

신체적 다양성을 고려한 인체측정학적 설계 방법 개발 및 적용

정기효^{1*} · 이백희² · 유희천²

¹울산대학교 산업경영공학부 / ²포항공과대학교 기계산업공학부

Development and Application of an Anthropometric Design Method Considering Physical Human Variabilities

Kihyo Jung¹ · Baekhee Lee² · Heecheon You²

¹School of Industrial Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

²Division of Mechanical and Industrial Engineering,

Pohang University of Science and Technology, Pohang, Gyeongsangbuk-do, 790-784, Korea

The present study developed an anthropometric design method accommodating physical human variabilities for user-centered product development. The proposed design method is based on the boundary zone method, a technique to generate a group of humanoids properly representing the body size diversity of the design target population. In addition, the anthropometric design method considers the variability of postures in the design process by incorporating the simulation of posture. The effectiveness of the proposed design method was evaluated in terms of multivariate accommodation percentage (MAP) by applying it to designing a computer workstation with 90% of accommodation percentage. The performance evaluation showed that the MAP (89%) of the computer workstation design produced by the proposed method was quite close to the designated accommodation percentage. The proposed design method can be of use to develop an effective anthropometric design for user-centered product development.

Keyword: anthropometric design, physical human variability, boundary zone method, user-centered design, computer workstation

1. 서론

사용자 중심 제품 개발(user-centered product development)을 위해 설계 대상 사용자의 인체 크기를 제품 설계에 적용하는 인체 측정학적 설계가 활발히 이루어지고 있다. ANSI/HFES(2007)는 US Army 인체측정자료($n = 3,982$)를 활용하여 미국인의 인체 크기에 적합한 컴퓨터 워크스테이션 표준 설계 지침을 개발하

였다. 또한, Laios and Giannatsis(2010)는 청소년 인체측정자료($n = 1,247$)를 적용하여 청소년용 자전거 설계 치수를 도출하였으며, Robinette and Annis(1986)는 손 측정자료($n = 5,774$)를 사용하여 장갑의 치수체계를 설계하였다.

사용자 친화적 제품을 개발하기 위해서는 인체측정학적 설계 시 두 가지 측면(인체 크기, 제품 사용 자세)의 신체적 다양성(physical human variability)을 고려하는 것이 중요하다. 먼저,

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2009-352-D00326).

*연락처 : 정기효 박사, 680-749 울산광역시 남구 대학로 93 울산대학교 산업경영공학부,

Fax : 052-259-2180, E-mail : kjung@ulsan.ac.kr

투고일(2011년 03월 08일), 심사일(1차 : 2011년 06월 01일, 2차 : 2011년 08월 03일), 게재확정일(2011년 08월 28일).

신체적 다양성을 설계에 적용하기 위해서는 사용자의 인체크기 다양성을 통계적으로 적합하게 대표하는 인체모델(representative human model, RHM)을 생성하는 것이 필요하다. 인체측정학적 설계는 방대한 인체측정자료(예 : 4,000명)에 대한 통계 분석을 통해 소수의 대표인체모델(예 : 2~40명)을 생성한 후, 대표인체모델의 인체크기를 적용해 제품의 설계 치수를 결정한다(HFES 300, 2004; Bittner *et al.*, 1987; Kim and Whang, 1997; Meindl *et al.*, 1993). 대표인체모델의 사용은 방대한 인체측정자료를 모두 설계에 적용하는 대신 소수의 인체자료만을 활용하게 함으로써 효율적인 설계를 가능하게 한다(Jung *et al.*, 2010). 그러나 생성된 대표인체모델이 사용자의 인체크기 다양성을 적합하게 대표하지 못할 경우, 설계된 제품은 사용자의 인체 크기에 적합하지 않을 수 있다(Roebuck, 1995).

또한, 신체적 다양성을 설계에 반영하기 위해서는 인체측정학적 설계 시 제품 사용 자세의 다양성을 고려해야 한다. 기존 인체측정학적 설계 방법들은 단일 설계 기준 자세(identical design reference posture)를 사용하고 있다. 예를 들면, 정기효와 유희천(2007)과 ANSI/HFES(2007)는 <그림 1>(a)에 나타난 것과 같은 설계 기준 자세를 적용하여 컴퓨터 워크스테이션을 설계하였다. 그러나 제품 사용 자세는 <그림 1>(b)와 <그림 1>(c)에 나타난 것과 같이 사용자의 선호에 따라 가변될 수 있어 제품 사용 자세의 다양성을 설계에 고려하는 것이 필요하다.

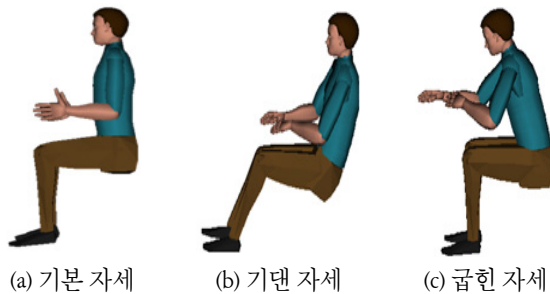


그림 1. 컴퓨터 워크스테이션 사용 자세에

본 연구는 두 가지 측면(인체 크기, 제품 사용 자세)의 사용자 다양성을 고려한 새로운 인체측정학적 설계 방법을 개발하였다. 본 연구에 제안된 설계 방법은 다양한 인체 크기를 가지는 대표인체모델을 통계적으로 생성하는 기법을 포함하고 있다. 또한, 제안된 설계 방법은 다양한 제품 사용 자세에 대한 시뮬레이션 분석을 통해 다양한 자세 특성을 설계에 반영할 수 있다. 본 연구는 개발된 설계 방법의 유용성을 분석하기 위해 컴퓨터 워크스테이션 설계에 적용하였다.

2. 신체적 다양성을 고려한 인체측정학적 설계 방법 개발

본 연구에 제안된 인체측정학적 설계 방법은 <그림 2>에 나

타낸 네 단계 절차로 구성된다. 첫째, 제품 사용자 및 설계 특성을 고려해 다섯 가지 측면(사용자의 인구학적 특성, 목표 수용 비율, 설계 변수, 인체 변수, 그리고 인간공학적 설계 원칙)의 설계 기본 사양(design request)을 정의한다. 사용자의 인구학적 특성(예 : 미국인 20~40대)과 목표 수용 비율(예 : 95%)은 설계 대상 제품의 사용자 특성을 고려해 결정되며, 설계 변수(예 : 의자 높이)는 제품 설계 변수들을 체계적으로 분석하여 파악된다(HFES 300, 2004). 인체 변수(예 : 앉은 오금 높이)는 파악된 설계 변수의 치수 결정에 영향을 주는 신체 변수들로 선정되며(정기효와 유희천, 2007), 인간공학적 설계 원칙(예 : design for adjustable range)은 설계 변수의 설계 특성을 고려해 세 가지 원칙(design for extreme individuals, design for the average, 그리고 design for adjustable range) 중에서 선정된다(Sanders and McCormick, 1992).

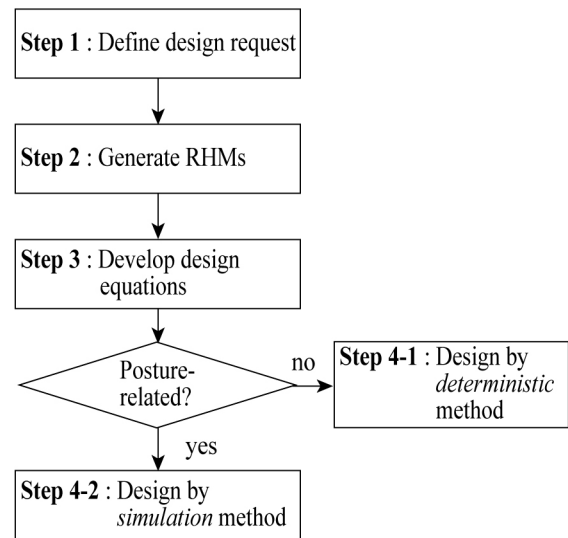


그림 2. 신체적 다양성을 고려한 인체측정학적 설계 절차

둘째, 경계 영역 기법을 적용해 목표한 비율의 사용자를 통계적으로 대표하는 인체모델을 생성한다. 경계 영역 기법은 2단계 절차(경계 영역 설정, 경계 영역 내부 사용자 군집 분석)를 통해 다양한 인체크기를 가지는 대표인체모델을 생성한다(Jung *et al.*, 2009). 먼저, 경계 영역은 식 (1)을 적용해 표준화된 제곱 거리(normalized squared distance)로 변환된 사용자의 인체 크기가 χ^2 분포를 따르는 이론(Johnson and Wichern, 1998)에 근간하여 설정된다. 예를 들면, 90%의 사용자를 포함하는 경계 영역은 <그림 3>(a)에 나타난 것과 같이 목표 비율에 허용 %를 가감(예 : $90 \pm 1\%$)하여 형성된 두 개의 경계선($\chi^2_{(1-0.89)} = 4.41$; $\chi^2_{(1-0.91)} = 4.82$)으로 형성된다. 대표인체모델은 형성된 경계 영역 내부에 포함된 사용자에 대한 군집분석을 통해 유사한 인체 크기의 사용자를 <그림 3>(b)와 같이 군집화한 후, 군집별 군집 중심에 가장 가까운 사용자를 선출하여 생성된다.

$$D = (AD - \mu)^T \Sigma^{-1} (AD - \mu) \leq X_n^2(1-p) \quad (1)$$

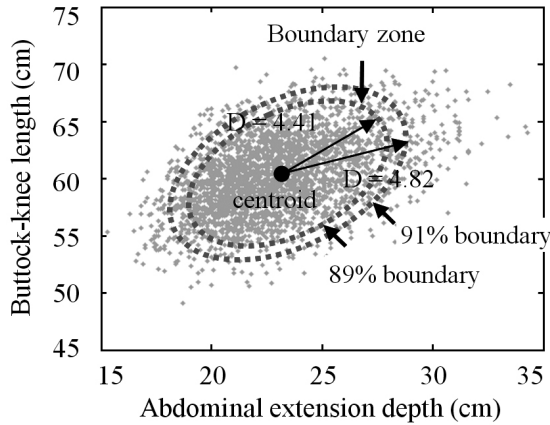
where : D = normalized squared distance

AD = n -by-1 body size matrix

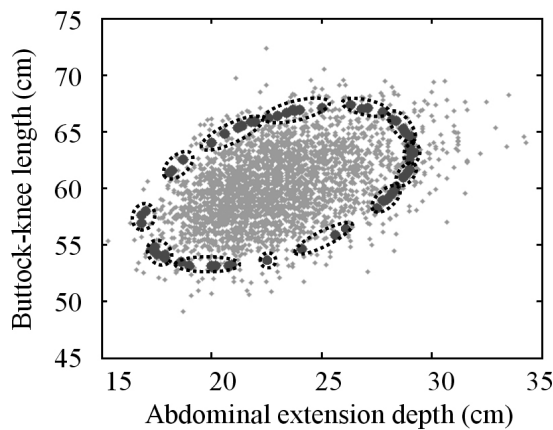
μ = n -by-1 average body size matrix

Σ = covariance matrix

$X_n^2(1-p)$ = X^2 value with n degree of freedom and probability p



(a) 경계 영역 설정



(b) 군집 분석

그림 3. 경계 영역 기법을 적용한 대표인체모델 생성 예

셋째, 설계변수와 사용자의 신체적 특성(인체변수와 자세변수) 간의 기하학적 연관관계 분석을 통해 인체측정학적 설계 공식(design equation)을 개발한다(정기효 외, 2007). 설계 공식은 설계 변수의 치수 결정에 영향을 주는 요인(예 : 인체 변수, 자세 변수, 그리고 설계 여유량)들의 기하학적 관계를 수식으로 나타낸 것을 의미한다(ANSI/HFES 100, 2007; You et al., 1997). 예를 들면, 의자 높이에 대한 설계 공식은 의자 높이와 연관성이 있는 인체 변수(예 : 앉은 오금 높이), 자세 변수(예 : 무릎 굽힘 각도), 그리고 설계 여유량(예 : 신발 높이)을 수식으로 표현하여 “앉은 오금 높이 × sin(무릎 굽힘 각도) + 2.5cm”로 개발된다.

마지막으로, 설계 치수 결정 시 자세 특성의 고려 필요성에

따라 deterministic 방법 또는 simulation 방법을 적용해 설계 치수를 결정한다(정기효 외, 2010). Deterministic 방법은 설계변수의 치수 결정 시 자세 특성이 고려되지 않는 경우에 적용되며, 설계 치수는 설계공식에 대표인체모델의 인체 크기를 대입하여 계산된 값 중에서 해당 설계변수의 설계 원칙을 고려해 결정된다. 예를 들면, 의자 너비에 대한 설계 치수는 설계공식(예 : 엉덩이 너비 + 2.5cm)에 대표인체모델의 인체 크기(예 : 34.8, 35.3, 41.2cm)를 대입하여 대표인체모델별 계산된 설계치수(예 : 37.3, 37.8, 43.7cm) 중에서 의자 너비의 설계원칙인 design for extreme individuals를 적용해 가장 큰 값(예 : 43.7cm)으로 결정된다.

한편, simulation 방법은 설계변수의 치수 결정 시 자세 특성이 고려되는 경우에 적용되며, <그림 4>에 나타난 세 단계(simulation 정보 결정, simulation 분석, 설계 민감도 분석)의 자세 simulation 분석을 통해 이루어진다(정기효 외, 2010). 첫째 단계는 자세 simulation 분석을 위해 필요한 두 가지 기초 정보(linkage human model, 자세 손실 함수)를 정의한다. 둘째 단계는 설계변수의 치수 변화에 따른 대표인체모델의 자세를 정의된 linkage human model을 이용해 추정하고, 추정된 자세에 대한 자세 손실 점수를 정의된 자세 손실 함수(loss function)를 이용해 정량화한다. 마지막 단계는 파악된 다양한 설계치수에 대한 자세 손실 점수에 근간하여 설계 민감도(design sensitivity)를 분석하고, 자세 손실 점수가 최소화되도록 설계치수를 결정한다(상세 내용은 3.1.4 참조).

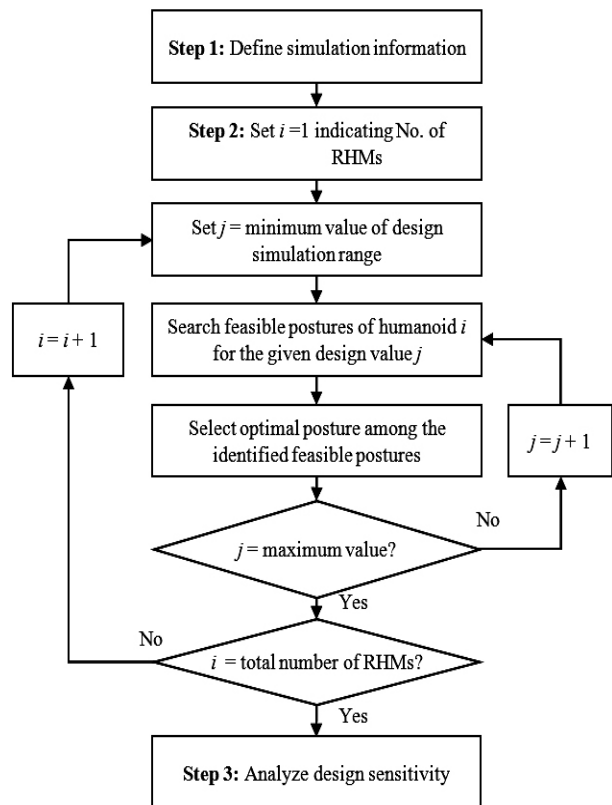


그림 4. 자세 simulation을 통한 설계치수 결정 절차

3. 컴퓨터 워크스테이션 설계 적용

3.1 설계 방법

3.1.1 설계 사양 정의

컴퓨터 워크스테이션 설계 사양은 다섯 가지 측면(사용자 인구학적 특성, 목표 수용 비율, 설계 변수, 인체 변수, 그리고 인간공학적 설계 원칙)으로 정의되었다. 설계 대상 인구와 목표 수용 비율은 미국인의 90%로 설정되었다. 인체측정자료는 US Army(Gordon *et al.*, 1988)가 사용되었으며, 설계 집단(design population; 2,982명)과 평가 집단(evaluation population; 1,000명)으로 무작위로 구분되었다. 설계 변수는 <표 1>과 같이 5개 부문(좌판, 등받이, 팔걸이, 다리 공간, 그리고 책상)의 14개 변수로 선정되었으며, 인체변수는 선정된 설계변수의 치수 결정에 영향을 주는 11개 변수로 선정되었다. 마지막으로, 인간공학 설계 원칙은 미국 표준 컴퓨터 워크스테이션 설계 지침(ANSI/ HFES, 2007)을 고려하여 <표 1>과 같이 결정되었다.

표 1. 컴퓨터 워크스테이션 설계 기본 정보

Design dimension (DD)	Code	Relevant body dimensions (BD)	Design principle*
Seatpan	Width	DD1 Hip breadth(BD7)	EXT
	Depth	DD2 Buttock-popliteal length (BD8)	EXT
	Height	DD3 BD8 and popliteal height (BD10)	ADJ
Seatback	Width	DD4 Bideltoid breadth(BD3)	EXT
	Length	DD5 Acromial height(BD2)	EXT
Armrest	Width	DD6 Forearm breadth(BD4)	AVE
	Length	DD7 Span(BD6)	EXT
	Height	DD8 BD2 and BD6	ADJ
	Clearance	DD9 Forearm-to-forearm breadth(BD5)	EXT
Legroom	Width	DD10 BD7	EXT
	Height	DD11 Thigh clearance(BD9) and BD10	EXT
	Depth	DD12 Abdominal extension depth(BD1), BD8, BD10, and foot length(BD11)	EXT
Table	Width	DD13 BD3	EXT
	Height	DD14 BD2, BD6, BD8, BD10	ADJ

주) *EXT : design for extreme individuals.
 ADJ : design for adjustable range, AVE : design for the average.

3.1.2 대표인체모델 생성

대표인체모델은 경계 영역 기법을 적용해 설계용 사용자 집단($n = 2,982$)의 90%를 수용할 수 있도록 생성되었다. 경계 영역은 목표 비율인 90%에 허용 오차 1%를 가감하여 설정 $x^2_{11}(1-0.89) = 16.9$; $x^2_{11}(1-0.91) = 17.7$ 되었다. 대표인체모델은 설

정된 경계 영역 내부에 포함된 사용자($n = 66$; 설계용 사용자 집단의 2.2%)에 대한 K-Mean 군집분석을 적용하여 34명(설계용 사용자 집단의 1.1%)이 생성되었다.

3.1.3 설계 공식 개발

설계 공식은 설계변수와 신체적 특성 간의 기하학적 연관관계(정기효 외, 2007)와 ANSI/HFES(2007)을 참고하여 <표 2>와 같이 개발되었다. 예를 들면, 의자 너비 설계 공식은

표 2. 컴퓨터 워크스테이션 설계 공식 (unit : cm)

Design dimension	Code	Design equation*	Allowance
Seatpan	Width	DD1 BD7+2.5	2.5
	Depth	DD2 BD8-1	1
	Height	DD3 (LD7+LD9)×sin(AD5)+2.5	2.5
Seatback	Width	DD4 BD3	-
	Length	DD5 BD2	-
Armrest	Width	DD6 BD4	-
	Length	DD7 BD6	-
	Height	DD8 LD4×cos(AD1)-LD3×cos(AD2)×cos(AD3)	-
	Clearance	DD9 BD5	-
Legroom	Width	DD10 BD7+2.5	-
	Height	DD11 (LD7+LD9)×sin(AD5)+LD8+5	5
	Depth	DD12 LD11+LD6+(LD7+LD9)×cos(AD5)+LD8+2.5-BD1	2.5
Table	Width	DD13 BD3+2.5	2.5
	Height	DD14 DD3+LD4×cos(AD1)-LD2×cos(AD2)×cos(AD3)-LD3×cos(AD4)	-

주) *인체변수 code(예 : BD1), link code(예 : LD1), 그리고 자세 변수 code(예 : AD1)은 <표 1>, <표 3>, 그리고 <표 4>와 동일.

엉덩이 너비에 의복과 착석 동작의 여유를 고려하여 “엉덩이 너비 + 2.5cm”로 설정되었다. 또한, 의자 깊이 설계 공식은 착석 시 오금 부분이 좌판 전면(edge)과 접촉되지 않도록 “엉덩이 오금수평길이-1cm”로 결정되었다.

3.1.4. 자세 simulation을 통한 설계 치수 결정

자세 simulation을 통한 설계 치수 결정은 세 단계 절차(simulation 기본 정보 정의, simulation 분석, 설계 민감도 분석)를 통해 이루어졌다. 첫째 단계는 대표인체모델의 자세 simulation을 위해 두 가지 simulation 기본 정보(linkage human model, 자세 손실 함수)를 정의하였다. Linkage human model은 <그림 5>와 같이 정의되었으며, link의 크기는 생성된 대표인체모델의 인체 크기에 기존 연구(SAE, 1991; Human Scale, 1980)의 변환 상수를 곱해 결정되었다. <표 3>을 예로 들면, shoulder pivot width(LD1)는 bideltoid breadth(BD3)에 상수 0.77을 곱하여 설정되었고, humeral

link(LD2)는 span(BD4)에 상수 0.16을 곱하여 결정되었다. 그리고 자세 손실 함수(loss function)는 컴퓨터 워크스테이션 사용 기본자세와 선호 자세 범위를 이용해 <그림 6>과 같이 설정되었다. 기본자세 및 선호 자세 범위는 컴퓨터 워크스테이션 설계와 관련된 기존 연구들을 참고하여 <표 4>와 같이 정의되었다. 손실 함수는 설계 기준 자세에서 벗어날수록 손실 점수(loss score)가 선형적으로 증가하도록 결정되었다(정기효 외, 2010).

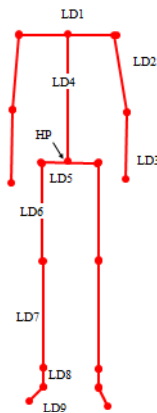


그림 5. 컴퓨터 워크스테이션 설계를 위한 linkage human model (link code는 <표 3>과 동일)

표 3. Link 크기 추정 공식(SAE, 1991; Human Scale, 1980)

Linkage dimension(LD)	Code	Conversion equation*
Shoulder pivot width	LD1	$BD3 \times 0.77$
Humeral link	LD2	$BD6 \times 0.16$
Forearm link	LD3	$BD6 \times 0.16$
Trunk link	LD4	$BD2 \times 0.91$
Hip pivot width	LD5	$BD7 \times 0.49$
Femoral link	LD6	$BD8 \times 0.89$
Shank link	LD7	$BD10 \times 0.90$
Ankle-to-toe	LD8	$BD11 \times 0.75$
Ankle pivot to floor	LD9	$BD10 \times 0.20$
HP-to-SRP vertical	LD10	$BD9 \times 0.50$
HP-to-SRP horizontal	LD11	$BD8 \times 0.28$

주) *인체변수 code는 <표 1>과 동일.

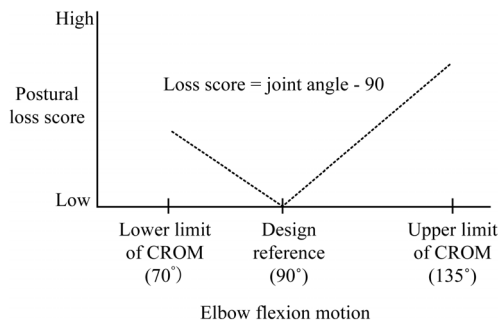


그림 6. 팔꿈치 관절에 대한 자세 손실 함수 (CROM : comfortable range of motion)

표 4. 컴퓨터 워크스테이션 사용 기본자세 및 선호 자세 범위*

Classification		Code	Reference posture(°)	Comfortable range of motion(°)
Trunk	Flexion(+)	AD1	90	[90, 120]
Shoulder	Flexion(+)/extension(-)	AD2	0	[0, 25]
	Abduction(+)/adduction(-)	AD3	0	[0, 25]
Elbow	Flexion(+)	AD4	90	[70, 135]
Knee	Flexion(+)	AD5	90	[70, 110]

주) *참고문헌 : Chaffin and Andersson(1984), Cushman(1984), Grandjean et al.(1983), Hedge et al.(1995), Karlqvist et al.(1996), Miller and Suther(1981), Rempel and Horie(1994), Weber et al.(1984), Weiss et al.(1995).

둘째 단계는 설계변수의 치수 변화에 따른 대표인체모델의 자세를 정의된 linkage human model 및 설계 공식을 이용해 추정하였다. 대표인체모델의 자세는 지정된 설계 치수에 대표인체 모델이 착석 및 도달할 수 있는 모든 자세 대안을 자세 simulation 분석을 통해 파악한 후, 파악된 자세 대안들 중에서 자세 손실 점수가 최소가 되는 자세로 설정되었다(정기효 외, 2010). 예를 들면, 의자 높이가 40cm일 때 대표인체모델의 자세 대안은 무릎 굽힘 각도(예 : 70°~110°)를 다양하게 변화시켜가면서 발이 지면에 닿으면서 착석할 수 있는 자세 조건(예 : 80°~95°)으로 선정되며, 최종 자세는 파악된 자세들 중에서 자세 손실이 최소가 되는 자세(예 : 90°)로 선정된다. 본 연구의 자세 simulation 분석은 <그림 7>에 나타낸 것과 같이 Visual Basic 6.0을 이용해 개발된 프로그램을 이용하여 이루어졌다.

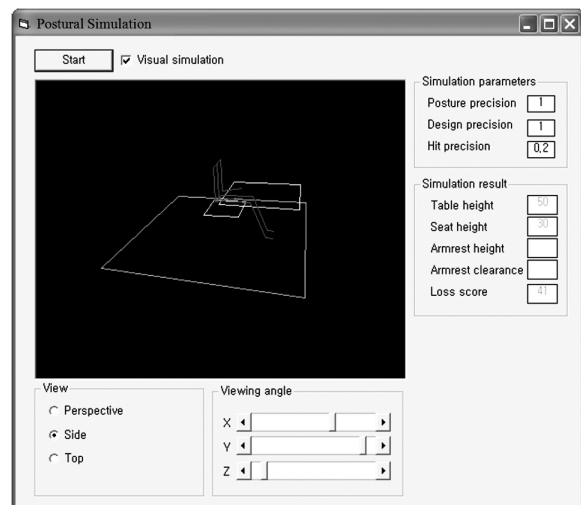


그림 7. 자세 simulation 프로그램

마지막 단계는 2단계 절차(대표인체모델별 최적 설계 치수 분석, 대표인체모델 통합 최적 설계 치수 결정)를 통해 설계변수의 설계 치수를 결정하였다. 먼저, 대표인체모델별 최적 설

계 치수는 <그림 8>에 나타난 것과 같이 대표인체모델별 자세 simulation 분석을 통해 파악된 다양한 설계 치수 조건에 대한 손실 점수 분포에 근거하여 손실 점수가 최소가 되는 치수로 결정되었다. <그림 8>을 예로 들면, 의자 높이와 책상 높이는 자세 손실 점수가 최소인 42cm와 59.5cm로 각각 결정된다. 최종 설계 치수는 파악된 대표인체모델별 최적 설계 치수에 해당 설계 변수의 인간공학적 설계 원칙을 적용하여 결정되었다. 예를 들면, 최적 의자 높이는 파악된 대표인체모델별 요구 설계 치수(예 : 37.1, 42.0, 52.5cm)에 해당 변수의 인간공학적 설계 원칙인 design for adjustable range를 적용해 37.1~52.5cm 사이에서 조절되도록 설계된다.

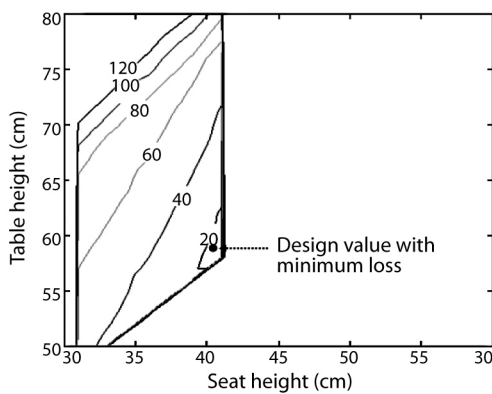


그림 8. 대표인체모델 1명에 대한 설계 민감도 분석 예

3.2 결 과

본 연구는 개발된 인체측정학적 설계 방법을 컴퓨터 워크스 테이션 설계에 적용하여 <표 5>와 같은 설계 치수를 도출하였다. 예를 들면, 의자 너비는 엉덩이 너비가 큰 사용자도 착석이 가능하도록 46.7cm로 결정되었으며, 의자 깊이는 엉덩이에서 오금까지의 거리(buttock-popliteal length)가 작은 사용자도 의자 좌판의 전면(edge)이 오금에 닿지 않도록 41.9cm로 설계되었다.

설계된 컴퓨터 워크스태이션의 다변량 인구수용 비율(multi-variate accommodation percentage)은 목표 비율(90%)에 근접한 89%로 분석되었다. 본 연구의 다변량 인구수용 비율은 평가용 사용자 집단($n = 1,000$) 중에서 인체 크기가 모든 설계 변수의 치수에 부합하는 사용자의 비율로 계산되었다(Jung *et al.*, 2009). 분석 결과, 평가용 사용자의 89%는 모든 설계 변수(14개)의 치수가 인체 크기에 적합한 것으로 나타났다.

본 연구의 컴퓨터 워크스태이션 설계는 표준 설계 지침(5종; ANSI, EU, CEN, DIS, 그리고 SS) 및 시판 제품(2종; model A and model B)의 치수와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다(<표 5> 참조). 그러나 일부 설계변수는 설계 사양 및 개념이 상이 하여 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 예를 들면, 본 연구의 등받이 길이(seatback length)는 사용자의 등 전체를 지지할 수 있도록 66.5cm로 설계되었으나, ANSI/HFES(2007)는 45cm 이상으로 설계 치수를 제시하고 있으며, 기존 제품은 45cm와 60cm를 사용하고 있어 큰 차이가 있는 것으로 분석되었다.

표 5. 컴퓨터 워크스태이션 설계 치수

Dimensions		Code	Present study	Standard*					Product**		
				ANSI	BS	CEN	DIN	SS	A	B	
Seat-pan	Width	DD1	46.7	46 < **	41	40 <	40~45	42 <	46	48.5	
	Depth	DD2	41.9	< 43	36~47	38~47	38~42	38~43	41	45	
	Height	Min	DD3	37.1	38	43	39	42	43	43	42
		Max		52.5	56	51	54	54	50	50	48
Range		15.4		18	8	15	12	7	7	6	
Seat-back	Width	DD4	45.1	36 <	30~36	36~40	36~40	36~40	41.5	46.5	
	Length	DD5	66.5	45 <	-	-	-	-	45	60	
Arm-rest	Width	DD6	5.0	-	4	4 <	-	4 <	5	4.8	
	Length	DD7	33.0	-	22	20 <	20~28	20 <	37	34	
	Height	Min	DD8	18.4	17	16	21	21	19	19	21
		Max		29.7	27	23	25	25			
Range		11.3		10	7	4	4	-	-	-	
Clearance	DD9	45.2	46 <	47~56	46~50	48~50	46	50	50		
Leg-room	Width	DD10	51.7	52	-	-	-	-	60	120	
	Depth	DD11	66.8	60	-	-	-	-	46	70.5	
	Height	DD12	69.8	50~72	-	62 <	62 <	61 <	60	70	
Table	Width	DD13	68.5	70 <	-	-	-	-	60	120	
	Height	Min	DD14	52.8	50	-	60	60	62	62	73
		Max		69.8	72	-	68	68	67		
		Range		17.1	22	-	8	8	-	-	-

* ANSI : American National Standards Institute, BS : British Standard, CEN : European Standard, DIN : German Standard, SS : Swedish Standard.

** Product information : A(OH2320B, Livart, Korea), B(OH3250BU, Neoco, Korea).

4. 토 의

본 연구는 사용자 중심 제품 개발을 위해 두 가지 측면(인체 크기와 자세)의 신체적 다양성을 고려한 인체측정학적 설계 방법을 개발하였다. 개발된 설계 방법은 경계 영역 기법을 적용하여 설계 대상 사용자의 다양한 인체 크기 특성을 통계적으로 대표하는 인체모델을 설계에 적용한다. 경계 영역 기법은 기존의 대표인체모델 생성 기법들(Bittner *et al.*, 1978; Kim and Whang, 1997; Meindl *et al.*, 1993)보다 목표 비율의 사용자 인체 크기를 보다 적합하게 대표하는 인체모델을 생성할 수 있는 것으로 알려지고 있다(Jung *et al.*, 2009). 또한, 본 연구의 설계 방법은 자세 simulation 분석을 통해 사용자들의 다양한 제품 사용 자세를 설계에 반영할 수 있다.

개발된 설계 방법은 설계 민감도 분석을 통해 대표인체모델의 자세 손실 점수를 최소화하는 최적의 설계 치수를 결정한다. 본 연구의 설계 민감도 분석은 설계 치수가 변할 때 자세 손실 점수가 얼마나 민감하게 변하는지를 분석할 수 있게 한다(Rahman, 2009; Chinneck, 2007; Breierova and Choudhari, 2001). 따라서 설계 민감도 분석을 통해 파악된 다양한 설계 치수에 대한 손실 점수는 최적 설계 치수 결정에 유용하게 활용될 수 있다.

본 연구의 simulation 분석은 linkage human model을 사용하고 있어 자세 변화에 따른 표피 면적 변화와 같은 동적 특성이 고려하지 않은 한계점이 있다. 인간은 표피 변화(skin deformation)와 같은 동적 특성이 있으나 linkage human model과 같은 rigid body는 이러한 특성을 반영하지 못한다. 따라서 보다 적합한 자세 simulation 분석을 위해서는 표피 변화와 같은 동적 특성의 고려가 필요하다.

본 연구는 개발된 컴퓨터 워크스테이션 설계를 표준 지침 및 기존 제품과 비교하였으나, 상대적 설계 우수성을 판별하지 못한 한계점이 있다. 본 연구의 설계 치수는 표준 지침 5종 및 기존 제품 2종과 유사한 것으로 나타났으나, 일부 설계 치수(예 : 등받이 너비와 길이)는 상이한 결과를 보이는 것으로 분

석되었다. 이러한 설계 치수의 차이는 설계 개념(예 : 여유 공간 크기, 목표 수용 비율, 설계대상 인구의 특성)이 상이하기 때문인 것으로 추정된다. 그로 인해, 본 연구는 설계 대안들의 치수를 표준지침 및 기존 제품과 직접적으로 비교하여 상대적 우수성을 판단할 수 없었다.

본 연구에 제안된 설계 방법은 설계 적용성 향상을 위해 시스템화가 필요하다. 제안된 설계 방법은 통계적 기법 및 시뮬레이션 분석을 포함하고 있어 해당 분야에 대한 전문 지식이 부족하면 적용이 어렵다. 따라서 제안된 설계 방법을 제품 설계에 효율적으로 적용할 수 있도록 <그림 9>에 나타낸 것과 같이 제안된 설계 방법을 시스템화하는 후속 연구가 필요하다.

참고문헌

- ANSI/HFES (2007), Human Factors Engineering of Computer Workstations. California, USA : Human Factors and Ergonomics Society.
- Bittner, A. C. (2000), A-CADRE : Advanced family of manikins for workstation design, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomic Society 44th Annual Meeting*, California, USA, 774-777.
- Bittner, A. C., Glenn, F. A., Harris, R. M., Iavecchia, H. P., and Wherry, R. J. (1987), CADRE : A family of manikins for workstation design, In S. S. Asfour(Eds.) *Trends in Ergonomics/Human factors IV*, 733-740, Netherlands : Elsevier Science Publishers B.V.
- Breierova, L. and Choudhari, M. (2001), *An Introduction to Sensitivity Analysis*. USA : Massachusetts Institute of Technology.
- Chinneck, J. W. (2007), *Practical Optimization : A Gentle Introduction*. Canada : Carleton University.
- Chaffin, D. B. and Andersson, G. (1984), *Occupational Biomechanics* (2nd ed.), New York, USA : Wiley Interscience.
- Cushman, W. H. (1984), Data-entry performance and operator preferences for various keyboard heights. In E. Grandjean (Ed.), *Ergonomics and Health in Modern Offices*, 495-504, Philadelphia : Taylor and Francis.
- Gordon, C. C., Bradtmiller, B., Churchill, T., Clauser, C., McConville, J., Tebbetts, I., and Walker, R. (1988), 1988 Anthropometric Survey of US Army Personnel : Methods and Summary Statistics, Technical Report NATICK/TR-89/044.
- Hedge, A. and Powers, J. A. (1995), Wrist postures while keyboarding : Effects of a negative slope keyboard system and full motion forearm supports, *Ergonomics*, 38, 508-517.
- HFES 300 (2003), *Guidelines for Using Anthropometric Data in Product Design*, Santa Monica, California : Human Factors and Ergonomics Society.
- Johnson, R. A. and Wichern, D. W. (1988), *Applied Multivariate Statistical Analysis* (2nd ed.), New Jersey : Prentice Hall.
- Jung, K., Park, J., Lee, W., Kang, B., Uem, J., Park, S., and You. H. (2010), Development of a quantitative ergonomic assessment method for helicopter cockpit design in a digital environment, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(2), 203-210.
- Jung, K., You, H., and Kwon, O. (2010), Evaluation of the multivariate accommodation performance of the grid method, *Applied Ergonomics*, 42, 156-161.
- Jung, K., Kwon, O., and You, H. (2009), Development of the boundary zone method for generation of representative human models, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 53rd Annual Meeting*, San Antonio, Texas : The Human Factors and Ergonomics Society.

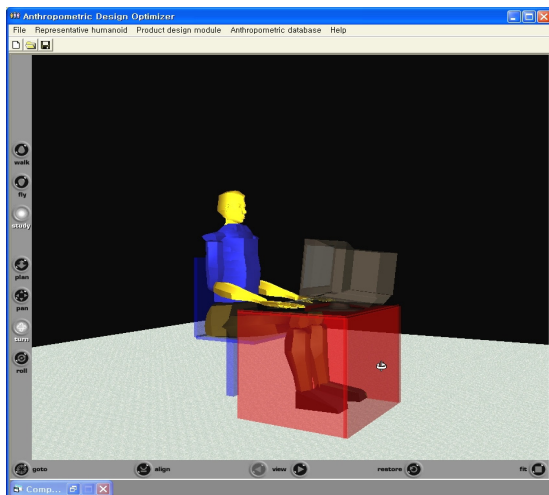
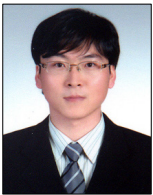


그림 9. 인체측정학적 설계 지원 시스템 예

- Jung, K., Kwon, O., and You, H. (2007), An anthropometric product design approach using design structure matrix (DSM) : Application to computer workstation design, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 26(3), 111- 115.
- Karlqvist, L. K., Hagberg, M., Köster, M., Wenemark, K. A., and Ånell, R. (1996), Musculoskeletal symptoms among computer assisted design (CAD) operators and evaluation of a self assessment questionnaire, *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 2, 185-192.
- Kim, J. and Whang, M. (1997), Development of a set of Korean manikins, *Applied Ergonomics*, 28(5), 407-410.
- Laios, L. and Giannatsis, J. (2010), Ergonomic evaluation and redesign of children bicycles based on anthropometric data, *Applied Ergonomics*, 41, 428-435.
- Meindl, R. S., Hudson, J. A., and Zehner, G. F. (1993), A Multivariate Anthropometric Method for Crew Station Design(AL-TR-1993-0054), Ohio, USA : Wright-Patterson Air Force Base.
- Meunier, P. (1998), Effects of a data reduction technique on anthropometric accommodation, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting*, Chicago, Illinois, 727-731.
- Miller, I. and Suther, T. W. (1983), Preferred height and angle settings of CRT and keyboard for a display station input task, *Proceedings of the Human Factors Society 25th Annual Meeting*, Santa Monica, CA : Human Factors and Ergonomics Society.
- Rahman, S. (2009), Stochastic sensitivity analysis by dimensional decomposition and score functions, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 24, 278-287.
- Rempel, D. and Horie, S. (1994), Effect of wrist posture during typing on carpal tunnel pressure, *Proceedings of Working with Display Units*, Milan : University of Milan.
- Robinette, K. M. and Annis, J. F. (1986), A nine-size system for chemical defense gloves. Technical Report (AAMRL-TR-86-.029) (AD A173 193), Harry G. Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-, Patterson Air Force Base, OH.
- Roebuck, J. A., Jr. (1995), *Anthropometric Methods : Designing to Fit the Human Body*, Santa Monica : Human Factors and Ergonomics Society.
- Sanders, M. S. and McCormick, E. J. (1992), *Human Factors in Engineering and Design* (7th ed.), New York : McGraw-Hill.
- Weber, A., Sancin, E., and Grandjean, E. (1984), The effects of various keyboard heights on EMG and physical discomfort. In E. Grandjean (Eds.), *Ergonomics and Health in Modern Offices*, 477-483, Philadelphia : Taylor and Francis.
- Weiss, N. D., Gordon, L., Bloom, T., So, Y., and Rempel, D. M. (1995), Wrist position of lowest carpal tunnel pressure and implications for splint design, *Journal of Bone Joint Surgery*, 77, 1695-1699.
- Zehner, G. F. (1996), Cockpit anthropometric accommodation and the JPATS program, *Safe Journal*, 26(3), 19-24.



정 기 효

금오공과대학교 산업시스템공학과 학사
 포항공과대학교 산업경영공학과 석사
 포항공과대학교 산업경영공학과 박사
 현재 : 울산대학교 산업경영공학부 조교수
 관심분야 : 인간공학적 제품 설계, 가상환경상
 평가, 사용성 평가, 사업장 근골격
 계질환 예방



유 희 천

펜실베니아 주립대학교 산업공학과 박사
 현재 : 포항공과대학교 산업경영공학과 부교수
 관심분야 : 가상환경상 인간공학 설계기술,
 제품설계, 상지근골격계질환,
 산업인간공학



이 백 희

인하대학교 산업공학과 학사
 포항공과대학교 산업경영공학과 석사
 현재 : 포항공과대학교 산업경영공학과 박사
 과정
 관심분야 : 자동차 인간공학, 인간공학적 제품
 설계, 가상환경상 평가, 사용성 평가