

작업장 개선을 위한 인간공학적 전문가 시스템의 개발과 적용⁺

정 의 승*

Application of an Ergonomic Expert System to Workplace Design

Eui S. Jung*

Abstract

An expert system was developed as a framework of integrating diverse and multifactored ergonomic knowledge to investigate its effectiveness in ergonomic workplace design and evaluation. Although numerous computer-assisted approaches have been made to overcome the lack of integrated design principles, those models being used require very specific information of various design activities that may not be available in the design stage. On the other hand, an expert system would be an effective design aid that is capable of guiding the designer to solve a problem. However, most expert systems lack detailed evaluation capabilities due to a qualitative nature of inference mechanisms. Furthermore, those approaches were independently developed, focusing mostly on a single aspect such as biomechanics, physiology, etc.

In this paper, a design framework was developed which takes advantage of expert system methodologies, a relational data base and existing ergonomic models. The pattern-directed, rule-based expert system allows the designer to gradually formulate and subsequently evaluate workplace design. A comprehensive and modularized knowledge base was built incorporating biomechanics, physiology and psychophysics, which is, in turn, capable of accessing not only qualitative knowledge but complex analytic evaluation models and massive information in the data base through an interface. A conflict resolution strategy using multiple criteria decision-making schemes was also employed to reconcile multiple design alternatives.

⁺이 논문은 1989년도 문교부 지원 한국학술진흥재단의 신진교수 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

*포항공과대학 산업공학과

1. 서 론

산업현장에서 설계의 적정성 평가에 관한 연구는 여러 분야에서 관심의 대상이 되어왔다. 특히 작업 환경의 설계는 관련 분야가 다양하여 어느 한 학문 분야의 특정 연구 대상이라고 볼 수 없다. 따라서 여러 각도에서 생산성과 작업능률을 제고 시키기 위하여 연구 결과들이 얻어 졌으나 시간적, 경제적 제약 조건 때문에 설계시에 재 요소를 고려하는 것이 힘든 실정이다[7]. 오늘날 설계과정이 점차 복잡해 지고 다양해 짐에 따라 설계자가 모든 관련지식을 소유하는 것이 불가능해지고, 특히 기계적인(혹은 공학적인) 요소에 치중함으로써 작업자를 고려하지 못하는 사례가 증가하고 있어 재설계에 따른 시간적 손실과 경제적 손실이 증가하고 있다[4].

작업자의 작업능률과 생산성에 관하여 많은 연구들이 이루어져 왔으며 여러가지 Handbook 또는 도표의 형태로부터 복잡한 분석모형에 이르기까지 다양하다. 그러나 이러한 연구결과를 종합하여 하나의 틀(Framework)안에 포함시키려는 노력이 이루어지지 않았고 따라서 설계자들에게 설계상황에 맞는 연구결과를 효과적으로 제시하기 어려운 것이 현실적인 실정이다. 예를 들면, 피로 또는 허리병, VDT를 이용함에 따른 눈의 피로도가 증가하고 있고 생산성의 감소를 불러오고 있으나 이를 설계에 효과적으로 반영하지 못하고 왔다[10].

이러한 현상은 몇가지 이유로부터 기인하는데 첫째 작업자를 고려한 설계를 위한 분야로서의 인간공학 분야가 매우 다양하여 제 전문지식을 갖춘 설계자가 부족한 때문이다. 특히 우리 나라에는 전문가의 수가 절대적으로 부족하며, 둘째 각 분야의 연구 결과가 효율적으로 종합되어 설계자가 쉽게 이용할 수 있는 형태로 축약되어 있지 않다는 점이다. 예를들면 생체역학적인 지식과 작업심리학적 지식을 함께 고려할 수 있는 전문서적이 거의 없는 실정이다. 셋째, 이 전문 지식을 이용하기 위해서

는 방대한 기초자료가 필요하다. 예를 들어 인체에 적합한 기구 및 작업장을 설계하기 위해서는 인체자료(Anthropometric Data)가 필수적이며 신체에 관련된 자료, 즉 무게 중심, 지체의 길이, 크기 등만 하더라도 자료의 양이 방대하다. 마지막으로 이러한 자료가 준비되었다 하더라도 설계기간의 제약때문에 충분한 고려가 어렵다. 따라서 결과적으로는 각 설계안의 인간공학적 중요성 평가가 이루어 지지 않고 문제가 발생함에 따라 재 설계를 하게 되는 실정이다[5].

지금까지 이러한 문제점을 해결하기 위하여 컴퓨터를 이용한 분석기법의 개발이 이루어져 왔다. 작업시야(Visibility), 작업반경(Range of Motion) 등의 분석을 위한 SAMMIE시스템, 인체 근력과 연관하여 작업자의 작업부하를 평가하는 생체역학 모형, 생리학적 부하를 측정할 수 있는 Garg의 모형등이 그 예이다[6]. 이러한 모형들은 특정 연구 분야의 결과들만을 기초로 개발되었기 때문에 종합적인 고려가 이루어지기 어려우며 또한 사용자는 설계단계에 따른 적절한 지식의 적용을 필요로 하고 있으나 위의 모형들은 구체적인 자료가 마련된 설계말기에 이용 가능하여 설계초기에는 보다 일반적인 설계지식이 요구되는데 이를 적절히 수용하기 어려운 실정이다. 따라서 설계초기부터 인간공학적 인 지식을 이용한 설계가 가능토록하며, 설계가 진행됨에 따른 구체적인 설계안을 평가할 수 있는 종합적이고 유연한 시스템의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 이러한 기존의 지식을 효율적으로 이용하기 위한 틀(Framework)으로써 인공지능 및 전문가 시스템 기법을 도입하였다. 그러나 이 기법을 도입하기 전에 인간공학설계분야의 지식들이 전문가 시스템을 적용하기에 타당한 가에 대한 검증이 우선되어야 하며, Tirupathikumara et al. [12]은 전문가 시스템기법의 적용이 효과를 가져올 공학분야의 대상을 다음과 같이 요약 하였다.

1. 대상분야가 공학적으로 정형화되기 어려운 분야

2. 정형화는 가능하나 대안의 수가 많은 분야
 3. 대상분야의 지식이 광범위하고 지식의 양이 방대하여 선택적으로 이용되어야 하는 분야
 인간공학적 설계 분야는 상기 요건을 충족시키며 특히 개발하고자 하는 전문가 시스템은 다음과 같은 요건을 만족 시켜야 한다. 첫째, 인간공학적 설계와 분석의 기초가 되는 인체자료의 데이터 베이스를 갖추고 있어야 하며 둘째 고려요소의 연구 결과를 Knowledge Base(특히 Declarative Knowledge)에 담아야 하여 주어진 설계조건에 따라 적합한 정보를 효율적으로 찾아줄 수 있는 지식(Procedural Knowledge)을 갖추어야 한다. 셋째, 인공지능언어가 가지고 있는 단순한 추론과정뿐 아니라 지식 표현 체계에 맞는 추론 체계의 구축이 요구된다. 즉 정성적인 정보뿐만 아니라 정량적인 분석 기법에서 얻어질 수 있는 상세한 정보까지를 포함한 다양한 추론이 요구된다. 또 주어진 정보에 따라 최적 설계안을 도출할 수 있는 시스템의 추론 과정(Default Reasoning)이 사용자에게 명료하게 전달되어야 한다.

2. 시스템의 개요

전술된 바와 같이 인간공학적 설계요건을 충족시킬 수 있는 전문가 시스템을 개발하기 위하여는, 원하는 정보를 효율적으로 선택할 수 있어야 하며, 주어진 작업 설계에 따른 최적의 설계원칙을 유도하며, 시스템의 설계원칙 도출과정을 사용자에게 전함으로써, 설계자들에게 인간공학적 지식을 전수할 수 있어야 한다.

또한 이 시스템은 인간공학 분야의 고유한 특성을 고려하여 개발되어야 하는데 자료와 문헌조사에 따라 다음과 같은 특성이 도출되었다.

- (1) 현재 대부분의 인간공학 관련 정보는 작업 환경 특성에 따라 선별적으로 사용되어야 한다(Uncertainty)

- (2) 요구되는 정보 또는 전문지식은 인체자료(Anthropometric Data)나 표(Table Lookups)등의 많은 양의 정보를 요하며 따라서 Database기능을 동시에 수행하여야 한다.

- (3) 생체역학이나 작업생리학등 각기 다른 기능을 통합할 수 있는 의사결정모형(Decision Making Scheme)을 포함하여야 한다.

- (4) 상기 정보들을 간단한 IF-THEN 형태의 Deduction뿐 아니라 작업부하를 결정하기 위한 분석모형(Complex Analytic Model)을 아울러 필요로 한다.

따라서 본 연구에서 설정된 구체적 연구방향은 다음과 같다.

- (1) 인공지능이나 전문가 시스템의 방법론을 적용하여 인간공학의 다양한 계분야를 통합할 수 있는 Framework을 구축한다.

- (2) 생체역학, 작업생리학등의 인간공학의 지식을 문헌으로부터 도출하여 시스템에서 이용 가능한 형태(Knowledge Base화)로 만든다.

- (3) 요구되는 수학적 모형들(Analytic Models)과 Database를 함께 이용할 수 있도록 시스템에 Link시킨다.

- (4) 인간공학적 작업설계요소를 도출할 수 있는 Interface Mechanism과 이를 사용자에게 설명할 수 있는 User Interface를 개발한다.

그리고 이러한 연구방향에 따라 개발된 시스템은 인간공학분야중 작업장 설계와 관련된 다음과 같은 설계요소를 포함하며 각 분야는 모듈화 되어있다.

- (1) 생체역학적 고려요소
 (Biomechanical Factors)
 Static and dynamic strength requirements
 Lowback compressive forces
- (2) 작업생리학적 고려요소
 (Work Physiological Factors)

Metabolism

Cardiovascular demands

(3) 작업심리학적 고려요소

(Psychophysical Factors)

Posture demands

Reach profile

상기 고려요소들은 각기 인간공학적 기초자료들을 요구하며 이 지식들을 종합하여 시스템에서 이 용가능한 형태로 Knowledge base화 하였으며, 본 시스템은 이 정보들을 그 성격에 따라 크게 다음과 같은 두가지 형태로 분류하고 있다.

(1) 작업자 관련 정보

(Worker-related Information)

Age

Gender

Physical fitness

Anthropometric dimension

Muscular strength/endurance

(2) 작업 관련 정보

(Task-related Information)

Posture demands

Reach profiles

Frequency and duration

Workspace geometry

또한 작업장 내의 작업환경을 설계하고 Simulation하기 위해 먼저 인체모형을 개발하여 작업과의 연관관계를 파악하고자 하였으며, 이 기초 인체모형은 작업자의 연령, 성별, 신체조건 등의 특성에 따라 변환 가능하며 크게 세가지 분류에 따라 작업부하를 결정한다. 첫째, 인체 각 부위(관절 부위)에 걸리는 부하의 인체근력을 포함하는 생체역학적 고려와, 둘째 작업의 난이도와 빈도에 따른 생리학적 고려 그리고, 셋째 작업자가 인지하는 작업부하의 고려등이다. 생체역학적 고려요소의 대표적인 예로 척추(L5/S1)에 걸리는 Compressive Force를 들 수 있으며 이는 직업적인 허리병(Disc Hernias)을 예방하는 지표로 사용된다.

3. 시스템의 구조

인공지능 연구로부터 전문가 시스템 개발에 관한 다양한 기법이 개발되어 왔으며 크게 몇가지 구조로 대별되고 있으나 시스템 설계에 있어서 정형화된 최적의 구조는 아직 확립되지 않고 있다. 전문가 시스템이라는 용어가 나타내고 있듯이 시스템의 성공여부는 적용분야 지식체계의 효율적 구축에 있다고 할 수 있다. 따라서 시스템의 구조는 대상분야에 따라 선택되어야 하며 크게 두가지로 대별될 수 있다. Interpretation, Analysis, Diagnosis 등이 관련된 시스템은 구체적 상황(Detailed State)으로 부터 추상적 개념(Abstract State)을 얻어내는 추상화(Abstraction)과정이며 의학계통의 시스템이 이에 속한다. 반면에 Design이나 Planning과 관련된 시스템은 추상적인 개념으로부터 구체적인 상황을 얻어내는 Generation과정으로서 Process Planning등이 이에 속한다. 일반적으로 Abstraction은 Rule-based Deduction이, Generation은 Frame-based Abstraction이 효율적인 것으로 연구결과가 얻어지고 있다[13].

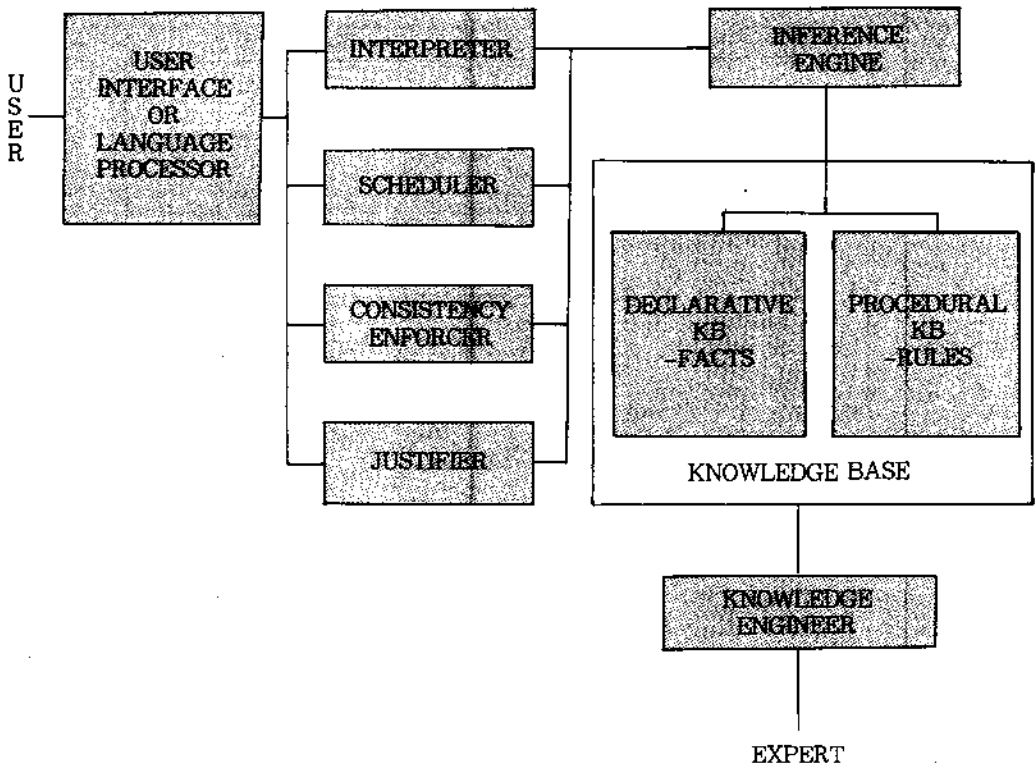
그러나 인간공학적 설계는 위의 두 과정을 모두 거쳐야 하는데 설계 초기에는 Generation과정이 필요하며 설계대안의 평가를 위해서는 Abstraction과정이 요구되게 된다. 따라서 시스템 구조의 주안점은 적용분야의 Module화와 지속적인 확장성(Expandability)에 있다고 할 수 있으며, 본 시스템의 개발을 위하여 Pattern-Directed Rule-based System이 도입되었다. 이는 사용자에게 시스템의 추론을 명료(Clarify)하게 전달(Transparency)할 수 있다는 장점을 가지고 있어 시스템의 개선 및 보완을 용이하게 한다. 일반적으로 전문가 시스템은 [그림 1]에서 나타나는 부분(Component)들을 갖추어야 하나 거의 모든 기존의 시스템은 이들의 부분으로 이루어져 있다[11].

이 구조에 기초하여 전문가 시스템을 개발하는 것은 크게 지식베이스(Knowledge Base), 추론 체

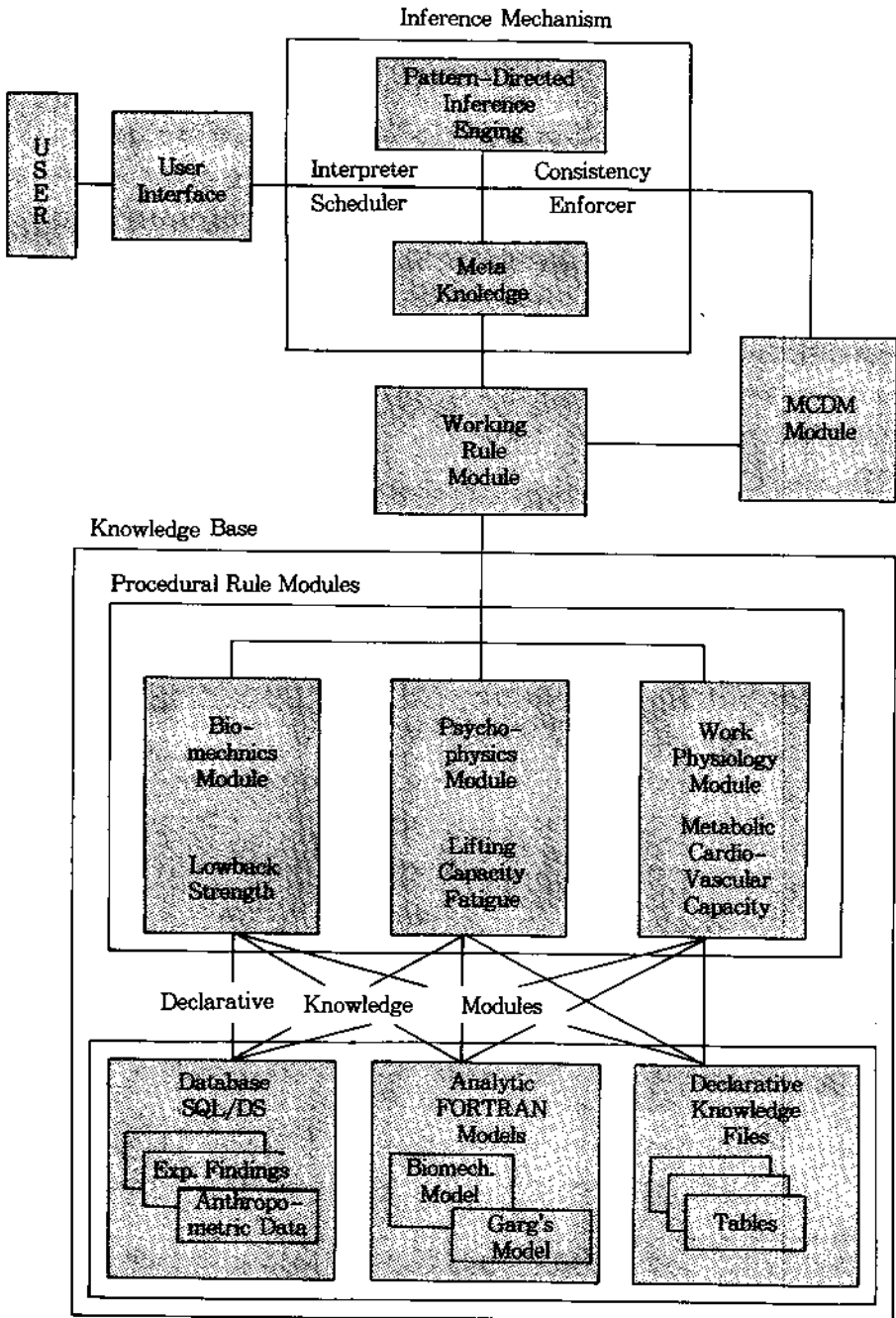
계(Inference Mechanism), 사용자 인터페이스 (User Interface)를 구축하는 것이다. 다시 지식 베이스는 크게 Declarative Knowledge Base와 Procedural Knowledge Base로 나뉘는데 Declarative Knowledge Base는 NIOSH Guidelines와 같은 특정 설계원칙을 보유하게 되며, Procedural Knowledge Base는 설계원칙들이 가지고 있는 가정이나 특정 적용상황을 담고 있어 설계 변수에 따라 적절한 설계원칙을 도출해 낼 수 있는 지식을 보유하게 된다.

상기 언급된 바와 같이 인간공학적 설계는 방대한 인체자료를 기초로 하고 있으며 이는 Know-

ledge Base에 이를 담고 있으며 주 추론 체계의 속도를 저하시키지 않고 필요시에만 효율적으로 원하는 자료를 얻을 수 있다는 장점을 지니게 된다. 또한 설계말기에 구체적인 설계대안을 평가할때는 복잡한 수학적 모형(주로 FORTRAN등으로 개발된 생체역학 모형등)이 필요하며 이 모형들은 Module화 되어 분리, 저장되고 있다. 따라서 필요 시에는 이 모형을 사용하기 위한 입력화일(Input File)을 구성함으로써 원하는 모형을 추론 체계에서 재이용하게 된다. 본 시스템의 구조가 [그림 2]에 나타나 있다.



[그림 1] 전문가 시스템의 일반적 구조



[그림 2] 인간공학적 전문가 시스템의 구조

4. 시스템의 구성

시스템의 구조에서 설명된 바와 같이 본 시스템은 Procedural Knowledge를 이용하여 설계조건에 맞는 지식을 담은 Module만을 Loading하게 되는데 각 정보는 그 성격에 따라 분류, 저장되어 있다. 따라서 FORTRAN을 이용한 기존의 분석 기법, SQL을 이용한 Database, Prolog를 이용한 주 프로그램 등이 System Interpreter를 이용한 System Interface와 연계되어 있다. 인공지능 언어로써 흔히 C, LISP, PROLOG등이 이용되고 있으나 본 시스템의 구축에는 타 언어와의 연계 및 Modularity의 장점을 살린 PROLOG가 이용되었다.

추론 체계 (Inference Mechanism)

본 시스템의 추론 체계는 전문가 시스템 Shell에 일반적으로 내장되어 있는 Inference Engine과 인간공학적 설계원칙의 도출에 적합한 Meta-knowledge, 결론 Knowledge Base내의 지식은 패턴화된 Rule의 형태를 가지고 있으며 다음과 같이 표현된다.

```
IF condition_part THEN action_part_1
ELSE action_part_2
```

condition_part는 설계조건의 Pattern을 검색하며 action_part는 다음과 같은 역할을 수행한다.

- (1) 시스템의 현황(Status)을 파악하기 위한 변수(Global Parameter)를 Flag한다.
- (2) 추론과정에서 얻어지는 새로운 지식을 입력한다.
- (3) Database내의 정보를 Menu를 통하여 검색하도록 한다.
- (4) 분석기법을 이용하기 위한 입력(Input)을 작성한다.
- (5) 설계를 위한 일반 정보를 제공한다.

외부 데이터베이스 (External Database)

인간공학적 설계원칙은 Psychophysical Guide-

lines로 부터 인체자료에 이르기까지 방대한 자료를 기초로 하고 있으며 이를 직접 지식베이스에 포함시키면 시스템의 지식이 증가됨에 따른 수행속도의 감소와 메모리의 한계를 야기한다. 따라서 외부 데이터 베이스의 동시적(Concurrent) 이용이 필수적이며, 본 시스템은 PROLOG와 SQL 사이의 Interface를 개발함으로써 이를 해결하였다. 이 Interface는 데이터 베이스에 요구되는 세가지 기능, 즉 Data Definition Statement, Data Insertion Statement, Data Retrieval Statement를 가지고 있다. 예를들면 흔히 요구되는 기능으로서의 CREATE와 SELECT 기능을 다음과 같이 수행하게 된다[3].

```
CREATE TABLE AYOUB_79
(LIGHT CHAR(6), SEX CHAR(6), POP
SMALLINT,
MAW_LB DECIMAL(5, 2) IN SQLDBA.
HF)
SELECT MAW_LB FROM AYOUB_79
WHERE SEX='MALE' AND POP=75
AND LIFTHT='F_TO_K'
```

상기 기능은 1979년에 발표된 Ayoub et al.[1]의 연구결과로 부터 가공재료의 최대 한계 중량을 얻어내게 되는 예이다.

FORTRN 및 C를 이용한 분석기법

일반적으로 기존의 전문가 시스템들은 일반적인 안내(Guidance) 또는 정성적인 조언(Advice)를 주는 데는 도움을 주나, 사용되는 인공지능 자체의 언어적 한계를 인하여 분석적이고 수학적인 문제 해결 능력을 결여하고 있다. 이는 인공지능 언어가 FORTRAN 또는 C등의 언어보다 계산능력(Computational Capability)이 뒤떨어짐에 기인한다. 그러나 기 개발된 생체역학 모형등은 작업장 설계에 중요한 역할을 담당하므로 이러한 분석 기법을 전문가 시스템의 추론과정에 포함시키는 역할을 담당하므로 이러한 분석 기법을 전문가 시스템의 추론

과정에 포함시키는 것이 필수적이다. 본 시스템은 이를 해결하기 위하여 PROLOG와 FOR-TRAN사이에 Interface를 통하여 모형의 입력 자료를 생성(Formulation)하게 된다.

MCDM(Multiple Criteria Decision Making)

인간공학적 설계과정은 그 자체가 하나의 의사결정과정으로 볼 수 있으며 상이한 설계원칙으로부터 상이한 설계안이 도출되는 경우 이를 각각의 중요성에 따라 종합하는 의사 결정과정이 요구된다. 이는 전문가 시스템 추론과정에서의 Conflict Resolution과정과 아울러 최적의 의사 결정을 가능하게 한다. 본 시스템은 이 의사결정과정을 돕기 위하여 MCDM 기법을 도입하였다. 예를 들어 Rule Base로부터 세계의 다른 Rule{X1, X2, X3}이 있을 때 이를 종합하기 위하여 Simple Additive Weighting Method를 이용하여 중요성 W_i 에 따라 결과치(Output Confidence Value)를 다음과 같이 얻는다.

$$D = \sum(X_i W_i) / \sum W_i$$

그리고 각각의 Rule이 다른 Attribute값 A,를 가지고 AND와 OR(Conjunctive and Disjunctive Rules)로 연결될 경우 $\text{Min}\{X_i\}$ 와 $\text{Max}\{X_i\}$ 를 택하게 되며 일반적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$D = \max_{A_i} \min\{X_i\}$$

그러나 각각의 Rule이 설계조건에 따라 그 중요성이 다르게 주어질 때는 Yager[4]가 제안한 Concentration과 Dilation Operation을 통하여 종합된다.

5. 인간공학적 Knowledge Base

작업자는 작업장 내에서 물건을 나르거나 의자에 앉아 Terminal작업을 하는 등의 여러가지 작업활동을 하며 각각의 활동은 신체적, 정신적 부하

(Physical and Mental Stress)를 가져온다. 이러한 부하는 작업자의 성별, 연령, 근력, 체형 등의 작업자변수(Operator Variables)와, 이동거리, 작업량 등의 작업변수(Task Variable)에 의해 좌우된다. 본 시스템은 이러한 작업조건에 따라 그리고 설계단계에 따라 작업자가 고려한 최적의 작업조건을 제시하게 된다. 예를 들면 설계 초기 단계에서 설계자가 설계조건을 구체화하지 않았을 경우 시스템은 작업자가 다루어야 하는 물류들의 일반적인 중량을 제안할 수 있다. 이는 대상 작업자의 신체 조건에 따라 결정될 수 있으며 설계자의 작업자에 관한 지식 정도에 따라 적절한 연구결과를 이용하게 된다. 설계자가 작업자의 연령층과 성별에 관한 지식만이 있다면 정확도는 떨어지나 ILO(International Labor Office)의 기준을 제시하게 되며 작업조건에 대한 정보를 아울러 갖고 있으면 이에 따라 더욱 정확한 기준을 다음과 같이 제시하게 된다.

```

IF      AGE and GENDER are known
THEN   use ILO_1962
IF      VERTDIST and HOR_DIST and
        GENDER and
        POPULATION are known
THEN   use ERGONOMIC_GUIDE_1970
IF      HOR_DIST and POPULATION are
        known and GENDER = 'MALE'
THEN   use Snook_1970
IF      HOR_DIST and FREQ and
        GENDER are known
THEN   use Ciriello_1983
IF      HOR_DIST and POPULATION and
        GENDER and FRE and BOX_SIZE
        are known
THEN   use Ayoub_1979
IF      HOR_DIST and VERT_DIST and
        FREQ and MOV_DIST are known
THEN   use NIOSH_1981

```

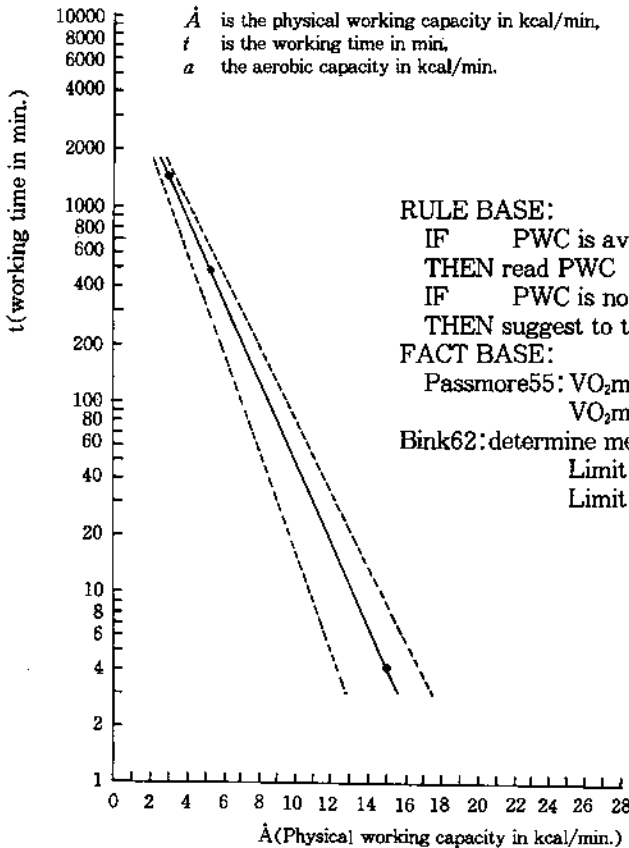

THEN 부분의 내용은 각기 다른 연구결과를 포함하고 있으며 각 연구결과들이 서로 상이함을 보이는데 이는 각 연구결과들이 얻어지게 된 고려요소들의 상이함에 기인한 것으로서 일반 설계자는 어떤 결과를 이용해야 하는지를 알 수 없으므로 시스템에서 대상작업의 성격에 따라 적절한 연구결과

를 선정하는 것이 중요하다. 또한 이 연구결과들은 각기 다른 형태로 저장되어 있으며 예를들면 1962년에 발표된 ILO기준은 다음의[그림3]과 같이 테이블의 형태를 갖는다.

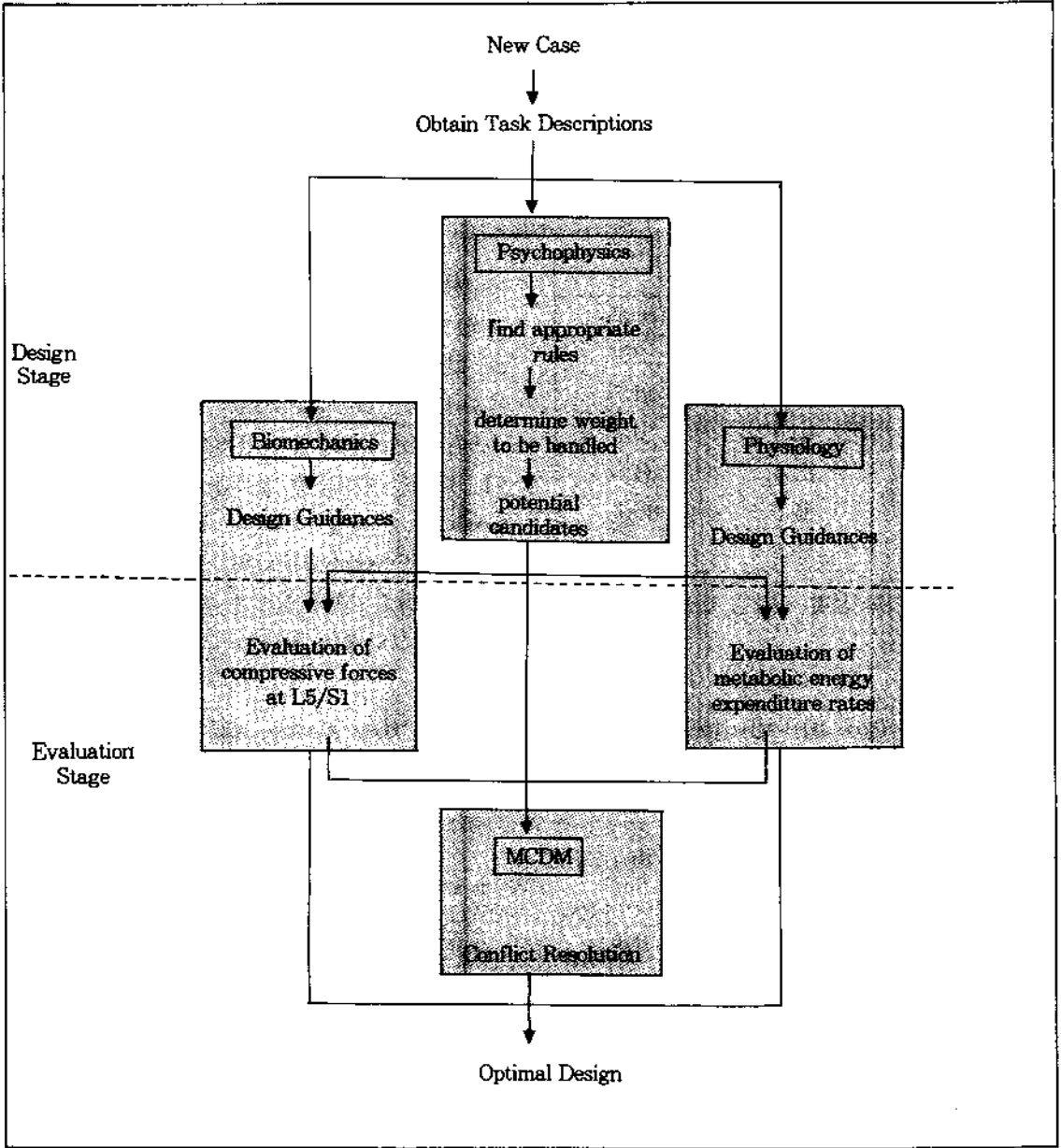
AGE	GENDER	
	male	female
14~16	14.6	9.8
16~18	18.5	11.7
18~20	22.6	13.7
20~35	24.5	14.6
35~50	20.6	12.7
50~	15.6	9.8

반면에 Bink[2]는 작업자의 생리학적 작업한계에 관한 연구를 발표했으며 이 연구 결과는 [그림 4]에서 보는 바와 같이 도표화 되어 있으며 본 시스템에서는 화귀식의 형태로 저장되어 있다. 또한 더욱 구체적인 정보가 이용 가능하면 University of Michigan의 3-dimensional Biomechanical Model이나 Garg의 Model등의 분석기법을 이용한 추론과정을 거쳐 상세한 설계를 가능하게 한다[4, 6]. 현재는 인간공학 분야중에서 생체역학(Biomechanics), 작업생리학(Work Physiology), 작업심리학(Psychophysics)의 세 분야의 설계지식이 Module화 되어 있으며 전체시스템의 Flow-chart는 [그림 5]와 같다.

[그림 3] 작업자의 성별, 연령별 물류의 한계중량 (kg)



[그림 4] 작업시간 및 연령별 생리학적 작업한계와 지식저장 상태



[그림 5] 시스템의 Flowchart

6. 적용사례

본 시스템의 효율성을 검증하기 위하여 인간공학 적 전문가 시스템의 개발에 관한 Karwowski et al.[9]의 논문에서 제시된 산업체 적용사례를 본 시스템에서 적용하였으며, 이를 다시 Kabuka et al.[8]이 개발한 전문가 시스템의 추론과정과 아울러 비교해 보았다.

Kentucky의 Louisville에 있는 식품가공공장에 서는 작업자들은 29kg 중량의 단위 식품들을 취급 하고 있으며, 이 작업은 Machine-paced 작업으로 서 평균적으로 개당 1분의 취급시간을 요한다. 현 재 작업자들은 30대의 건강한 남성들로서 과거 아무런 병력을 가지고 있지 않으나 피로증세를 보이 고 있다. 따라서 회사에서는 작업의 적정도를 인간 공학적으로 평가하고자 한다.

Karwowski et al.의 전문가 시스템에서의 추론 과정은 [그림 6]과 같으며 이 시스템에서는 작업 의 위험도(Risk of Task)가 Medium으로 추론되 었으며, 이는 작업자에게 과중한 피로(Excessive Fatigue)를 가져올 가능성이 있음을 제시하는 것 이다. 또한 이 사례를 Kabuka et al.의 시스템에 적용시킨 추론과정이 [그림 7]에 나타나 있으며 현재 작업량의 최대 허용 작업부하를 초과했으며 작업중량을 줄이는 것을 포함한 4가지의 제안이 얻어짐을 볼 수 있다.

이 사례를 본 시스템에 적용시키면 먼저 작업심 리학에 관한 지식(Psychophysical Module)을 검 색하여 적용가능한 4가지 연구결과를 제시하게 된 다.

1) Rule_ILO62:

IF GENDER= male, AGE= 35
THEN MAW= 54 lbs

2) Rule_EGUIDE70:

IF GENDER= male, POPULATION
= 50%, VERT_DISTANCE=floor
-to-knuckle,
HOR_DISTANCE=27in
THEN MAW=53lbs

3) Rule_SNOOK78:

IF GENDER= male, POPULATION
= 50%, VERT_DISTANCE=floor
-to-knuckle
THEN MAW=54lbs

4) Rule_AYOUB79:

IF GENDER= male, POPULATION
= 50%, FREQUENCY= 12,
VERT_DISTANCE = floor - to -
knuckle, BOX_SIZE= 14in
THEN MAW= 42lbs

이 결과들의 차이점은 각 연구들이 고려한 작업 변수(Task Variables)의 상이함에서 기인되는 것 으로 볼 수 있으며 이 중 한가지 추론 결과를 시스 템이 임의적으로 선택하기보다 이 모든 대안을 [그림 8]과 같이 각기 생체역학적 지식(Biomechanical Module)과 작업생리학적 지식(Physiological Module)을 이용, 평가함으로써 사용자에게 제 평가기준과 그 결과를 제시하게 한다. 이러한 세가지의 상이한 인간공학적 설계안 평가의 요약이 <표 1>과 같다.

<표 1> 인간공학 각분야의 설계안 평가

대안	작업심리학적 평가	생체역학적 평가	작업생리학적 평가
1	54lbs	1272lbs	4.00kcal/min
2	53lbs	1257lbs	4.04kcal/min
3	54lbs	1272lbs	4.00kcal/min
4	42lbs	1091lbs	4.42kcal/min

This expert system is designed to aid in the analysis of manual material handling tasks. The program can deduce TASK_RISK and OPERATOR_RISK. The TASK_RISK analyzes only the characteristics of the task and outputs the risk for an imaginary young healthy male. The result will be the EXPECTED RISK OF LOW BACK DISABILITY OR INJURY DUE TO OVEREXERTION FOR A PARTICULAR WORKER.

WHAT LOWER CONFIDENCE LIMIT DO YOU WANT? 0
WHAT PARAMETER VALUE DO YOU WANT TO DEDUCE? OPERATOR_RISK

FOR LOAD SIZE PLEASE CHOOSE FROM THE FOLLOWING SET: (LIGHT MEDIUM HEAVY)
LOAD SIZE? medium
INPUT CERTAINTY OF MEDIUM? 0.9

FOR HEIGHT OF LIFT PLEASE CHOOSE FROM THE FOLLOWING SET:
(FLOOR-TO-KNUCKLE/FLOOR-TO-REACH/KNUCKLE-TO-REACH/SHOULDER-TO-REACH)
HEIGHT OF LIFT? floor-to-knuckle
INPUT CERTAINTY OF FLOOR-TO-KNUCKLE? 0.9

FOR FREQUENCY PLEASE CHOOSE FROM THE FOLLOWING SET: (LOW MEDIUM HIGH)
FREQUENCY OF LIFT? high
INPUT CERTAINTY OF HIGH? 1

FOR HORIZONTAL DISTANCE PLEASE CHOOSE FROM THE FOLLOWING SET: (CLOSE FAR)
HORIZONTAL DISTANCE FROM THE BODY? far
INPUT CERTAINTY OF FAR? 0.9

FOR OPERATOR STRENGTH PLEASE CHOOSE FROM THE FOLLOWING SET: (EXCELLENT AVERAGE LOW)
OPERATOR STRENGTH? excellent
INPUT CERTAINTY OF EXCELLENT? 0.7

FOR OPERATOR AGE PLEASE CHOOSE FROM THE SET: (YOUNG MIDDLE-AGED OLD)
OPERATOR AGE? MIDDLE-AGED
INPUT CERTAINTY OF MIDDLE-AGED? 0.8

THERE IS A 0.77 CONFIDENCE THAT OPERATOR RISK IS MODERATE.

EXPLANATION REQUIRED (YES OR NO): yes
since, LOAD SIZE IS MEDIUM
and since, FREQUENCY OF LIFT IS HIGH
and since, HORIZONTAL DISTANCE FROM THE BODY IS FAR
THERE IS A 0.93 CONFIDENCE THAT TASK RISK IS MEDIUM.

Although this object is only of medium weight, this task can still pose a potential risk to the operator. The frequency to lift, horizontal and vertical distances are especially stressful to the worker. Efforts should be made to alleviate at least one of these stressors.

Since, TASK RISK IS MEDIUM
and since, OPERATOR STRENGTH IS AVERAGE

THERE IS A 0.77 CONFIDENCE THAT OPERATOR RISK IS MODERATE.

The physical capacities of the worker provide a good match between the task and the human operator.

[그림 6] Karwowski et al.에 의한 전문가시스템의 추론과정(축약)

This expert system is designed to provide recommendations on the maximum weight to be handled for new and existing manual materials handling jobs.

What is the type of manual materials handling task?

- LIFTING / LOWERING <--
- CARRYING
- PUSHING / PULLING

Would you care to analyze this for a lifting task?

- YES <--
- NO

Is this a new job or existing job?

- NEW
- EXISTING <--

What is the frequency of lift in times/minute?

- 1
- :
- 12 <--

What is the height of lift?

- FLOOR-KNUCKLE <--
- FLOOR-REACH
- SHOULDER-REACH

What is the box width in cm? Box width is defined as the dimension of the box between the hands.

- 31
- 38 <--
- 66

What is the box length in cm? Box length is defined as the dimension of the box away from the body.

- 31
- 36 <--
- 46

What is the gender of the worker?

- MALE <--
- FEMALE

What is the percentage of the worker population?

- 5% <--
- 95%

My recommendation is as follows:

The weight handled on the job is greater than the weight that can be safely handled with the existing job conditions. These are four possible solutions to this problem. These are:

- (1) to reduce the weight handled
- (2) to change other job conditions such as reducing the frequency of lift
- (3) to provide adequate rest periods to alleviate the effect of fatigue
- (4) to provide mechanical aids such as a mechanical lifter.

[그림 7] Kabuka et al.에 의한 전문가시스템의 추론과정 (축약)

=>BIOMECHANICAL ANALYSIS OF THREE DIMENSIONAL STRENGTH<=
UNIVERSITY OF MICHIGAN (REVISED JAN. 1989)

T#	TASK	POST.	H	RIGHT HAND LEFT HAND						BACK COMP	NIOSE MPL	MALE/FEMALE %	LIMITING MUSCLE GROUP	
				FOR LOCATION		SEPARATION		M	F(LBS)					
				V	L	H	V							L
* 1	LIFT	STOOP	2	54	46	9	27	0-18	0	1272.	1166.	43.4	60	ANKL EXTN R
													6	ANKL EXTN R
* 2	LIFT	STOOP	2	53	46	9	27	0-18	0	1257.	1151.	43.4	62	ANKL EXTN R
													6	ANKL EXTN R
* 3	LIFT	STOOP	2	54	46	9	27	0-18	0	1272.	1166.	43.4	60	ANKL EXTN R
													6	ANKL EXTN R
* 4	LIFT	STOOP	2	42	46	9	27	0-18	0	1091.	986.	43.4	77	KNEE FLEX R
													20	HUM. ABD. L

METABOLIC ANALYSIS OF JOBS BY PHYSICAL WORK ELEMENTS

WEIGHT: 166.0LBS SEX:MALE

EL	DESCRIPTION	F(LB)	POS 1	POS 2	T(MIN)	V(MPH)	%SLOPE	FREQ	E(KCAL)
1	STOOP LOWER FROM 32 IN	54.0	32.0	4.0	0.0	0.0	0.0	2.	0.48
2	STOOP LOWER FROM 32 IN	54.0	32.0	12.0	0.0	0.0	0.0	2.	0.35
3	STOOP LOWER FROM 32 IN	54.0	32.0	20.0	0.0	0.0	0.0	2.	0.21
4	STOOP LOWER FROM 32 IN	54.0	32.0	28.0	0.0	0.0	0.0	2.	0.07
5	ARM LIFT FROM 32 IN	54.0	32.0	36.0	0.0	0.0	0.0	2.	0.10
6	ARM LIFT FROM 32 IN	54.0	32.0	44.0	0.0	0.0	0.0	2.	0.30
7	STOOP LIFT 0-32 IN	0.0	4.0	32.0	0.0	0.0	0.0	2.	0.28
8	STOOP LIFT 0-32 IN	0.0	12.0	32.0	0.0	0.0	0.0	2.	0.20
9	STOOP LIFT 0-32 IN	0.0	20.0	32.0	0.0	0.0	0.0	2.	0.12
10	STOOP LIFT 0-32 IN	0.0	28.0	32.0	0.0	0.0	0.0	2.	0.04
11	ARM LOWER FROM 32 IN	0.0	36.0	32.0	0.0	0.0	0.0	2.	0.01
12	ARM LOWER FROM 32 IN	0.0	44.0	32.0	0.0	0.0	0.0	2.	0.03
	BASAL METAB, STOOPING				0.00				0.00
	BASAL METAB, STANDING				1.00				1.81
	BASAL METAB, SITTING				0.00				0.00

TASK DURATION = 1.00 MIN

ENERGY EXPENDITURE RATE = 4.00 KCAL/MIN

ENERGY EXPENDITURE RATE = 4.04 KCAL/MIN

ENERGY EXPENDITURE RATE = 4.00 KCAL/MIN

ENERGY EXPENDITURE RATE = 4.42 KCAL/MIN

[그림 8] 작업심리학적 대안의 생체역학 및 직업생리학의 평가

이는 다시 MCDM Module을 통해 사용자의 의견에 따라 혹은 시스템의 Default Reasoning Mechanism에 따라 종합하게 된다. 그 결과의 예가 다음과 같으며 이는 생리학적 부하보다 생체역학적 부하가 과중함을 나타내는 것으로서, 이의 개선도 생리학적 부하가 상당함에도 불구하고 생체역학적 부하가 작업자에게 직접적인 원인임이 밝혀짐에 따라 생체역학적 부하에 초점이 맞추어져야 함을 의미한다.

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Bio} & \text{Phy} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{Alt 1} \\ \text{Alt 2} \\ \text{Alt 3} \\ \text{Alt 4} \end{matrix} & \left\{ \begin{matrix} 1272/770 & 4.00/5.0 \\ 1257/770 & 4.04/5.0 \\ 1272/770 & 4.00/5.0 \\ 1091/770 & 4.44/5.0 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

결론적으로 여타 두 시스템이 정상적인 분석에 의거함에 비해 본 시스템은 구체적이고 정량적인 분석결과를 추론과정에 도입하였으며 또한 한가지 기준에 따른 평가방법보다 다양한 인간공학적 지식을 종합적으로 이용한다는 장점을 지니고 있다.

7. 결 론

현재 대기업에서는 이러한 인간공학적 설계방법들에 대한 이해가 높아가고 있으나 많은 중소기업과 공장들은 이에 대해 이해가 전무한 형편이며 자동화에 대한 타당성이 낮은 산업체들의 작업자들은 과중한 작업량, 신체특성을 고려치 않은 작업에 시달리고 있다.

이제까지 미국과 유럽(주로 영국)을 중심으로 발전해 온 인간공학적 기법들의 실제 적용은 크게 생체역학, 작업생리학, 산업심리학등의 분야들이며 70년대 이래 컴퓨터의 발전에 힘입어 그 실제 적용성이 매우 향상되었다. 이러한 기법들은 각기 개별적으로 발전되어와 대상이 되는 문제점의 성격에 따라 각기 적용되어왔다. 그러나 총체적인 시스템의 설계는 어느 한가지 분야를 고려하기보다는 다

각적인 적용이 요구된다. 따라서 80년대 후반부터 학계 또는 산업계에서 이러한 필요성을 느껴 컴퓨터를 이용한 총체적인 시스템 개발에 주력하고 있다. 하지만 각 분야들의 독특한 특성때문에 개발이 용이하지 않으며 모든 분야를 총괄할 수 있는 유연한 시스템(Flexible Framework)의 개발이 절실하다.

본 연구는 전문가 시스템이 갖는 유연성과 다양성을 이용하여 상기 언급된 분야들을 종합할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이 접근방법은 지식을 가진 설계자가 회소하여 이의 개발이 더욱 요구되고 있다. 따라서 사용이 용이한 전문가 시스템의 개발은 공장 또는 작업설계자들에게 인간공학적 설계기법의 전수를 가능하게 하며 보다 나은 작업장, 작업환경을 만들어 줌으로써 작업의 능률 향상과 작업자들의 만족도를 제고 시킬 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Ayoub, M.M., Dryden, R., McDaniel, J., Knipper, R., and Dixon, D., "Predicting Lifting Capacity," *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 40, 1075-1084, 1979
- [2] Bink, B., "The Physical Work Capacity in Relation to Working Time and Age," *Ergonomics*, 5(25), 2-28, 1962
- [3] Chang, C.L. and Walker, A., "PROSQL : A PROLOG Programming Interface with SQL/DS," in *Expert Data Base Systems*, (Ed) Larry Kerschberg, The Benjamin/Cummings Pub. Co., 233-246, 1986
- [4] Chaffin, D.B. and Andersson, G.B.J., *Occupational Biomechanics*, New York, John Wiley & Sons, 1984
- [5] Evans, S.M.R., *Ergonomics in Manual Workplace Designs: Current Practices and*

An Alternative Computer-assisted Approach, Ph.D. Dissertation, Ann Arbor, MI, Dept. of Industrial Engineering, The Univ. of Michigan, 1985

[6] Garg, A., Chaffin, D.B. and Herrin, G.D., "Prediction of Metabolic Rates for Manual Materials Handling Jobs," *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 39, 661-674, 1978

[7] Huchingson, R.D., *New Horizons for Human Factors in Design*, McGraw-Hill, New York, 1981

[8] Kabuka, M., Genaidy, A.M. and Asfour, S.S., "A Knowledge-based System for the Design of Manual Materials Handling," *Applied Ergonomics*, 19(2), 1988

[9] Karwowski, W., Mulholand, N.O. and Ward, T.L., "LIFTAN: An Experimental Expert System for Analysis of Manual Lifting Tasks," *Ergonomics*, 29(10), 1986

[10] NIOSH, *Work Practices Guide for*

Manual Lifting, No 81-122, Doc US HE20 7108, Washington D.C., 1981

[11] Rowe, N.C., *Artificial Intelligence through Prolog*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988

[12] Tirupathikumara, S.R., Kashyap, R.L. and Moodie, C.L., *Artificial Intelligence Techniques in Facility Layout Planning*, TR-ERC 86-1, West Lafayette, Indiana, Dept. of Industrial Engineering, Purdue University, 1985

[13] Tsatsoulis, C. and Kashyap, R.L., *Using Dynamic Memory Structures in Planning and Its Application to Manufacturing*, TR-ERC 87-9, West Lafayette, Indiana, Dept. of Industrial Engineering, Purdue University, 1987

[14] Yager, R.R., "Multiple Objective Decision-Making Using Fuzzy Sets," *Int. J. Man-Machine Studies*, 9, 375-382, 1977