

## 공작기계 구조물 설계를 위한 통합설계 시스템 개발

박면웅\*, 손영태\*, 조성원\*\*

### Development of Integrated Design System for Structural Design of Machine Tools

Myon-Woong Park\*, Young-Tae Sohn\* and Sung-Won Cho\*\*

#### ABSTRACT

The design process of machine tools is regarded as a sequential, discrete, and inefficient works as it requires various kinds of design tools and many working hours. This paper describes an integrated design system embedding a design methodology that can support efficiently and systematically the conceptual structural design of machine tools. The system is a knowledge-based design system and has four machine-tool-specific functional modules including configuration design, configuration analysis, structure design, and structural analysis support module. Through the configuration design and analysis module, a machine configuration appropriate for design requirements is selected, and then the arrangement of ribs for each structural part is decided in the structure design module. Also, the structural analysis support module is used to evaluate design result by utilizing structural analysis software, ANSYS. The system is applied to design of a tapping machine, and shows that the machine structure can be designed fast and conveniently by processing each design step interactively.

**Key Words :** Integrated Design System (통합설계시스템), Machine Tools (공작기계), Structural Design (구조물설계), Structural Analysis (구조해석), Knowledge-based Design System (지식기반 설계시스템)

#### 1. 서론

공작기계는 수요산업의 품질을 좌우하며, 여타 기계류의 개발에 근원적으로 영향을 주기 때문에 기계기술의 가장 정점에 있다고 볼 수 있다. 공작기계의 설계는 매우 복잡하고 다양한 설계지식을 필요로 하며, 새로운 이론과 방법론의 출현에 의해 급진적 발전을 하기보다는 오랜 기간에 걸쳐 노하우가 쌓여 성장하는 분야로, 설계자의 경험지

식을 많이 필요로 하는 작업이다. 공작기계는 정밀화, 고속화의 방향으로 발전하고 있으며<sup>[1,2]</sup>, 이를 실현하기 위해서는 단위부품의 성능개선과 더불어 베드와 컬럼과 같은 구조물의 경량, 고 강성화가 요구된다. 공작기계의 성능과 외형에 기반이 되는 구조물의 설계에는 정적, 동적 특성의 해석 및 평가 기술이 요구되나, 전용의 해석 및 평가기술의 부족과, 설계기능과 해석기능의 유기적인 통합의 어려움으로 다양한 형상의 구조물을 활용하지 못

\*\* 2002년 8월 12일 접수

\* KIST CAD/CAM 연구센터

\*\* ㈜ Rotem 체계연구팀

하므로 모델의 다양화와 고기능화에 요구에 빠르게 대처할 수 없는 상태이다. 물론, 설계와 해석기능을 통합하려는 연구들은 활발히 진행되어 왔으며<sup>[3,4,5,6]</sup>, I-DEAS, Pro/E 와 같은 상용의 설계 및 해석 시스템들이 개발되어 있으나, 이들은 범용 시스템들로 동작기계의 설계기능이 미약하며, 해석을 수행하기 위해서는 요소생성 방법, 경계조건 등을 설계자가 설정해야 하므로 해석 전문가의 도움이 있어야 시스템을 활용할 수 있는 단점을 갖고 있다.

본 연구에서는 해석전문가의 특별한 조력이 없이도 초기 설계단계에서 동작기계의 구조물을 쉽고 빠르게 설계하고, 해석, 평가하여 동작기계의 기본 설계를 지원할 수 있는 통합설계 시스템(ICAD/TM)을 개발하였다. 본 시스템은 기 개발되었던 동작기계 설계용 지능형 설계시스템<sup>17,18</sup>의 구조형태 설계기능을 기반으로 구조물 설계기능과 구조해석 지원기능을 통합하여 개발하였다. 구조형태 설계기능은 설계요구사항에 적합한 동작기계의 기본구조를 지식기반으로 설계하는 기능이며, 구조물 설계기능은 기본구조를 구성하는 베드와 컬럼의 내부구조를 설계하는 기능이다. 구조해석 지원기능은 설계된 구조물을 유한요소 해석으로 평가할 수 있도록 ANSYS 용 스크립트 파일을 생성하는 기능이다. 따라서, 동작기계의 기본구조와 구조물의 내부구조를 각각 구조형태 설계기능과 구조물 설계기능으로 수행하고, 구조해석 지원기능으로 구조해석 용 스크립트 파일을 생성하여, 전문 구조해석 시스템인 ANSYS 로 구조물의 적합성을 평가할 수 있도록 되어 있다.

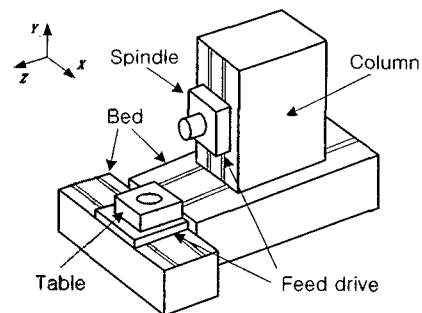
## 2. 동작기계 구조물의 통합설계

### 2.1 동작기계의 구조와 설계 프로세스

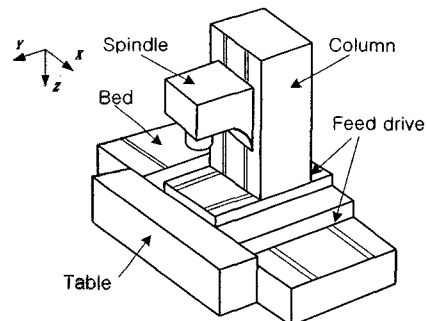
일반적으로 동작기계의 기본구조는 Fig. 1 과 같이 구조물을 구성하는 베드(bed)와 컬럼(column) 등의 지지부, 공구가 고정되는 주축부(spindle), 공작물이 고정된 테이블(table)과 컬럼을 이송하는 이송부(feed drive) 등의 기본 요소로 구성된다. 주축부는 칼럼에 부착되며, 테이블과 컬럼은 베드 위에 놓게 된다. 동작기계는 주축의 방향에 따라 크게 수평형과 수직형 기종으로 분류되며, 테이블, 컬럼의 이송 여부와 방향에 따라 다양한 타입이 가능하다. 수평형은 주축의 방향이 수평이며, 구조

상 대부분의 칩(chip)이 공구 바로 밑에 떨어지므로 칩의 회수와 배출이 용이하다. 수직형은 주축의 방향이 수직이며, 가공 위치에 공구를 접근시키는 접근성이 우수하고, 공작물의 장착 및 탈착이 용이한 구조를 갖고 있다.

일반적으로 동작기계의 설계는 고객의 요구사항이나 목표사항을 기준으로 적합한 기종과 타입을 선정하여 기본 구조형태를 설계하고, 진동해석 등으로 동적특성을 평가하여 만족되는 기본구조를 기반으로 주축부, 이송부, 지지부등의 메커니즘과 주요 설계변수를 결정하는 모듈별 기본설계와 평가를 수행한다. 모듈의 기본설계가 완료되면 기본구조를 재 평가하고, 각 요소의 구체적인 형상과 위치를 결정하는 모듈별 상세설계를 수행하여 모듈별 총괄 평가 및 기본구조의 총괄 평가로 최종 설계안을 결정하는 과정으로 설계가 이루어진다<sup>[9]</sup>. 본 연구에서도 설계 전문가들이 사용하는 설계 프로세스를 내재하여 동작기계의 기본 구조형태와 지지부 구조물인 베드와 컬럼의 기본설계와 평가를 지원할 수 있는 설계 시스템을 개발하였다.



(a) Horizontal machine tools



(b) Vertical machine tools

Fig. 1 Configuration of machine tools

개발된 설계 시스템은 Fig. 2 와 같은 수평형 4 타입, 수직형 4 타입의 기본구조를 지식기반 설계기능으로 설계할 수 있으며, 이를 기반으로 베드와 컬럼에 리브를 설계하여 구조해석을 수행할 수 있도록 각 기능을 구성하였다. 따라서 설계요구사항에 적합한 공작기계의 기본구조를 결정하고, 이에 적합한 베드와 컬럼을 설계하여 구조해석으로 평가하는 통합설계 기능을 갖고 있다.

### 2.2 구조물의 통합설계

Fig. 3 은 공작기계의 기본구조와 지지부 구조물을 설계하는 과정을 표현한 그림으로, 개발된 시스템은 구조형태 설계기능(Configuration Design), 구조물 설계기능(Rib Design), 구조형태 해석기능(Modal Analysis), 구조해석 지원기능(Model Interface) 등을 갖고 있으며, 이들을 활용하여 공작기계의 기본구조와 구조물의 기본구조를 일관된 흐름으로 설계하고 평가할 수 있음을 보여준다.

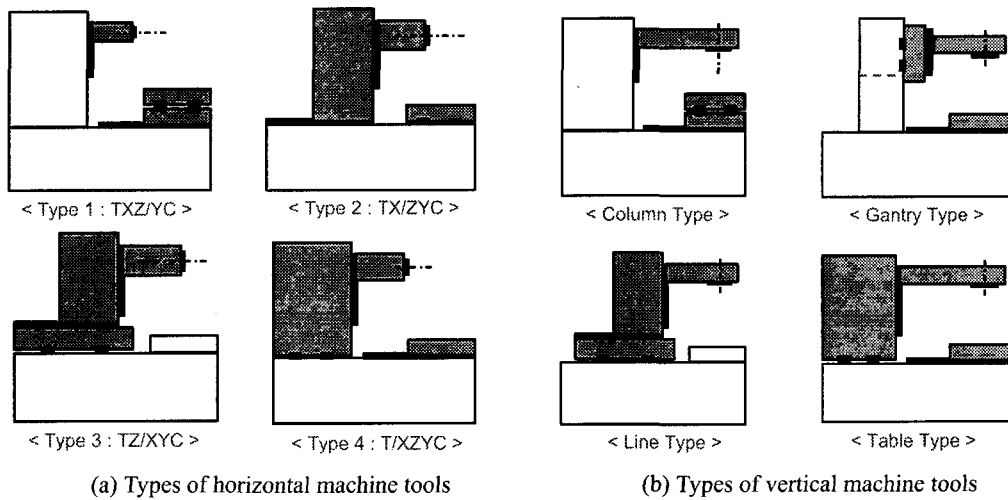


Fig. 2 Types of machine tools

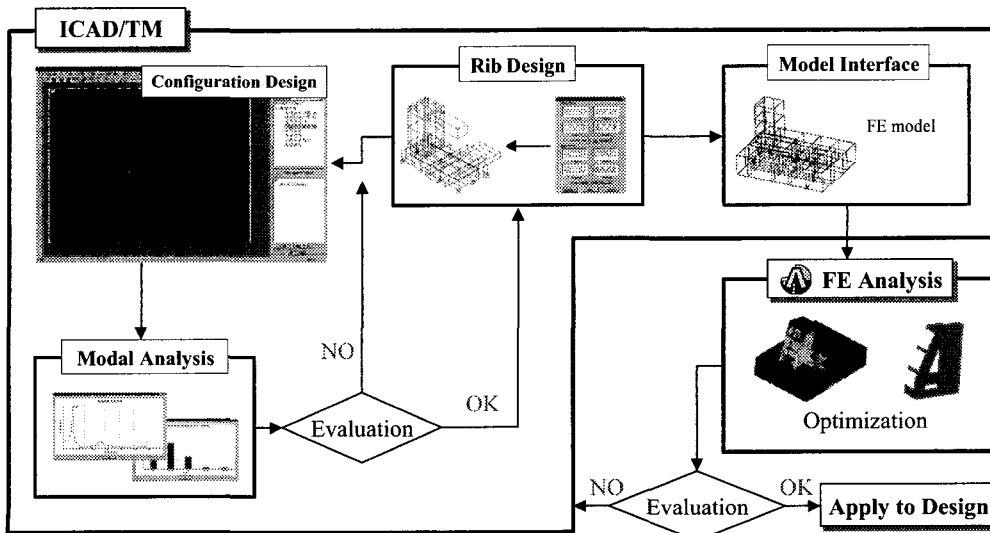


Fig. 3 Integrated design and analysis flow of the system

공작기계의 기본구조형태를 구조형태 설계기능에 내재된 설계 프로세스에 따라 설계지식을 기반으로 설계하고, 전용 해석기능인 구조형태 해석기능으로 구조물의 동적특성을 평가한다. 구조형태가 적절하지 않은 경우에는 평가결과를 활용하여 구성요소의 위치, 크기, 타입을 변경하여 구조형태 설계를 반복해야 하며, 적절하다고 판단되면 구조물 설계기능을 이용하여 베드와 컬럼 등의 기본구조물의 내부에 리브를 배치하여 구조물의 내부구조를 설계한다. 구조물 설계가 완료되면 유한요소 해석모델을 출력하여 ANSYS 로 구조해석을 수행한다. 구조상 적절치 않은 경우에는 다시 설계기능으로 돌아가 베드와 컬럼의 내부구조를 변경하거나 구조형태를 변경하는 과정으로 목표사양에 적합한 공작기계의 기본구조와 구조물의 기본설계안을 도출하여 상세설계에 적용할 수 있도록 하는 시스템이다.

### 3. 구조물 설계 및 해석기능

#### 3.1 구조형태 설계기능

구조형태 설계기능은 공작기계를 구성하는 베드, 컬럼, 테이블, 주축헤드, 새들, 부가질량 등의 기본 구성요소들의 개략적인 위치, 크기, 타입 등을 결정하여 목표사양에 적합한 기본구조를 설정하는 과정으로 IDEF0 모델링 기법<sup>[10]</sup>을 도입하여 설계과정을 분석하였다. IDEF0 기법은 대상 시스템을 각각의 단위기능으로 분리하여 Fig. 4 와 같이 기능(function)으로 표현하고, 각 기능에 관련된 입출력(input/output), 각 기능의 제어(control), 각 기능에서 필요한 도구(mechanism) 등을 일목요연하게 표현할 수 있으며, 계층적 모델링이 가능하므로 시스템의 분석 및 개발에 적합한 기법이다.

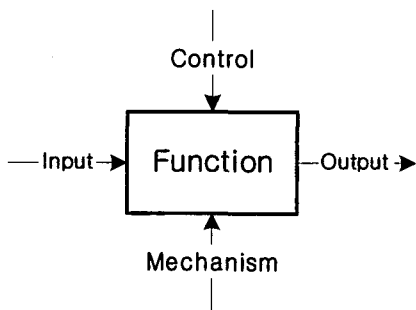


Fig. 4 IDEF0 methodology

본 시스템에 내재된 구조형태 설계과정은 각 단위 설계과정들을 단위기능으로 분리하고, 설계과정에서 필요한 설계규칙은 제어로, 설계 평가도구나 표준규격집, 카탈로그 등의 지식은 메커니즘으로 모델링하여, 기종선택, 상세 타입선택, 기본구조형태 결정, 기본구조 해석 등으로 구성하였으며, 설계관리자 기능으로 설계과정의 선후관계와 설계변경 여부 등에 따라 관리되도록 하였다. 기종선택 과정은 주 가공물의 형상에 적합한 기종을 선정하는 과정으로 고객의 설계요구사항이나 목표사양을 입력 받아, 기종별 특성을 고려하여 결정된다. 타입선택 과정은 결정된 기종에 따라 구체적인 타입을 결정하는 과정으로 Fig. 5 와 같이 설계할 공작기계의 강성, 성능, 가격, 크기 등에 관련된 사항을 정성적으로 입력 받아, 지식베이스에 저장되어 있는 설계지식을 추론하여 적합한 타입을 추천하고, 설계자가 최종 결정을 하도록 되어 있다. 기본구조형태 결정과정은 설치공간 설정, 기본구조 결정, 부가질량 설정, 재질선택 과정 등의 설계수순으로 구성되어 있다. 설치공간 설정과정에서는 설계할 공작기계의 전체적인 크기를 입력하는 과정으로 하위 설계과정에서 각 요소의 위치나 크기가 이를 벗어날 경우에 설계자에게 설계변경을 통지하는데 활용된다. 기본구조 결정과정은 구성요소들의 크기와 위치를 결정하는 과정으로 테이블 급수(table grade) 결정으로 시작한다. 테이블 급수는 작업 테이블의 크기와 장착높이를 기준으로 테이블을 구분하는 수치로 공작기계의 전체적인 규모가 이를 기반으로 결정된다.

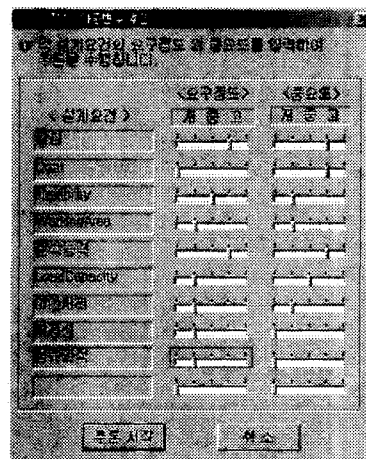


Fig. 5 Setting user requirements

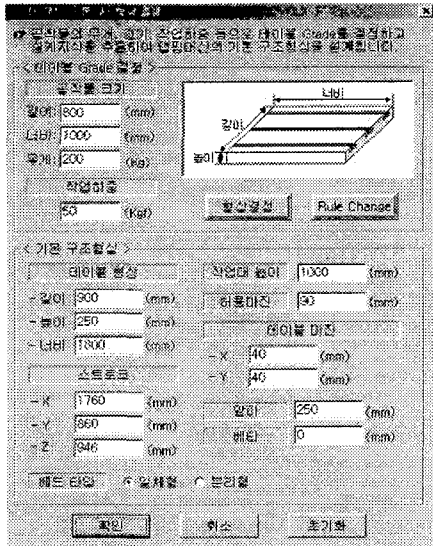


Fig. 6 Decision of machine dimensions

본 시스템에서는 Fig. 6 과 같이 대상 공작물의 크기, 무게, 작업하중 등을 입력 받아 테이블 급수를 결정하고, 설계지식으로 저장되어 있는 테이블 급수 표를 추론하여 테이블과 주축부의 크기, 기본구조의 주요 여유간격(margin)을 결정한 후 스트로크 결정 수식, 크기결정 수식, 위치결정 수식 등을 추론하여 각 구성요소의 적합한 크기와 위치를 추천한다. 또한, 기본 구조형상 결정과정에서는 기계의 전체적인 크기, 테이블의 크기, 작업하중, 공작물의 최대 무게 등을 고려하여 적합한 타입의 베드를 추천한다. 베드 타입에는 컬럼부와 테이블부로 구분되는 분리형과 구분이 없는 일체형이 있다. 부가질량 설정과정에서는 기본 구성요소 이외에 공작기계의 진동특성에 영향을 많이 주는 공구매거진(tool magazine), 공구교환 장치(tool changer), 콘트롤러 박스(controller box) 등의 위치와 크기가 결정된다. 재질선택 과정은 구성요소들의 재질은 물론 무게, 결합상태 등을 선정하는 과정으로, 진동해석이나 유한요소 해석모델 생성에 필요한 설계변수가 결정되므로 이 과정을 수행하지 않으면 해석을 수행할 수 없게 된다.

### 3.2 지지계 설계기능

일반적으로 공작기계의 지지부는 베드와 컬럼으로 구성되며, 가공 정밀도와 강성에 큰 영향을 미치므로, 이들의 설계는 공작기계 설계에 있어서

중요한 과정이며, 전술한 바와 같이 모델의 다양화에 큰 제한 요소로 대두되고 있는 부분이다. 베드와 컬럼은 주로 내부에 리브가 배치된 플레이트 구조물이며, 리브의 형태와 위치는 다분히 설계자의 의도에 의하여 결정된다. 베드는 기계의 모든 하중을 지지하게 되므로 고 강성이 요구되고, 컬럼은 주축부와 작업하중에 의한 굽힘(bending)과 비틀림 하중을 받게 된다. 특히, 컬럼이 이동되는 경우에는 강성설계는 물론 경량화를 시키는 설계가 병행되어야 한다. 지지계의 설계과정은 구조형태 설계에서 결정된 베드와 컬럼에 리브를 배치하는 과정으로 크게 베드설계와 컬럼 설계로 구분되며, 각 과정에는 리브 배치와 중공(hole)설계가 수행된다. 중공설계는 리브에서 강성에 영향이 적은 부분을 사각이나 원형으로 제거하여 경량화와 원가절감 효과를 얻기 위한 설계이다. 본 시스템에서는 베드와 컬럼의 유형별 특성을 평가한 자료를 바탕으로 많이 사용되는 형상을 기본유형으로 선정하여, 이들을 조합하는 방식으로 베드와 컬럼에 리브를 설계할 수 있도록 하였다. 베드와 컬럼의 기본유형은 Fig. 7 과 같이 각각 4 가지의 형상을 사용하며, 작업하중, 공작물 무게, 기계의 크기 등을 고려하여 기본유형의 리브 구조를 조합하면 매우 다양한 형태의 리브 설계가 가능하다. 베드설계는 4 가지 기본유형을 정면과 측면의 단면형상으로 각각 선정하고, 각 유형별로 리브의 간격, 리브의 개수 등의 설계변수를 입력하여 설계한다. Fig. 8(a)는 정면과 측면의 형상으로 각각 Type 3, Type 1 을 조합하여 설계한 예이다. 베드가 분리형인 경우에는 컬럼 베드와 테이블 베드가 동시에 설계되므로 각각에 대하여 기본유형 선정과 설계변수를 입력하도록 되어 있다. 컬럼의 설계도 베드설계와 유사하게 기본유형을 조합하여 설계하지만 컬럼의 하중특성을 고려하여 Fig. 7(b)와 같이 정면에는 Type 1 과 Type 2 를, 상면에는 Type 3 와 Type 4 를 단면의 기본유형으로 사용되도록 하였다. Fig. 8(b)는 정면의 형상으로 Type 2 를, 상면의 형상으로 Type 4 를 조합하여 컬럼을 설계한 예이다. 베드와 컬럼의 중공설계는 리브설계와 병행하여 수행되며, 각 단면의 리브들을 대상으로 중공의 유형, 크기, 위치, 개수 등의 정보를 입력하여 설계한다. 베드는 외곽면에도 중공을 설계할 수 있으나, 컬럼은 기능적 특성을 고려하여 주축부가 부착되는 면에는 중공이 설계되지 않도록 하였다.

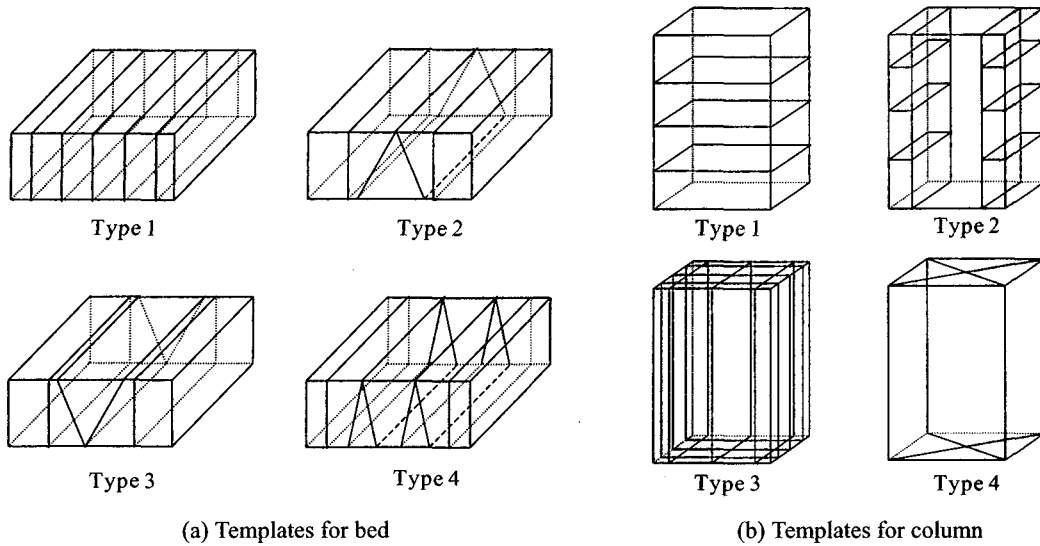


Fig. 7 Rib templates for bed and column

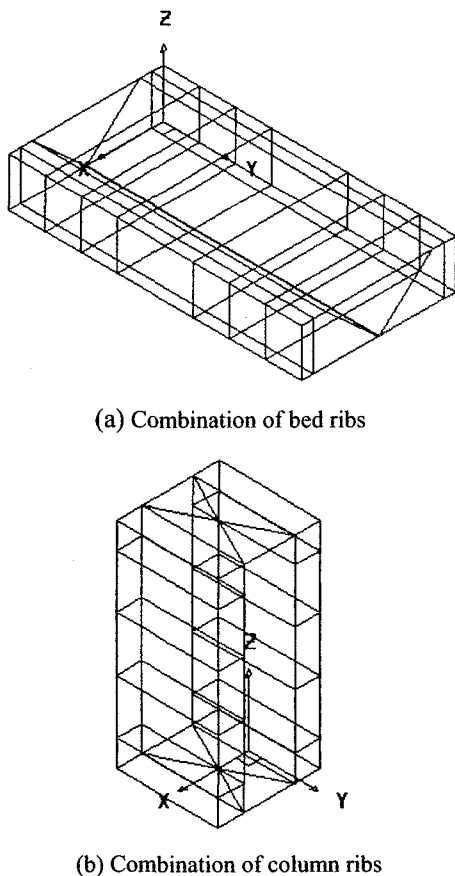


Fig. 8 Examples for combination of the rib templates

### 3.3 구조형태 해석기능

구조물의 설계가 완료되면 설계결과의 정적, 동적 거동과 성능을 예측하기 위한 해석 및 평가 작업이 필요하다. 본 시스템의 구조물 해석모듈은 크게 구조형태 해석기능과 유한요소 해석 지원기능 등의 두 가지로 구분할 수 있다. 구조형태 해석기능은 진동해석(modal analysis)으로 기본 구조형태의 모드(mode)와 에너지분포를 예측하여 기본 구조형태의 동적특성을 평가하는 기능으로, 개발된 시스템에 내재되어 있으며, 구조형태의 설계가 완료되면 수행할 수 있도록 되어 있다. 진동해석은 해석모델 생성, 모드해석, 에너지분포 해석 등의 순서로 이루어진다. 진동해석을 위한 해석모델은 공작기계를 구성하는 베드, 컬럼, 테이블, 부가 질량 등의 모든 구성요소와 가공력, 공작물 무게 등의 외력이 Fig. 9 와 같이 강체(solid) 요소, 빔 (beam) 요소, 서포트(support) 요소, 스프링(spring) 요소, 외력(external force) 요소 등으로 단순화 되어 모델링 된다. 강체요소는 질량과 각 축 방향의 관성모멘트를 속성으로 갖는 요소이며, 빔 요소는 재질, 단면적, 정적 관성모멘트, 오일러 각 등의 속성을 갖는 요소로, 베드와 컬럼이 강체요소와 빔 요소로 모델링 된다. 서포트 요소는 수직 및 회전 강성을 속성으로 갖는 요소로 지지점을 모델링 하는데 사용된다. 스프링 요소는 수직 및 회전 강성, 접촉면적 등을 속성으로 갖는 요소로 구성

요소들 사이의 결합방식을 표현하기 위한 요소이다. 각 요소들의 위치를 나타내기 위해 개념적인 요소인 노드(node)가 있으며, 강체 요소, 서포트 요소, 스프링 요소는 하나의 노드를, 빔 요소는 양 끝에 각각 하나씩 두 개의 노드를 갖는다. 또한, 외력요소는 부하가 걸리는 지점의 위치, 성분별 하중, 가공면의 수직방향에 대한 방향코사인 값 등을 속성으로 갖으며, 작업하중 등과 같이 외부에서 작용하는 하중을 모델링 할 때 사용된다. 모드해석은 해석모델에 운동방정식을 적용하여 10 차 모드까지의 고유진동수와 각 주파수에서 절삭력이 가해진 노드의 최대진폭을 구한다. 주축의 회전수이나 외력에 의한 진동이 고유진동수에 근접한 경우에는 공진이 발생되므로 주축의 작업 회전수 영역을 선정할 때 고려해야 한다. 에너지분포 해석은 모드해석을 기반으로 각 진동모드에서의 고유벡터(eigen vector)를 구하여 각 구성요소의 위치에너지와 운동에너지를 계산한다. 위치에너지의 분포가 큰 요소는 상대적으로 변위의 발생 가능성이 많음을 내포하며, 운동에너지가 크면 고유진동수에서의 동적 컴플라이언스(compliance)가 커질 가능성이 있다고 평가 할 수 있다.

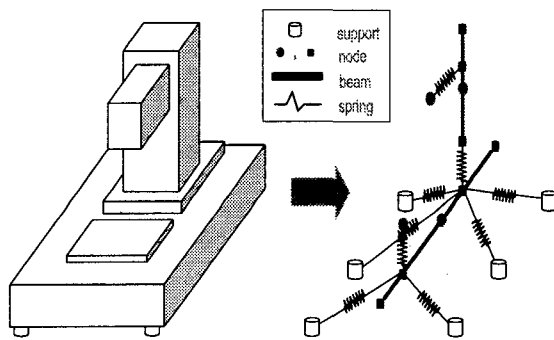


Fig. 9 Analysis modeling for modal analysis

### 3.4 구조해석 지원기능

구조물의 정적 안전성이나 동적거동을 평가하는 방법은 유한요소 해석법이 최적으로 간주되고 있으며 많은 상용 유한요소 해석 시스템들이 개발되어 있다. 그러므로 전용 유한요소 해석 알고리즘을 개발하기 보다는 기 개발되어 있는 상용 시스템들을 이용하는 것이 좀더 신뢰적이고 유용한 방안이라고 판단되어, 이들과 편리하게 인터페이

스(interface)하는 방법을 개발하였다. 본 시스템의 구조해석 인터페이스 기능은 설계된 공작기계 구조물의 구조해석 관련 정보가 포함된 해석모델을 ANSYS 용 스크립트 파일로 생성함으로써 구조해석 비 전문가도 ANSYS 를 활용하여 특별한 조작 없이 단순히 스크립트 파일을 읽으면 구조해석을 수행할 수 있도록 하는 것이다. 시스템에서 생성하는 해석모델은 공작기계의 구조물이 판(plate)형 구조물이므로 셸 요소(shell element)를 기반으로 생성되며, 형상정보, 하중 및 경계조건 정보, 요소생성 정보 등의 구조해석 관련 정보가 포함되고, 구조물을 베드와 컬럼으로 구분하여 각각의 해석모델 파일이 생성된다. 형상정보는 구조물의 리브 형상을 읽어 꼭지점과 교차선의 끝점을 순차적인 절점(key point)으로 생성하고, 이들의 번호를 연결하여 영역(area)을 정의하는 방식으로 모델링한다. 하중정보는 공작기계의 타입에 따라 구성요소의 자중, 가공력 등을 고려하여 정력학적인 방법으로 계산하여 정의되고, 요소들간의 결합방식에 따라 구속조건 정보도 정의된다. 또한, 해석모델 파일에는 요소를 생성하고 해석을 수행하여, 그 결과를 출력하는 명령어들이 기입된다. 따라서 ANSYS 를 활용하여 단순히 해석모델 파일을 읽으면 구조해석이 수행되고, 그 결과를 설계에 반영할 수 있도록 하였다.

## 4. 시스템의 구현

본 시스템은 공작기계 설계용 지능형 설계시스템을 기반으로 구조물 설계기능과 구조해석 지원기능을 통합하여 Fig. 10 과 같은 구조로 개발하였다. 공작기계 설계용 지능형 설계시스템은 공작기계의 객체지향 모델링을 기반으로 설계 전문가들의 설계 프로세스와 설계지식이 내재된 지식기반 설계 시스템으로, 지식베이스(Knowledge Base)는 IDEF0 기법으로 설계 프로세스를 분석하고, 각 프로세스 별 설계지식을 전문가들과의 인터뷰로 체계화하여 구축하였으며, 지식관리자(Knowledge Manager)를 통하여 설계지식이 체계적으로 관리되도록 하였다. 설계관리자(Design Manager)는 설계과정을 선후관계에 따라 관리하며, 설계진행에 따라 내재된 추론엔진(Inference Engine)을 구동하여, 결과를 Parasolid 모델러를 통하여 가시화하고, 설계이력(Design History)에 저장하는 기능을 수행한다.

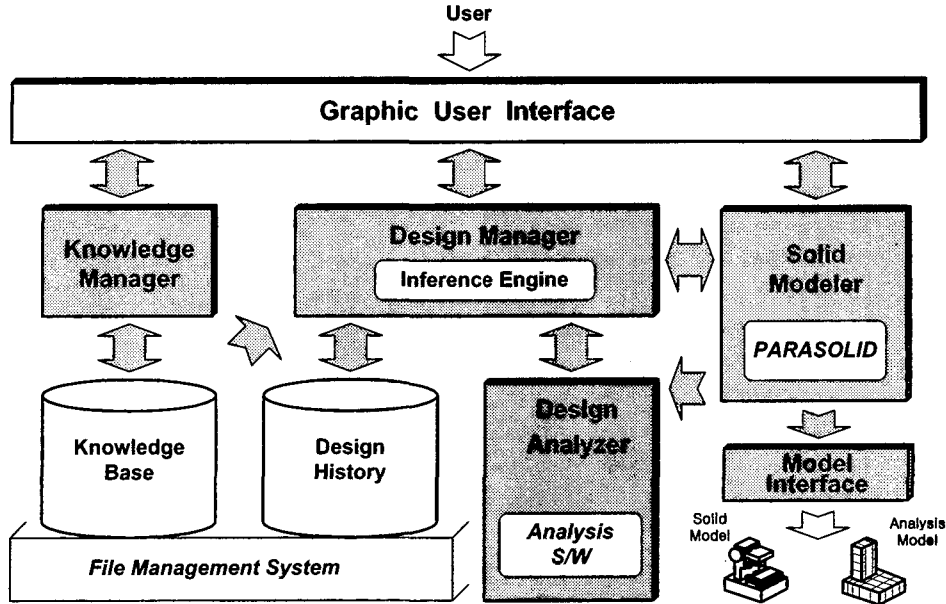


Fig. 10 Functional structure of the system

설계해석기(Design Analyzer)는 전용으로 개발하여 내재한 구조형태 해석기능으로 설계된 기본 구조형태의 동적특성을 평가하는 기능을 수행하고, 모델출력기(Model Interface)는 설계된 공작기계의 형상모델과 ANSYS 용 해석모델 파일을 생성하여 구조해석 지원기능을 담당한다. Fig. 11 은 개발된 시스템의 주 화면으로, Visual C++ 6.0 과 OpenGL 을 이용하여 구현하였다. 상단에는 보조적인 기능을 수행하는 메뉴들을 배치하여 설계 프로젝트 관리, 설계지식관리, 모델러 관리 등의 기능을 수행하고, 우측에는 설계 프로세스와 설계이력을 관리하는 영역이, 좌측에는 설계결과를 형상모델과 해석모델로 출력하는 모델출력기가 배치되어 있다. 설계 프로세스 영역에는 모듈별 설계과정이 제시되고, 설계를 진행함에 따라 아이콘으로 설계상태가 표현된다. 설계이력 영역에는 설계 프로젝트의 설계 버전(design version)들이나 설계가 진행되는 버전의 부품구성이 제시되고, 하단의 탭 메뉴를 이용하여 변경되도록 하였다. 설계의 변경은 해당 과정을 재 수행하거나, 모델러의 수정기능을 이용하면 가능하나, 설계수순 상으로 뒤에 있는 과정들이나 영향을 받는 과정들은 무시(invalid)되며, 상태 아이콘이 변경되므로 설계자는 해당과정들을 수순에 맞게 재 수행해야 한다.

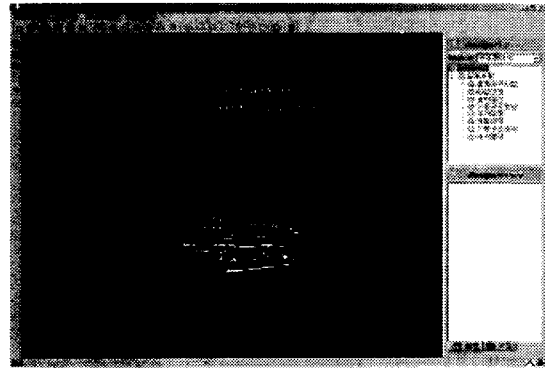


Fig. 11 Main screen shot of the system

## 5. 시스템의 활용

ICAD/TM 은 구조형태 설계기능, 구조물 설계 기능, 구조형태 해석기능, 구조해석 지원기능 등을 갖고 있는 통합설계 시스템으로, 이를 태핑머신(tapping machine)의 기본구조와 구조물 설계에 활용하여 각각의 기능을 검증하고자 한다. 본 시스템은 주 화면의 설계관리 영역에 제시되는 각 설계과정을 순서대로 선택(click)면 편리하게 각각의 기능을 수행할 수 있다. 먼저 공작기계의 구조형태 설계는 Fig. 5 와 같은 대화상자(dialog)에 설계



요구사항을 입력하여 적합한 공작기계 타입의 선정으로 시작된다. Fig. 12는 강성과 절삭능력이 우수하고, 제작비용이 저렴한 탭핑머신의 기본구조를 구조형태 설계기능으로 설계한 예이다. 시스템은 설계요구사항에 가장 적합한 구조로 라인타입(line type)을 추천하였으며, Fig. 6과 같은 대화상자를 이용하여 대상 공작물의 크기가 800(mm) x 1000(mm), 무게가 200(kg), 작업하중이 50(kgf)인 것으로 가정하여 기본 구성 요소들의 크기와 위치를 결정하였다. 또한, 부가질량들은 컬럼에 부착하였고, 베드는 일체형으로 결정하였다. Fig. 13은 결정된 기본구조를 구조형태 해석기능으로 모드해석을 수행한 결과로 약 5Hz에서 1.58(mm)의 최대 진폭이 발생되는 것으로 예측되었다. 그러므로 주축의 설계나 기타 진동요소를 설계하는 과정에서는 모드해석 결과를 참조하여 공진이 발생하지 않도록 결정해야 한다. 또한, 각 모드별 각 요소의 에너지 분포를 확인하여 특정 요소에 에너지가 집중되지 않도록 크기와 위치를 변경해야 한다. Fig. 14는 지지계 설계기능을 이용하여 베드에 리브를 설계하는 과정으로 기본유형을 선정하고 리브배치에 필요한 설계변수들이 입력된다. Fig. 15는 베드와 컬럼에 리브배치와 중공설계를 수행한 결과이다. 베드는 정면과 측면의 기본유형으로 모두 Type 1을 사용하여 조합하였고, 컬럼은 정면과 상면의 기본유형으로 각각 Type 2와 Type 3을 조합하였다. 또한, 베드와 컬럼의 리브는 사각형상의 중공설계를 수행하였다. Fig. 16과 Fig. 17은 설계된 베드와 컬럼의 구조해석용 해석모델 파일을 구조해석 지원기능으로 생성하여 ANSYS에서 해석을 수행한 결과이다. 구조물의 재질은 기본구조 설계에서 선정되었던 주철이며, 공구선단(tool-tip)에 50(kgf)의 하중이 작용하는 것으로 가정한 해석 결과로 베드는 최대변형이 약 267( $\mu\text{m}$ )이고 컬럼은 약 103( $\mu\text{m}$ )임을 알 수 있다. 따라서 특별한 조장이 없이 단순히 시스템에서 생성한 스크립트 파일을 읽으면 구조해석을 수행하여 전문가의 도움이 없이도 구조물의 안전성을 평가할 수 있다. 구조물의 안전성을 만족하지 못하는 경우에는 지지계 설계로 돌아가 해석결과를 바탕으로 리브의 배치 유형이나 간격, 개수 등을 변경하거나 구조형태를 변경하는 재 설계를 수행함으로써 최적의 구조와 구조물을 설계할 수 있다. 본 시스템은 설계목적에 가장 적합한 구조를 선정하고 평가할 수 있는

구조형태 설계기능과 구조형태 해석기능을 갖고 있으며, 구조물에 리브를 설계하는 지지계 설계기능과 편리하게 구조물의 안전성을 평가할 수 있는 ANSYS용 해석모델 생성기능을 보유하고 있으므로 공작기계의 기본구조와 구조물의 설계안을 효율적으로 결정할 수 있는 시스템이라고 판단된다.

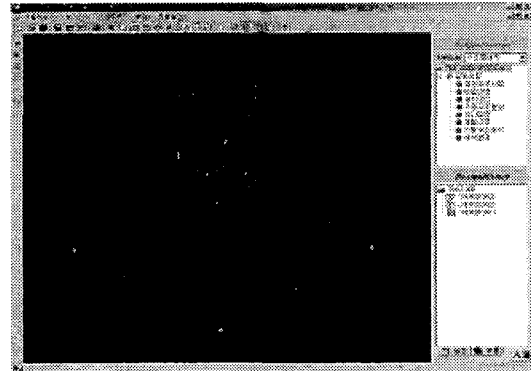


Fig. 12 Design of machine configuration

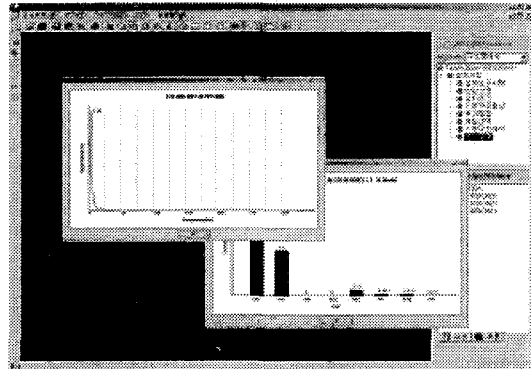


Fig. 13 Result of modal analysis

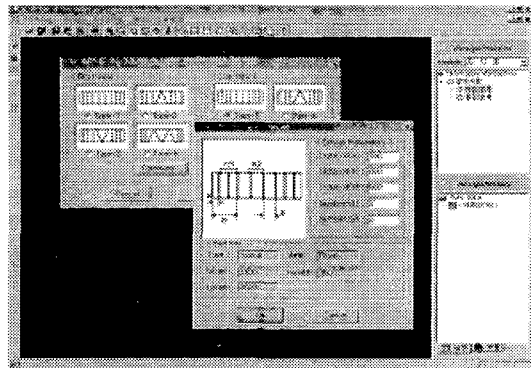


Fig. 14 Setting parameters for rib arrangement

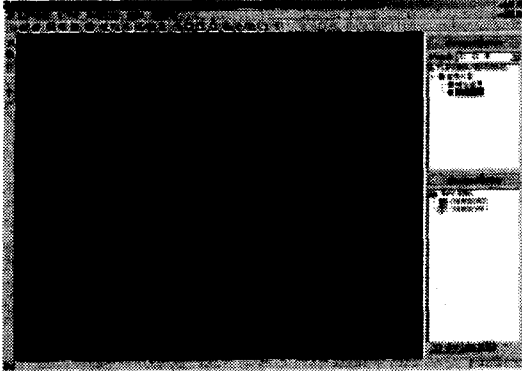


Fig. 15 Design of ribs for bed and column

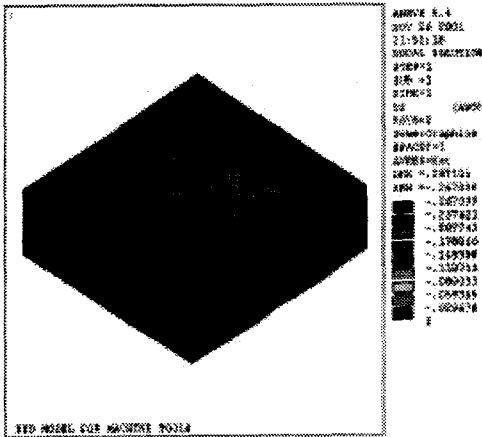


Fig. 16 Structural analysis of bed

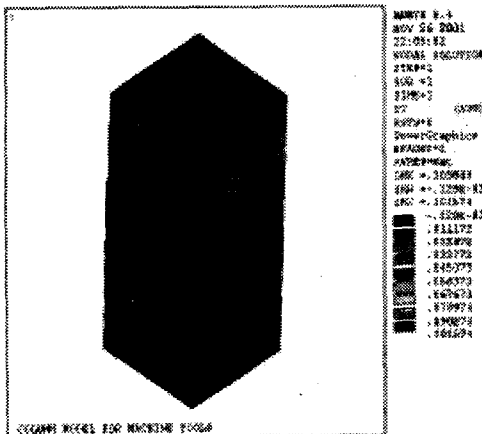


Fig. 17 Structural analysis of column

## 6. 결론

공작기계용 구조물을 쉽고 빠르게 설계하고, 해석, 평가하여 공작기계의 기본설계를 지원할 수 있는 통합 설계시스템을 개발하였다. 본 시스템은 구조형태 설계기능, 지지계 설계기능, 구조형태 해석기능, 구조해석 지원기능 등의 공작기계용 구조물 설계에 필요한 전용 설계기능과 해석기능을 통합하여 구현하였다. 구조형태 설계기능은 설계 요구사항에 적합한 공작기계의 기본구조를 지식기반으로 설계하는 기능이며, 지지계 설계기능은 기본구조를 구성하는 베드와 컬럼의 내부구조를 기본 유형의 조합으로 설계하는 기능이다. 구조형태 해석기능은 모달해석과 에너지 분포 해석으로 구조형태의 동적 특성을 평가하는 기능이고, 구조해석 지원기능은 설계된 구조물을 유한요소해석으로 평가할 수 있도록 ANSYS 용 해석모델 파일을 생성하는 기능이다. 따라서, 공작기계의 기본구조를 설계 요구사항을 기반으로 설계하여 동적특성을 평가하고, 기본구조의 중요 요소인 베드와 컬럼의 내부구조를 설계하여 ANSYS 로 정적 안전성을 평가하는 과정으로 공작기계의 구조물을 설계하는 시스템이다. 설계기능과 해석기능을 통합함으로써 해석 전문가의 도움이 없이도 설계요구사항에 적합한 구조물의 기본 설계안을 신속하게 도출하여 적용함으로써 공작기계 설계에 다양한 형상의 구조물을 활용할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. 박종권, 송창규, "21 세기를 향한 국제 공작기계 산업의 기술동향," 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 1 호, pp. 38-43, 2001.
2. 백영중, 오민석, 최대봉, "초고속 지능형 라인 센터용 구조물 설계에 관한 연구," 한국정밀공학회, 추계학술대회논문집, pp. 56-59, 2001.
3. Bi-Chu Wu, Gin-Shu Young and Te-Yen Huang, "Application of a two-level optimization process to conceptual structural design of a machine tool," Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 40, pp. 783-794, 2000.
4. 신정호, 곽병만, "데이터베이스를 활용한 공작기계의 구조해석 프로그램 개발," 대한기계학회, 추계학술대회논문집, pp. 446-451, 2000.

5. Fehmi Cirak, Michael J. Scott, Erick K. Antonsson, Michael Ortiz, Peter Schroder, "Integrated modeling, finite-element analysis, and engineering design for thin-shell structure using subdivision," *Computer Aided Design*, Vol. 34, No. 2, pp. 137-148, 2002.
6. B.J. Hicks, S.J. Cullry, "An Integrated modeling environment for the embodiment of mechanical systems," *Computer Aided Design*, Vol. 34, No. 6, pp. 435-451, 2002.
7. 차주현, 박면용, 박지형, 김종호, "공작기계 기본설계를 위한 지능형 설계시스템 개발(1) - 지능형 설계시스템의 제안," *대한기계학회논문집*, 제 21 권, 제 12 호, pp. 2134-245, 1997.
8. Park, M., Park, J., Cha J., Kang, M., "Development of an intelligent design system for embodiment design of machine tools," *Annals of the CIRP*, Vol. 48, pp. 329-332, 1999.
9. Manfred Weck, "Handbook of Machine Tools," John Wiley & Sons, 1984.
10. Gary Colquhoun, Ray Bains and Roger Crossly, "A state of the art review of IDEF0," *INT. J. Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 6, No. 4, pp. 252-264, 1993.