

# An Ergonomics Improvement of the Flight Suit Sizing System and Pattern for Korean Pilots

Eunjin Jeon<sup>1</sup>, Seikwon Park<sup>2</sup>, Jeongrim Jeong<sup>3</sup>, Hee-Eun Kim<sup>3</sup> and Heecheon You<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Gyeongbuk, 790-784

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Air Force Academy, Cheongwon, Chungbuk, 363-849

<sup>3</sup>Department of Clothing & Textiles, Kyungpook National University, Daegu, 702-701

## ABSTRACT

**Objective:** The present study is to conduct a survey of the wearing characteristics of flight suits from current pilots and to design from this survey a new flight suit pattern suitable for the physical characteristics of Korean pilots. **Background:** It is important to design an flight suit based on anthropometric data of pilots in terms of wearing comfort, Movement, and safety. **Method:** A pool of 563 pilots was surveyed in order to analyze the wearing characteristics. In order to confirm the improved effects of the newly designed suit compared to the current one, an evaluation was conducted by assessing the subjective satisfaction and objective functionality through a measurement of the range of motion. **Results:** Results of the evaluation have shown that significant improvements have been made in the areas of suit that many of the respondents had indicated as being uncomfortable, such as neck circumference, armscye circumference, and crotch. This was achieved through increasing the ease in respective parts of the suit using anthropometric data of the pilot in the design process, thus correcting the pattern of the uncomfortable areas. The areas that showed the greatest improvements were the ones associated with lengthwise mobility; the fit and the mobility of the overall flight suits have ameliorated by a significant degree. **Conclusion:** The improved sizing system using the Korean pilots' anthropometric data was revealed that it accommodates 96% of Korean pilot population and provides better results of objective and subjective evaluations than those of the previous sizing system. **Application:** The identified anthropometric features of Korean pilots would be applied to develop a proper sizing system and an ergonomic design of an flight suit for Korean pilots.

Keywords: Korean Flight Suit; Sizing System & Pattern Improvement; Wearing characteristic

## 1. Introduction

조종사 인체크기를 고려한 비행복(flight suit) 설계는 전투기 조종사들의 원활한 임무 수행 및 안전성 향상, 그리고 착용 안락감 향상 측면에서 중요하다. 착용자의 인체크기를 고려하여 설계된 의복은 작업능률을 향상시키고 동작의 불편함으로 인한 오류를 감소시켜 업무효율을 상승시킨다고 알려져 있다(Yeow P.H.P. and Sen R.N., 2003). 따라서, 비행복은 조종사의 인체크기 및 신체동작범위, 비행환경에 대한 특성 분석을 바탕으로 한 인간공학적인 설계가 요구된다.

한국인 조종사의 인체크기에 적합한 비행복 설계를 위해

서는 한국인 조종사의 인체측정자료에 기반한 치수체계 및 패턴에 대한 연구가 필요하다. 전은진 외(2009)는 조종사 137명을 대상으로 기존 비행복 치수체계(18개) 및 패턴에 대한 적합성을 조사한 결과, 착의성 부적절(40%), 여유량 부적절(27%), 치수 선정의 어려움(18%), 동작의 불편함(15%) 등이 제기되었다. 예를 들어, 치수 선정의 어려움에 대해서는 신장이 '특대'(183 ~ 190 cm)에 해당하는 조종사의 경우, 기존 치수체계에서는 '특대' 사이즈가 존재하지 않아, '특'(178 ~ 182.9 cm) 사이즈의 비행복을 착용함으로써 길이 방향의 불편함이 나타나는 것으로 조사되었다. 그러므로 한국인 조종사에 적합한 비행복의 인간공학적인 설계를 위해서는 한국인 조종사들을 대상으로 한 인체측정자료가 확보되고, 이를 기반으로 한 패턴 설계가 이루어져야 한다.

본 연구는 한국인 조종사 인체특성에 적합한 인간공학적 비행복 설계를 위해, 조종사 인체계측 자료 분석을 통한 기존 치수체계 및 패턴을 개선하고, 적합성을 검증하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 1) 조종사 인체계측 자료 분석을 통한 개선 치수체계 수립, 2) 기존 비행복 특성 분석 및 조종사 인체계측 자료를 기반으로 한 패턴 설계, 3) 개선된 비행복에 대한 객관적 및 주관적 평가를 통한 개선 치수체계와 패턴의 적합성을 검증하고자 한다.

## Methods

### 2.1 Wearing & Design characteristic analyzing

기존 비행복의 착용 및 설계 문제점 조사를 위해 설계특성(패턴, 형태, 소재) 조사와 착용특성(설문조사) 조사를 실시하였다. 기존비행복의 설계특성은 M95 특 사이즈 비행복의 패턴(실물치수, 필요산출식, 여유량), 형태(silhouette, detail, trimming), 소재(소재물성 및 규격)에 대해 분석되었다.

착용특성은 공군 조종사(563 명, 2009 년) 대상으로 한(공군 인터넷 설문조사)를 실시하여 비행복의 주요 설계 개선 대상(치수, 패턴)이 파악되었다. 설문문항은 기존 비행복에 대한 예비조사(육군 helicopter 조종사, 137 명, 2008 년) 결과를 토대로 사용특성(착용시간, 관리방법, 착용편이성, 소재), 착용특성(치수가 맞지 않는 부위, 비행시 불편부위, 불편한 여밈, 지퍼, 불편한 주머니), 자유기술 문항(개선요구사항)등으로 구성되었다. Figure X 는 착용특성 분석 설문지의 예이다.

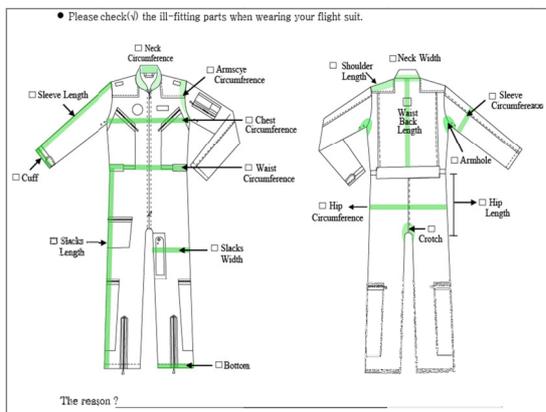


Figure 1. A sample of wearing characteristics questionnaire

### 2.2 Size System & Pattern Design

개선 비행복의 치수체계 설계를 위해 기존 치수체계 및 비행복 제작 관련 인체 계측 변수들을 파악하고 조종사(성별: 남성; 인원: 1238 명; 연령: 20~49 세; 연도: 2008 년) 인체계측 자료가 분석되었다. 인체계측 자료 분석(평균, 표준편차, 최소, 최대값, 변동계수)을 통하여 인구 수용 범위와 인체변수의 치수특성이 파악되었다. 조종사 인체계측 자료 분석 결과의 인구수용율을 바탕으로 개선 치수를 선정하였으며, 개선 각 사이즈 별 의복부위 치수를 산출하여 개선 치수체계 규격표를 수립하였다.

개선 비행복 패턴 설계를 위해 기존 비행복 착용특성 분석 결과를 바탕으로 동작성, 착용감, 편이성 관련 개선안이 패턴(M95 특: 가슴둘레 92.5~97.4 cm, 신장 177 cm 이상)에 적용되었다. 개선안이 적용된 패턴에 조종사 인체계측 값을 삽입하여 각 부위별 여유량을 파악한 후 남성복 산출식과의 비교 및 착용평가를 통하여 부위별 적절 여유량을 산출한 후 개선 비행복 패턴이 설계되었다.

### 2.3 Wearing evaluation of the reformed flight suit

개선 비행복 착용평가를 위해 조종사 인체계측 자료 중 인구수용율이 높게 나타난 6개 사이즈(M90중: 7.7 %; M95중: 10.3 %; M95대: 12.8 %; 100중: 5.5 %; M100대: 10.9 %; M100특: 7%)와 개선 후 치수체계에 추가된 2개 사이즈(M95소: 1.9%, M105특대: 1.1%)에 해당하는 조종사 38명이 실험 참여자로 선정되었다.

개선 비행복 착용평가는 착용편이성을 평가하는 주관적 만족도 평가와 운동범위를 파악하는 객관적 기능성 평가로 구성되었으며, protocol은 Figure 2와 같다. 주관적 만족도(착의용이성, 착의성, 동작용이성, 여유성, 탈의용이성, 소재적합성)는 실험 비행복을 착용하고 동작(예: 걷기, 앉기, 계단오르기)을 수행하게 한 후 착용편이성 설문지(5점 likert scale)에 응답하도록 하였다. 객관적 기능성 평가는 비행복 착용 후 동작 수행 정도를 평가하는 것으로, 개선 전, 후 동작 범위 각도차를 사진촬영법으로 평가하였다.

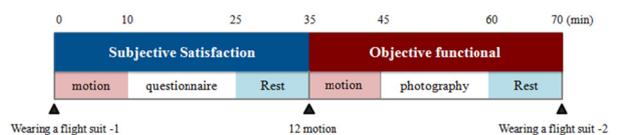


Figure 2. Evaluation protocol for the wearing evaluation

### 3. Results

#### 3.1 Wearing & Design characteristic analyzing

설계특성 분석 결과, 패턴의 실물치수(둘레: 9 개; 길이: 8 개; 너비: 2 개), 부위별 산출식 및 여유량 등의 기존 비행복 패턴 특성이 파악되었다(Figure 3). 조종사 인체치수(가슴둘레: 96.3cm)와 비행복 패턴(가슴둘레: 111 cm)의 부위별 차이값(14.8 cm)을 기준으로 비행복 제작시 산출식(예: 가슴둘레, B/4+3.25 cm)과 부위별 여유량(Bust: front +3.2 cm, back +4.2 cm)이 파악되었다

착용편이성 평가 결과, (Figure 4) ‘그렇지 않다’(2), ‘전혀 그렇지 않다’(1)의 응답 비율이 전체 평균 22%로 나타나 기존 비행복의 경우 착용 편이성 관련 개선이 필요한 것으로 파악되었다. 특히, 맞음새 및 여유량 적절성 문항에서 부정적 응답 비율이 각각 39.0%와 25.6%로 나타나 부위별 맞음새 개선을 위한 적절한 여유량 설정의 필요성이 파악되었다.

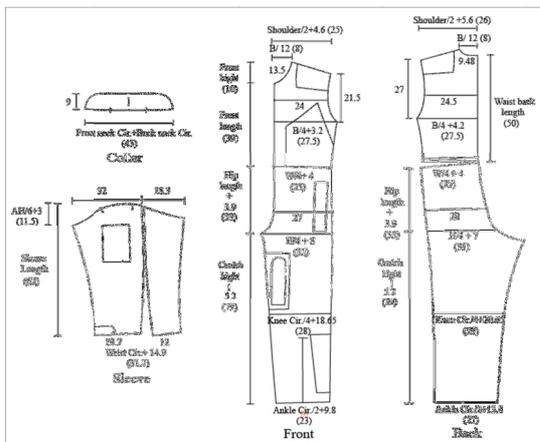


Figure 3. Current flight suit pattern analysis

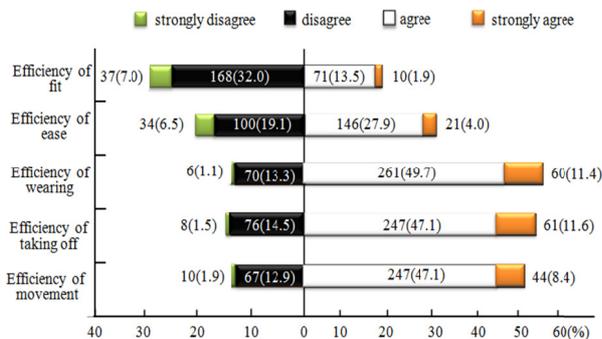


Figure 4. Analysis of usage characteristics (wearing convenience evaluation)

착용특성 평가 결과(Table 1) ‘치수가 잘 맞지 않는 부위’는 바지길이(18.4%), 바지부리(14.4%), 허리둘레(10.5%), ‘비행시 불편부위’는 살(19.0%), 겨드랑이(9.1%), 소매부리 (8.5%)로 파악되었다. 따라서 개선 비행복의 패턴 설계 시 바지길이(Slacks length), 바지부리(Bottom), 허리둘레(Waist Circumference, 살(Crotch), 겨드랑이(Armscye), 소매부리(Cuff) 부위를 주요 개선 대상으로 고려하는 것이 필요하다.

Table 1. Wearing characteristic analysis

	A	B
Neck Circumference	6 (0.9)	11 (3.1)
Armscye Circumference	7 (1.0)	6 (1.7)
Chest Circumference	25 (3.7)	8 (2.3)
Waist Circumference	71 (10.5)	25 (7.1)
Sleeve Length	65 (9.6)	20 (5.7)
Cuff	39 (5.7)	30 (8.5)
Slacks Length	125 (18.4)	29 (8.2)
Slacks width	71 (10.5)	29 (8.2)
Bottom	98 (14.4)	24 (6.8)
Shoulder Length	22 (3.2)	21 (6.0)
Neck width	1 (0.1)	0 (0.0)
Sleeve Circumference	15 (2.2)	7 (2.0)
waist back length	30 (4.4)	23 (6.5)
Armhole	8 (1.2)	32 (9.1)
Hip Circumference	29 (4.3)	13 (3.7)
Hip Length	12 (1.8)	7 (2.0)
Crotch	55 (8.1)	67 (19.0)
Total	679 (100)	352 (100)

A: unfitting part in size B: inconvenient part when flying

#### 3.2 Size System & Pattern Design

조종사 인체계측 자료를 적용한 개선 치수체계는 96% 조종사 인구를 수용하는 것으로 파악되었다. 개선 치수체계 (23개 치수)는 조종사 인체계측 자료(남성 1,238명, 2008년)의 인구수용율을 바탕으로 기존 치수체계(18개 치수)에서 불필요한 5개 치수를 제거하고 10개의 치수를 추가하여 조종사 인구수용율 16% 향상(기존: 80%; 개선: 96%)이 파악되었다 (Table 2). 개선 치수체계의 23개 각 사이즈 별 16개 의복부위 치수를 산출(인체치수 + 여유량)하여 개선 치수체계 규격표가 수립되었다.

개선 비행복 패턴 설계는 첫째, 동작성 개선을 위해 곡선화(예: 목, 소매, 칼라) 및 부위별 치수조절(예: 손목 -4 cm; 소매통 -2 cm), 둘째, 착용감 개선을 위해 길이 방향 여유량 추가(예: 살 +2 cm; 엉덩이 +1.5 cm) 혹은 여유량 감소(예: 소매 -4 cm; 허리 -2 cm; 엉덩이 -2 cm)등의 개선안이 적용되었다. 셋째, 편이성 개선을 위해 주머니의 부착위치 및 각도 조절, 부대 마크 부착 위치의 표시등의 개선안이 적용되어 최종 개선 비행복 패턴이 설계되었다(Table 3).



**Table 2.** Selection of Improvement size system

unit(%)

Chest Cir.	Height	Special Small	Small	Medium	Large	Special	Special Large	Chest Cir. distribution
		< 163	< 168	< 173	< 178	< 183	< 190	
85	82.5~87.4	0.06	0.92	3.44	2.27	0.81	0.06	7.13
90	87.5~92.4	0.00	1.68	7.65	8.74	2.94	0.12	19.8
95	92.5~97.4	0.12	1.85	10.3	12.8	5.89	1.01	30.8
100	97.5~102.4	0.00	1.00	5.47	10.9	6.98	2.19	25.7
105	102.5~107.4	0.00	0.31	2.10	4.63	3.45	1.09	11.4
110	107.5~112.4	0.00	0.12	0.68	1.51	1.26	0.50	3.97
115	112.5~117.4	0.00	0.00	0.19	0.25	0.37	0.25	1.05
120	117.5~122.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.06
125	122.5~127.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Height distribution		0.18	5.64	28.8	39.0	21.1	5.21	100

in: 13      l: 13

**Table 3.** Flight suit pattern improvement design

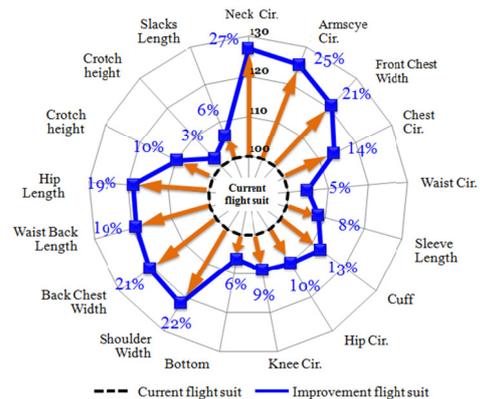
Item	Improved pattern design		
Mobility	A	Neck	1. Curved 2. Center front neck 1.5cm down
	B	Sleeve	1. Sleeve line Curved 2. Sleeve, Wrist width reduction Elastic closure and width adjustment parts 3. Cuff adjustment
	C	Collar	1. Curved line 2. Bias Cutting
	D	Slacks	1. Slacks width and bottom part size reduction 2. Slacks length adjustment
Fit	E	Waist	1. Sitting position : Crotch part ease insertion 2. Waist Cir.: size reduction and Curved
	F	Crotch	Hip length extension
	G	Hip	1. Hip length extension and Curved 2. Hip Cir size reduction
Convenience	H	Pocket	1. Calf pocket length adjustment 2. Upper arm pocket angle and size adjustment
	I	Symbol position	Symbol location mark

반 벌림: 13%; 팔 들어 올리기: 10%; 측면 - 팔 들어 올리기: 10%)에서 유의한(개선율:  $\geq 10\%$ ) 개선효과가 파악되었다 (Figure 6). 이는 개선전 비행복의 문제점으로 파악된 길이방향의 당김현상의 개선으로 인한 살, 목, 겨드랑이 부위의 맞음새와 동작성 향상을 검증하는 결과이다.

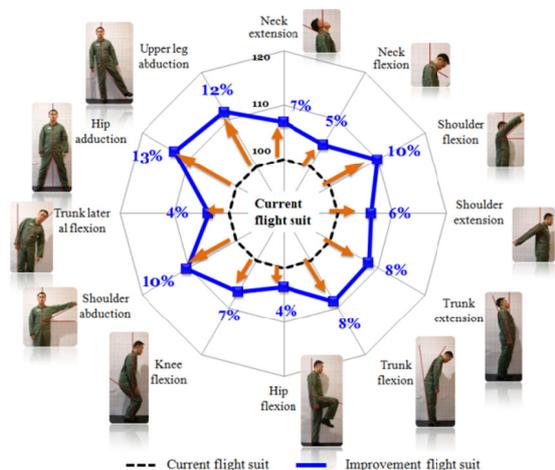
**3.3 Wearing evaluation of improvement flight suit**

개선 비행복의 착용평가 결과 주관적 만족도와 객관적 기능성과 에서 각각 16%, 8%의 개선효과가 파악되었다. 비행복 의복 부위별 주관적 만족도 평가 결과, 착의용이성(12%), 탈의용이성(16%), 착의성(14%), 동작용이성(14%), 여유성(14%), 소재적합성(27%)에서 평균 16%의 향상이 파악되었다. 주관적 만족도 항목 모두에서 개선효과가 나타난 의복 부위로는 목둘레, 진동둘레, 가슴너비, 가슴둘레, 소매부리, 엉덩이둘레, 뒤폭너비, 살높이로 파악되었다. 특히, 동작용이성에서 개선 효과가 크게 나타난 부위로는 목둘레(27), 진동둘레(25), 앞폭너비(21), 어깨너비(22), 뒤폭너비(21), 등길이(19)로 파악되었다(Figure 5). 이러한 부위는 개선은 개선비행복 설계시 부위별 적절한 여유량 삽입으로 인한 동작성 개선에 의한 것으로 사료된다.

객관적 기능성 평가 결과, 기존 비행복 착용특성 분석에서 비행시 불편부위로 언급된 바지길이(18%), 살(19%), 겨드랑이(9%)와 관련된 동작(정면 - 한쪽 다리들기: 12%; 골



**Figure 5.** Subjective evaluation: Mobility



**Figure 6.** Objective evaluation: Range of motion

## 4. Discussion

본 연구는 기존 비행복에 대한 불편사항들을 수집하기 위해 공군 조종사를 대상으로 착용특성 분석을 실시하여 착용자 요구에 기반한 비행복 설계 개선 부위를 도출하였다. 기존 비행복의 개선점 파악을 위해 실시한 착용특성 분석은 실제 착용자인 조종사 563명을 대상으로 실시됨으로써 설계 개선 부위에 대한 조종사들의 직접적인 needs를 조사에 유효하였다.

본 연구는 조종사 인체계측 자료를 기반으로 부위별 적정 여유량 및 의복 치수 산출식을 개발하여 비행복 패턴 설계 개선에 적용하였다. 비행복 착용 특성 분석을 바탕으로 부위별 적정 여유량 및 치수 산출식을 도출함으로써, 비행복 부위별 여유량이 차등 적용되었다(가슴둘레: 14.7cm, 허리둘레: 15.7cm). 이를 통해 개선 비행복은 기존 비행복 대비 동작 가능성이 14% 향상된 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 개선 비행복 적합성 평가를 위해 객관적 기능성 및 주관적 만족도 평가를 병행하여 의복 부위별 개선 효과를 정량적으로 분석하였다. Coca et al. (2008, 2010)은 소방 보호복 착용시 ROM 측정(소방업무 관련 동작시 관절 움직임 범위)을 수행하여, 소방 보호복이 착용자의 운동성과 수행능력에 미치는 효과를 분석하였으나, 평가에만 그치고 소방 보호복의 설계 개선은 수행하지 않았다. Wang et al. (2011)은 성인 남성의 정적, 동적 동작시의 인체 치수 차이를 계측하고, 이를 토대로 여유량을 산출한 후 의복의 동작성 향상을 위한 dynamic block pattern making method 을 제안하였으나, 적용된 여유량의 개선 효과를 검증하지는 않았다. 반면, 본 연구는 개선 비행복의 종합적인 평가를 통해 의복 부위별 여유량과 설계 개선 대상의 적정성을 정량적(운동범위) 및 정성적(주관적 만족도)으로 검증하였다.

개선 비행복 착용 평가 결과, 기존 비행복 대비 동작용이성과 동작 범위가 향상된 것으로 파악되었다. 예를 들어, 사용자 설문조사에서 치수가 맞지 않다고 응답한 살부위에 적절 여유량(예: 밀위길이 +3.8 cm)을 삽입한 결과 살부위의 동작용이성이 19% 개선되었다. 이외에도, 치수가 맞지 않는 것으로 파악된 목둘레, 겨드랑이 부위에서도 각각 27%, 25%, 개선 효과가 검증되었다. 본 결과는 조종사 인체 계측 자료 및 기존 비행복의 패턴 분석을 바탕으로 산출된 부위별 적정 여유량을 비행복 패턴 설계에 적용한 결과로 해석된다. 따라서 본 연구에서 개발된 부위별 차등 여유량 산출식은 비행복뿐만 아니라 동작성이 고려되는 기능성 의복(예:

항공정비복, 정비복, 근로자의 작업복, 철도 차량 정비복, 자동차 제조업체 작업복, 카레이서 운전복)의 설계 시에도 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

추후 연구로 개선 비행복의 현장 평가를 통한 개선 치수체계 및 패턴의 유용성 평가가 필요하다. 본 연구는 실험실 평가를 통해 비행복의 주관적, 객관적 개선 효과가 검증되었으나, 비행복의 경우 특수한 환경 및 상황에서 착용하게 되는 의복이므로 현장 평가를 통한 개선 효과의 검증이 필요하다.

## Acknowledgements

본 논문은 국방부 용역 연구과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

- 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 fighter protective ensembles on mobility and performance. *Applied Ergonomics*, 41, 636-641. 2010.
- Wang, Y.J., Mok, P.Y., Kwok, Y.L. Body measurements of Chinese males in dynamic postures and application. *Applied Ergonomics*, 42(6), 900-912. 2011.
- Yeow P.H.P. and Sen R.N. Cost effectiveness of ergonomic redesign of electronic motherboard. *Applied Ergonomics*, 34(5), 453-463. 2003.
- 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.

## 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

**Jeongrim Jeong:** limi2101@lycos.co.kr

**Highest degree:** PhD, Department of Clothing & Textiles, Kyungpook National University

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

**Areas of interest:** Clothing physiology, Clothing ergonomics

**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

**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

**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