

# Ergonomic Human Model을 이용한 인간공학적 차량설계

박성준\* · 강동석\*

## Ergonomic Vehicle Design Using an Ergonomic Human Model

Sungjoon Park · Dongseok Kang

### 〈Abstract〉

A new vehicle design approach coupled with an ergonomic human model was proposed in the study. The seating package layout of a vehicle is very important to the driving comfort, and it has been one of the primary ergonomic research areas since the past 30 years. The diverse and interrelated design factors of seating package layout in the limited workspace make designers often neglect many parameters related with drivers which differ in their anthropometric characteristics. It is due to the lack of the proper tools by which the designer can easily apply several ergonomic design guidelines to the vehicle design. In this study, an iterative package layout procedure was developed, and the effectiveness of an ergonomic human model was examined in this procedure. A discomfort function was developed for the quantitative evaluation of the driving posture. This study clearly demonstrates that the package layout using an ergonomic human model is very helpful to improve the usability and driving comfort of the drivers or passengers.

### 1. 서 론

최근들어 자동차에 대한 관심이 높아짐에 따라 자동차 생산 업체의 자동차에 대한 인식전환이 요구되고 있다. 마쯔다 자동차의 야마모토 회장이 "자동차는 이동하는 기계가 아닌 거주공간이다[2]"라고 한 것 역시 이러한 의식변화에 기초한 발언이라 할 수 있다. 캐나다의 TDC(Transport Canada Research & Development Center)의 보고서에 따르면 운전석과 승객석의 안락도 향상은 등급 경쟁차종간의 시장점유율을 8% 증가시킨다고 보고되었다. 더우기 승차시간이 3시간 이상 소요시에는 시장점유율의 30% 정도를 좌우할 것으로 예측되고 있다 [1]. 이에 따라 운전편의성은 자동차 설계의 주요 개념이 되고 있다. 이러한 상황변화는 '인간공학적 설계'에 많은 관심을 불러 일으키고 있으나, 적합한 도구(Tool) 및 기법의 부재로 인

하여 대부분 생산 후 제품에 대한 평가에만 적용되고 있는 실정이다. 따라서 제품개발 초기단계에서부터 인간공학을 고려할 수 있도록 설계과정을 프로세스화 하는 것이 본 연구의 목적이다.

본 연구에서는 Ergonomic Human Model(인체모형)을 이용하여 CAD 도면상에서 직접 사용성(Usability)을 평가할 수 있도록 하여 실시간에 평가와 설계가 이루어질 수 있도록 하였다. Ergonomic Human Model은 상용화된 인체모형인 'Safe-work System(GENICOM 社)'을 이용하였으며, 이를 이용하여 인간공학 설계지침에 부합되는 자동차 내장(Interior)의 기본설계안을 도출해가는 과정을 정형화 시키고자 하였다. 이는 인간공학에 관한 특별한 지식이 없는 설계자도 손쉽게 이를 이용할 수 있도록 하므로써 설계 초기단계에서부터 사용자를 고려한 설계가 가능하도록 하기 위함이다.

\* 삼성자동차(주) 중앙연구소

이를 위하여 각각의 신체조건을 대표하는 인체모형을 이용하여 다양한 신체조건을 운전자를 만족시킬 수 있는 “자동차 내장부품 최적위치 선정 프로세스”를 확립하였다. 본 연구에서 사용한 인체모형은 단순한 마네킨이 아닌 실제 인간의 크기를 대변하는 가능성을 가진 모형을 의미하는 것으로, CAD 상의 자동차에 실제의 인간 대신 승차하여 운전과정을 Simulation하게 된다. 이러한 과정을 통하여 Steering Wheel, Pedal 등의 내장부품에 대하여 키가 작은 여성 운전자부터 키가 큰 남성 운전자들이 모두 편안한 자세로 운전할 수 있는 최적 위치를 도출할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 고려한 평가항목은 자세편의성(Postural Analysis), 동작범위분석(Range of Motion), 간섭 및 여유공간 검토(Clearance Check), 시인/시계성(Visibility Analysis) 등으로서, 각각의 평가요소에 대해서 인간공학적 설계지침을 만족하는 설계안을 도출하고자 하였다.

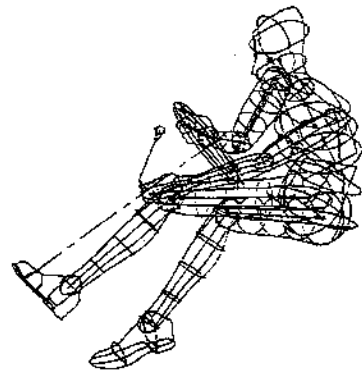
## 2. Ergonomic Human Model

고객의 욕구가 다양해지고 제품의 수명주기가 단축되고 있는 현실에서 제품의 경쟁력을 높이기 위해서는 제품설계의 초기단계에서부터 제품사용성을 제고하는 기법의 개발이 시급히 요구된다. 인간공학 분야에서도 이러한 관점에서의 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 그 중에서도 생산기술과의 통합화 및 설계단계에서의 사용성 평가를 가장 용이하게 하는 기법이 Ergonomic Human Model이라 할 수 있다. Ergonomic Human Model이란 CAD 시스템내에 운용자를 형상화시켜 제품설계시 필요한 인간공학 평가과정을 수행하고자 개발된 전산화된 인체모형을 의미한다. Ergonomic Human Model은 기존과 같이 제품설계후 Prototype을 이용하여 제품을 평가하는 방식에서 탈피하여 설계단계에서 최종 제품의 사용성에 대한 평가를 가능하게 함으로써 제품의 개발기간과 비용을 절감할 수 있게 하는 도구이다.

Ergonomic Human Model을 이용할 경우 기존의 설계방식에서 사용되었던 Mock-up을 이용하지 않고도 사용성 평가에 필요한 허용여유(Clearance), 동작한계(Reach), 시계능력(Visibility) 등을 평가하여 설계안에 반영할 수 있다. Ergonomic Human Model의 가장 큰 장점은 다양한 체격의 작업자를 쉽게 표현하여 여러개의 Mock-up을 제작한 것과 동일한 효과를 낼 수 있다는 점이며, Mock-up을 이용한 평가에 덧붙여서 여타 인간공학적 평가(Strength Analysis, Postural Analysis 등)를 수행할 수 있는 장점을 가지고 있다. 예를 들어, 신제품에

대한 평가를 수행하고자 하는 경우 Ergonomic Human Model을 통해서 남, 여 뿐만 아니라 각각의 체형(신장크기, 비만정도 등)별로 수많은 체형들을 형상화하여 운전자세를 평가할 수 있다.

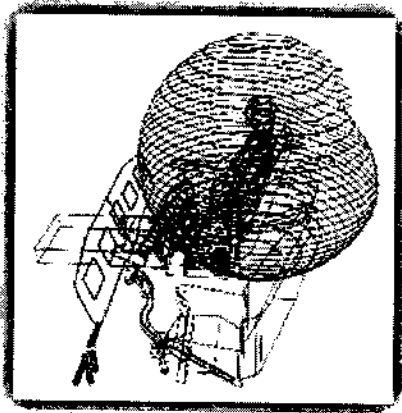
1960년 Fetter가 다양한 인체형상을 표현하기 위하여 최초로 인체모형을 개발한 이후, BOEMAN, Cyberman, COMBI-MAN, ErgoSPACE, SAMMIE, Jack, Mannequin 등이 개발되어 발표되었다. BOEMAN은 Boeing사에서 비행기 Cockpit설계를 위해서 개발된 초기의 인체모형이나, 지나친 단순화 등으로 인하여 사용성은 그다지 높지 않았다. 여러 인체모형중 자동차 설계와 관련된 최초의 인체모형은 크라이슬러사가 개발한 Cyberman이 있다(그림 1). Cyberman은 인체를 15개의 Link로 형상화하였으며 각 관절의 각도는 사용자가 대화식으로 지정하도록 구성하였다. 자동차를 중심으로 운전자 및 승객의 자세, 운전중의 동작, 트렁크를 여는 과정 등의 모의 실험에 주로 사용되었다. Cyberman의 지체표현 방식은 철사그물(Wireframe) 형태를 이용하고 있으나, 표현형태의 복잡성으로 인하여 인체모형과 평가하고자 하는 시스템의 구별이 용이하지 않다는 단점을 가지고 있다.



〈그림 1〉 Ergonomic Human Model - Cyberman

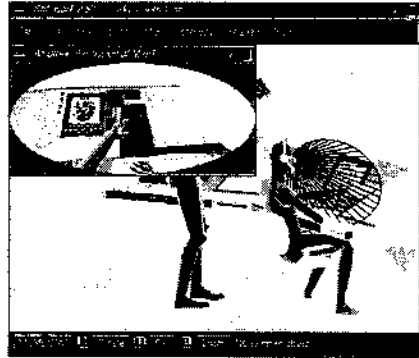
한편, 범용목적의 인체모형으로는 ErgoSPACE, SAMMIE, Jack 등이 개발되었다. ErgoSPACE는 다른 인체모형과는 달리 범용 소프트웨어인 AutoCAD를 이용하여 개발된 것이 특징으로 AutoCAD로 설계된 시스템의 평가에 효과적으로 사용될 수 있다. 영국에서 개발된 SAMMIE(System for Aiding Man Machine Interaction Evaluation)는 작업자의 동작기능 시험과 가시도 시험이 가능한 인체모형으로 기존의 Ergonomic Human Model에 비하여 인간공학적 평가기능이 진보된 모형이라 할

수 있으며, 상업적으로도 시판되어 사용되고 있다. <그림 2>는 SAMMIE를 이용하여 헬리콥터 조종석 설계시 조종사의 동작한계면(Reach Envelope; 팔이 닿을 수 있는 최대거리)을 검토하는 예이다. 한편, PC상에서 사용가능한 인체모형으로는 Mannequin이 있다[3].



<그림 2> SAMMIE의 동작한계면 분석

근래에 이르러 다양한 인간공학적 평가기능과 함께 그래픽스 기능이 향상된 인체모형들이 개발되어 상용화된 제품으로 공급되고 있다. 대표적인 인체모형으로 캐나다에서 개발된 Safework(그림 3 참조)과 독일에서 개발된 RAMSIS, 그리고 맥도넬 더글라스사에서 자체개발한 MDHMS가 있다. Safework은 캐나다 GENICOM사에서 개발한 범용목적의 인체모형으로서 인체모형에서 가장 중요한 부분인 인체측정자료(Anthropometric Data)를 분석하는 기법에 있어 다변량 통계분석(Multivariate Analysis)을 통하여 보다 적절한 인체형상을 만들어 내고자 노력하였으며, 지금까지 개발된 Ergonomic Human Model에서 제공하고 있는 기능들을 대부분 포함하고 있다. 특히, Safework은 Library 개념을 통하여 사용자의 Know-How를 저장하여 이를 추후 분석에 사용할 수 있도록 하였으며, 운전자간의 정량적인 비교를 가능하게 한 점이 특징이다. 현재 보잉, 크라이슬러, GM 등에서 Safework을 이용하여 신제품 개발 연구를 수행중에 있다. RAMSIS는 독일 자동차 협회(FAT)의 지원을 받아 자동차 설계 전용으로 개발되었으며, BMW, Audi 등 독일의 자동차회사에서 사용되고 있다. 현재, 국내에서는 삼성자동차와 대우자동차가 각각 Safework과 RAMSIS를 이용하여 개발연구를 수행중이다.



<그림 3> Safework을 이용한 가시도 평가

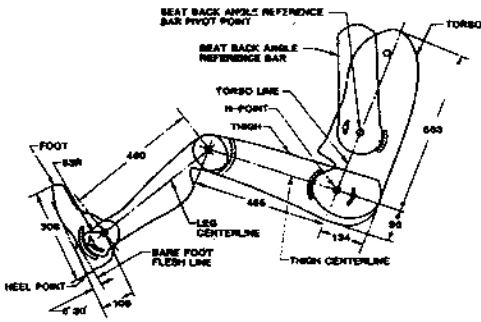
### 3. Package Layout

Package Layout이란 차량 구성요소들에 대한 적절한 배치를 통하여 승강성, 시인/시계성, 거주성, 조작성 등을 향상시키는 설계과정으로, 운전석과 승객석 주위에 대한 Layout만을 가리켜 Seating Packaging이라고도 한다. 일반적으로 신차를 개발할 때 초기 설계단계에서 수행되는 작업이 거주공간(Occupant Envelope)의 결정과정이라고 할 수 있다[10]. 이 과정은 운전자와 승객의 안전과 편의성 등을 고려하여 내부공간을 확보하고, Seat, Display, 그리고 각종 Control들을 배열(Arrangement)하는 절차이다. 또한, 이는 차량의 개발개념(Concept)을 공학적으로 구현하는 과정이기도 하다.

Package Layout에서는 차량설계의 기준이 되는 Hip Point 등의 위치를 결정하게 되며, 편안한 자세를 유지하면서 운전할 수 있도록 Seat의 이동량, Steering Wheel 등의 장착위치를 결정한다. Package Layout에 따라 운전자의 자세가 결정되므로 시야확보, 운전시의 피로도, 조작 편의성 등에 영향을 미치게 된다. 따라서 Package Layout은 가장 전형적인 인간공학 응용분야라고 할 수 있으며, 이는 인간공학이 자동차 개발의 초기단계부터 참여해야 하는 이유이기도 하다.

지금까지 수행되어온 전통적인 Package Layout 방법은 H-Point Machine이라 불리는 2-Dimensional Mannequin(그림 4 참조)을 이용하여 2차원 도면상에서 각종 SAE(Society of Automotive Engineers) 설계기준 등을 적용하는 방법이었다.

그러나 이와 같이 2D Mannequin을 이용하는 방법은 다음과 같은 한계를 가지고 있다. 첫째, CAD 상의 차량도면은 3차원 데이터이나 Mannequin이 2D이므로 평가시 3차원 데이



〈그림 4〉 2-Dimensional Mannequin[10]

터의 이용이 불가능하며, 따라서 폭에 관한 검증이 불가능하다.

둘째, Mannequin이 대표하는 인체 데이터가 제한적이다. 현재, 미국인 남자 10<sup>th</sup> percentile, 50<sup>th</sup> percentile, 95<sup>th</sup> percentile에 관한 Mannequin만이 존재하므로 다양한 신체 조건에 대한 평가가 불가능하며, 특히 한국인의 신체특성에 대한 평가를 할 수가 없다. 한국인의 경우 서양인에 비하여 상지와 하지의 비가 현격히 다르므로 미국인 데이터를 기준으로 설계할 경우 한국인은 편안한 운전자세를 취하기가 어렵게 된다.

셋째, 하지에 관한 데이터만 제공될 뿐, 팔이 부착되지 않은 Mannequin이므로 각종 조종장치들에 대한 평가가 이루어지지 않고 있다. 또한, 상지를 부착하여도 움직임이 없는 Mannequin이므로 운전중에 이루어지는 동작(예를 들어, Gear Shift Lever를 조작할 때 Console Box에 팔꿈치가 닿는가 여부 등)에 대한 평가가 불가능하다.

넷째, 자세에 대한 정량적 평가가 곤란하다. 현재의 Mannequin을 이용할 경우, 두 자세간의 상대적 적합성은 평가하기 곤란하며, 단지 Pedal에 발이 닿는가 여부와 신체부위와 차량 부품간의 접촉여부 등만을 검토할 수 있다. 일반적으로 부품의 위치에 따라 다양한 운전자세가 결정되지만, 이러한 설계 대안간의 적합성을 평가할 수가 없다.

이러한 단점들로 인하여 Packaging 단계 즉, 차량 설계의 초기단계에서 인간공학 설계지침들을 반영하기가 곤란하였다고 할 수 있으며, 이는 역으로 Ergonomic Human Model 사용의 필요성이기도 하다.

인간공학의 여러분야중 Package Layout과 가장 밀접한 관계를 갖는 분야는 인체측측(Anthropometry)분야이다. 이는 단순히 인체의 크기에 대한 자료만을 의미하는 것은 아니며, Task와 관련된 기능적 인체자료를 의미한다. 또한, 동작범위(Range of Motion), 편의관절각도(Comfortable Joint Angle), 시계영역

(Visual Field) 등에 관한 인체자료가 필요하다. 이를 바탕으로 Packaging 단계에서 다양한 체격의 운전자들이 편안한 자세를 취하면서 운전할 수 있는 공간을 확보하고, 각종 부품의 위치를 결정하게 된다.

현재까지 SAE의 표준으로 채택된 각종 Packaging 관련기준은 인체크기를 고려하여 제정되긴 하였으나, 인체특성에 대한 체계적 분석을 통하여 최적 운전자세를 제안하고 이를 기초로 Hip Point 및 Eye Point의 위치를 결정하였기 보다는 다수의 운전자에 대한 통계적 자료에 근거한 방식이라고 할 수 있다. 운전자의 눈의 위치를 규정한 Eyellipse (Eye와 Ellipse의 합성어)에 관한 기준[7]과 Seat 위치설정을 위한 기준[9] 등이 모두 통계적 자료를 바탕으로 결정된 기준들이다. 그러나 잘못된 Packaging으로 인하여 운전자들이 최적 자세를 취하지 못하였을 경우 인간공학적으로 바람직하지 못한 자세가 기준으로 채택되었을 가능성을 배제할 수 없으며, 조사 당시와 비교하여 차량의 크기와 형태가 많이 바뀌었으므로 현재의 Packaging기준으로는 부적합하다고 판단된다. 특히, 이는 미국인에 대한 실측자료를 바탕으로 하고 있으므로 신체특성이 다른 우리가 직접 적용하기에는 많은 무리가 따른다고 하겠다.

이러한 문제를 극복하기 위하여 본 연구에서는 인간공학 설계지침에 근거하여 Hip Point 및 각종 내장 부품의 최적위치를 설정할 수 있는 배치 방법론을 도출하였다. 특히, Ergonomic Human Model을 이용한 자세분석을 평가기준으로 채택하므로서 다양한 신체특성의 운전자들에게 최적자세를 제공할 수 있는 Package Layout이 도출될 수 있도록 하였다.

## 4. 최적위치 선정 Process의 개발

### 4.1. 반복적 배치방법 (Iterative Layout Process)

일반적으로 자동차 실내공간 설계와 관련하여 고려되는 사항은 다음과 같다.

- ① Hip Point의 위치 (설계 기준점)
- ② Seat 이동거리
- ③ Pedal의 위치
- ④ Steering Wheel의 위치
- ⑤ Speedometer 등 계기판의 위치
- ⑥ Gear Shift Lever의 위치
- ⑦ Audio Button의 위치 등

위에서 언급한 각각의 요소들은 서로 독립적으로 결정되지

못하며, 운전자의 신체조건을 매개로 하여 서로 유기적으로 연결되어 있다. 특히, Hip Point, Pedal, Steering Wheel의 관계는 한 설계요인의 설계값이 다른 요인의 결정에 전제조건이 되는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성으로 인하여 각 설계요인을 독립적으로 결정하는 방법보다 다른 설계요인의 설계값에 따라 반복적으로 배치하는 방식(Iterative Layout)이 보다 효과적이라고 판단된다. 본 연구에서 개발하고자 하는 프로세스 역시 이러한 개념을 기초로 도출하였다.

그러나 위에서 언급한 바와 같이 자동차 실내공간에 대한 Packaging에는 많은 설계요인들이 고려되어야 하므로 반복적 배치과정에서 이들을 동시에 고려하기는 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 가장 중요한 Packaging 요인인 Hip Point (이하 H Point), Pedal위치(이하 AHP), Steering Wheel 위치 (이하 S Point)만을 우선적으로 고려한 후, 이들 세 Point의 위치를 주어진 조건으로하여 기타 요인들(Gear Shift Lever, Center Fascia 등)을 배치하는 2 단계 배치방법(Two-Phase Layout Process)을 적용하기로 하였다.

#### 4.2. 제약만족(Constraints Satisfaction)개념

지금까지 구미의 인간공학계를 중심으로 Packaging과 관련된 많은 설계지침들이 제시되어 왔으며, SAE Guideline화되어 설계기준으로 사용되어 왔다. 이러한 설계기준에는

- ① 최적의 운전자세와 관련된 각 신체 관절의 권장각도
- ② 내장 부품과 신체부위간의 격정 여유공간
- ③ 각 신체관절의 동작 가능범위
- ④ 각종 조종장치들의 배치한계
- ⑤ 적정 시계범위

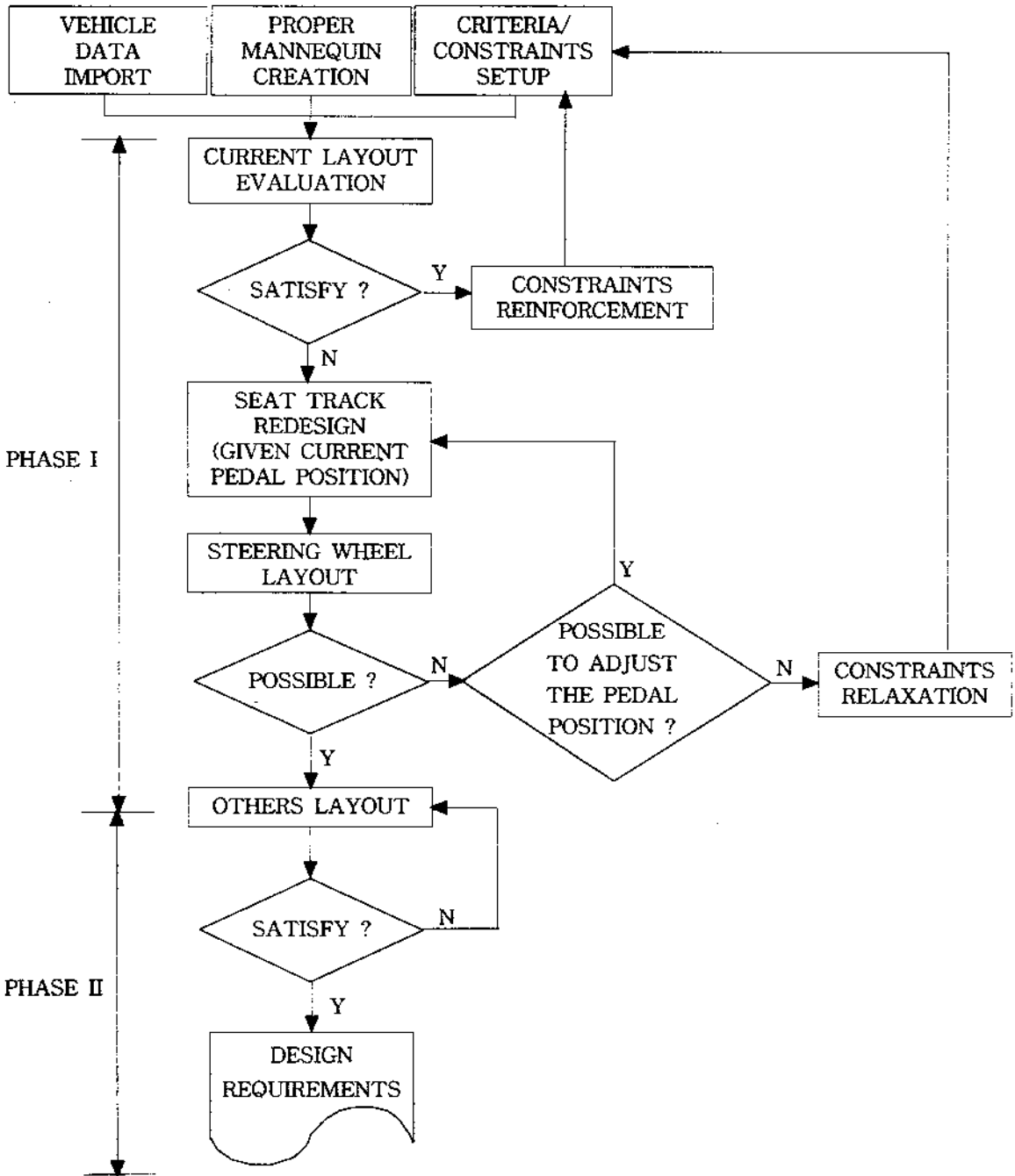
등이 포함된다. 이러한 설계기준들은 설계자가 차량설계시 지켜야 할 규칙으로서 일종의 제약식(Constraints)의 개념으로 이해할 수 있다. 즉, 각종 조종장치들은 앉은 자세에서 팔이 닿을 수 있는 범위내에 배치되어야만 하는 것이고, 안전 등의 이유로 내장부품 등은 신체와 최소한의 여유공간을 확보해야만 하는 것이다. 따라서 Package Layout은 차량내부의 공간내에서 주어진 제약조건을 모두 만족하는 임의의 배치안을 찾는 탐색작업(Search)으로 변환하여 접근할 수 있다.

본 연구에서는 인간공학 설계기준을 제약조건화한 뒤, 이를 만족하는 배치안을 반복적 탐색작업을 통하여 찾아 나아가는 '자동차 내장부품 최적위치 선정 프로세스'를 개발하였다(그림 5 참조).

먼저, 평가할 차량의 CAD Data안으로 설계시 고려할 적정 범위의 인체모형들을 생성시킨다. 인체모형의 생성과 함께 설계자가 차량의 Concept에 맞추어 Packaging과 관련된 평가기준을 설정한다(Constraints Setup). 여기에는 여유공간의 최소화, 운전자세의 목표 안락도 점수 등이 고려될 수 있다. 배치기준 즉, 제약식이 설정되면, 현재의 차량 Package Layout에 대하여 설정된 제약식의 만족 여부를 Ergonomic Human Model을 이용하여 평가한다. 현재의 Packaging이 모든 제약조건을 만족할 경우, 보다 개선된 배치안을 얻기 위해 제약조건을 강화한다 (모든 신체조건에 대한 자세 안락도 목표를 80점이상에서 90점이상으로 상향 조정 등). 평가기준을 만족하지 못할 경우 설계기준점인 H Point의 변경을 고려한다. 남자 95<sup>th</sup> percentile이 편한 자세를 취할 수 있는 H Point와 여자 5<sup>th</sup> percentile이 편한 자세를 취할 수 있는 H Point를 구한 뒤, 이 두점으로부터 Seat의 이동거리를 구한다.

키가 큰 사람과 작은 사람이 모두 안락한 자세로 운전할 수 있는 Seat 위치를 결정하면 이를 기준으로 Steering Wheel의 위치를 결정한다. 이때 신체 차이를 반영하기 위하여 Tilting Range, Telescoping Range를 함께 고려한다. 그러나 요구되는 Steering Wheel의 장착범위가 차체의 기본 구조 범위내에서 허용될 수 없다면 Pedal위치(AHP)의 변경을 고려한다. 일반적으로 Pedal의 위치는 거주성과 관련하여 Legroom을 보다 크게 확보하기 위하여 Seat쪽으로는 이동시키기 곤란하며, 반대 방향으로 Engine Room의 설계변경 요인이 많게 되어 역시 이동이 곤란한 경우가 대부분이다. AHP의 위치를 이동하여 해결할 수 없는 경우, 즉 Infeasible Solution인 경우는 탐색공간(Search Space)을 확장하기 위하여 제약식을 완화한 뒤 본 프로세스를 반복하게 된다. 이와 같은 방법으로 주요 설계요인인 H Point, AHP, S Point를 결정하면, 이 세점을 기준으로 Gear Shift Lever, Center Fascia, Gauge Panel 등에 대해서 2 단계 배치과정을 밟게 된다.

본 연구에서 개발한 Packaging 프로세스는 제약조건을 계속적으로 조정하면서 배치안을 찾는 방법이다. 이러한 접근방법은 다양한 신체특성을 가진 사람들을 모두 만족시킬 수 있는 적합성 높은 배치안을 찾아낼 수 있는 반면, 제약조건의 만족 여부를 평가하는 작업량이 방대해지는 단점이 있다. 따라서 변경된 배치안이 제약식을 만족하는가 여부를 CAD 도면상에서 실시간에 평가, 확인할 수 있는 방법의 도출이 본 프로세스의 실제적용을 위한 필수조건이라고 할 수 있으며, 해결방안으로서 Ergonomic Human Model의 적용을 제시한다.



〈그림 5〉 최적위치 선정 프로세스

## 5. Ergonomic Human Model을 이용한 Packaging

### 5.1. 불편도 함수(Discomfort Function)의 개발

Ergonomic Human Model을 이용한 운전자세 분석결과를 배치한 비교의 기준으로 사용하기 위해서는 각각의 자세들에 대한 우열을 평가할 수 있는 기준이 필요하다. 인간의 자세는 관절각도를 통하여 정량적으로 표현될 수 있다. 본 연구에서는 최적의 운전자세를 야기하는 관절각도로부터의 편차(Angle Deviation)를 평가기준으로 선정하였으며, 이를 기준으로 자세 안락도 점수를 정의하여 운전자세를 정량적으로 비교하였다. 관절각이 최적값으로부터 벗어날수록 사람이 느끼는 불편도(Discomfort)는 더욱 급격히 증가하므로, 급격한 안락도 저하를 반영하기 위하여 다음과 같은 2차식의 불편도함수(Discomfort Function)를 가정하여 안락도 점수를 계산하였다.

$$\text{Discomfort} = p * (\text{Angle Deviation})^2$$

where, p : penalty coefficient

안락도 점수는 (100 - Discomfort)가 되며, 2차식의 함수형태로 인하여 현재의 관절각이 최적 관절각에서 벗어날수록 점수가 급격히 감소하게 된다. 한편, 본 연구에서는 Angle Deviation은 연속변수(Continuous Variable)가 아닌 이산변수(Discrete Variable)로 가정하였다. 이는 1~2도의 미세한 편차에 대해서 인간이 불편함의 차이를 느끼지 못하기 때문이다. 실제로 이러한 이유로 최적자세에 대한 연구결과들이 서로 미세한 차이를 보이고 있으며, 최적 관절각도를 범위값으로 나타내고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 현상을 반영하기 위하여 위의 불편도 함수를 계단 함수(Step Function)으로 보정하여 적용하였다.

또한 전체 운전자세 점수는 각 관절의 안락도 점수의 평균으로 나타낼 수 있으나, 각 관절 부위에 따라 불편함의 심각도가 다르게 느껴지므로 관절별로 가중치를 다르게 하여 안락도 점수를 구하였다. 불편도 함수의 penalty 계수값을 관절별로 다르게 부여하므로써 이를 반영할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 자세 분석을 위하여 도출한 불편도 함수의 최종식은 다음과 같다.

$$\text{Discomfort} = p_i * D^2$$

where D = 0 if A ≤ R  
 1 if R < A ≤ 2R  
 2 if 2R < A ≤ 3R

p<sub>i</sub> = Penalty Weight of Joint j  
 A = Angle Deviation  
 R = Width of Angle Range

각 관절별로 최적각도를 중심으로 동작범위를 각 관절별 각도범위(R) 만큼의 크기를 갖는 단위로 구분하였고, 현재자세와 최적각도간의 편차량(A)이 R의 몇 배수내에 들어있느냐에 따라 이산변수 D의 값이 결정된다. 따라서 D의 값은 최적각도범위에서 멀어질수록 증가하고, 불편도 함수는 D의 2차식으로 표현되었으므로 불편도는 더욱 증가하게 된다. 또한 p<sub>i</sub>는 각 관절별 동작에 대한 불편도가 다르게 나타나므로 각 관절에 대한 Penalty Weight를 나타낸다. 따라서 불편도 함수의 최종식은 최적각도에서의 편차량에 대한 부분(D)과 각 관절의 동작에 대한 Penalty Weight(P<sub>i</sub>)와의 곱으로 표현되었다. 예를 들어 최적각도와 현재자세와의 편차량(D)이 각도범위의 너비(R)보다 작은 경우, D값은 0이 되며 따라서 불편도 함수의 값은 0이 된다.

위의 불편도 함수로부터 안락도 점수를 도출하기 위하여는 다음의 데이터가 필요하다.

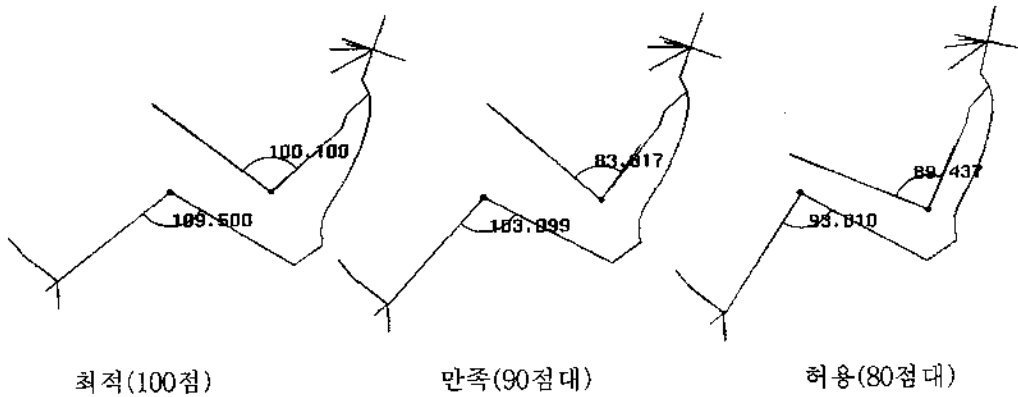
- ① 각 관절의 최대 동작영역(ROM)
- ② 각 관절의 최적 자세각도 및 범위값
- ③ 각 관절별 불편도 가중치(penalty)

각각의 데이터를 실험을 통하여 추출하는 것이 가장 정확하나, 본 연구에서는 우선적으로 기존의 연구결과를 통하여 데이터를 수집하였다. 먼저 각 관절의 최적 자세각은 현재 SAE에서 제안하는 최적 운전자세 자료를 인용하였으며[13], 각 관절별 각도범위는 Trebbi[12]과 Judic 등[6]의 연구결과로부터,

〈표.1〉 각 관절별 동작에 따른 불편도 가중치[4,5]

관절	동작	가중치(p <sub>i</sub> )
Ankle	Flexion	2
	Extension	1
Hip	Flexion	4
	Extension	3
Back	Flexion	3
	Extension	3
Shoulder	Elevation	5
	Extension	7
Elbow	Flexion	3
	Extension	3
Knee*	Flexion	3
	Extension	4

\* : Knee에 대한 불편도 자료는 추정치임



〈그림 6〉 안락도 점수에 따른 운전자세의 예

그리고 각 관절의 움직임에 대한 불편도는 Genaidy and Karwowski[5]와 Genaidy 등[4]의 연구결과를 기초로 입력 데이터를 확보하였다. 위의 불편도 함수로부터 도출되는 안락도 점수에 대한 정확성을 높이기 위하여 〈표 1〉에 나타난 바와 같이 불편도 가중치( $p$ )를 굽힘동작(Flexion)과 폼동작(Extension)에 따라 각각 다르게 설정하여 부여하였다. 〈그림 6〉에 자세 안락도의 각 수준별(최적·만족·허용) 운전자세를 Elbow와 Knee를 예로하여 나타내었으며, 편의상 100점을 최적, 90점 이상을 만족, 80점 이상을 허용수준으로 구분하여 나타내었다.

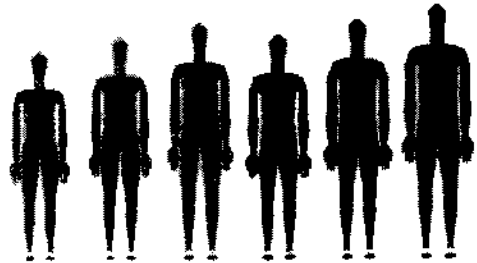
5.2. Ergonomic Human Model 응용 (A Case Study)

본 프로세스의 효용성을 검증하기 위하여 현존하는 실차에 대해서 프로세스 절차에 따라 Ergonomic Human Model을 이용하여 배치안 평가 및 개선안을 도출해 보았다.

○ 1 단계 : 현재의 Package Layout 평가

다양한 신체조건을 운전자를 모두 만족시키는 배치안을 도출하기 위하여 본 연구에서는 미국인 여성 5<sup>th</sup> percentile부터 남성 95<sup>th</sup> percentile까지를 평가대상 집단으로 선정하였으며[8], 각각의 조건에 해당하는 Ergonomic Human Model은 〈그림 7〉과 같다.

Ergonomic Human Model을 이용하여 자세분석을 실시한 결과, 현재의 Package Layout은 키가 작은 사람들이 운전하기에는 부적합한 것으로 판명되었다. 키 작은 여성 운전자의 경우 운전자세 안락도 점수가 40점대에 불과하였다(〈그림 8〉 참조).



여성 5% 50% 95% 남성 5% 50% 95%

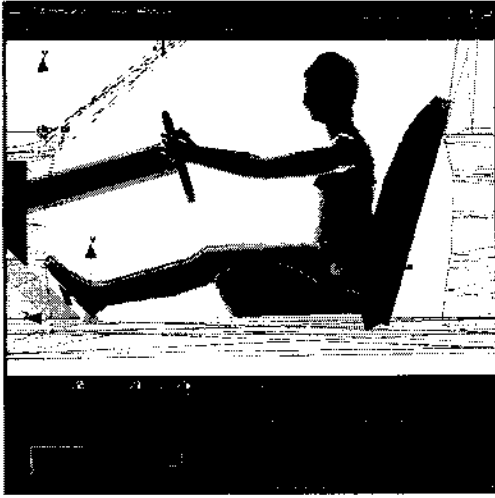
〈그림 7〉 Percentile별 Ergonomic Human Model의 예

이는 현재의 Packaging이 키 작은 사람을 효과적으로 고려하지 못했기 때문이며, 그림에서 보는 바와 같이 팔과 다리를 길게 뻗어야 운전이 가능함을 알 수 있다. 이러한 문제점으로 인하여 작은 여성 운전자들이 〈그림 9〉와 같이 앞으로 당겨 앉는 자세를 취하며, Cushion 등을 등받이로 이용하기도 한다. 그러나 이와 같이 당겨 앉아 운전을 하여도 종합적인 안락도 점수는 50점대에 불과하므로, Seat의 위치뿐만이 아닌 Steering Wheel과 Pedal 등의 위치에 대한 종합적인 재검토가 필요함을 알 수 있다.

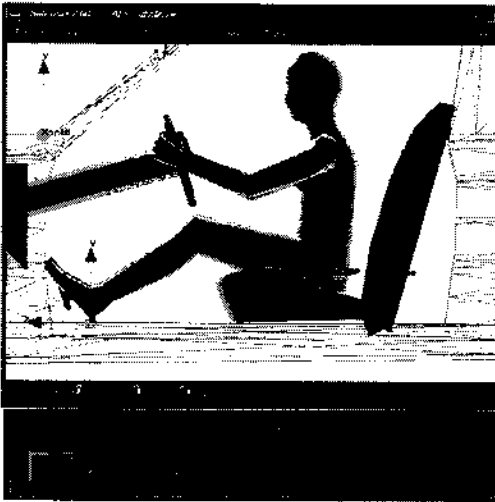
○ 2 단계 : SAE Guideline에 기초한 개선

1단계에서 제시된 문제점을 해결하기 위하여 현재 가장 보편적으로 적용되고 있는 SAE 설계기준(SAE J1517)에 따라 H Point(즉, Seat의 위치)를 변경해 보았다. Philippart 등[9]의 연구결과에 기초한 이 방법은 임의의 Seat 높이에 대하여 적합한 Seat 위치(Pedal로 부터의 거리)를 결정하는 방법으로 계산식은 다음과 같다[11].





〈그림 8〉 키 작은 여성 운전자의 자세(1)



〈그림 9〉 키 작은 여성 운전자의 자세(2)

$$X_{95} = 913.7 + 0.672316Z - 0.0019553Z^2$$

$$X_5 = 692.6 + 0.981427Z - 0.0022623Z^2$$

여기서 X는 Pedal(Ball-of-Foot)로부터 H Point까지의 거리를 나타내며 Z는 바닥으로부터 H Point까지의 높이이다. 〈그림 10〉에 현재의 Seat 높이에 대한 남자 95<sup>th</sup> percentile과 여자 5<sup>th</sup> percentile의 적정 H Point 위치를 SAE 방식에 따라 결정하여 나타내었다.

남자 95<sup>th</sup> percentile의 경우 H Point가 Pedal로부터 923mm,

그리고 여자 5<sup>th</sup> percentile의 경우 707mm 떨어져 위치하는 것이 적당한 것으로 계산되었으며, 이 경우 Seat의 이동거리는 최소 216mm 이상이 되어야 하는 것으로 계산되었다. 그러나 SAE 방식에 의하여 Seat의 위치를 결정하여도 운전자세에 따른 안락도 점수는 남자의 경우 66점, 여자의 경우 77점으로 만족스럽지 못한 것으로 평가되어 SAE Guideline에 의하여 Packaging을 하여도 안락한 운전자세를 보장하지 못하는 것으로 판명되었다. 이는 Philippart 등에 의하여 제시된 H Point 결정방법이 하지의 길이만을 고려하여 도출된 통계적 관계식이기 때문이라고 판단된다.



〈그림 10〉 SAE 방식에 의한 운전자세

○ 3단계 : 자세분석을 통한 개선안 도출

본 연구에서 개발한 배치 프로세스에 따라 운전자의 자세분석 결과에 기초한 배치안을 도출하였다. 먼저 '남녀 운전자의 자세 안락도 90점(만족수준)이상'을 배치기준, 즉 제약식으로 설정하였으며, Ergonomic Human Model을 이용하여 이를 만족하는 운전자세를 찾아 나아갔다. Philippart 등에 기초한 방법과는 달리 신체 전 부위에 대한 자세분석을 통하여 최적의 운전자세를 야기하는 Seat의 위치를 결정하였으며, 다양한 신체조건을 모두 만족시킬 수 있는 Seat의 이동량을 도출하였다. 남자 95<sup>th</sup> percentile과 여자 5<sup>th</sup> percentile 모두 안락도 점수가 90점 이상이 될 수 있는 H Point의 위치 및 운전자세는 〈그림 11〉과 같다. 남자 95<sup>th</sup> percentile과 여자 5<sup>th</sup> percentile에 대하여 H Point는 Pedal로부터 각각 872mm, 695mm 떨어진 곳

에 위치하여야만 편안한 자세로 운전이 가능한 것으로 분석되었다. 이는 SAE 방식에 의한 배치(그림 10)보다 남자의 경우 51mm, 여자의 경우 12mm 앞당겨진 위치로서 다리와 팔의 자세를 보다 편하게 하기 위함이다. 그리고 이와 같이 크고 작은 신체조건의 운전자를 모두 만족시키기 위해서는 Seat의 이동량이 최소 177mm 이상이 되어야 하는 것으로 나타났다.

한편, <그림 11>과 같은 자세로 운전하기 위해서는 Seat의 위치 뿐만아니라 Steering Wheel의 위치도 새롭게 결정되어야 어깨 및 팔의 자세를 편하게 취할 수 있다. <그림 11>과 같은 자세를 유지하기 위한 Steering Wheel의 위치는 <그림 12>와 같으며, 이 경우 Telescoping 범위는 약 114mm가 되어야 하는 것으로 나타났다. 그러나 Steering Wheel의 경우 Key Box의 장착문제, Telescoping양에 따른 강성문제 등으로 인하여 70mm이상의 길이변동은 물리적으로 곤란하다. 따라서 <그림 12>와 같은 114mm 길이변동량은 현실적으로 차량개발에 적용하기 어려운 배치안이라고 할 수 있다.

이와 같은 문제는 Steering Wheel 또는 Seat위치 자체에 대한 문제가 아닌 신체크기차에 따른 변동량의 문제이므로 Pedal의 위치를 변경하여도 해결될 수 없는 문제이다. 따라서 최초에 설정된 기준, 즉 제약식을 완화(Constraints Relaxation)함으로써 현실적으로 적용 가능한 해(Feasible Solution)를 찾고자 하였다. 일반적으로 여성 운전자보다는 남성 운전자가 많으므로 '남녀 모두 90점이상'의 자세 안락도 조건을 '남성 95'



<그림 12> 남녀 운전자에 대한 Steering Wheel의 위치 및 변동폭

percentile 90점 이상, 여성 5<sup>th</sup> percentile 85점 이상'으로 완화하여 조정한 뒤, 새로운 운전자세를 도출하였다(<그림 13> 참조). 여성 운전자의 팔꿈치 각도가 조금 더 굽혀졌으며, 이 경우 Steering Wheel의 길이 변동량은 약 46 mm이므로 적용 가능한 설계값이라고 할 수 있다.



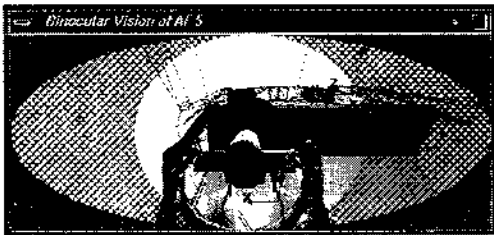
<그림 13> 완화된 제약식에 따른 배치안

<그림 11> Ergonomic Human Model을 이용한 자세분석 결과 및 H Point 위치

○ 4단계 : 2단계 배치안(Phase II Layout)도출

〈그림 13〉과 같은 배치형태로 H Point의 위치, Seat 이동량, Steering Wheel의 위치가 결정되면, 이를 기준으로 Gauge Panel과 각종 조종장치의 위치를 결정하는 2단계 배치작업을 수행한다. 먼저, Steering Wheel의 Rim과 Spoke에 의하여 속도계 등의 Gauge가 가리워지지 않는가를 평가한 뒤, 가장 읽기 쉬운 위치 및 Gauge Panel의 부착 각도 등을 결정한다. Ergonomic Human Model의 눈에 장착된 Camera 기능을 이용하여 실제 운전자가 착석한 상태에서 보는 것과 동일한 시인/시계성 분석이 가능하다. 〈그림 14-(a)〉에 현재의 Gauge Panel 배치안에 대한 시인성 평가결과를 나타내었으며, Steering Wheel에 의하여 가려지는 현상을 개선한 결과를 〈그림 14-(b)〉에 나타내었다.

이외에도 Gear Shift Lever의 위치, Ventilation 조종장치의 위치, Armrest기능을 수행할 수 있는 Console Box의 적정 위치 및 높이, Parking Brake의 위치 등 많은 내장 부품들에 대한 Packaging 작업을 Ergonomic Human Model을 이용하여 수



(a) Steering Wheel에 의한 Obstruction 현상



(b) Gauge Panel의 개선된 배치안

〈그림 14〉 시인/시계성 분석을 통한 Gauge Panel의 배치

행할 수 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 다양한 신체조건외의 운전자들이 편안하게 조작할 수 있는 위치를 자세분석과 시인/시계성 분석을 통하여 결정한다. 그러나 이와 같은 조종장치들

은 신체 크기차에 따른 변동폭(조절폭)을 제공하기 곤란하므로, 제약조건을 반복적으로 조정하면서 다수가 무리없이 조작할 수 있는 절충안을 도출하도록 한다. 단순히 평균 신장의 운전자를 기준으로 한 배치는 모두를 불편하게 할 수 있다.

한편, 앞에서 언급한 조종장치들은 조작 자세뿐만 아니라 동작중에 발생할 수 있는 다른 부품과의 간섭여부를 평가하여 배치하여야 한다. 〈그림 15〉에 Gear Shift Lever를 조작하는 과정을 나타내었다. Lever를 쥐기 위한 자세와 Lever를 당긴 후의 자세가 모두 85점 이상이 되도록 배치하였으며, 동작중에 간섭상황이 발생하지 않도록 하였다. 이와 같이 자세분석 외에 동작분석을 통하여 실제 운전중에 발생할 수 있는 문제점을 사전에 발견할 수 있으며, 이를 통하여 고객만족을 극대화할 수 있는 설계안을 도출할 수 있다.



〈그림 15〉 Gear Shift Lever에 대한 동작분석

## 6. 결론 및 추후 연구방향

본 연구에서는 최적의 운전자세를 제공할 수 있는 Package Layout 방법론으로서 내장부품 최적위치 선정 프로세스를 확립하였으며, 적용 Tool로서 Ergonomic Human Model의 사용을 제안하였다. 앞에서 예시한 적용 예에서 볼 수 있듯이 Ergonomic Human Model은 설계초기 단계에서부터 사용자를 고려할 수 있는 매우 유용한 방법이라고 할 수 있다.

현재까지는 이러한 Tool 및 프로세스의 부재로 인하여 몇몇 설계자가 차에 탑승하여 주관적으로 판단하거나 2-Dimensional

Mannequin을 이용한 단편적 평가를 통하여 각종 조종장치의 위치 등을 결정하였으므로 다양한 신체조건을 운전자를 만족시킬 수 없었으며, 각각의 설계대안에 대하여 시작품을 제작한 후 장착하여 평가하는 과정을 겪음으로서 비용 및 시간이 많이 소요되는 단점이 있었다. 특히, 실차가 없는 경우는 이러한 평가과정마저 생략된 채 경쟁차종과의 비교 및 설계자의 경험에 의존하여 결정하므로써 인간공학을 고려한 설계는 불가능할 수 밖에 없었다.

본 연구에서는 Ergonomic Human Model을 이용하여 이러한 문제를 극복할 수 있음을 입증하였으며, 제안된 방법으로 Package Layout을 수행하므로써 얻을 수 있는 장점을 정리하면 다음과 같다.

#### (1) 설계기간의 단축

전통적인 설계방식은 "설계(도면작성)→시제품 제작→평가→수정"의 과정을 따라 이루어졌다. 이는 설계단계에서 각종 지침과 규제 등을 평가할 방법이 없었기 때문이며, 이로 인하여 제품개발에 많은 시간이 소요되곤 하였다. 그러나 Ergonomic Human Model을 이용하여 설계할 경우 시제품 제작과정 없이 설계, 평가, 수정을 동시에 수행할 수 있다.

#### (2) 설계변경 비용의 절감

앞에서 언급한 바와 같이 설계안의 문제점은 시제품 제작 이후에 발견되었으며 경우에 따라서는 제품이 시장에 출하된 뒤 발견되는 경우도 발생하였다. 이러한 경우 설계변경으로 인하여 막대한 비용이 소모되는 것이 일반적이다. 항공기 또는 자동차와 같은 조립산업의 경우 설계변경 및 제작업에 전체 생산비용의 50%가 소요되므로, 설계 단계에서 평가과정을 병행하므로써 막대한 비용 절감의 효과를 기대할 수 있다. 특히, Packaging단계에서 결정되는 H Point는 모든 설계의 기준점으로서 이곳이 변경되면, 대부분의 후속 설계작업이 수정되어야 하므로 Ergonomic Human Model을 이용한 최적의 H Point 선정은 설계변경의 기회를 감소시키는 효과가 있다.

#### (3) 사용성 향상 및 고객 만족도 증가

Package Layout은 엔진 설계, 차체 설계 등과는 달리 차량과 사용자와의 관계를 설계하는 분야(Driver-Vehicle Interface Design)로서 인간공학적 설계가 요구되는 분야이다. 본 연구에서 제안한 Packaging 프로세스는 자세/동작 분석, 사인/시계성 분석 등을 포함하여 각종 인간공학 설계 Guideline들을 배치기준으로 고려하므로써 사용성이 향상된 배치가 도출될 수 있도록 하였다.

지금까지의 평가작업이 설계후 시제품 평가를 통한 설계오

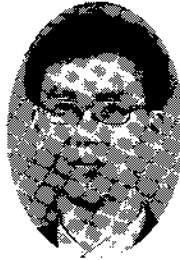
류 검토 및 타당성 확인의 소극적 방법이었다면, 본 연구에서 채택한 방식은 설계단계에서 가장 우수한 설계대안을 선택하는 적극적 평가방식이라고 할 수 있다. 이와 같이 인간공학적 설계기준을 충실히 반영하는 설계안을 도출하므로써 차량 운전시 발생할 수 있는 불편사항을 최소화할 수 있도록 하였으며, 이로 인한 고객만족의 향상을 기대할 수 있다.

Ergonomic Human Model을 이용한 자세분석시 평가의 타당성은 자세와 관련된 데이터의 정확성에 있다고 판단된다. 현재는 자세와 관련된 데이터를 기존의 연구결과로부터 인용하였으나, 차량설계에 보다 적합하고 한국인과 서구인의 신체특성 차이를 반영한 데이터를 확보하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 Seating Buck System(운전과 관련된 각종 실험 및 인체측측을 실시할 수 있는 모의차량)의 개발과 연계하여 각종 Task에 대한 최적자세 평가실험을 실시할 예정이며, 이를 통하여 'Posture Library'를 구축하고자 한다. 이러한 연구과정을 통하여 Ergonomic Human Model의 적용시 보다 정확한 평가가 가능할 것으로 생각되며, 고객만족을 극대화할 수 있을 것으로 여겨진다.

## [참고 문헌]

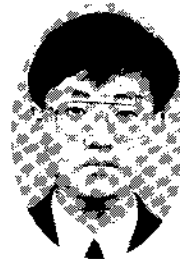
- [1] 이면우 외, KIAMAN-국제경쟁력 제고를 위한 자동차 운전석의 인간공학적 연구, 서울대학교 생산기술연구소, 1985.
- [2] 이순요, 미래지향적 인간공학, 양영각, 1993.
- [3] Das, B., and Sengupta, A.K., "Computer-aided human modelling programs for workstation design", Ergonomics, Vol. 38, No. 9, pp.1958-1972, 1995.
- [4] Genaidy, A., Barkawi, H., and Christensen, D., "Ranking of static non-neutral postures around the joints of the upper extremity and the spine", Ergonomics, Vol. 38, No. 9, pp. 1851-1858, 1995.
- [5] Genaidy, A.M., and Karwowski, W., "The effects of neutral posture deviations on perceived joint discomfort ratings in sitting and standing postures", Ergonomics, Vol. 36, No. 7, pp.785-792, 1993.
- [6] Judic, J.M., Cooper, J.A., Truchot, P., Effenterre, P.V., and Duchamp, R., "More objectives tools for the integration of postural comfort in automotive seat design", SAE paper 930113, Society of Automotive Engineers, 1993.

- [7] Meldrum, J.F., "Automobile driver eye position", SAE paper 650464, Society of Automotive Engineers, 1965.
- [8] NASA, Anthropometric Source Book, Volume 1 : Anthropometry for Designers, NASA Reference Publication 1024, Ohio, Webb Associates, 1978.
- [9] Philippart, N.I., Roe, R.W., Arnold, A., and Kuechenmeister, T.J., "Driver selected seat position model", SAE paper 840508, Society of Automotive Engineers, 1984.
- [10] Roe, R.W., "Occupant packaging", Automotive Ergonomics (Edited by Peacock, B. and Karwowski, W.), pp.11-42, Taylor & Francis, London, 1993.
- [11] SAE, SAE Handbook, On Highway Vehicles and Off Road Highway Machinery, Vol. 4, Warrendale, Society of Automotive Engineers, 1993.
- [12] Trebbi, G., "A probabilistic method for assessing the longitudinal habitability of a car", SAE paper 865108, Society of Automotive Engineers, 1986.
- [13] Weichenrieder, A., and Haldenwanger, H.G., "The best function for the seat of a passenger car", SAE paper 850484, Society of Automotive Engineers, 1985.



박성준(朴盛俊)

1989년 2월 성균관대학교 산업공학과 졸업(공학사)  
 1992년 2월 포항공과대학교 대학원 산업공학과 졸업 (공학석사)  
 1995년 8월 포항공과대학교 대학원 산업공학과 졸업 (공학박사)  
 현 재 삼성전자차 중앙연구소 근무  
 관심분야 Workspace Layout, Automotive Ergonomics, Product Design, Usability Evaluation.



강동석(姜棟奭)

1991년 2월 포항공과대학교 산업공학과 졸업(공학사)  
 1993년 2월 포항공과대학교 대학원 산업공학과 졸업 (공학석사)  
 1997년 2월 포항공과대학교 대학원 산업공학과 졸업 (공학박사)  
 현 재 삼성전자차 중앙연구소 근무  
 관심분야 Human Modelling, Biomechanics, Database Design