

제품사용성 평가를 위한 인체모델의 개발

강 동석, 정 의승

포항공과대학교 산업공학과

ABSTRACT

An ergonomic evaluation model which can properly evaluate the design of a product or workplaces was developed to evaluate a new product in the early stage of design. Although several evaluation models have been developed and are in use in the field of ergonomics, they lack an integrated framework and analysis techniques.

In this research, an ergonomic evaluation model was developed according to the framework which accommodates desirable components of the model. The framework represents the integration of four components: man model, workplace modeller, ergonomic evaluation functions and knowledge bases, which interact with a common object-oriented database. Components were developed individually and integrated with the workplace modeller. The generation and manipulation of man models, workplace modelling, and ergonomic evaluation features such as reach and visibility were implemented. The developed evaluation model has demonstrated distinct advantages of the flexibility to adapt another features for the ergonomic evaluation model and the better usability for users.

1. 서론

신제품을 신속히 개발하고 적절한 시점에서 이를 시장에 출시하기 위해서는 기존의 제품개발방법에 대한 연구가 필요하며, 단축된 제품수명과 소비자 욕구의 다양화, 사용성 등을 설계의 초기단계에서부터 평가하여 제고할 수 있는 기법의 필요성이 대두되었다. 인간공학분야에서도 제품의 인간공학적 설계가 이루어지기 위해서는 기존에 행해졌던 제품개발후 사용성 평가라는 관점에서 벗어나 제품의 설계단계에서부터 인간공학적 설계와 평가가 이루어져야 하고 이를 위한 방법론 또한 필요하게 되었다. 그 중에서도 생산기술과의 통합화와 설계단계에서의 사용성 평가를 가장 용이하게 하는 기법이 인체모델이라 할 수 있다.

대부분의 인체모델은 작업자를 형상화한 Man Model, 작업공간을 나타내는 일종의 CAD 시스템

인 Workplace Modeller, 그리고 동작범위, 시야와 같은 인간공학적 평가기능의 세부부분으로 이루어져 있다. 현재 구미에서는 여러 인체모델이 개발되어, 실제 제품의 개발에 이용되고 있으며, 자동차나 항공기의 경우 이러한 인체모델을 이용하여 자동차의 내부나 항공기의 Cockpit등을 설계하는데 이용되고 있다.

그러나 기존의 시스템의 단점은 모델에 내재된 작업자를 형상화하는 Man Model이 구미인의 체격을 기초로 한 것이라는 것에 있다. 구미인의 체격은 한국인의 체격과는 많은 차이를 보이고 있으므로, 한국인에 맞는 제품의 설계에는 부적합하다고 할 수 있다. 또하나의 내재된 문제점은 이러한 인체모델이 제품의 설계와 평가에 유용한 도구라는 것을 인식하면서도 이에 대한 전체적인 Framework이 없이 시스템을 개발함에 따라 시스템의 확장, 변경시 많은 부담을 안게 되어, 그 유용성이 저하되고 있다. 따라서 확장성을 염두에 둔 전체적인 Framework을 구성하고 이에 맞추어 각 구성요소들을 개발하여 통합하는 작업을 통해 인체모델이 개발되고, 실제 현장에서 이를 적절히 이용가능하게 하는 방법론이 필요하게 되었다.

본 연구에서는 인체모델의 개발을 위해 Framework을 제시하여 이에 따라 각 구성요소인 Man Model, Workplace Modeller, 인간공학적 평가기능, 그리고 Knowledge Base를 구현하였다. 이 Framework은 각 구성요소들의 결합을 용이하게 하기 위하여 데이터베이스를 이용하였으며, 유연성과 확장성 측면에서 잇점을 가지는 객체지향적 데이터베이스를 채택하였다. 개발된 구성요소들을 Workplace Modeller에 결합하여 인체모델이 개발되었으며, Man Model의 생성과 조작, Workplace Modelling, Visibility와 Reach 평가기능, 그리고 설계원칙의 평가기능 등을 구현하였다. 개발된 모델은 데이터베이스를 이용하였으므로 새로운 구성요소들을 결합하기 용이하며, 사용성 측면에서도 기존 시스템에서 행해졌던 단순, 반복적인 작업을 감소시켜 더 효율적인 설계와 평가를 가능하게 하였다.

2. 인체모델의 Framework

인체모델은 크게 4가지의 요소로 이루어져 있다. 그림 1에 나타난 바와 같이 인체측정자료를 바탕으로 작업자를 표현한 Man Model과, Reach, Strength, Visibility 등을 평가할 수 있는 Ergonomic Evaluation Function, 인간공학적 지식들을 정리한 Knowledge Base, 마지막으로, 평가대상을 화면에 나타내고 조작할 수 있는 CAD 기능을 가진 Workplace Modeller로 이루어진다. 여기에서 주목할 만한 사항은 Workplace Modeller가 이러한 인체모델의 각 요소들을 결합하는 Frame 역할을 한다는 것이다. 즉, 각 요소들이 인체모델에 결합하기 위해서는 그 결합의 Frame이 있어야 하고

평가 대상에 관한 정보와 조작기능, 그리고 사용자와의 Interface가 Workplace Modeller를 통하여 이루어진다는 것이다. 또한 이 Framework 하에서는 데이터베이스를 통하여 모든 구성요소들의 결합이 이루어진다는 특징을 가지고 있다. 각 요소간의 결합이 단순히 프로그램상의 결합이 아닌 데이터베이스를 통하여 모든 데이터가 관리되고, 필요한 경우 해당 데이터가 전달되어 요소들간의 결합이 이루어진다. 따라서 데이터베이스의 설계가 중요한 의미를 가지며, 사용하는 Scheme에 있어서도 표현력, 확장성 등을 고려한 선정이 이루어져야 한다.

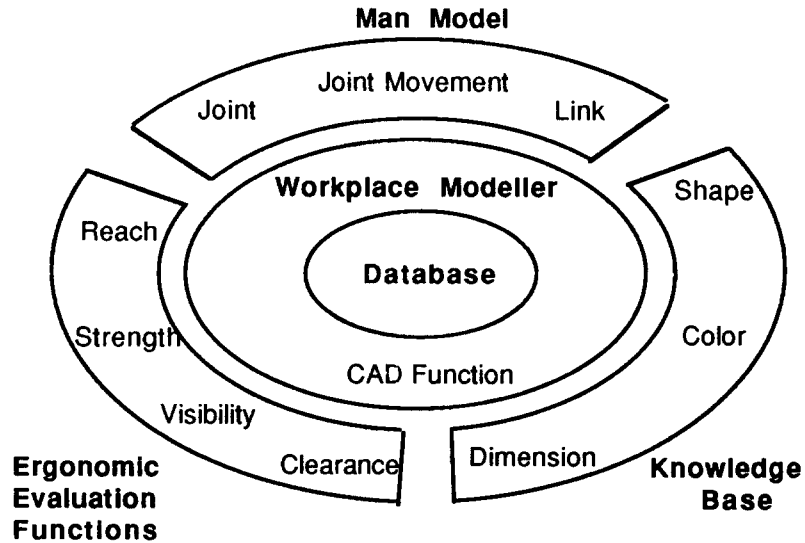


그림 1. 인체모델의 Framework

제시한 Framework에서 보는 바와 같이 인체모델의 개발에 있어서 데이터베이스의 구축은 기본적인 절차이며, 이에 단순히 인체측정자료 데이터베이스(Anthropometric Database)에 관한 것 외에도, Workplace Modeller를 위한 데이터베이스, Knowledge Base를 위한 데이터베이스, 그리고 인간공학적인 평가기능을 위한 데이터베이스등이 있다. 각 구성요소들은 방대하고 다양한 종류의 데이터를 이용하게 되며 효율적으로 이를 이용하기 위해서는 시스템의 표현력, 확장성, 사용성 등을 고려한 데이터베이스 Scheme의 선정이 이루어져야 한다. 일반적으로 사용되는 관계형 데이터베이스에서는 단순한 2차원적 Table형태의 자료구조만을 지원하고, 다양한 Database Schema의 변화를 지원하지 못한다는 점등이 단점으로 지적된다. 이에 반해 객체지향적 데이터베이스는 Class 자료구조를 이용하여 다양한 현실세계를 쉽게 표현할 수 있고 자료구조의 변화를 쉽게 반영할 수 있다. 가장 특징적인 면으로는 자료와 그의 처리과정을 같이 소유하고 있다는 것으로 이는 Method를 이용하여 구현된다. 그리고 이용자가 정의한 자료형태등 다양한 자료형태를 지원할 수 있다.

따라서 본 시스템과 같이 자료구조가 복잡하고 변화가 많은 시스템을 설계하는 데에는 자료의 표현력과 확장성이 뛰어난 객체지향적 데이터베이스가 적합하며, 추후 발생하는 변경사항에 대해서도 유연히 대처할 수 있는 장점을 가지며, 자료에 결합된 응용 프로그램인 Method는 프로그램의 재사용성을 높여준다. 또한 객체지향적 데이터베이스에서 제공하는 Trigger는 Knowledge Base를 구성하는 주요 요소가 된다.

3. 인체모델의 구성요소 개발

Man Model의 개발

본 연구에서는 인체를 몸통부분을 L5/S1을 기점으로 두부분으로 나누는 방식을 취했고, 인체를 15개의 지체로 구분하였다. 구분된 각 지체에 대하여 몸통부분과 목, 어깨, 고관절 부분이 3개의 자유도를 가지고, 팔꿈치와 무릎은 2개의 자유도를, 손목과 발목은 하나의 자유도를 가지는 것으로 정의하였다. 또한 각 자유도간의 유기적인 연결을 위하여 Robotics에서 Kinematic Relation의 표현에 흔히 쓰이는 Denavit-Hartenberg Notation을 도입하여 인체의 회전축들을 표현하였다. Denavit-Hartenberg Notation의 장점은 두개의 Link를 4개의 Parameter만으로 표현할 수 있다는 것이며, 이 4개의 Parameter는 하나의 변환행렬(Transformation Matrix)을 이루어, 이 행렬들의 곱으로 모든 회전축의 방향과 각 회전축의 원점을 산출할 수 있다.

Workplace Modeller의 개발

기존의 시스템에서 사용되고 있는 Workplace Modeller는 Graphical한 측면보다는 인간공학적인 평가에 그 주안점을 두어왔다. 따라서 작업자를 단순화된 Wireframe으로 나타내고 Shading과 같은 Visual Enhancement 등도 고려되지 않았던 것이 사실이다. 그러나 Hardware의 급속한 발달에 힘입어 작업자의 형상도 더욱 현실에 유사하게 표현되고 있으며, Solid Modelling을 기초로 한 시스템들이 나타나고 있다. 그러나 현재의 시스템에서는 여전히 설계자들이 사용하기에는 많은 단순, 반복적인 작업들로 인하여 Workload가 많이 부가된다는 단점을 가지고 있다. 따라서 설계자들이 더욱 쉽게 사용할 수 있고, 반복적인 작업들을 줄여 사용하기 용이한 시스템의 필요성이 높아지게 되었다. 또한 작업자를 형상화한 Man Model이나 여타 인간공학적인 평가기능과의 유기적인 결합 또한 간과할 수 없는 점이다. 따라서 이미 설계자가 사용하기 편리하고 타 구성요소와의 결합을 용이하게 하는 전체적인 Frame으로서의 Workplace Modeller에 대한 방법론과 구체적인 Scheme들이 발표된 바 있으며(신용탁 외 2인,

1994), 본 연구에서는 이를 보완하고 다 구성요소들의 결합하여 인체모델을 구현하였다.

Knowledge Base의 개발

인체모델은 설계시 가장 중요하다고 여겨지는 인체측정치(Anthropometry)에 관한 평가가 쉽게 이루어 질 수 있을 뿐만 아니라 시야(Visibility), 동작한계(Reach), 적합성(Fitness)등을 평가할 수 있다. 그러나 지금까지 개발된 많은 인간공학적 평가기법들이 인체모델에 포함되었음에도 불구하고, 이를 현장에 적용하기 위해서는 설계자가 인간공학에 대한 기본지식들을 이해하고 적용할 수 있는 능력이 있어야만 인체모델의 적절한 사용이 가능하다는 것에 문제점이 있다. 즉, 문헌상에 나타난 많은 인간공학 지식들이 구체화되어 인체모델에 구현되어 있지 않기 때문에, 이러한 부분에 대해서는 설계자에 따라 설계되며, 추후 평가를 통해서만 개선이 가능하다는 것이다.

따라서 여기에서는 기존의 설계지식, 예를 들면 치수(Dimension), 허용여유(Clearance) 등과 같은 사항들을 포함시켜 평가하고자 하며, 객체지향적 데이터베이스에서 제공하는 Method와 Trigger가 중요한 역할을 하게 된다. 이미 이 부분에 대한 방법론은 발표된 바 있으나(강동석 외 2인, 1994), 발표된 내용에서는 Trigger를 정의하여 데이터베이스 내에서의 설계원칙 평가를 나타내었으나, 본 연구에서는 이를 더욱 확장하여 Workplace Modeller와 결합된 형태로 형상화된 Model에 대한 평가를 Workplace Modeller에서 가능하게 하였다.

인간공학적 평가기능의 개발

본 시스템에서의 인간공학적 평가기능은 크게 Reach와 Visibility로 요약된다. 이에 대해서는 기존의 연구들이 다수 존재하므로 이들 중 적합한 것들을 선택하여 본 시스템에 구현하였다.

먼저 Reach에 대해서는 Jung et al.(1993)에 의해 발표된 Inverse Kinematics를 이용한 기법을 이용하였다. Target Point를 입력으로 하여 Robotics에서 주로 사용하는 Kinematic Chain을 이용하여 상지와 하지를 모델링한 후 이를 만족하는 해를 구하는 방식을 취한다.

Visibility에 대해서는 MIL-STD에서 제시하는 바와 아울러 배경조건에 따른 Stationary Field, Eye Field, 그리고 Head and Eye Field(정의승 외 3인, 1994)를 고려하여 구현하였다.

구성요소들의 결합

앞에서 언급한 바와 같이 Workplace Modeller는 인체모델의 각 요소를 결합하는 Frame의 역

할을 하며 그 기능들이 이 Workplace Modeller를 통하여 구현된다. 그림 2에 각 요소들의 결합방법이 요약되어 있다.

Man Model의 경우 사용자의 특정 Gender, Age, Percentile에 대한 Man Model 생성요구에 따라 Workplace Modeller는 인체측정자료에서 Joint, Link의 길이, Segment의 정보들을 Man Model을 통해 전달받고, 이를 바탕으로 Workplace Modeller가 Man Model을 형상화 시킨다. 생성된 Man Model은 사용자의 Joint Angle의 변경(Abduction, adduction, flexion, medial/lateral rotation)으로 운용 가능하다. 또한 사용자가 생성한 Solid를 Object로 등록할 경우 Workplace Modeller는 Object에 대한 정보를 데이터베이스에 저장하게 되고 이때 Trigger가 동작한다. Knowledge Base에서 Constraint를 만족할 경우 Object에 대한 정보는 Database에 저장이 되고, 만약 Constraint를 만족시키지 못할 경우 이는 Workplace Modeller를 통하여 사용자에게 전달된다.

Ergonomic Evaluation Function과의 결합방식에 있어서 Workplace Modeller는 Ergonomic Evaluation에 필요한 정보들을 각 요소로부터 추출하고 이를 Evaluation Function에 제공하며 평가의 결과를 사용자에게 제시하는 역할을 한다. 즉, Workplace Modeller내에서 사용자로부터 평가요구가 발생하면 Workplace Modeller는 이 평가에 필요한 자료 즉, Man Model로부터 Operator에 관한 정보와 데이터베이스에서 평가대상에 대한 정보를 준비하고 이 자료를 바탕으로 Ergonomic Evaluation Function에서는 평가가 이루어지며 이 평가의 결과가 Workplace Modeller를 통하여 사용자에게 제시된다.

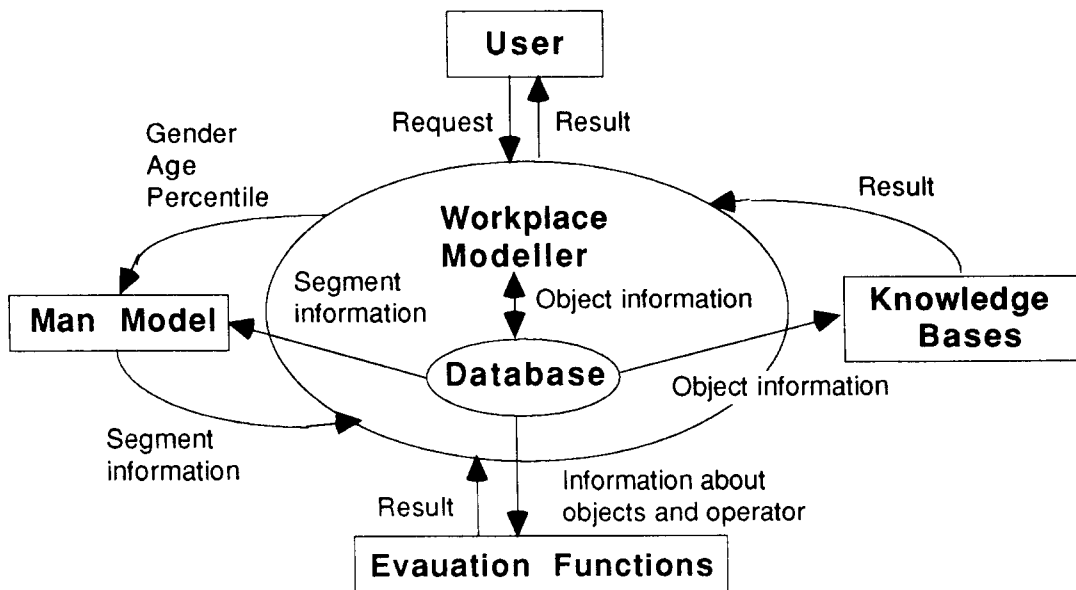


그림 2. 구성요소들의 결합방식

4. 구현

전술한 내용에 따라 전체 시스템을 구축하였다. 개발된 시스템에는 작업환경을 표현하는 Workplace Modeller와 작업자를 모델링한 Man Model, 인간공학적 평가기능, 그리고 Knowledge Base가 결합되어 있다. 단 현재 Knowledge Base에 저장되어 있는 내용은 Pushbutton에 대한 것으로 한정되어 있으며 여타 지식에 대해서는 보완이 이루어질 것이다. 개발된 시스템의 구현 예가 그림 3에 나타나 있다.

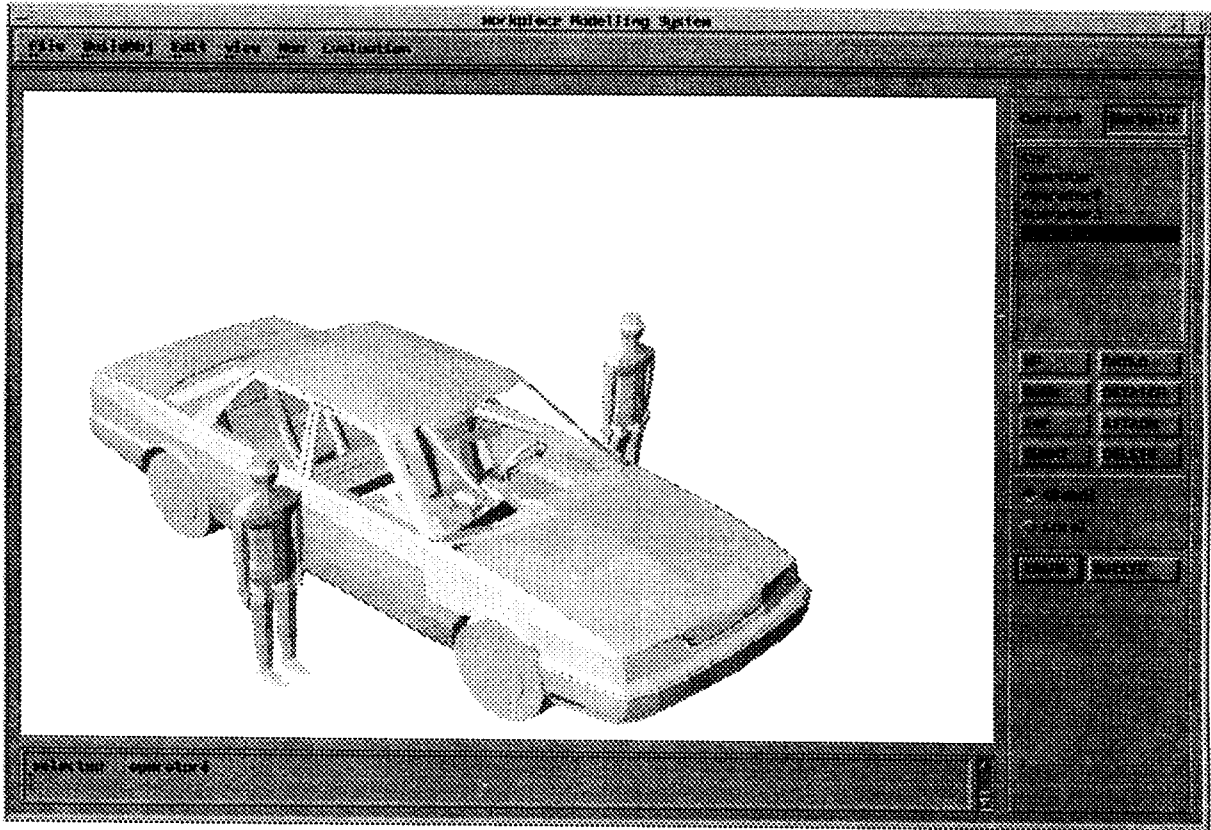


그림 3. 개발된 시스템 화면의 예

그림 3에 나타난 바와 같이 전체적인 메뉴 구성은 화면 상단에 위치한 Pulldown 메뉴와 우측에 위치한 Object Manipulation 메뉴, 그리고 하단에 위치한 Message Window로 이루어져 있다. 우측의 메뉴들은 Object들의 Hierarchy를 설정하기 위한 것으로 상단에는 현재 Level의 이름과 동등한 Level의 Object 이름들이 표시된다. UP, DOWN, TOP Button들은 Hierarchy Navigation을 위한 기능들이고, 나머지 Button들은 Hierarchy에 Object를 추가, 결합, 삭제하는 기능들이다. 또한 하단의 Message Window는 현재 작업에 대한 시스템의 상태나 Error Message를 출력하여 준다.

평가대상인 Workplace를 구성하기 위해서는 먼저 Primitive나 Sweeping을 이용하여 기본모델을 구성해야 한다. 이러한 Object들은 Register 메뉴와 우측의 메뉴들을 이용하여 Hierarchy에 등록된다. Hierarchy 메뉴에서 대상 이름을 선택하면 해당 Object의 색깔이 변하게 되어 설계자에게 Feedback를 제공한다. Workplace가 구성된 후에는 작업자를 모델링한 Man Model을 생성하여 인간공학적 평가들을 수행할 수 있다. Man 메뉴를 이용하여 특정 체형의 작업자를 생성하여 적합한 위치에 이동시키고 JointMove 메뉴를 이용하여 작업하는 자세를 취하게 할 수 있다.

개발된 시스템에서 사용가능한 인간공학적 평가기능으로는 Visibility, Reach, 그리고 Clearance 등을 들 수 있으며, 이를 이용하여 작업자의 시야를 평가하여 중요 계기들이 Visual Field내에 위치하는지를 살펴볼 수 있고(그림 4 참조), Reach 기능을 이용하면 Control에 손이나 발이 위치할 수 있는지를 평가할 수 있다. 또한 다양한 체형의 사람을 형상화하여 설계대상의 여러 항목들을 결정할 수 있다. 예를 들어 좌석의 Sliding 정도를 결정할 경우 체격이 큰 사람과 작은 사람을 해당위치에 앉힌 후 페달 조작성이나 계기판 조작성, 그리고 시야 등을 평가하여 적합한 범위를 선정할 수 있다. 또한 운전자가 착석해 있는 경우 머리에서 천정까지의 거리, 핸들과 허벅지간의 여유공간 등 Clearance를 알 수 있어 여러 치수들의 결정에 도움을 줄 수 있다.

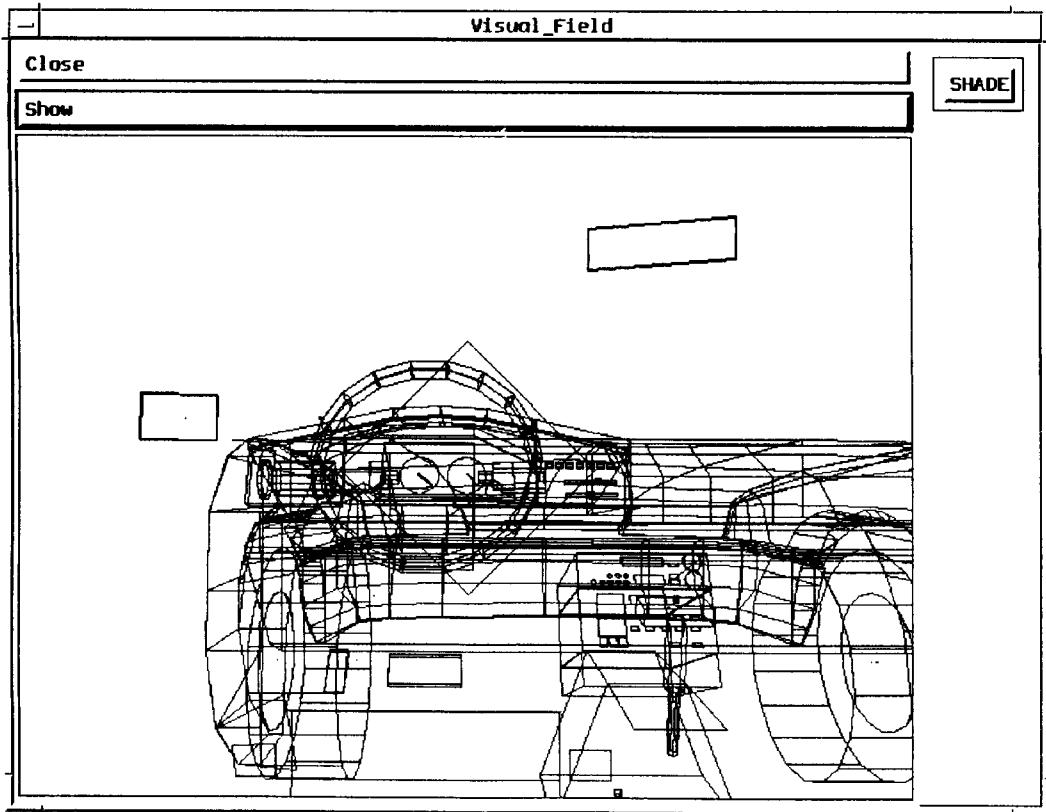


그림 4. 생성된 Visual Field의 예

현재는 그 기능이 미약하지만 구축된 Knowledge Base를 이용하면 간단한 형상에 대해서는 평가가 가능하다. 개발된 Workplace Modeller에서는 하나의 Object를 생성할 경우 이를 등록하는 과정을 거치게 되어 있고, 이때 이 Object의 Type을 입력하게 되어있다. 따라서 이 Object가 Control Type의 Pushbutton일 경우 이에 해당하는 Knowledge Base의 자료를 찾아 평가하고 그 결과를 사용자에게 나타낸다.

5. 결론 및 추후연구

본 연구에서는 제품설계 초기단계에서 인간공학적 평가를 가능하게 하는 인체모델개발의 전체적인 Framework을 제시하였다. 그리고, 이러한 Framework 하에서 Workplace Modeller를 개발하였으며 개발된 시스템은 기존의 평가 모델에 비해 사용성과 확장성 측면에서 많은 개선이 이루어진 것으로 나타났다. 또한 개발된 Workplace Modeller가 인체모델의 각 요소들을 어떻게 유기적으로 결합시키는가에 대한 방법론을 제시하였으며 제시한 방법론에 의해 Man Model과 Knowledge Base를 결합시켰으며 Reach, Visibility 등의 Ergonomic Evaluation Function을 이에 구현하였다.

개발된 모델은 제품의 설계단계에서부터 인간공학적 평가를 가능하게 할 뿐만 아니라, 기타 모델들과는 달리 한국인의 체형을 기초로 한 것이므로 국내에서 사용되는 제품의 설계에 직접적으로 사용될 수 있고, 새로운 평가기능을 구현해야 할 경우에도 이를 쉽게 수용할 수 있다는 장점을 보유하고 있다.

추후 연구방향으로는 팔이나 다리의 Reach 뿐만이 아닌 Whole Body Prediction Model을 구현하여 Simulation의 효과를 낼 수 있는 기능을 갖추는 일과 Strength Analysis, Biomechanical Analysis 등을 구현하여 작업자에 대한 보다 심도있는 분석기능을 갖추는 일 등이 이루어져야 하겠다.

6. 참고문헌

강동석, 신용탁, 정의승, "인간공학적 설계기식의 평가를 위한 Knowledge Base의 개발", 추계대한산업 공학회지, 1994.

국방과학연구소, 인간공학적 무기체계 설계지침, 1994.

정의승, 기도형, 강동석, 신용탁, "배경조건에 따른 Visual Field에서의 Stationary Field의 변화", 춘계대한산업공학회지, 1994.

한국표준연구소, 국민표준체위조사보고서, 공업진흥청, 1986.

Department of Defense, MIL-HDBK 759A , 1981.

Jung, E.S., Kang, D.(1995). An Object-oriented Anthropometric Database for an Ergonomic Man Model. *International Journal of Industrial Ergonomics* Vol. 15, No. 2.

Jung, E.S., Kang, D., and Shin Y.(1994). The Development of an Workplace Modeller for an Ergonomic Evaluation Models. In *Proceedings of the 3rd Pan-pacific Conference on Occupational Ergonomics*(pp. 346-350). Seoul, Korea.

Jung, E.S., Kee, D., and Chung, M. K. (1992). Reach Posture Prediction of Upper Limb for Ergonomic Workspace Evaluation. In *Proceedings of the Human Factors Society 36th Annual Meeting*(pp. 702-706). Atlanta(Georgia).

Karwowski, W., Genaidy, A., and Asfour, S.S. (1990). *Computer-Aided Ergonomics*. London, Taylor & Francis.

Kim, W. (1991). *Introduction to Object-Oriented Databases*. Cambridge, mass., The MIT Press.

Porter, J.M., Case, K., and Bonney, M.C.(1991). Computer Workspace Modelling. In *Evaluation of human work, a practical ergonomics methodology*(pp. 472-499). Taylor & Francis.