

사용성 평가 전용 인체모델 선정 소프트웨어 개발 및 자동차 적용사례

임영재¹ · 박성준² · 박우진³ · 박준수¹ · 정의승⁴ · 임익성²

¹고려대학교 정보경영공학전문대학원 / ²남서울대학교 산업경영공학과 /
³Auburn University 산업시스템공학과 / ⁴고려대학교 정보경영공학과

Development Software to Select Boundary Manikins for Product Evaluation: Applied to an Automobile Case

Youngjae Lim¹, Sungjoon Park², Woojin Park³, Junsoo Park¹, Eui S. Jung⁴, Iksung Lim²

¹Graduate School of Industrial Management and Security, Korea University, Seoul, 136-701

²Department of Industrial and Management Engineering, Namseoul University, Cheonan, 330-707

³Department of Industrial and System Engineering, Auburn University, Alabama, 36849-2912

⁴Division of Information Management Engineering, Korea University, Seoul, 136-701

ABSTRACT

Usability evaluation of physical products involves characterizing complex physical interactions between humans and products. Human models known as manikins have been widely utilized as usability evaluation tools for automobile interior package design. When combined with computer-aided design software programs, such manikins can be used to simulate driving postures and evaluate driver-interior fits early in the design process, and therefore, may greatly facilitate achieving high-quality design in a cost-efficient manner. The purpose of this study was to define a set of manikins for designing automobile interior packages for the South Korean male population. These manikins were conceptualized as "boundary" manikins, which represent individuals lacking in certain physical capacities or having usability-related issues (e.g., an individual with the 5th percentile forward reach capability, an individual with the 95th percentile shoulder width). Such boundary manikins can serve as an efficient tool for determining if an automobile interior design accommodates the majority of the population. The boundary manikins were selected from the large sample of Korean males whose anthropometric dimensions were described in the recent Size Korea anthropometric database. For each male in the database, his comfortable driving posture was represented using a kinematic body linkage model and various physical capacity measured and usability-related characteristics relevant to driver accommodation were evaluated. For each such measure, a boundary manikin was selected among the Korean males. The manikins defined in this study are expected to serve as tools for ergonomic design of automobile interior packages. The manikin selection method developed in this study was implemented as a generic software program useful for various product design applications.

Keywords: Usability evaluation, Boundary manikins, Driving posture, User accommodation

*본 연구는 2009년 지식경제부 기술표준원 학술연구용역사업의 지원을 받아 이루어졌음.

교신저자: 박성준

주 소: 330-707 충청남도 천안시 성환읍 매주리 21, 전화: 041-580-2204, E-mail: sjpark@nsu.ac.kr

1. 서 론

최근 들어 소비자의 요구사항을 반영하면서 동시에 구매 욕구를 자극할 수 있는 기능과 디자인이 점차 주목 받고 있다. 또한 다양한 기술이 점차 통합화 되고 새로운 기능을 제공하는 제품이 증가함에 따라 사용성을 개선하기 위한 평가방법에 관한 연구가 요구되고 있다. 이러한 조건 속에서 우수한 품질의 제품을 생산하기 위해서는 개발자들이 다양한 설계원칙을 이해하고 있어야 한다. 다수의 제품개발 사례를 분석해 보면 설계자들이 경험하는 문제는 제품에 대한 사용상의 정보나 사용자들의 이용패턴과 관련한 것으로 나타났다(Norman, 1988).

사용성을 평가한다는 것은 단순히 제품의 성능만을 고려하는 것이 아니라 사용자의 신체적 조건, 환경을 포함하는 복합적인 프로세스를 거쳐야 하므로 보다 체계적인 접근이 필요하다(Jared et al., 1997). 따라서 인간공학적인 제품개발을 위해 사용자와 제품과의 상호작용의 범위를 물리적인 작업공간 및 상태를 포함하는 개념인 물리적 사용자 인터페이스(Physical User Interface)로 확대해야 한다(이경선, 2007; 이인석 등, 2007). 기업 및 산업체에서도 별도의 관련 부서를 신설하는 추세이고 이를 통해 사용자의 신체치수 및 특성을 고려하여 보다 인체에 적합한 설계가 이루어지도록 노력하고 있다.

실제로 자동차 산업에서도 운전자의 사용성을 향상시키고자 평가용 인체모형을 개발하여 조작, 시인·시계 및 안락성 등 여러 항목에 걸쳐 사용성 평가를 수행 중에 있다(Eynard et al., 2000; Yang et al., 2007). 자동차는 결국 사람에 의해 조작되기 때문에 넓은 범위의 키, 힘, 성별 및 나이에 걸친 모집단을 수용할 수 있어야 한다. 하지만 제품 설계 및 평가 시 방대한 인체측정 자료를 모두 적용하기에는 현실적으로 제약이 따르기 때문에 소수의 대표 인체모형을 활용하는 방법은 효율적인 제품 설계 및 개발을 위해 유용하다고 할 수 있다(Badler et al., 2005). 그리고 인체모형을 통하여 운전자의 실제 동작과 유사한 자세를 취하게 함으로써 예상 가능한 시나리오를 사전에 구현하여 제품개발 주기를 단축하는 효과를 가져온다.

자동차 인간공학 분야에서 인체모형을 활용한 기존의 연구들을 살펴보면 다음과 같다. 펜실베니아 교통 연구소(The Pennsylvania Transportation Institute, 1997)에서는 버스 운전사들의 작업부하를 최소화 하기 위한 작업공간 및 인스트루먼트 패널 설계 가이드라인을 개발하고자 하였다. 이때 CAD 시스템 기반의 JACK 시뮬레이션을 이용한 평가용 인체모형을 사용하여 가시성, 자세, 도달성 측면에서의 타당성을 평가하였다. Dufour 등(2005)의 연구에서는

자동차의 승·하강 시에 불편도를 평가하기 위해 인체모형을 활용하여 주어진 과업을 수행할 때 관련 있는 근육의 힘 또는 체압 분포(Body Pressure Distribution)를 분석하여 설계 개선에 반영하였다. 그러나 기존의 평가체형 연구들은 특정 목적이나 대상 그룹에 치우쳐 있거나 개별적인 사용성 개선을 위한 접근 방식 위주로 진행되어 왔다. 따라서 다양한 연령층의 인체 데이터를 확보하고 여러 사용성을 통합적으로 평가할 수 있는 인체모형 개발이 필요하다.

또 다른 측면에서 평가용 인체모형은 개개인의 신체 사이즈 및 특성 그리고 비례에 따른 인체변수의 변동성을 반영할 수 있어야 한다. 이와 같은 이유로 사용자의 신체 특성을 몇 가지 대표 유형으로 분류하고자 하는 기존 연구가 진행되었다(성덕현, 2005; 박성준, 2006). 체형을 분류하기 위하여 다변량 통계기법 중의 하나인 요인분석을 이용하여 체형을 유형화 할 수 있는 몸통굵기, 어깨높이 및 아래팔 길이 등의 인자를 도출하였다. 다음으로 군집분석 기법을 적용하여 비슷한 유형의 체형 및 운전자세를 그룹핑하고 각 그룹의 특성을 분석하여 표준체형(Typical Body Type)으로 정의하였다. 그러나 표준체형이란 제품의 설계 시 사용자에 대한 보편적인 특성을 설명할 수 있지만 다양한 신체 조건을 가진 사용자의 사용성 측면에서의 만족도나 설계안에 대한 평가 결과를 얻기에는 미흡한 부분이 존재한다. 여기에 신장 위주의 체형분석으로는 다양한 작업상황에 적용하기에 제약이 많아 실제 작업자세 및 환경과의 차이를 야기하여 모집단의 수용률(Accommodation Level)이 떨어지는 결과를 초래할 수 있다. 그러므로 제품 설계 시 의미 있는 인간공학적 평가 결과를 도출하기 위해서는 평균 개념을 기반으로 하는 체형 및 치수정보의 제공보다는 극단치(Boundary) 개념으로써 다양한 체형조건을 포함하는 데이터 제공이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서는 Size Korea 사업을 통해 측정된 한국인 남성 인체 데이터를 바탕으로 제품개발을 위한 평가 전용 모형을 개발하고자 하였다. 다양한 분야에서의 산업체 요구 중에서 우선적으로 차량 내 패키지 이용에 따른 사용성 평가를 위한 평가 전용 남성 인체모형을 선정하고자 한다. 한편 신제품의 개발주기가 점차 단축되고 사용자 친화적인 요구가 증가함에 따라 제품을 평가하기 위한 시간적, 경제적 압박이 높아지고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 사용성 평가모델 도출 과정의 이론적 부분을 프로그래밍화 하여 산업 현장에서 손쉽게 사용할 수 있는 소프트웨어를 동시에 개발하였다. 본 연구를 통해 자동차 설계를 사례로 한 인간공학적 평가 요소를 검토하였다. 나아가 범용 목적의 소프트웨어를 통해서 사용성 평가의 주요 개념들을 의류제작 및 가구 디자인 등 각 산업 분야 별로 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 연구 절차

본 연구에서는 최근의 인체측정 자료를 이용하여 한국인에 적합한 사용성 평가 인체를 선정하였다. 우선 운전자세는 각 인체변수 길이 및 각도의 조합으로 재현될 수 있기 때문에 운전자세를 보다 실제적으로 구현하기 위한 Kinematic Linkage Model을 생성하였다. 여기에 기존 문헌을 참고하여 인접한 지체들 사이의 관절각도를 정의하여 안락 운전자세를 정의하였다. 다음으로 Size Korea(2004) 사업을 통하여 측정된 인체 데이터를 이용하여 앞서 생성된 Linkage Model에 적합한 변수로의 변환을 위한 Link Length 도출 과정이 진행되었다.

그에 따라 측정 대상의 모든 인체들에 대한 평가 순위를 계산하고자 사용성 평가치를 개발하였다. 평가 사용성을 과업 수행 목적 별로 조작성(손조작성, 발조작성)과 여유공간(어깨여유공간, 무릎여유공간)으로 분류한 다음 평가치 계산을 위한 정량적인 수식을 정의하였다. 평가치 계산 수식은 인체의 관절좌표 및 앞선 단계에서 도출된 Link Length들의 조합으로 이루어져 있다. 따라서 자세에 따른 Body Link의 조합에 의하여 손 끝점 내지 발 끝점 등 평가용 끝점(End Point)이 결정되며 평가치를 계산한 값의 크고, 작음을 비교하여 최종 사용 능력이 결정된다.

이를 통해 측정 대상 한국인 남성 모든 인체들에 대해 각 사용성 평가치 별로 끝점의 분포를 시각화 하고자 하였다. 이를 위해 2차원 좌표상에서 파악할 수 있는 사용성 별 Point Cloud 분포를 제시하여 집단 내에서 상대적으로 능력이 열세 그룹에 속하는 후보를 선별하였다. 열세 그룹 후보군 중에서 사용성 평가 모형으로 적용 가능한 평가 전용 인체를 최종 선정하였다. 또한 선정된 인체는 Link Length 수

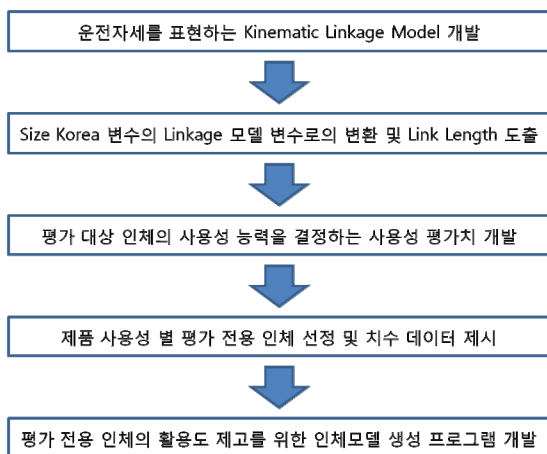


그림 1. 연구 절차

치와 키, 앉은키, 팔길이 등 주요 치수 데이터를 함께 제공한다. 마지막으로 산업계 지원 목적으로 평가 전용 인체의 적합도 및 활용 범위를 높이기 위한 소프트웨어를 개발하였다.

3. 연구 방법

3.1 안락 운전자세 정의

자동차 사용성을 평가하기 위하여 개발된 인체모델은 신체치수(Body dimension), 시야각(Vision), 동작 범위(Range of Motion) 등에 대한 특징을 포함하고 있다. 그리고 이러한 특징들은 인체역학적 분석 내지 작업분석에 활용되어 제품개발 활동에서의 인간공학적 평가에 기여한다(Chang and Wang, 2007). 본 연구에서는 실제 자동차 운전자의 착좌 자세를 반영하기 위해 운전자세를 측면 공간에서의 Kinematic Linkage Body Model로 구현하였다. Linkage Body Model은 [그림 2]에서 보는 바와 같이 총 8개의 지체들과 6개의 관절 각도로 구성된다.

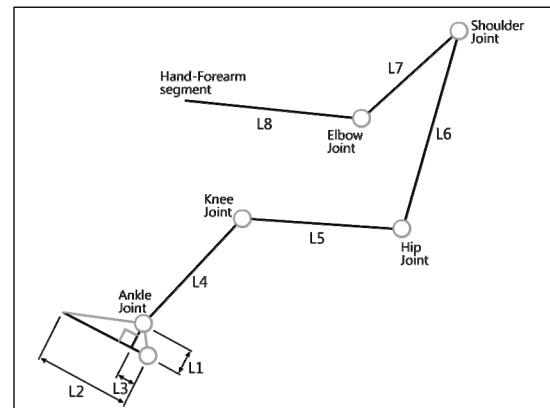


그림 2. Kinematic Linkage Body

안락 운전자세를 정의하기 위하여 자동차 인간공학 문헌으로부터 추천된 Comfortable Joint Angles 값들을 Linkage Body Model에 적용하였다(박성준, 2006; Vogt et al., 2005). 즉 상황 별 운전자세에 따라 관절각도가 결정되면 운전자의 손 끝점, 발 끝점 등 평가용 끝점이 도출된다. 이와 같은 방법을 토대로 사무공간 또는 공장설비 등 다른 작업 환경에서도 동일한 원칙 적용이 가능하다. 예를 들어 사무공간에서는 의자에 앉아 손을 뻗어 최대로 작업이 가능한 자세 또는 복도에서 두 사람이 마주보며 지나갈 수 있는 여유공간 설정 등에 Linkage Body Model을 정의할 수 있다.

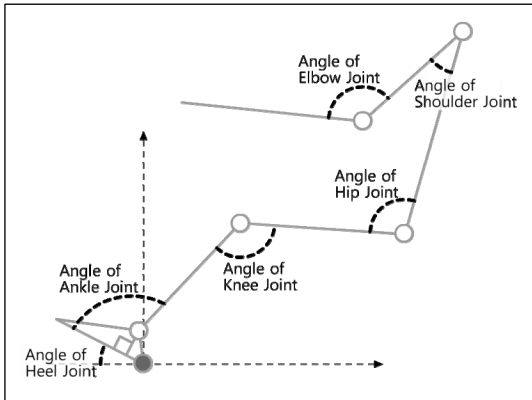


그림 3. 안락 운전자세

표 1. 추천된 Comfortable Joint Angles

	Angle(°)
Angle of Heel Joint ^b	34
Angle of Ankle Joint ^b	103
Angle of Knee Joint ^a	129
Angle of Hip Joint ^a	102
Angle of Shoulder Joint ^a	32
Angle of Elbow Joint ^a	132

^a(박성준, 2006), ^b(Vogt et al., 2005)

3.2 인체측정 변수를 활용한 Link Length 도출

Size Korea 인체측정 사업의 직접 측정 데이터를 기반으로 하여 성별 및 연령에 따른 한국인의 다양한 인체 데이터베이스를 활용하였다. 이 과정에서 Size Korea 인체변수 정의틀을 그대로 이용하지 못하는 경우가 발생하여 적절한 변환식을 사용하였다. Linkage Body Model을 생성하기 위한 8개의 Link Length 도출 과정은 다음과 같다. 각 링크의 길이는 측정된 모든 인체들에 대해 개별적으로 얻어지는 값이며, Linkage Body Model을 생성하기 위한 8개의 Link Length 도출 과정은 다음과 같다.

▶ L1

Size Korea 인체측정 변수 중 가쪽복사높이(Lateral Malleolus Height)를 그대로 이용한다.

▶ L2

Size Korea 변수 중 발직선길이(Foot Length)를 그대로 이용한다.

▶ L3

Size Korea에서 직접적으로 측정되지 않은 변수로서

L2 길이의 비율로 추정한다. 총 20명(남성: 18명, 평균키: 175cm; 여성: 2명, 평균키: 162cm)의 피실험자를 대상으로 발 형상을 실측하여 L2와 L3의 평균적 비율 관계를 도출하였다(평균=0.231, 표준편차=0.027).

$$L3 = 0.231 * L2$$

▶ L4

Size Korea 변수 정의의 무릎높이(Knee Height)와 가쪽복사높이를 이용하여 다음과 같이 계산한다.

$$L4 = \text{무릎높이} - \text{가쪽복사높이}$$

▶ L5

L5는 직립조건에서 Hip Joint Center의 높이와 무릎높이의 차이로 계산한다. 따라서 L5를 결정하기 위해서는 직립시의 Hip Joint Center의 높이를 알아야 한다. Size Korea 인체변수 중 위앞엉덩뼈가시높이와 살높이로부터 Hip Joint Center의 높이를 추정하기로 하였다. 총 20명 인체들의 X-ray 영상을 촬영하여, 위앞엉덩뼈가시점과 살점 사이 대비 Hip Joint Center의 상대적 위치를 측정하였다[그림 4].



그림 4. Hip Joint Center 추정 과정

측정결과 위앞엉덩뼈가시점에서 Hip Joint Center까지의 거리는 평균적으로 위앞엉덩뼈가시점에서 살점 사이의 거리의 55.2%였다(평균=0.552, 표준편차=0.023). 따라서 L5는 다음과 같이 계산된다.

$$L5 = \text{위앞엉덩뼈가시높이} - \text{무릎높이} - (\text{위앞엉덩뼈가시높이} - \text{살높이}) * 0.552$$

▶ L6

몸통어깨점(Acromion)이 Shoulder Joint Center의 대략적 위치를 나타내는 것으로 본다. L6를 몸통어깨점으로부터 Hip Joint Center까지의 거리로 정의하고, L5에서 얻어진 Hip Joint Center의 추정식을 이용하면 몸통길이는 다음과 같이 계산된다.

$$L6 = \text{어깨높이(Acromion Height)} - [\text{위앞엉덩뼈가시 높이} - (\text{위앞엉덩뼈가시높이} - \text{살높이}) * 0.552]$$

▶ L7

팔꿈치아래점(Bottom Olecranon)을 Elbow Joint Center의 대략적 위치를 나타내는 것으로 본다. 따라서 위팔길이를 다음과 같이 계산한다.

$$L7 = \text{어깨높이 (Acromion Height)} - \text{굽힌팔꿈치높이 (Elbow Height)}$$

▶ L8

Size Korea 인체변수들 중 아래팔수평길이(Elbow-Wrist Length)와 손직선길이(Hand Length)를 이용하여 도출한다.

$$L8 = \text{아래팔수평길이} + \text{손직선길이}$$

3.3 제품 사용성 평가치(Evaluation Measures) 개발

평가 전용 인체의 선정을 위해서 우선 각 제품 사용성 평가항목에 대하여 Size Korea 측정 Data Set 내에 인체들의 평가 순위를 계산하였다. 평가 순위를 계산하는 것의 의미는 자동차 패키지 사용 능력에 한계를 나타내거나 운전 자세에 있어 극단치를 보이는 인체를 선택하기 위함이다. 예를 들어 조작성의 경우 핸들에서 가장 멀리 떨어져 있는 사람의 평가 순위가 가장 낮다. 여유공간 측면에서는 상체 너비가 큰 사람이 공간에 대한 만족도가 낮아 평가 순위가 떨어진다. 이를 통해 제품 설계 시 평가 순위가 낮은 인체를 기준으로 만족시켜 준다면 나머지 다수의 집단은 당연히 불편함이 없게 된다. 본 연구에서는 운전 시 특정 인체의 자동차 사용능력을 나타내는 정량적 평가치 계산식을 개발하여 순위를 도출하였다.

Size Korea 측정 Data Set 중에서 남성 19세에서부터 69세까지 총 2825명에 대해 평가치 값을 계산하여 Ranking을 수행하고, 이에 따라 각 인체들에 대해 사용 능력 순위를 계산하였다. 이 때 모든 인체는 실제 자동차 개발 시의 가장 처럼 앞서 정의된 안락 운전자세에서 서로 동일한 발끝위치(Accelerator Heel Point; AHP)를 갖는 것으로 가정한다.

3.3.1 조작성 평가치 계산

자동차 사용능력에서 조작성은 손, 발 등을 이용하여 조작장치에 도달하거나 조작장치의 상태를 변화시키기 위한 모든 행위 요인들을 말한다. 하지만 본 연구에서 조작성에 영향을 미치는 모든 상황을 고려한 것은 아니며 사용성 평가 시 손과 발의 뻗기 범위를 주요 평가 요인으로 가정하였다.

▶ 손조작성 평가치 계산

손조작성 평가는 주행 중 운전자가 안락 운전자세에서 팔 리치로만 조작을 한다는 가정에 따른다. 우선 하나의 인체를 안락 운전자세로 앉힌 다음 AHP를 원점(0, 0)으로 하여 x-y 좌표계를 설정한다. 그리고 발, 하체 및 Torso Link를 고정시킨 상태에서 팔꿈치를 완전히 펴서 손끝을 사용하여 전방으로 반원을 그리면 그것이 인체의 2차원 리치 범위가 된다. 여기에 상방, 전방, 하방조작성을 독립적으로 고려하기 위해 [그림 5]에서 보는 바와 같이 반원으로 구해진 리치 영역을 다시 세 부분으로 나눈다.

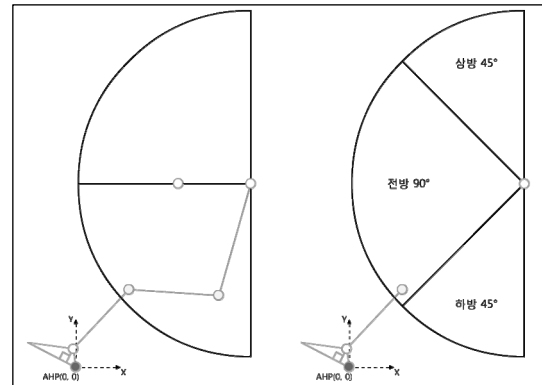


그림 5. 손조작성에 대한 리치 범위

인체의 상방조작성은 상방 45도 영역 내 원호의 y좌표의 평균치로 정량화할 수 있다. 전방조작성은 전방 90도 영역의 원호의 x좌표의 평균치로 정량화할 수 있다. 또한 하방조작성은 하방 45도 영역의 원호의 y좌표의 평균치로 정량화할 수 있다. 여기에서 평균치란 해당 각도 범위 이내에서 모든 x좌표 또는 y좌표의 평균치를 말한다. 즉 적분공식을 이용하여 얻어진 해당 영역에서의 모든 좌표 길이의 합을 원호의 길이로 나누어 계산한 결과 손끝 좌표들의 평균치는 0.90이 되었다.

$$\text{상방조작성 평가치} = \text{Shoulder joint의 y좌표} + 0.90 * (L7 + L8)$$

전방조작성 평가치 = Shoulder joint의 x좌표 -
0.90*(L7 + L8)

하방조작성 평가치 = Shoulder joint의 y좌표 -
0.90*(L7 + L8)

손조작성은 AHP를 기준(0,0)으로 손끝 위치를 계산하는 것으로 작업자세에 따라 Shoulder Joint의 위치가 달라지므로 이에 대한 좌표값을 우선 계산한다. 그 상태에서 팔길이를 나타내는 L7, L8을 더하여(전방, 상방, 하방 범위에 따른 평균치 보정계수 0.9 반영) 손끝 위치를 도출하게 된다. 상방조작성의 경우 평가치 값이 클수록(어깨로부터 위로 있을수록) 조작 능력이 좋은 것이다. 그러나 전방 및 하방조작성의 경우 각 평가치 값이 작을수록(어깨로부터 멀리 있을수록) 조작 능력이 좋은 것이다.

▶ 발조작성 평가치 계산

발조작성은 하지 및 발길이를 구성하는 Link Length들의 조합에 영향을 받기 때문에 다른 사용성 평가치와는 달리 Hip Joint Center를 기준점으로 계산한다. 따라서 발조작성은 [그림 6]에서처럼 얼마나 발끝을 기준점으로부터 멀리 보낼 수 있는가로 정량화할 수 있다.

발조작성 평가치 = $\text{SQRT}(L1^2 + (L2 - L3)^2) + L4 + L5$

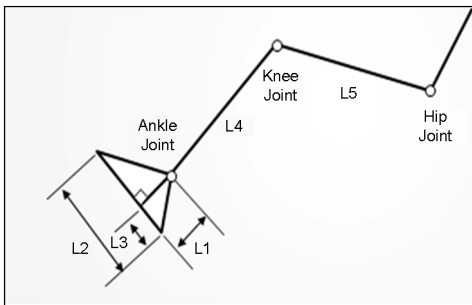


그림 6. 발조작성 평가치 계산

발조작성은 Hip Joint를 기준(0, 0)으로 얼마나 멀리 발을 뻗을 수 있는냐의 문제이므로 Link Length의 합으로 발 끝점을 계산한 것이다. 즉 발조작성 평가치 값이 크면 클수록 발끝을 멀리까지 보낼 수 있다는 의미이므로 발조작성이 더 좋은 것이다.

3.3.2 여유공간 평가치 계산

자동차 사용 능력에서 여유공간은 사용자를 둘러싼 공간(Clearance)에 대한 사용성으로서 시트의 편안함과 운전자세의 자연스러움을 비롯한 승차감과 관련된 요소에 영향을

준다. 즉 헤드룸, 레그룸, 숄더룸 등으로 표현되는 공간에 대한 만족도를 평가하는데 있어 중요한 역할을 한다.

▶ 어깨여유공간 평가치 계산

어깨여유공간은 숄더룸에 관계되는 평가 요소로서 주행 중에 후석 동승자간의 간섭 정도와 운전자와 시트 사이의 접촉면을 안락하게 유지하는데 영향을 미친다. 어깨여유공간의 평가치는 [그림 7]과 같이 Size Korea 측정 Data Set 내의 모든 인체들의 위팔사이너비(Bideltoid Breadth) 값을 사용하여 정량화 한다.

어깨여유공간 평가치 = 인체의 위팔사이너비

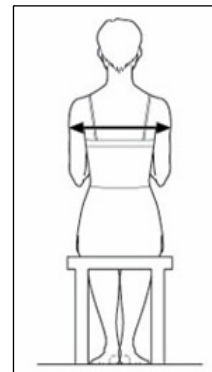


그림 7. 위팔사이너비

위팔사이너비가 크면 클수록 어깨여유공간이 더 많이 필요하게 되어 자동차 사용 능력은 저하된다.

▶ 무릎여유공간 평가치 계산

무릎여유공간은 무릎과 스티어링휠 하단부 또는 크러쉬패드 사이의 간섭 정도를 나타내는데 유용한 사용성 평가 요소다. 먼저 [그림 8]에서 나타난 대로 무릎부분의 돌출된 점(이하 무릎돌출점)의 y좌표를 추정하여 무릎여유공간 평가치로 사용하기로 한다. 계산을 위하여 사람이 서 있는 자세에서 무릎 부위의 수평 단면이 Knee Joint Center를 중심으로 하는 원이라고 가정한다(Blankevoort et al., 1988; Frigo and Rabuffetti, 1998).

이때 원의 반지름 r은 무릎둘레(Knee Circumference)를 이용하여 추정할 수 있다($2\pi r = \text{무릎둘레}$). 일단 r 값이 계산되면 아래의 그림에 나온 대로 Lower Leg Link에 수직인 선 A와 Upper Leg Link에 수직인 선 B를 긋고 두 선이 이루는 각도를 이등분하는 선 C를 정의한다. Knee Joint Center로부터 상방으로 선 C의 방향을 따라 r만큼 가면 그 점이 무릎돌출점이 된다.

무릎여유공간 평가치 = 무릎돌출점의 y좌표

4. 연구 결과

4.1 사용성 별 Point Cloud 제시

연구방법에서 제시한 Linkage Model을 바탕으로 Size Korea 측정 Data Set 내의 19세부터 69세까지의 성인 남성 2,825명의 모든 인체별 끝점(손 끝점, 발 끝점)을 도출하였다. 총 6가지 평가 사용성(상방조작성, 전방조작성, 하방조작성, 발조작성, 어깨여유공간, 무릎여유공간) 중에서 2차원 좌표상에 표현할 수 없는 어깨여유공간을 제외한 나머지 사용성에 대한 Point Cloud 분포를 살펴볼 수 있다. 각각의 사용성을 고려하여 도출된 관련 신체 부위의 좌표 분포는 [그림 9]와 같다(각 좌표의 단위는 mm).

Point Cloud 분포에서 진하게 표시된 부분은 전체 측정 대상 인체 중에서 사용성 능력이 열세에 놓여있는 한계체형(사용성 평가 시 사용성이 열세로 판단되는 인체를 의미) 후보들의 인체 별 끝점을 나타낸다. 상방조작성은 손을 위로 뻗었을 때 손의 위치가 아래쪽에 위치하는 인체 10%를 한계체형으로 선별하였다.

전방조작성은 손을 앞으로 뻗었을 때 손의 위치가 몸쪽에 위치하여 조작기구들이 닿기 어려운 인체 10%를 한계체형으로 선별하였다. 하방조작성은 손을 아래로 뻗었을 때 손

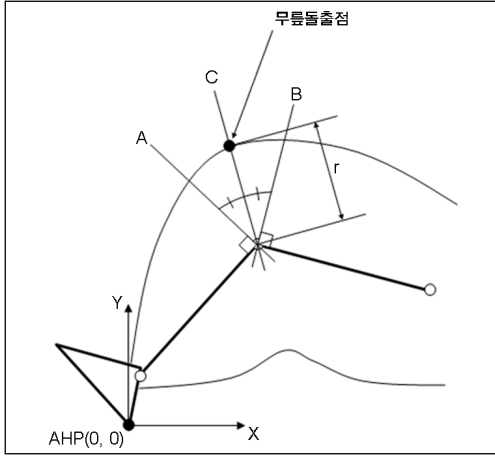


그림 8. 무릎여유공간 평가치 계산

무릎여유공간 평가치 값이 작을수록 무릎여유공간이 늘어나서 자동차 사용성이 좋아진다.

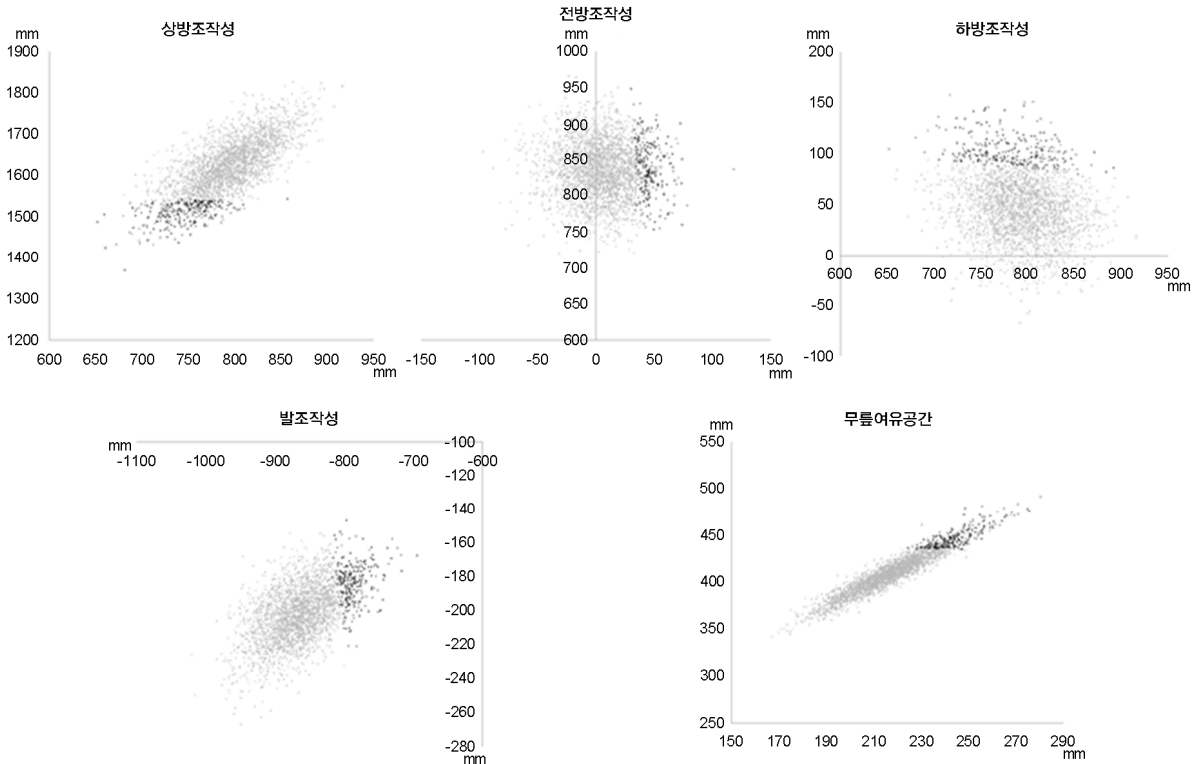


그림 9. 사용성 별 Point Cloud 분포

의 위치가 위쪽에 위치하는 인체 10%를 한계체형으로 판단하였다. 또한 발조작성은 발을 뺐었을 때 발길이가 짧은 사람을 선별하여야 하므로 AHP 기준으로 하지 않고 Hip Joint를 기준으로 하여 끝점을 추출하였다. 그리하여 발을 앞으로 뺐었을 때 발끝의 위치가 몸쪽에 위치하는 인체 10%를 한계체형으로 선별하였다. 마지막으로 무릎여유공간은 안락 운전자세에서 무릎돌출점의 위치가 위쪽에 위치하는 인체 10%를 한계체형으로 추출하였다.

4.2 사용성 평가 전용 인체 선정 및 치수 데이터 제공

일반적으로 극단 설계 범위를 제외하기 위하여 5~95% 사이에 해당하는 인체치수 통계값을 사용성 평가의 기준으로 사용한다. 따라서 전체 모집단에 대한 하위 또는 상위 10%의 사용성 열세 인체 그룹을 한계체형 후보군으로 도출한 다음, 중심(Centroid) 값에 해당하는 인체를 사용성 평가 인체로 선정하여 각각 5th Percentile 및 95th Percentile

표 2. 사용성 평가 전용 인체의 치수 데이터

Measure	상방 조작성	전방 조작성	하방 조작성	발 조작성	어깨 여유공간	무릎 여유공간	
L1(mm)	63	70	72	66	68	70	
L2(mm)	223	241	219	233	247	267	
L3(mm)	52	56	51	54	57	62	
L4(mm)	332	381	337	336	401	408	
L5(mm)	357	432	363	361	381	417	
L6(mm)	534	503	555	542	558	524	
L7(mm)	287	332	308	320	358	348	
L8(mm)	430	451	418	430	454	485	
키	(mm)	1590	1708	1630	1618	1735	1769
	(%ile)	4.4	55.2	13.7	9.7	71.6	86.4
앉은 키	(mm)	895	897	897	873	942	939
	(%ile)	24.8	26.4	26.4	10.0	76.8	73.2
앉은 눈높이	(mm)	766	795	786	773	813	812
	(%ile)	13.5	40.4	29.6	18.3	62.5	61.1
무릎 높이	(mm)	395	451	409	402	469	478
	(%ile)	5.0	72.4	14.5	8.6	90.8	94.9
허리 높이	(mm)	911	1082	998	1006	1050	1082
	(%ile)	0.5	75.6	17.1	21.8	52.4	75.6
팔 길이	(mm)	531	631	543	560	609	620
	(%ile)	4.0	98.3	9.7	25.3	90.0	95.3
어깨 너비	(mm)	389	381	337	384	424	415
	(%ile)	38.3	26.5	1.1	30.4	90.5	81.1
가슴 둘레	(mm)	910	987	936	970	1080	978
	(%ile)	18.6	67.9	33.6	55.8	96.7	61.5

기준에 맞추도록 하였다

본 연구에서는 각 사용성 평가치 계산에 따른 사용성 한계체형 10% 집단의 중심(Centroid) 값에 해당하는 하위 5% 인체를 사용성 평가 전용 인체로 정의하였다. 선정된 각 사용성 평가 전용 인체에 대하여 Link Length 데이터와 주요 인체치수 및 퍼센타일 데이터를 [표 2]에 나타내었다. 사용성 평가 전용 인체는 각 사용성 기준 별로 정의되는 것으로 [표 2]에서 보는 바와 같이 상방조작성에서 무릎여유공간까지 총 6명의 인체가 선정되었다. 그리고 선정된 인체에 대해서는 Link Length 길이와 키, 앉은키, 무릎높이 등의 치수 데이터 정보를 함께 제공하였다. 이를 이용하여 제품 설계자가 활용하는 CAD 시스템을 통하여 사용성 평가 인체를 구현할 수 있다.

또한 인체치수 데이터를 분석한 결과 조작성에서 열세를 보이는 인체들의 키, 팔길이 등의 퍼센타일 분포가 고르게 퍼져있거나 오히려 키가 큰 인체가 선정되는 경우도 있음을 알 수 있다. 즉 사용성 평가 시 신장을 일괄적으로 적용한 평균적인 개념의 체형 평가가 아닌 각 지체와 작업자세를 함께 고려한 한계치 개념의 평가가 이루어져야 한다.

4.3 평가 전용 인체모델 선정을 위한 소프트웨어 개발

본 연구에서 제시하고 있는 사용성 평가 전용 인체의 선정 과정은 기본적으로 인간공학적 접근 방식이나 Linkage Body Model 관련 인체역학적 개념이 적용되고 있다. 따라서 산업 현장에서의 비 전문가들도 손쉽게 사용할 수 있는 소프트웨어가 필요하다. Porter(1993) 등에 따르면 산업 지원 목적으로 사용되고 있는 인체모델 생성 소프트웨어들이 제품 설계에 유용하게 적용됨을 강조하고 있다. [그림 10]은 개발된 소프트웨어의 주요 구성 화면을 보여주고 있다.

소프트웨어의 주요 구성 및 단계 별 기능은 다음과 같다. 우선 웹브라우저를 통해 해당 페이지에 접속하여 프로그램을 실행한 후에 목적에 따라 평가하고자 하는 기본 사항(작업명칭, 성별, 연령, 퍼센타일 및 관절각도)들을 입력한다. 두 번째 단계는 평가 전용 인체모델로 평가하고 싶은 사용성을 선택할 수 있다. 이 단계에서의 프로그램 화면에는 기본적으로 모든 사용성 항목이 선택되어 있다. 이중 평가자가 원하지 않는 사용성을 해제하고 다음 단계로 넘어간다.

마지막 단계에서는 인체모델 선정 알고리즘에 따라 자동적으로 계산된 각 인체의 2D Linkage Body 모형을 보여 주며, 주요 관절점 및 기준점 좌표가 함께 표시된다. 그러므로 사용성 평가 인체 선정 과정의 절차적 난이도로 인한 활용도 저하의 우려를 줄일 수 있다. 또한 제품 설계자가

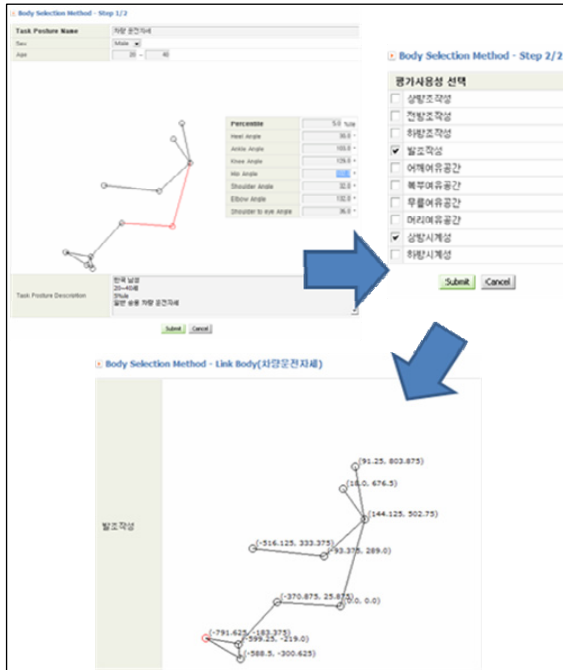


그림 10. 사용성 평가 인체모델 생성 소프트웨어

사용하는 CAD 프로그램과 연동하여 제품의 상품성과 사용자의 적합성을 손쉽게 평가할 수 있다.

5. 토 의

신제품의 개발주기가 점차 단축되고 사용자 친화적인 요구가 증가함에 따라 많은 종류의 설계 도구가 창출되었다. 이러한 관점에서 기존의 평가용 인체모델은 자동차 내장 설계 또는 작업공간 개선을 위해 제품개발 초기에 이용되었다(Chaffin, 2005). 인체모델은 설계자가 관심을 두고 있는 특정 사용자 집단에 대해서 과업을 수행하는 중에 기기 도달여부(Reach)나 시선(Line-of-sight)에 관한 문제를 평가하는데 유용하다. 그러나 더욱 개선된 인체모델을 생성하고 평가의 타당도를 높이기 위해서는 실제 측정된 인체 데이터에 기반해야 하며, 인체역학적 원리에 근거한 자세 도출이 필요하다.

특히 자동차 운전에서 있어서 평가 전용 인체를 통해 콘트롤 장치에 대한 수동 조작 부분이 인간공학적으로 적합하게 설계되어 있는지 여부를 검토할 수 있어야 한다. 이와 같은 평가 결과물의 축적을 통해 운전자가 극단적인 자세(Extreme Posture)를 취할 가능성은 줄어들고, 중립적인 자세(Neutral Posture)를 유지하기에는 좋은 조건이 되기

때문이다(Neville, 1998). 그런데 기존의 사용성 평가체형은 자동차, 의복, 가구 등 여러 산업분야에 있어 표준체형의 사람, 또는 신장만을 기준으로 크고 작은 사람을 고려하여 설계함으로써 다양한 신체적 조건의 사용자 요구사항을 반영하기에는 부족한 면이 존재하였다.

신장 기준의 인체모델 사용의 불합리성을 입증하기 위하여 사용성 평가치 값들과 Size Korea 신장 데이터 사이에 상관분석을 실시하였다. 분석 결과 상방조작성 평가치와 신장 사이의 상관계수 값은 0.55, 전방조작성 평가치와 신장 사이의 상관계수 값은 0.12 그리고 무릎여유공간 평가치와 신장 사이의 상관계수 값은 0.16으로 나타났다. 이는 신장 기준으로만 사용성 평가항목을 설명하는 것은 적합도가 높지 않음을 나타낸다. 즉 기존 평가체형으로는 분석되지 않았던 문제점들이 본 연구에서 제시한 다양한 사용성 평가 인체들을 통하여 발견될 수 있으며, 이를 통하여 실제 사용자와 설계 시 고려된 가상 사용자 간의 간극을 줄일 수 있다.

예를 들어 전방조작성의 경우 기존의 평가체형 개념으로는 단순히 팔길이 짧거나 신장이 작은 사람이 문제가 될 것으로 예상하였다. 그러나 [그림 11]에서 보는 바와 같이 문제가 되는 하위 10% 인체들의 팔길이 관련 Link Length 인 L8(아래팔) 길이 분포를 보면 팔길이 길고 짧음에 관계 없이 전반적으로 고르게 분포함을 알 수 있다. 또한 신장 퍼센타일 분포에서도 키가 작은 사람이 아닌 키가 큰 인체 그룹에서 조작성의 열세가 다수 나타났다. 이는 키가 큰 운전자들에게서 Hip-Point가 후방으로 이동하면서 상대적으로 팔의 리치 범위에 제약을 가져오기 때문이다. 그러므

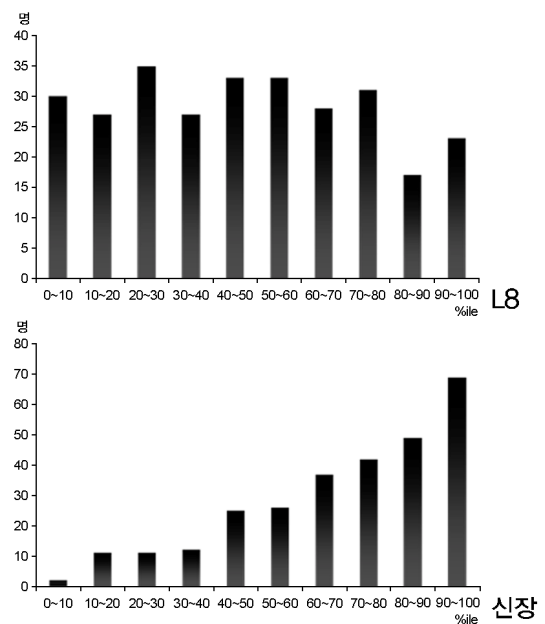


그림 11. 사용성 열세 그룹 인체특성 분석

로 사용성 평가 인체를 선정할 때에 단순히 신장 크기에 의한 일률적인 선정이 아닌 작업자세와 기타 다른 신체 부위를 함께 고려한 종합적인 분석이 이루어져야 함을 알 수 있다.

그리고 기존의 표준체형을 비롯한 평가 인체모델은 인체 자체의 유형화(삼각체형, 역삼각체형, 사각체형 등)에 관심을 두어 외형적으로 드러나는 체형 데이터만을 얻을 수 있었다. 하지만 작업의 특징에 따라 인체의 자세가 달라지고 평가 기준점의 위치가 변하게 되므로 각 관절과 관절 사이의 연결된 각도 및 지체들의 끝점에 대한 데이터가 중요하다. 따라서 평가 사용성 별로 작업 능력을 계산하기 위한 본 연구의 인체 데이터 활용 접근법은 제품의 설계 커버리지 향상 측면에서 유용하다고 볼 수 있다.

또한 본 연구에서는 Linkage Body Model과 사용성 평가치를 계산하기 위해 기존의 Size Korea 데이터베이스에 포함된 인체측정항목을 사용하였다. 동시에 X-ray 실측 자료 등의 추가 자료를 사용하여 인체 내부의 Joint Center 위치 추정식을 개발하거나, 무릎의 수평 단면을 원으로 가정하는 등의 단순화를 적용하였다. 이러한 접근방법은 본 연구의 범위 안에서 인체간의 제품사용능력의 상대적 비교라는 목적을 큰 오차 없이 달성하도록 하였다. 추후 연구를 통해 새로운 인체 부위별 기준점과 측정항목을 개발하여 디지털 휴먼 모델링 분야의 응용 폭을 높일 필요가 있다 (De Leba, 1996).

6. 결 론

제품에 대한 사용성 이슈가 부각되면서 자동차 또한 단순히 주행 기능 및 물리적 공간을 제공하는 것을 넘어서 사용자에게 편의적 공간을 제공하여 만족감을 줄 수 있는 제품으로 진화하고 있다. 이에 따라 자동차 인간공학 분야에서 사용성 평가를 정량화 하는 것과 이를 통한 평가 전용 인체 개발의 중요성이 강조되고 있다. 본 연구에서는 안락 운전자세를 정의하고 각 Link Length들의 계산식을 바탕으로 인체 별 사용 능력의 정도를 나타내는 사용성 평가치 (Evaluation Measure)를 도출하여 평가 목적에 따른 순위를 정량적으로 구하였다. 다음으로 사용성 평가 순위에 따라 사용성 열세에 놓인 후보군들 중에서 하위 5%에 해당하는 인체를 한국인 평가 전용 인체로 선정하였다.

나아가 사용성 평가 인체 선정 과정의 산업 활용도를 제고하고 각 산업 현장에서 확보하고 있는 인체 데이터 정보와의 연동을 위해 평가 전용 인체모델 생성을 위한 소프트웨어를 개발하였다. 이를 통하여 자동차 설계에 있어서 사용성 평가 시뮬레이션을 지원하고 제품개발 초기 단계에서

의 시행착오를 줄이는데 기여한다. 추후 본 연구 결과 제공되는 사용성 평가 전용 인체와 개발 소프트웨어를 통해 자동차 설계 시 거주성, 시인성 및 여유공간 평가를 수행하여 제품의 상품성 향상을 달성할 것으로 기대한다.

참고 문헌

- 박성준, 다변량 통계기법을 활용한 표준 운전자세의 도출, *대한인간공학회지*, 25(1), 27-33, 2006.
- 성덕현, 정의승, 다변량 통계분석 방법을 이용한 한국인 성인 남녀 체형분류, *대한인간공학회지*, 24(4), 39-46, 2005.
- 이경선, PUI 디자인 가이드라인 도출을 위한 프로세스 개발, 2007 *대한인간공학회 추계학술대회논문집*, 355-358, 2007.
- 이인석, 박재희, 박태주, 물리적 사용자 인터페이스 측면에서 김치냉장고의 사용자 만족도 조사, *대한인간공학회지*, 26(4), 113-120, 2007.
- Badler, N., Allbeck, J., Lee, S. J., Rabbitz, R., Broderick, T. and Mulkern, K., New behavioral paradigms for virtual human models, *SAE Technical Paper*, 114, 723-729, 2005.
- Blankevoort, R. Huiskes and Lange, A.D., The envelope of passive knee joint motion, *Journal of Biomechanics*, 21(9), 705-720, 1988.
- Chaffin, D. B., Improving digital human modeling for proactive ergonomics in design, *Ergonomics*, 48(5), 478-491, 2005.
- Chang, S. W. and Wang, M. J., Digital Human Modeling and Workplace Evaluation: Using an Automobile Assembly Task as an Example, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 17(5), 445-455, 2007.
- De Leba, P., Joint center longitudinal positions computed from a selected subset of Chandler's data, *Journal of Biomechanics*, 29(9), 1231-1233, 1996.
- Dufour, F. and Wang, X., Discomfort assessment of car ingress/egress motions using the concept of neutral motion, *SAE Technical Paper*, 114, 2905-2913, 2005.
- Eynard, E., Fubini, E., Masali, M., Cerrone, M. and Tarzia, A., Generation of virtual man models representative of different body proportion and application to ergonomic design of vehicles, *Proceedings of the IEA2000/HFES2000 Congress*, 489-492, 2000.
- Frigo, C. and Rabuffetti, M., Multifactorial estimation of hip and knee joint centres for clinical application of gait analysis, *Gait and Posture*, 8(2), 91-102, 1998.
- Jared M. Spool, Tara Scanlon and Carolyn Snyder, Product Usability: Survival Techniques, *proceeding of CHI 97 conference on Human factors in computing systems*, 154-155, 1997.
- Jingzhou Yang, Joo H. Kim, Karim Abdel-Malek, Timothy Marler, Steven Beck and Gregory R. Kopp, A new digital human environment and assessment of vehicle interior design, *Computer-Aided Design*, 39, 548-558, 2007.
- Neville, S., *Human Factors in Consumer Products*, Taylor and Francis, London, 1998.

Norman, D., *The Design of Everyday Things*, Basic Books, New York, 1988.
Pennsylvania Transportation Institute, *Bus Operator Workstation Evaluation and Design Guidelines*, National Academy Press, Washington, D.C., 1997.
Porter, J., K. Case, M. Freer, and Bonney, M., *Automotive Ergonomics*, Chapter: Computer-aided ergonomics design of automobiles, Taylor and Francis, London, 1993.
Vogt, C., Mergl, C. and Bubb, H., Interior Layout Design of Passenger Vehicles with RAMSIS, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 15(2), 197-212, 2005.

저자 소개

임영재 ergoim@korea.ac.kr
고려대학교 산업시스템정보공학과 석사
현 재: 고려대학교 정보경영공학전문대학원 박사과정
관심분야: 제품개발, 감성공학

박성준 sjpark@nsu.ac.kr
포항공과대학교 산업공학과 박사
현 재: 남서울대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 제품개발 및 디자인

박우진 woojinp72@gmail.com
University of Michigan 산업공학과 박사
현 재: Auburn University 산업시스템공학과 교수
관심분야: 인체역학, 제품개발

박준수 joyful38@naver.com
고려대학교 전자 및 정보공학과 학사
현 재: 고려대학교 정보경영공학전문대학원 석사과정
관심분야: 제품개발, 감성공학

정의승 ejung@korea.ac.kr
Pennsylvania State University 산업공학과 박사
현 재: 고려대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 제품개발, 감성공학, 인간공학

임익성 ikslim@nsu.ac.kr
Wayne State University 산업공학과 박사
현 재: 남서울대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 제품품질평가, 신뢰성평가

논문접수일 (Date Received) : 2010년 04월 30일

논문수정일 (Date Revised) : 2010년 08월 27일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 10월 04일