

Development of a Draping Pattern Design Process for High-fit Gloves Based on 3D Hand Scan Data

Eunjin Jeon¹, Wonsup Lee¹, Hee-Eun Kim², Seikwon Park³, and Heecheon You¹

¹ Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH, Pohang, Korea

² Department of Clothing and Textiles, Kyungpook National University, Daegu, Korea

³ Department of Systems Engineering, Korea Air Force Academy, Choongbuk, Korea

ABSTRACT

Objective: The present study developed design and evaluation method for a draping pattern of high-fit glove based on 3D hand scan data. **Background:** To design a high-fit glove, technology of a 3D hand measurement, hand shape analysis, and a draping pattern design are required. However, 3D hand scan data and the draping pattern design technology have not been applied to glove design so far. **Method:** The present study developed the draping pattern design for ergonomic high-fit glove based on 3D hand scan data through 3-step process: (1) 3D hand scanning and measurement, (2) development of glove draping pattern method, (3) development of glove evaluation protocol. Participants' hand was fabricated as a plaster, and then plaster hand was scanned and measured by 3D scanning. Glove draping pattern method was developed through paper substitution method, dart manipulation method, and clearance extraction method. And evaluation method of fitness of high-fit glove was developed in terms of subjective satisfaction (e.g., fitness, clearance, ease of motion, ease of wearing), performance (e.g., peg-board testing), and pressure of hand areas. **Conclusion:** The present study developed the design method of a draping pattern design based on 3D hand scan data for a high-fit glove and the evaluation method of subjective and objective fitness for glove designed by draping pattern. **Application:** The method developed by this research can be applied to design high-fit glove for various purpose (e.g., pilot glove, sports glove, industrial glove) which required better fitness and ease of motion.

Keywords: 3D hand scanning, 3D glove pattern design, Draping pattern design, High-fit gloves

1. Introduction

3D 손 scan data는 산업 전반의 손 관련 제품의 형상 설계에 중요하게 활용될 수 있다. 3D 손 계측 자료를 기반으로 설계된 제품은 손 동작용이성 및 사용 편리성을 향상시킨다(Size Korea, 2006). 손의 동작용이성이 중요한 요소인 특수장갑(예: 비행장갑, 골프장갑)은 손 계측자료를 적용한 입체 패턴 설계가 필요하다(권명숙 외, 2005). 예를 들어, 조종사들은 비행 장갑을 착용한 상태에서 조종 장치 및 interface들(예: control stick, power grip; control panel; toggle switch, dial pinch, pointing)을 정밀하게 조작해야 하므로 비행 안전을 위해 장갑의 피트성(fitness)과 손 동작용이성이 중요하다(Torrens & Newman, 2000).

3D scanning으로 획득된 손 치수 및 손 형상 정보를 장갑의 패턴에 적용하는 방법은 고피트성(high-fit) 입체 패턴 설계에 중요한 기술이나 3차원 손 형상 정보와 장갑의 패턴에 적용하는 기술이 미흡한 실정이다. 맞춤새와 동작성이

향상된 고피트성 장갑 제작을 위해서는 손 치수 및 손 형상 정보, 그리고 손 부위별 여유량이 고려된 장갑의 패턴이 설계되어야 한다. 예를 들어, 한국인의 손에 적합한 고피트성 장갑 개발을 위해서는 한국인의 손 치수를 적용한 기본 패턴 제작법 및 여유량 설정에 대한 정보가 필요하다. 그러나 현 장갑업체들은 3차원 손 형상 자료의 부족과 3차원 손 형상 기반 장갑 패턴 설계 방법의 부재로 한국인의 손에 적합한 장갑의 패턴 설계에 어려움을 겪고 있다(류경욱, 2009; 최혜선과 김은경, 2004). 맞춤새와 동작성이 향상된 고피트성 장갑의 제작을 위해서는 3D 손 scan data를 정확하게 획득한 후, 3D 손 scan data를 flattening하여 2D 패턴으로 설계하는 기술이 필요하다.

최근에 맞춤형 골프 장갑 및 비행장갑 설계를 위한 3차원 계측 시스템이 개발 및 상용화되고 있다. 그러나, 현 3D 계측 시스템은 평면 스캐너를 이용하여 손을 계측하고 있어 손의 둘레 치수 및 형상정보 획득에 한계가 있다(www.gloveid.com). 3D scan data의 2D 패턴화 관련 연구(김소영 외, 2008; 정연희와 홍경희, 2006)의 경우, 부위별 압

력과 공극량(의복과 인체와의 간격) 측면에서 개발된 패턴의 적정성을 검증하였으나, 착용자의 객관적 및 주관적 평가는 수행되지 않았다.

본 연구는 3D 손 scan data를 기반으로 하여 고프트성 입체 패턴 설계 방법을 개발하고 그 적정성 검증 방법을 수립하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 3D scanning을 이용한 손 치수 측정 및 형상 분석을 분석하고 입체 패턴 설계 방법 수립하였다. 또한, 3D 손 scan data를 기반의 고프트성 장갑 설계 방법에 대한 적합성을 검증하기 위하여 객관적 및 주관적 평가 방법을 수립하였다.

2. Method for Draping Pattern Design

3D 손 측정 자료 기반 인간공학적 장갑의 입체 패턴 설계 및 평가는 3단계의 절차(3D 손 치수 측정 및 특성 분석, 입체 패턴 설계 방법 수립, 고프트성 장갑의 착용성 평가 방법 개발)로 수행되었다.

2.1 3D hand scanning and measurement

2.1.1 Fabrication of plaster hand

3D 손 형상 분석을 위해 다양한 손자세(예: 편손, 구부린 손)를 석고로 제작한다. 손 석고는 피험자의 손 크기에 적합한 틀을 준비하고 알지네이트(alginate)를 삽입하여 mold를 제작한 후(그림 1a 참조), mold에 석고를 삽입하고 응고 시킴으로써 제작된다. 알지네이트는 빠르게 경화하는 특성을 가졌기 때문에 알지네이트를 이용하면 특정 손 자세를 빠르게 제작할 수 있다.

2.1.2 Measurement of hand dimensions

3D scanning을 이용한 손 치수 측정 및 형상 분석에는 오차 범위가 적으면서 신속한 데이터 획득이 가능한 3D semi-automatic measurement protocol (3D-SAMP; 이원섭 외, 2011) 자동화 시스템이 사용되었다. 3D-SAMP는 석고손의 3D scan data에 일부 landmark만을 표기함으로써 150여 개의 다양한 손 치수를 반자동으로 측정하는 기술이다. 본 연구는 3D-SAMP를 이용하여 다양한 손의 석고본으로부터 3차원 digital hand data와 함께 손 치수들을 획득하였다(그림 1b, 1c, 1d 참조).

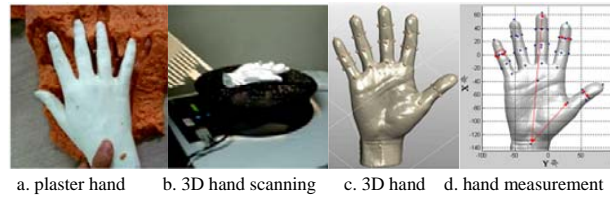


Figure 1. Illustration of 3D hand scanning and measurement

2.2 Design of glove draping pattern

2.2.1 Glove pattern design based on paper substitution method

본 연구는 3D 손 scan data로부터 2D 장갑 패턴을 제작하는 digital 설계 기술 개발에 앞서 한지치환법을 이용하여 수작업으로 장갑의 패턴을 제작하였다. 한지치환법(함옥상, 1981)의 순서로 먼저 측정참조점(landmark)들이 표시된 손 석고 형상에서 측정참조점들을 지나는 디자인 선(예: 손등, 손바닥, 엄지, crotch)을 설정한다(그림 2 참조). 설정된 기준선 및 절개선을 토대로 손 석고에 한지를 잘라 부착하고 한지가 건조된 후 디자인 선을 따라 분리하면 손 부위별 입체 패턴이 생성된다.

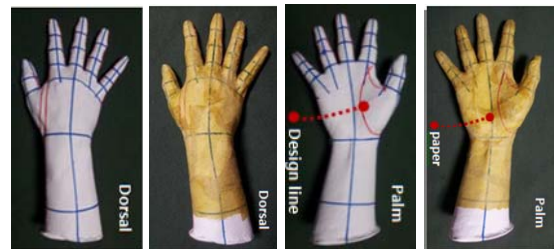


Figure 2. Illustration of paper substitution method

2.2.2 Pattern flattening and glove draping pattern design

한지치환법으로 도출된 입체 형상의 평면화는 제작된 패턴을 절개 및 닳트 매니플레이션(dart manipulation), 곡선수정 등의 과정을 거쳐 완성되었다. 한지를 평면화하는 과정에서 5개 손 끝 부위와 손바닥 옆 부위, 그리고 손목 부위 등에 절개영역이 삽입된다(그림 3 참조). 절개영역이 삽입됨으로써 발생한 여유량은 닳트 매니플레이션 방법을 이용하여 패턴 상에서 수정된다. 예를 들어 손등의 손목부위에 가로방향의 절개로 인해 형성된 0.2cm의 여유량(A)은 장갑 입구의 B 부위에서 삭제(0.2cm)하여 수정하였다. 절개영역 삽입 및 닳트 매니플레이션 과정을 통해 한지를 평면화한 후에는 측정한 손 부위별 치수와 평면화된 패턴 간의 상관관계를 분석하여 패턴 제작 공식을 수립한다.

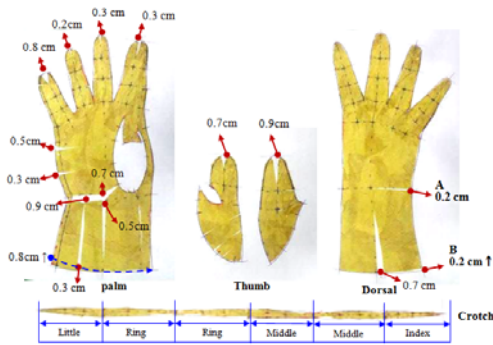


Figure 3. Pattern flattening and draping pattern design

2.3 Development of glove evaluation protocol

고피트성 장갑의 착용성 평가 방법 개발을 위해 본 연구자의 이전 연구(전은진, 2009, 2010)와 기존 연구들(Coca, 2008, 2010; 김영희, 2003; Huck, 1997; 김소영 외, 2008)의 review를 통해 평가 항목을 선별하였다. 고피트성 장갑의 착용성 평가 방법은 인간공학적 측면에서 주관적 만족도와 Pegboard를 이용한 객관적 기능성을 평가로 구분하였다. 주관적 만족도는 장갑 착용 시의 피험자가 느끼는 편안함의 정도를 손 부위별로 평가하는 것으로 본 연구에서 개발된 설문지를 이용하여 평가된다. 주관적 만족도 평가는 기존 장갑과 개선된 장갑을 무작위로 착용한 후 다양한 동작(예: 비행 장갑의 경우 조종 장치 및 interface 조작에 관한 동작)을 수행하며 평가 문항에 응답(예: 5점 척도)하는 방식으로 수행된다.

객관적 기능성은 장갑 착용 시의 동작 수행의 용이성 정도를 평가하는 것으로 Pegboard test(권오채 외, 2005)를 이용한 손 동작 수행도와 손 부위별 압력 측정(김소영, 2008)을 이용한 압력 평가 등으로 구성된다. Pegboard test는 앉은 자세에서 오른손을 사용하여 30개의 peg를 순서에 맞춰 끼는 작업으로 수행시간을 측정하여 장갑 착용 시 수행도를 객관적으로 측정하는 방법이다.

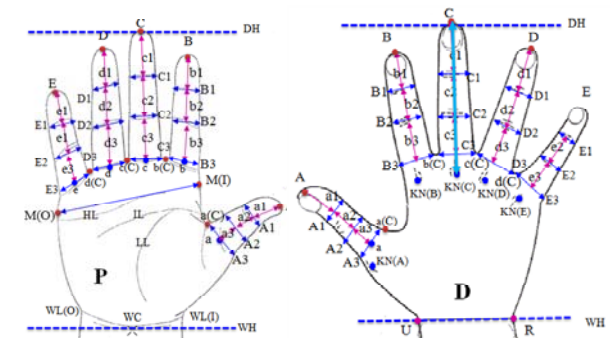
3. Application to Pilot Glove Design

3.1 Analysis of glove draping pattern

본 연구는 공군 조종사들이 착용하는 고피트성 비행 장갑을 설계하기 위해 공군 조종사 1명의 손을 석고로 제작한 후, 본 연구에서 제시한 장갑 입체 패턴 설계 방법에 따라 해당 조종사의 손 형상에 가장 적합한 입체 패턴을 설계하였다. 설계된 입체 패턴의 치수를 손 직접계측치 및

3D 계측치와 비교함으로써 실제 손과 입체 패턴 간의 치수 차이를 파악하였다. 손 부위별 치수 비교를 통하여 계측 방법에 따른 치수 차이를 분석하였으며, 입체패턴의 부위별 치수와 손 석고 치수와의 차이를 분석하여 입체 패턴의 부위별 여유량을 파악하였다. 분석된 부위별 치수와 여유량은 입체패턴의 최종 설계에 적용하여 패턴을 완료하였다.

분석결과 직접계측과 3D로 계측한 부위별 치수는 유사한 것으로 파악되었다(표 1 참조). 또한, 입체패턴과 직접계측 간의 비교 분석 결과, 입체패턴의 10개 부위는 패턴 설계 시 여유량의 설정이 중요한 부위로 파악되었다. 손가락 crotch 부위에서는 치수가 손 계측부위보다 작은 것으로 파악되었다.



Part of hand	Code	Part of hand	Code
Finger 1	A	Wrist	Wrist
Finger 2	B		Wrist crease(O. I)
Finger 3	C		Wrist center
Finger 4	D		Wrist crease horizon
Finger 5	E		Ulnar styloid
Finger length(a1,a2)	a	Radial styloid	R
Finger length(b1,b2,b3)	b	Metacarpal	Metacarpal (Out side)
Finger length(c1,c2,c3)	c		Metacarpal(Inside)
Finger length(d1,d2,d3)	d	Metacarpal link	The intelligence line
Finger length(e1,e2,e3)	e		The heart line
Knuckle	KN		The life line
Crotch	Crotch 1	Breadth	Breadth
	Crotch 2		Dactylion base line
	Crotch 3	Base line	Vertical (height)
	Crotch 4		Horizontal

Figure 4. Hand dimensions and codes for glove design

3.2 Development of Design Formulas for Pilot Gloves

본 연구는 한지치환법을 이용해 평면화된 손 형상 패턴에 손 치수 정보, 장갑 부위별 치수 변화율 정보, 그리고 장갑 부위별 여유량 정보를 삽입하여 비행 장갑의 입체 패턴 설계 공식을 개발하였다(그림 5와 표 2 참조). 예를 들어, 파악된 여유량(패턴 - 손치수)과 손치수를 기준으로 패턴 부위별 산출식(예: 손목둘레2 + 1 cm)을 도출하였다.

Table 1. Comparison of hand dimensions

Part of hand	Part of glove pattern (GP)	Measurement method			Measurement differences		
		GP	DM	3D	GP-DM	DM-3D	
Finger length	Digit 1	A-a(P+D)	5.8	6.1	5.3	-0.3	0.8
	Digit 2	B-b(P)	7.3	6.9	7.0	0.4	-0.1
	Digit 3	C-c(P)	7.8	8.1	7.8	-0.3	0.3
	Digit 4	D-d(P)	6.8	7.1	7.2	-0.3	-0.1
	Digit 5	E-e(P)	6.1	6.1	5.8	0	0.3
Palm Length	D1 base to tip of digits	b-a(C)	3.1	4.3	4.1	-1.2	0.2
		c-a(C)	5.2	6.0	5.7	-0.8	0.3
		d-a(C)	6.8	7.6	7.0	-0.8	0.6
		e-a(C)	8.2	8.9	8.4	-0.7	0.5
	Wrist base to tip of digits	b-WC	11.0	10.7	10.7	0.3	0
		c-WC	11.0	10.1	10.7	0.9	-0.6
Circ. of the first finger digit	d-WC	10.8	10.4	10.3	0.4	0.1	
	e-WC	9.4	9.1	9.6	0.3	-0.5	
	Digit 1	A1(P)+A1(D)	6.8	7.0	6.9	-0.2	0.1
Circ.	Digit 2	B1(P)+B1(D)+B1(C)	5.2	5.2	5.0	0	0.2
	Digit 3	C1(P)+C1(D)+C1(x2,C)	5.4	5.4	5.2	0	0.2
	Digit 4	D1(P)+D1(D)+D1(x2,C)	5.0	5.3	4.9	-0.3	0.4
	Digit 5	E1(P)+E1(D)+E1(C)	4.7	4.7	4.4	0	0.3
Width	Wrist	WL(O)-WL(O)(P)+WL(O)-WL(I)(D)	17.8	17.8			0
	Palm	M(O)-M(I)(P)+M(O)-M(I)(D)	18.5	21.7			-3.2
Width	Palm	M(O)-M(I)(P)	10.1	8.6	8.1	1.5	0.5

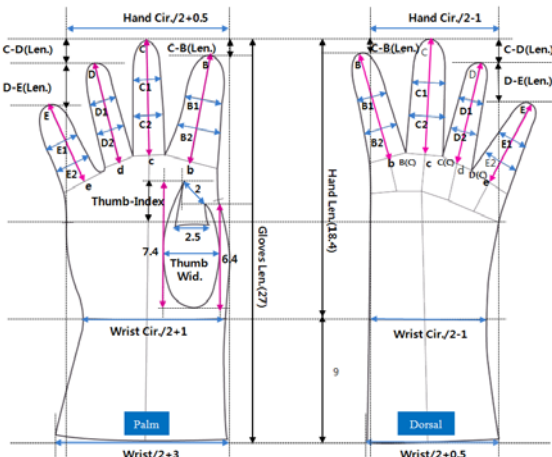


Figure 5. Pattern of pilot glove (excluding thumb)

3.3 Development of Evaluation Method for Pilot Gloves

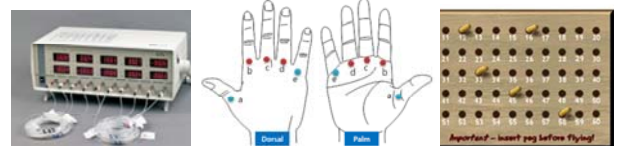
본 연구에서 개발된 비행 장갑의 주관적 만족도(착·탈의 용이성, 착의성, 동작성, 여유성, 소재적합성)는 공군 조종사를 대상으로 착용편의성에 관한 설문지를 이용하여 조사될 예정이다. 주관적 만족도 평가는 개선 전, 후의 장갑을 착용하며 전투기 조종과 관련된 동작들을 수행하고 평가 문항에 응답하는 방식으로 수행될 수 있다(그림 6.c).

장갑의 객관적 기능성(동작수행도, 압력측정) 측면에서는 Pegboard test를 이용하여 실제 동작 수행시의 민첩성, 정교성, 동작성을 조사할 예정이다(그림 6.b 참조). 또한, 장갑의 착용감, 밀착감, 그리고 여유량 등을 측정하기 위해 손등,

손바닥, crotch 등의 10개 부위에 압력을 측정(air-pack type: AMI-3037-2)하고자 한다(그림 6.a). 주관적 및 객관적 착용감에 대한 평가는 그림 7에 예시된 것과 같은 평가 protocol에 따라 추진될 수 있다.

Table 2. Example of design formulas for pilot glove pattern

A	Formula	C	Formula
PB~b	PB(Len.)	PC~c	PC(Len.)
DB~b	PB-b+B(Cr.)wid.	DC~c	PC-c+C(Cr.) wid.
PB1	B1(Cir.)/2	PC1	C1(Cir.)/2-0.8
PB2	B2(Cir.)/2-0.2	PC2	C2(Cir.)/2-1.2
DB1	B1(Cir.)/2-0.6	DC1	C1(Cir.)/2-0.4
DB2	B2(Cir.)/2-0.8	DC2	C2(Cir.)/2-0.8
D	Formula	E	Formula
PD~d	PD(Len.)	PE~e	PE(Len.)
DD~d	PD-d+D(Cr.)wid.	DE~e	PE-e+D(Cr.) wid.
PD1	D1(Cir.)/2-0.8	PE1	E1(Cir.)/2
PD2	D2(Cir.)/2-1.0	PE2	E2(Cir.)/2-0.2
DD1	D1(Cir.)/2-0.8	DE1	E1(Cir.)/2-0.4
DD2	D2(Cir.)/2-1.0	DE2	E2(Cir.)/2-0.2



a. Pressure measurement device

b. Pegboard



c. Questionnaire for subjective evaluation

Figure 6. Illustration of evaluation apparatus

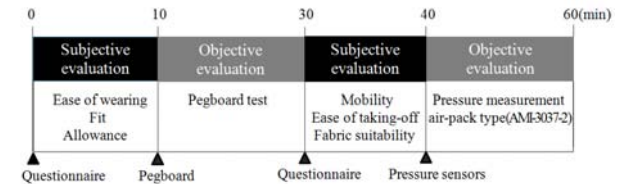


Figure 7. Glove evaluation process

4. Discussion

본 연구는 3D scanning 이용한 손 치수 측정 및 손 형상을 분석하여 정확한 손 부위별 치수 및 형상 정보를 파악하였다. 맞음새와 동작성이 향상된 고프트성 장갑은 3D 손 scan data의 획득과 이를 기반으로 한 패턴 설계 기술이 중요하다. 본 연구에서는 3D-SAMP 방법을 사용하여 51개 손 부위의 치수를 정확하고 신속하게 파악함으로써 장갑 설계시에 필요한 인체 변수들에 대한 설계 기준 수립에 유효하였다.

본 연구는 파악된 손 측정 자료 및 형상 정보를 기반으로 부위별 적정 여유량 및 치수 산출식을 개발하여 입체패턴 장갑을 설계하였다. 현재 한국의 장갑 제작업체는 3차원 손 형상 자료의 부족과 3차원 손 형상 기반 장갑 패턴 설계 방법의 부재로 장갑의 패턴 설계에 어려움을 겪고 있다(류경옥, 2009). 따라서, 본 연구에서 수립한 부위별 여유량과 치수 산출식은 현 한국의 장갑 제작업체에 유용한 자료를 제공할 것으로 사료된다. 조종사의 손 측정 자료 및 형상 분석을 바탕으로 산출된 부위별 치수 산출식 및 입체 패턴 설계 방법은 비행장갑뿐 아니라 피트성이 요구되는 다양한 장갑의 제작에 유용한 자료로 활용될 수 있다.

본 연구는 입체 패턴 설계 방법으로 제작된 고프트성 장갑의 착용 적합성 평가를 위해 객관적 기능성 및 주관적 만족도 평가 방법을 수립하였다. 김소영 외(2008)는 장갑 패턴 설계를 위해 3차원 형상을 분할하여 2차원 패턴화하였으나 설계 장갑의 6개 부위의 압력을 측정하여 착용성을 평가하였다. 반면, 본 연구는 개발 장갑의 종합적인 평가를 통해 부위별 여유량과 설계 대상의 적정성을 정량적(객관적 기능성) 및 정성적(주관적 만족도)으로 검증하는 방법을 수립하였다.

추후 연구로 조종사들을 대상으로 한 입체 패턴 설계 방법을 적용한 개발 비행장갑의 착용성(주관적 만족도, 객관적 기능성) 평가가 필요하다. 특히, 비행장갑의 경우 특수한 환경 및 상황에서 착용하게 되므로 비행상황에서의 현장 평가를 통한 효과 검증이 필요하다.

Acknowledgements

This research was jointly supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science, and Technology (No. C00185 and 2010-0012291).

References

- Kim, S., Lee, Y., Park, H. Basic pattern development of haptic glove from 3D data, *Korea Society of Clothing and Textiles*, 32(8), 1226-1232. 2008.
- Kim, Y. Comparison of range-of-motion test methods for measuring clothing mobility, *Korea Society of Clothing and Textiles*, 27(12), 1374-1380. 2003.
- Choi, H., Kim, E. The database development of 2-D and 3-D hand measurement for improving fitness of gloves: Focused on the classification of hand type and analysis of 3-D hand shape, *Korea Society of Clothing and Textiles*, 28(9/10), 1300-1311. 2004.
- Coca, A., Roberge, R., Shepherd, A., Powell, J. B., Stull, J. O. & Williams, W. J. Ergonomic comparison of a chem/bio prototype firefighter ensemble and a standard ensemble. *European Journal of Applied Physiology*, 104(2), 351-359. 2008.
- Coca, A., Williams, W. J., Roberge, R. J. & Powell, J. B. Effects of firefighter protective ensembles on mobility and performance. *Applied Ergonomics*, 41, 636-641. 2010.
- Hahm, O. An ergonomic study on the function of slacks: On the expansion and contraction of skin surface of the lower body, *Korea Home Economics Association*, 19(2), 151-163. 1981.
- Huck, J., Maganga, O., & Kim, Y. Protective overalls: evaluation of garment design and fit. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 9(1), 45-61. 1997.
- Jeong, Y., Hong, K. Development of 2D tight-fitting pattern from 3D scan data, *Korea Society of Clothing and Textiles*, 30(1), 157-166. 2006.
- Jeon, E., Park, S., You, H., Kim, H. An Evaluation of wearing characteristic for improving flight suit design, *Korea apparel industry association*, 11(2), 301-307. 2009.
- Kwon, M., Choi, I., Chung, G., Yang, M. A study on establishment of glove size system and hand shape, *Korea Society of Costume*, 55(6), 24-37. 2005.
- Lee, W., Yoon, S., You, H. Development of 3D semi-automatic measurement protocol for hand anthropometric measurement, *IE Interfaces*, 24(2), 105-111, 2011.
- Ryu, K. A study on the measurement of Korea hand: Focusing on glove & hand dimension, *The Research Journal of the Costume Culture*, 17(5), 866-877. 2009.
- Torrens, G. E., Newman, A. The evaluation of gloved and ungloved hands, *Contemporary Economic*, 1(12), 301-305. 2000.
- Size Korea, <http://sizekorea.ats.go.kr>, 2006.

Author listings

Eunjin Jeon: slowjeon@hanmail.net

Highest degree: PhD, Clothing & Textile, Kyungpook National University

Position title: Post Doc, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic pattern design, Pattern grading, User interface design & evaluation

Wonsup Lee: mcurry@postech.edu

Highest degree: BS, Industrial and Media Design, Handong University

Position title: PhD student, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic product design, Product shape design based on 3D scanning, 3D human modeling, Engineering design

Hee-Eun Kim: hekim@knu.ac.kr

Highest degree: PhD, Clothing physiology, Nara Women's University, JAPAN

Position title: Professor, Department of Clothing & Science, Kyungpook National University

Areas of interest: Clothing environment, Clothing pattern & construction, Clothing comfort

Seikwon Park: parksk@afa.ac.kr

Highest degree: PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University

Position title: Professor, Department of Systems Engineering, Korea Air Force Academy

Areas of interest: Human factors in aviation and aerospace, Fatigue/Stress modeling & assessment, Human performance & workload assessment, Bio-signal measurement and analysis techniques, Biofeedback training

Heecheon You: hcyou@postech.ac.kr

Highest degree: PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University

Position title: Associate Professor, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Digital human modeling & simulation, Human performance & workload assessment, Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) prevention, Usability testing