

## 복합적 설계 지식을 위한 추론시스템

차주헌<sup>†</sup> · 이인호\* · 박면웅\*\* · 김재정\*\*\*

(2001년 9월 11일 접수, 2002년 6월 17일 심사완료)

### Inference System for Complex Mechanical Design Knowledge

Joo-Heon CHA, In-Ho LEE, Myon-Woong Park and Jay-Jung KIM

**Key Words :** Inference Engine(추론엔진), Intelligent CAD System(지능형 설계시스템), Top-Down Approach(하향식 접근방법)

#### Abstract

This paper describes inference architecture of an intelligent CAD system that is to be used for design tasks in which complex and large amount of knowledge is used. In order to investigate the issue of handling huge and complex knowledge, design knowledge is categorized into four types and inference methods for them are identified respectively: original design problems are decomposed into several modules of design processes and finally into sub-problems with the four types of knowledge as basic elements in a top-down manner. We demonstrate the implementation of the architecture with the result of the machining center - a sort of machine tools - design.

#### 1. 서론

지능형 설계시스템은 내부에 설계 대상과 설계 과정 전체에 대한 지식을 가지기 때문에 많은 양의 지식을 다루게 된다. 이는 설계 과정이 완료될 때까지 설계자가 거의 개입할 수 없는 순차적인 기존의 설계시스템과는 달리 지능형 설계시스템은 설계자가 시스템과 상호협조를 통해서 각각의 설계 과정을 조정하여 대화를 통하여 전체 설계를 완성하도록 해주기 위한 것이다. 이 지능형 설계 시스템이 좀 더 효율적이 되기 위해서는 설계 대상의 다양하고 복잡한 지식을 효율적으로 저장할 수 있도록 하고, 저장된 설계 지식을 이용해서 설계를 수행하는 과정인 추론과정을 효율적으로 수행할 수 있도록 해야 한다.<sup>(1,2)</sup>

본 연구에서와 같이 기계공학 분야의 설계 대

상을 목적으로 한 경우에는 특히, 그 설계의 과정을 기술하기 위해서는 대개 여러 형태를 가진 많은 양의 설계 지식이 필요하며, 더욱이 설계 대상의 부품의 수가 많은 기계 구조물 등에 있어서는 그 지식의 양과 복잡한 정도는 일반적으로 훨씬 더 높아질 것을 예상할 수 있다. 지능형 설계시스템이 이러한 다양하고 복잡한 설계 지식을 효율적으로 다루도록 만들기 위해서는 설계를 위해서 필요한 지식을 분류하고 분류된 각각의 지식의 특성에 적합하도록 지식을 관리하고 추론하도록 하는 방법론이나 구조화 등에 관한 연구가 필수적이다. 지식의 형태에 맞는 추론의 방법은 그 특성에 따라 다양하게 이루어져 왔으며, 본 논문의 선행연구로 제약기반의 수식 추론 방식과 규칙베이스를 포함한 제약추론 등에 관한 연구가 이루어졌다.<sup>(3-7)</sup>

본 논문에서는 이들 연구를 기반으로 기계 구조물을 대상으로 기본 설계 및 상세설계를 수행할 지능형 설계시스템의 구조를 제안하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해서 우선, 지식의 종류를 특성에 따라 분류하고 각각에 적합한 지식의 표현이나 추론 등 관리 방식을 조합하여 하나의 통합된 시스템에서 그 추론의 역할을 수행하게 한다. 그 추

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 국민대학교 기계공학부

E-mail : cha@kookmin.ac.kr

TEL : (02)910-4816 FAX : (02) 910-4839

\* 회원, 한양대학교 대학원 기계설계학과

\*\* 회원, 한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터

\*\*\* 한양대학교 기계공학부

론 과정이 일관성 있고 효율적으로 이루어 지도록 설계를 위한 접근방법과 추론시스템의 구조가 제안된다. 제안된 구조의 효용성을 검증하기 위해서 이를 이용한 지능형 설계시스템이 구축된다. 또한, 구축된 시스템은 공작기계의 한 종류인 머시닝센터의 기본설계 및 상세설계를 위한 설계시스템으로 이용되며 실제 머시닝센터의 구조 등 여러 모델의 설계에 적용된다.

## 2. 설계 지식의 표현과 추론

본 연구에서는 설계 지식과 그 추론에 대한 여러 선행연구를 바탕으로, 복잡 다양한 기계공학분야의 설계 지식을 충분히 정확하게 표현할 수 있도록 특징에 따라 네 가지로 분류하고 각각을 다른 방법으로 표현하고 관리한다. 각각 다른 방법으로 표현된 이들 설계 지식들은 대상의 전체 지식을 효율적으로 표현하기 위한 기본 요소로 이용된다.

### 2.1 수식의 표현과 추론

설계 지식 중 수식 형태의 지식은 선언적 기술과 제약네트워크를 이용해서 지식을 효율적으로 관리할 수 있다.<sup>(3-5,8)</sup> 네트워크로 표현된 이들 수식 형태의 지식이 보이는 관리상의 효율은 그 표현의 선언적 특성에 기인한다. 선언적으로 표현되어 저장된 설계 지식들은 우선, 설계 지식을 추론을 위한 시스템과 분리할 수 있어, 지식이 갱신되어도 추론시스템을 갱신하지 않고 사용할 수 있게 하는 장점을 가지고 있다. 또한, 지식에 포함된 각 변수를 동일한 레벨로 저장하여, 단순히 설계 과정의 순서나 설계사양이 변경되는 경우에, 이미 가지고 있는 설계 지식을 변형하여 이용할 수 있는 장점을 가진다.

제약네트워크로 관리되는 수식 형태의 설계 지식은, 이를 제약과 제약의 충족으로 해석하는 제약기반의 표현을 바탕으로 제약네트워크를 구성하고 제약전파와 변수소거 등 일련의 방법으로 효율적으로 추론할 수 있다.<sup>(3-5)</sup> 제약네트워크를 기반으로 한 제약충족 방식은 적용 대상이 부등 제약을 가지거나 제약식이 부족한 경우는 제약충족을 효율적으로 수행하기가 어려운 문제점을 가지고 있었으나, 본 논문의 선행연구에서 Cha (1998) 등이 제약네트워크에 SA(Simulated Annealing)라는 최적화 방법을 제약충족 과정에 유기적으로 포함시켜 언급한 문제점을 해결했다.<sup>(3-5)</sup>

### 2.2 프로덕션 시스템과 추론

프로덕션 시스템에서는 지식을 쌍으로 이루어진 전제-행동(premise - action pairs)으로 표현한다. 특히, 이들을 프로덕션 룰이라 부르고 일반적으로 다음과 같은 형태로 구성된다.<sup>(10,11)</sup>

*IF* { 몇 개의 조합 형태의 조건이 참이라면 }  
*THEN* { 결론을 내리거나 특정한 행동 수행 }

프로덕션 룰은 수식과 같은 정형적인 형태와 달리 직관적이고 경험적인 지식을 표현하기 위해서 사용된다. 프로덕션 룰은 일상 언어의 형태로 표현되므로 설계자가 쉽게 이해하고 사용이 용이하며, 구체적이지 않은 단편적 지식 사용 가능해서 설계자의 노하우 등 경험적 설계 지식 표현하는데 강점을 가진다. Cha (2000) 등의 선행연구에서는 제약 표현을 기반으로 프로덕션룰로 이루어진 지식을 포괄하는 방법이 제안되었다.<sup>(5)</sup> 이를 통하여 제약기반 설계와 규칙추론 설계를 결합하여 적용 가능한 설계 지식의 확장이 가능하게 되었다.

### 2.3 다속성 의사결정과 다중변수추론

설계 과정에서는 이미 마련된 다양한 대안 중에서 하나를 선택해야 하는 경우가 많이 발생하는데, 특히 고려해야 하는 항목의 수가 많고 그 평가가 상대적으로 명확하지 않은 경우에는 그 지식을 다속성 의사결정방법 (Multiple Attribute Decision Making)에 의해 효과적으로 표현하고 적용할 수 있다.<sup>(12)</sup> 이는 단순한 규칙 베이스의 형태로는 고려할 항목의 상관 관계가 매우 복잡하여 효과적으로 표현하기 어려운 설계 경험 및 노하우의 지식 베이스화에 필수적이며, 서로 연관된 변수들 사이의 관계를 동시에 고려한다는 면에서 추론의 절차가 프로덕션 시스템과 같은 순차적 추론과는 구별된다.<sup>(7)</sup>

다속성 의사결정의 하나인 다중변수추론은 연관된 여러 항목에 대해서 사용자 요구 사항을 가장 잘 충족하는 해를 찾아내는 것을 목표로 하는 방법이다. 간단하게는, 선택대안(options)의 상대적인 선호도를 여러 평가항목별 요구 사양에 대한 적합도 벡터와 상대적인 중요도 벡터를 곱하여 구하는 개념을 가진다.<sup>(7,11)</sup> 이를 식으로 표현하면, 아래의 식 (1)의 결과로 대안들의 선호도를 비교하게 된다.

$$P_i = \sum_{j=1}^N a_{i,j} W_j \tag{1}$$

여기서,  $P_i$  = 최종 선호도  
 $a_{ij}$  = 대안의 성능척도  
 $W_i$  = 속성의 상대적 중요도

2.4 테이블 및 그래프 자료

설계 과정이 많은 설계 경험을 통하여 충분히 정형화되면 테이블이나 그래프의 형태로 대량의 지식을 저장하고 사용할 수 있다. 특히 대량의 지식이 일정한 형태를 반복적으로 따를 경우에 그래프나 테이블로 저장된 지식은 매우 적은 비용으로 높은 효율을 가질 수 있다. 설계가 고도로 정형화됨에 따라 많은 양의 설계 지식이 실제로 이들 형태로 데이터베이스 등에 저장된다.

테이블과는 달리 그래프는 그 형태가 데이터베이스에 담기에 용이하지 않도록 구성되어 있다. 그래프 자료의 저장 및 탐색의 효율을 극대화 하기 위해서 그래프의 곡선을 곡선식으로 표현하는 몇몇 연구가 그 효과를 입증하였다. 본 연구에서는 그래프 자료가 NURB 형태의 곡선식으로 변환, 작은 크기의 공간에 효율적으로 저장될 수 있도록 하였다.<sup>(6)</sup>

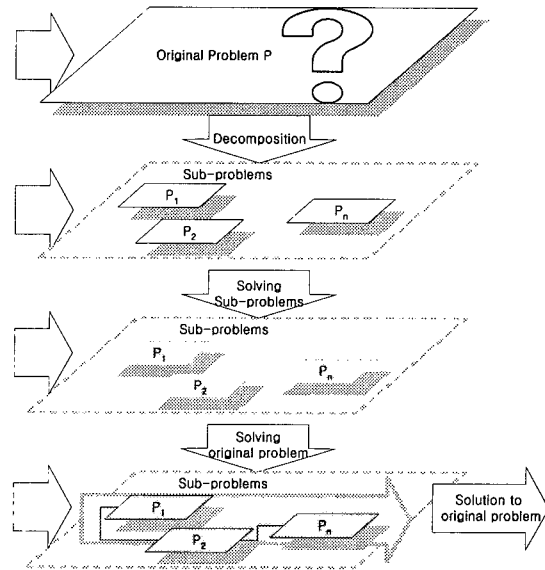


Fig. 1 Top-down approach

3. 복합 추론

3.1 추론의 과정의 분해

설계의 방식은 그 접근방법에 의해서 크게 상향식 접근방법(bottom-up approach)과 하향식 접근방법(top-down approach)의 구분이 가능하다. 이 중 하향식 접근방법은 소위 *divide and conquer* 라고도 불리며, 원래의 문제를 해결 가능한 여러 개의 하위문제의 조합으로 분해하여 각각의 하위문제들을 해결함으로써 해결하는 방법이다.<sup>(10,11)</sup> 하향식 접근방법의 기본 개념은 Fig. 1의 다이어그램을 통하여 쉽게 이해할 수 있다. 그림과 같은 하향식 접근방법의 문제해결은 다음의 과정을 거쳐서 이루어진다.

- 주어진 문제를 하위문제(sub-problems)로 분해 (decomposition)
- 분해된 하위문제 각각에 대한 해결방법 탐색
- 하위문제에 대한 해들을 조합하여 주어진 문제 해결

하향식 설계방법에 기초해서 문제를 해결하는 경우에 하위문제를 어떻게 정의하는가가 중요한 이슈가 될 수 있다. 본 연구에서는 2장에서 설명한 네 가지 형태의 설계 지식으로 하위문제를 정의한다. 이 네 가지 형태의 지식은 각각 수식, 규칙, 다속성 의사결정, 그리고 테이블 및 그래프 자료이며 이들 형태의 지식을 이용하기 위한 방법으로는 제약추론, 규칙 추론, 다중변수추론 그리고 테이블 및 그래프 검색이 Fig. 2와 같이 이용된다.

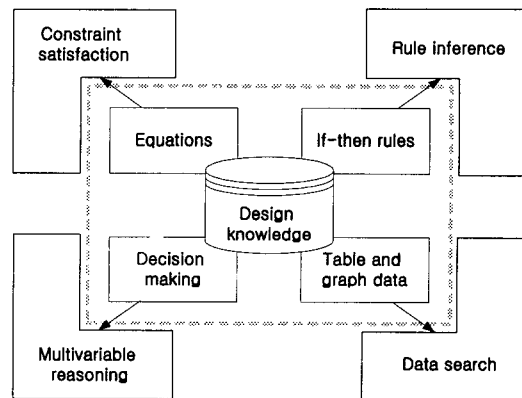


Fig. 2 Knowledge representations and solutions

모듈은 상대적으로 좀 더 관련이 깊은 지식의 그룹이다. 대상의 설계 흐름은 모듈로 나뉜 설계의 흐름으로 조절할 수 있다. 즉, 하향식 접근방법으로 원래의 설계 문제를 분해한 후에 생길 수 있는 복잡한 상호관계는 미리 대상을 여러 모듈로 나누어 해결한다.

3.2 시스템 개요

설계 과정을 수행할 추론시스템의 기본 구조는 Fig. 3의 과 같이 나타낼 수 있다. 그림의 구조는 본 연구의 추론시스템을 추론엔진을 중심으로 개략적으로 보여준다. 이 구조는 앞서 설명한 바와 같이 네 가지 종류로 나뉘어 표현된 지식들을 효과적으로 다룰 수 있도록 네 가지 종류의 하위 추론 엔진을 가지어 독립적으로 추론을 수행한다.

4. 구현 및 적용 사례

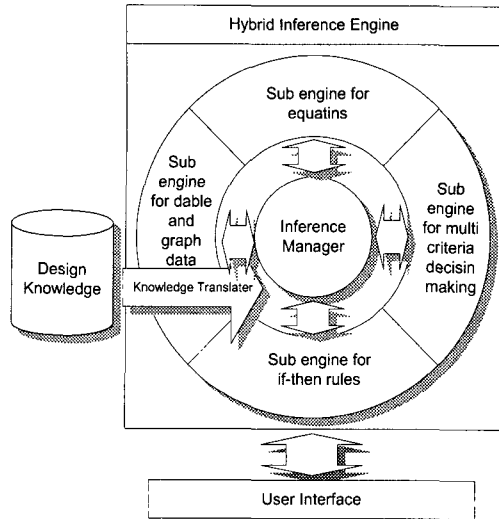


Fig. 3 Architecture of the hybrid inference engine

또한, 네 종류의 이질적인 하위 추론엔진에 의한 추론에 의한 결과의 상호작용을 조절할 담당할 관리모듈이 필요하게 되는데, 이를 담당하는 것이 소위 추론관리자이며 설계 지식들을 읽어 들여서 설계 흐름에 따른 일련의 추론과정을 수행하고 각 모듈의 추론 결과와 그 해석 등을 종합하여 전체 설계 과정을 지휘하게 된다. 추론 엔진의 구성을 좀 더 자세히 설명하면 다음과 같다.

- 추론관리자:  
설계 지식을 바탕으로 하위 추론엔진의 추론의 흐름을 관리하고 추론 결과를 다른 하위문제들과 모듈에 전파.
- 수식추론 엔진:  
복합 추론엔진의 한 부분으로, 수식으로 표현된 하위문제를 제약 표현을 기반으로 하여 추론하기 위한 하위 추론엔진.
- 규칙추론 엔진:  
복합 추론엔진의 한 부분으로, 규칙으로 표현된 하위문제를 추론하기 위한 하위 추론엔진.
- 다중변수추론 엔진:  
복합 추론엔진의 한 부분으로, 다속성 의사결정을 수행하기 위한 하위 추론엔진.
- 테이블 및 그래프 탐색 엔진:  
복합 추론엔진의 한 부분으로, 테이블 및 그래프 형태로 저장된 데이터를 탐색하기 위한 하위 추론엔진.

제안된 설계 방법론의 유효성 확인을 검증하기 위하여, 공작기계 설계를 위한 지능형 설계시스템을 구현하고, 구현된 시스템으로 실제 공작기계 머시닝센터를 설계한다.

4.1 설계 대상 분석

공작기계의 설계는 전문적이고 오랜 기간을 통해서 축적된 설계 지식을 요하는 고도의 지적인 작업이다. 설계 과정에는 특히, 역학적 해석, 표준 및 비표준 부품의 선정, 현재까지 축적되어 온 지식의 활용 등의 복잡한 과정이 필수적으로 포함된다. 따라서, 공작기계를 위한 지능형 설계시스템을 사용해서 정형화된 설계반복 작업 부담을 경감시키면, 설계 작업의 효율증대와 신제품 개발 기간의 단축 효과를 얻을 수 있다.

공작기계 설계는 실제로 다음과 같은 일련의 과정을 거쳐서 완성된다. 먼저, 사용자 요구사항을 받아들인 후, 프로덕션틀, 수식, 테이블 데이터 등의 설계 지식을 이용해서 기종을 선택하고, 전체적인 기하학적 구조를 결정하며, 각 기능적 단위들의 사양을 산출함으로써 세부 설계를 수행하고, 마지막으로 각 단계의 설계 결과를 해석하여 설계 사항을 수정한다. 본 연구의 공작기계 설계를 위한 지능형 설계시스템은 전술한 여러 단계의 설계를 효율적으로 진행하기 위해서 제안된 지능형 설계시스템의 추론엔진을 사용해서 구현되었다. 본 논문에서는 특히, 대표적인 공작기계의 하나인 머시닝 센터를 대상으로 하여 기본구조 형태의 기본 설계에서 구성 모듈별 상세설계에 이르기까지 일관되게 설계한다. 본 예제의 머시닝센터는 그 기능과 설계의 편리성에 따라 다음과 같은 네 개의 모듈로 구성된다.<sup>(15,16)</sup>

- 구조형태계 모듈:  
머시닝센터의 주요 외형을 결정하는 베드, 칼럼, 테이블, 새들, 부가 질량의 치수와 위치, 지지점의 개수와 위치 그리고 이송계 설계를 위한 이송 레일의 위치와 치수 등을 결정.
- 주축계 모듈:  
주축과 주축 하우징의 형상 및 주요 치수를 결정하며 주축용 베어링 등을 선정 설계하고 이를 배치.
- 이송계 모듈:  
베드 등을 이송하기 위하여 관련한, 안내면의 형태 결정 및 주요 치수 결정, 구동모터 선정, 각 축별 볼스크루 선정 등 수행.

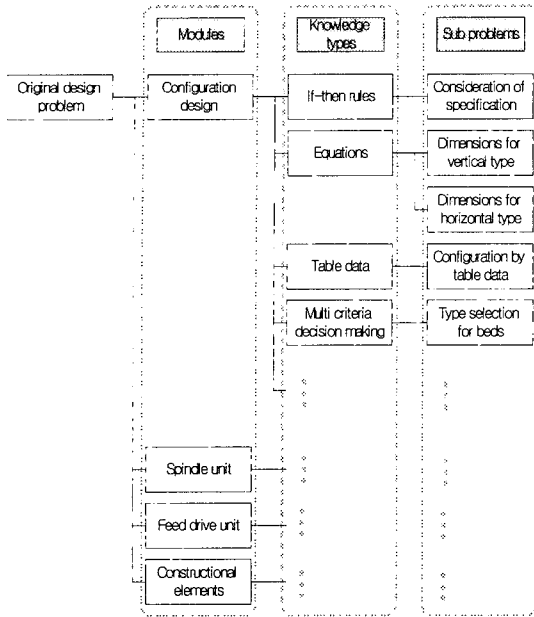


Fig. 4 Architecture of knowledge for machining centers

- 지지계 모듈:  
구조형태 모듈에서 결정된 베드와 칼럼의 대략적인 형태를 바탕으로 내부에 위치하는 리브 등 구조형태 모듈에 비해 좀 더 상세한 부분 설계.

4.2 설계 수행

설계의 흐름은 네 개의 모듈을 구조형태계 모듈, 주축계 모듈, 이송계 모듈 그리고 지지계 모듈의 순서로 설계하는 것으로 이루어진다. 각 모듈을 설계하기 위한 지식은 Fig. 4 와 같이 구성되어 있다. 각각의 모듈은 각각 다른 형태로 표현된 일련의 지식으로 구성되어 있다. 예를 들면, 그림에서처럼 구조형태계 모듈은 *Consideration of specification*, *Dimensions for vertical type* 등과 같은 규칙이나 수식 등 특정한 형태로 표현된 하위문제를 가진다.

규칙의 적용 예는 전체 설계 과정의 초기인 구조형태계 모듈에서 볼 수 있다. 규칙의 적용은 설계 사양을 바탕으로 여러 타입의 머시닝센터 중 적합한 기종을 선정하고 이를 적용하는 과정에 이용된다. 머시닝센터의 기종은 크게 수직형 및 수평형 기종으로 나뉘지며 이들을 결정하기 위해서 간단한 규칙을 적용한다.

구조형태계 모듈의 설계에는 또한 테이블 데이터를 이용한 설계 과정이 포함된다. 구조형태계 모듈의 정형적 설계를 위한 테이블 데이터를 검색하는 과정이다. 구조형태계 모듈은 여러 형태의

Table 1 Table data for the configuration design module

Table grade	Tl	Th	Wh	margin <sub>y</sub>	margin <sub>z</sub>	alpha	beta
400	400	100	850	20	20	200	0
500	500	125	900	20	20	200	0
600	600	150	950	20	20	200	0
700	700	175	1000	20	20	200	0
800	800	200	1050	25	25	250	0
900	900	225	1100	25	25	250	0
1000	1000	250	1150	25	25	250	0
1100	1100	275	1200	25	25	250	0
1200	1200	300	1250	25	25	250	0

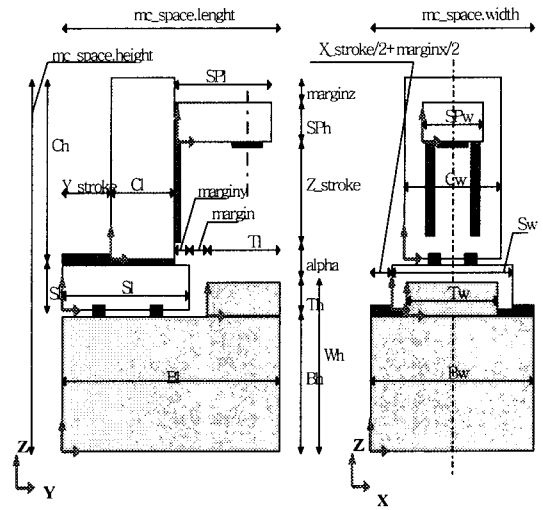


Fig. 5 Outline feature of a machining center

설계 지식과 함께 오랫동안 축적되어온 정형적인 지식도 가지고 있다. 이 지식들은 다음의 Table 1 과 같은 형태의 테이블 데이터로 데이터베이스에 저장되어 설계 과정에 이용된다. 표에서 알 수 있듯이 구조형태 모듈의 많은 주요 치수들은 Tablegrade 라는 기준이 되는 요소의 값에 의해 결정되도록 정형화되어 있다.

구조형태계 모듈에서는 또한, 수식 형태의 지식도 사용된다. 구조형태계 모듈의 각부 치수는 다음의 Fig. 5 와 같이 머시닝센터의 외형을 크게 좌우하는 부분의 치수를 수식 형태의 지식을 이용해서 결정해야 한다. 다음의 Fig. 6 은 구조형태계 모듈의 각부 치수 설계를 위한 이 수식형 설계 지식의 한 예로 수직형 머시닝센터의 치수 결정을 위한 수식을 보여주고 있다.

```

OBJECT
Configuration design module
MODULE
Dimensions for vertical type
CONSTRAINT
MarginTx=Tw-XStroke
SPw=SPwMin
SSw=SPw*2.0*SS
Cw=SPw*2.0*(1-SS)+(SSw+XStroke+Marginx)*SS
    :
    :
Lw2=Lw1
CSw=(Cw+Marginx)*CS*(1-SS)
TSw=(Tw+XStroke+Marginx)*TS*(1-SS)
BCw=Cw+Marginx*(CS+1)+XStroke*XC
BTw=(Tw+Marginx+XStroke*XT)*(1-SS)+BCw*SS
Cframedistance=SPw*H
    
```

Fig. 6 Equations for a vertical-stroke type machining center

Table 2 Evaluation value matrix for slide guide-ways

	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	VF	DB	HM
Stiffness-vertical	5	5	3	3	3	3	3
Stiffness-horizontal	3	3	3	3	3	3	3
Stability	3	3	3	3	1	...	4
Manufacturability	2	2	3	5	2	3	3
Chip removability	3	2	3	5	2	3	3
Size	5	5	3	4	2	3	3

다변수추론에 의한 설계 과정은 머시닝센터 설계 과정 중 이송계 모듈의 설계에 해당하는 안내면의 타입 선정 과정에서 그 예를 찾을 수 있다. 안내면은 여러 타입의 후보 타입들이 있으며 이들은 강성이나 제작성, 기계의 크기 등에 복합적으로 영향을 받아서 결정되어야 한다. Table 2는 슬롯 안내면의 타입결정을 위한 각 요소와 그 요소의 영향력을 나타내고 있다.

여러 형태의 설계 지식을 이용한 추론의 최종 결과는 다음의 Fig. 7 과 같은 3 차원 솔리드로 모델링 화면으로 확인할 수 있다. 그림은 머시닝센터의 이송계 모듈까지 설계를 마친 결과를 웨이딩한 화면이다.

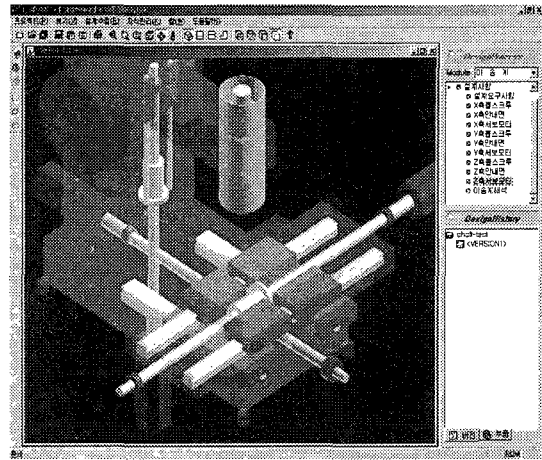


Fig. 7 Three-dimensional renderings of the design results

### 5. 결론

기계공학 분야의 설계 과정은 일반적으로 다량의 설계 지식을 바탕으로 한 많은 반복작업이 수반되는 작업이므로 이를 대상으로 하는 지능형 설계시스템은 그 효율을 높이기 위해서 설계 지식의 관리와 추론에 관한 연구를 필요로 한다. 본 논문에서는 지능형 설계시스템의 구축을 위하여 진행되어온 여러 선행연구를 바탕으로 복잡하고 다양한 형태의 설계 지식의 추론을 지원하기 위한 시스템의 구조가 제시되었다. 우선, 설계의 기본 접근방법으로 하향식 설계를 바탕으로, 설계 대상의 지식을 작은 하위문제의 조합으로 분해한다. 이 하위문제들은 설계 과정에 쓰이는 지식들을 수식, 규칙, 다속성 의사결정, 테이블 및 그래프 자료로 크게 4 가지로 분류하여 표현한 것이며, 각각에 적합한 추론 방식은 선행 연구들을 통하여 구축되어 있다. 각각의 추론 방식으로 해결된 하위문제들의 조합으로 전체 설계문제는 완성된다.

본 논문에서는 또한, 제안된 구조를 바탕으로 수식, 규칙, 테이블 데이터 등 다양하고 전문적인 설계 지식이 이용되고 많은 설계변경을 거쳐서 완성되는 공작기계 설계를 위한 지능형 설계시스템이 구현되었다. 설계시스템은 설계를 수행하기 위한 네 가지의 이질적인 추론과정을 위해서 추론관리자를 두어 전체적인 설계 흐름을 제어하도록 고안되었다. 사례연구에서는 공작기계의 한 종류인 머시닝센터 설계가 수행되었으며 대상의 분석을 통해 구조형태계, 주축계, 지지계, 이송계 등의 모듈로 나뉘어 설계가 완성되었다.

## 참고문헌

- (1) Zeiler, W., "Object-Oriented Hybrid Intelligent CAD System," 1992, *Computers in Industry*, Vol. 20, pp. 1~9.
- (2) Chen, Z. B. and Xu, L. D., 2001, "An Object-Oriented Intelligent CAD System for Ceramic Kiln," *Knowledge Based Systems*, Vol. 14, pp. 263~270.
- (3) Cha, J. H., Yokoyama, M. and Okabe, I., 1993, "Constraint Satisfaction Method for Networks of Design Variables and Constraints in Mechanical CAD," *Trans. of JSME(C)*, Vol. 59, No. 568, p. 3998.
- (4) Cha, J. H., Lee, I. H. and Kim, J. J., 1997, "Constraint Satisfaction Algorithm in Constraint Network using Simulated Annealing Method," *KSPE*, Vol. 14, No. 9, pp. 116~123.
- (5) Cha, J. H., Lee, I. H. and Kim, J. J., 2000, "A Constraint-Based Inference System for Satisfying Design Constraints," *KSME International Journal*, Vol. 14, No. 6, pp. 655~665.
- (6) Cha, J. H. and Yokoyama, M., 1994, "A Knowledge-Based System for Supporting Mechanical CAD," *JSME(C)*, Vol. 60, No. 579, pp. 3625~3631.
- (7) Park, M. W., Cha, J. H., Park, J. H. and Kang, M. H., 1999, "Development of an Intelligent Design System for Embodiment Design of Machine Tools," *Annals of the CIRP*, Vol. 48, No. 1, pp. 329~332.
- (8) Serrano D. and Gossard D. C., 1992, "Tools and Techniques for Conceptual Design," *Artificial Intelligence in Engineering Design*, Academic Press Inc.
- (9) Feng, C. X. and Andrew, K., 1995, "Constraint-Based Design of Parts," *Compute-aided design*, Vol. 27, No. 5, pp. 343~352.
- (10) Rich, E. and Knight, K., 1990, *Artificial Intelligence: Ssecond Edition*, McGraw-Hill.
- (11) Yokoyama, M., Endo, T. and Cha, J. H., 1997, "Knowledge-Based CAD," Corona Publishing Co., Ltd. Tokyo, Japan.
- (12) Triantaphyllou, E. and Sanchez, A., 1997, "A Sensitivity Analysis Approach for Some Deterministic Multi-Criteria Decision-Making Methods," *Decision Science*, Vol. 28, No. 1, pp. 151~194.
- (13) Kimura, F. and Suzuki, H., 1995, "Representing Background Information for Product Description to Support Product Development Process," *Annals of the CIRP*, Vol. 44, No. 1, pp. 113~116.
- (14) Dixon, J. R., 1995, "Knowledge-Based Systems for Design," *Transactions of the ASME*, Vol. 117, pp. 11~16.
- (15) Moriwaki, T. and Nunobiki, M., 1992, "Object-Oriented Design Support System for Machine Tools," *JSME(C)*, Vol. 58, No. 546, p. 655.
- (16) Moriwaki, T., Nunobiki, M., Nishimura, K., Yoshizawa, H. and Sakao, K., 1991, "A Study of Knowledge Based Approach to Basic Design of Machine Tools," *JSME(C)*, Vol. 57, No. 536, pp. 1371~1376.