes at construction worksites to improve movement and physiological functionality*. Unpublished doctor's thesis, Kyungpook National University, Daegu.
- Kim, Y. H. (1996). *Fire fighter coverall : A study in functional apparel design*. Ph. D. dissertation, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Korean Agency for Technology and Standards. (2004). *5th Size Korea*. Ministry of Knowledge Economy, Korean Agency for Technology and Standards.
- Lim, H. K., Kim, J. H., Park, S. C., Ryum S. A., & Lee, Y. S.. (1998). A study of measurement on reach of motion using a 3-D motion analysis system for Korean adults(20's and 30's). *Korean Journal of Sports Biomechanics*, 8(2), 1-20.
- Ministry of public administration and security. (2004). *Firefighters protective clothing specifications* : Author.
- Park, S. S. et al., (2005). *Sports biomechanics*, Seoul: Dkbooks.
- Ryu, S. A., & Park, K. S. (2000). A Study on the Lower Body Range

- of Motion(Using a 3-D Motion Analysis System) bout Korean Adults. *The Research Journal of the Costume Culture*, 8(5), 741-753.
- Shin, D. S. (2006). *Evaluation for thermal protective performance of protective clothing*. Unpublished master's thesis, Inha University, Incheon.
- Yoo, H. S., & N. Pan, G. Sun. (1999). Change of physical and mechanical properties of firefighter protective clothing after radiant heat exposure. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 23(6), 853-863.
- Yoon, H. Y., Lee, S. D., & Lee, D. C. (2002). A study of measurement on range of joint mobility of middle-aged Korean adults. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 21(2), 35-46.
- (2011년 10월 6일 접수/2012년 2월 1일 1차 수정/2012년 2월 1일 게재확정)
-