

# 최적설계를 위한 상용프로그램의 통합에 대한 연구

## A Study on the Integration of Commercial Codes for Structural Optimal Design

신정호\*      광병만\*\*      광기성\*\*\*      한영근\*\*\*  
 Jeong Ho, Shin, Byung Man, Kwak, Ki Sung, Kwag, Young Kuen, Han

### ABSTRACT

In this paper, an integrated S/W system from CAD to optimal design has been suggested and an application to a precision machine tool structure shown. The integrated system is so designed to reduce manual interfacing effort. An object-oriented programming language is used for combining 3-D CAD program, FEM and optimal design tools. In this system parametric modelling technique is applied and users can get the optimum design iteratively without much user intervention. The CAD model is automatically updated when the design parameters are transferred back to the CAD program. Not only design time can be dramatically reduced but unnecessary operation errors avoided by the integration.

주요기술용어 : Optimal Design(최적설계), Structural Analysis(구조해석), FEM(유한요소해석), Parametric Modeling(파라메트릭 모델링), Integration(통합화)

### 1. 머리말

기계구조를 설계함에 있어 사용자의 의도에 적합한 최적의 구조를 설계하기 위해서는 많은 비용과 시간이 필요하게 된다. 컴퓨터의 보급과 수치해석 기술의 발달로 보다 나은 성능의 공작기계 개발을 위해서 최적화에 대한 연구가 오래 전부터 진행되어 왔다<sup>(1-5)</sup>. 지그보링 머신<sup>(1)</sup>이나 수직선반<sup>(2)</sup>, 프레스 머신<sup>(3)</sup>과 같은 공작기계에 대하여 유한요소모델을 이용한 구조해석을 수행하여 정적, 동적 특성을

최적화하려는 연구가 그 예이다<sup>(3-5)</sup>. 최적의 설계를 얻기 위하여 자유로운 설계변경이 가능하게 하기 위하여 파라메트릭 모델링 기술이 도입된다<sup>(6)</sup>. 이 기술을 이용하여 수평형 머시닝센터와 같은 공작기계의 내부 구조에 대한 최적화<sup>(7)</sup>를 수행하고 제품설계에 관련된 여러 기술들의 통합화를 시도하기도 한다<sup>(8-9)</sup>.

최근에는 3차원 캐드 시스템들이 많이 개발되어 기존에 널리 사용되어온 캐드 시스템의 역할을 대신해 가고 있다. 3차원 캐드는 보다 직관적이고 대화식의 작업이 가능하여 사용자가 보다 편리하게 작업을 수행할 수 있게 해준다. 또한 3차원 상에서 작성된 모델을 토대로 도면을 아주 쉽게 작성할 수 있는 도

\* 한국과학기술원 기계공학과 박사과정

\*\* 한국과학기술원 기계공학과 교수

\*\*\* 통일중공업 기술연구소 기계개발부

구들이 많이 개발되어 있다. 기계구조의 설계에 요구되는 시간과 비용을 절약하기 위해서는 각 설계 단계에서부터 평가 단계에까지 이르는 일련의 과정들이 유기적으로 정보를 교환해가며 효율적으로 이루어질 수 있는 모듈화가 필요하게 된다. 기존의 대량생산 체제가 현재에 와서는 소비자의 다양한 요구에 부응하기 위해서 대량 커스터마이제이션(mass customization) 체제로 바뀌게 되어 제품의 사용자들은 자신들의 요구에 맞는 제품을 제공받을 수 있다. 공작기계의 경우에도 구성설계 방법과 파라메트릭 설계기술<sup>(10)</sup>을 적용하고 지식베이스와의 연결<sup>(11)</sup>을 통해서 설계의 변경이나 재설계를 쉽게 하기 위한 시스템이 제안되고 있다.

본 연구에서는 3차원 캐드 프로그램과 유한요소해석 프로그램을 접목시키고 이를 최적설계 툴과 연계하여 사용자가 쉽게 사용할 수 있는 통합화된 최적설계 시스템의 개발에 대한 내용을 다루었다. 구조물에 대한 파라메트릭 모델링을 통하여 구조해석을 수행하고 설계변수 선정, 그리고 민감도 해석을 통하여 설계 변경이 용이하도록 최적설계 모듈을 구축하였다. 이를 기반으로 객체지향 프로그래밍 언어를 이용하여 제품설계단계에서 필요한 일련의 작업들을 사용자가 손쉽게 작업하고 필요한 정보를 편리하게 입출력하기 위한 사용자 인터페이스를 개발하여 통합화를 시도하였다. 본 통합시스템을 이용하여 사용자의 요구에 가장 적합한 최적의 개선설계를 자동적으로 갱신된 도면의 형태로 받아볼 수 있게 되어 구조물의 재설계에 소요되는 시간을 획기적으로 단축할 수 있는 시스템을 제안하였다. 본 연구의 목적은 제품의 설계변경 및 재설계에 보다 빠르게 대처할 수 있도록 기존의 도구들을 통합화하는 방법을 제시하는 것이다.

## 2. 솔리드에지를 이용한 Cusomization

### 2.1 파라메트릭 모델링

본 연구에서 사용한 캐드 프로그램은 3차원 솔리드모델을 작성하고 이를 토대로 도면의 작성까지 가능한 상용프로그램인 Solid Edge Ver. 4.0이다. 공학시스템의 설계 시 이미 설계된 시스템의 설계와 유사한 설계를 수행할 때 부품들의 기하학적 형상이나 기능들이 일부 또는 전부가 변경되어야 할 필요가 있게 된다. 이러한 작업이 가능하도록 하려면 파라메트릭 모델링의 도입이 필요하게 된다. 파라메트릭 모델링 기술을 도입함으로써 유사한 설계를 수행 시 모델링을 다시 하지 않고도 부품들의 기하학적 형상들의 구속조건이나 설계제한 조건 등에 따라서 자동적인 설계변경을 할 수 있게 된다. 이러한 작업을 통해서 각 부품의 설계뿐만 아니라, 조립체의 설계도 쉽게 변경이 가능하다.

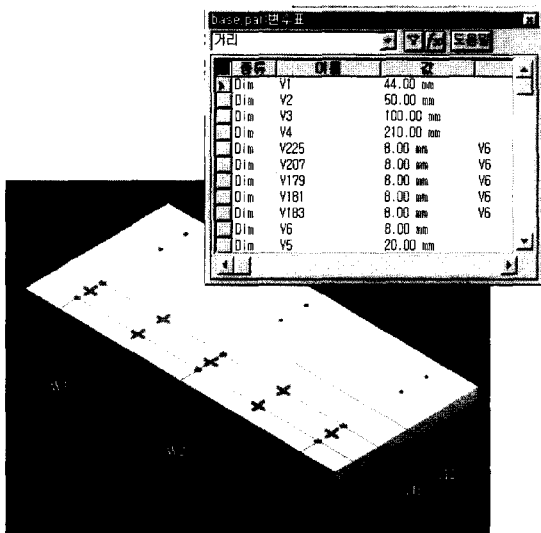
### 2.2 Solid Edge 프로그래밍

Solid Edge는 사용자가 각 부품의 기하학적 형상에 관련된 치수를 변수로 선언할 수 있으며 각 치수 간의 구속조건을 부여할 수 있는 기능을 제공한다. 또한 선언된 치수를 외부의 프로그램에서 컨트롤할 수 있는 API함수를 제공하기 때문에 파라메트릭 모델링을 쉽게 구현할 수 있다. 본 연구에서는 객체지향 프로그래밍 언어인 Visual Basic을 이용하여 파라메트릭 모델링을 위한 시스템을 작성하였다. 이렇게 작성된 시스템은 Solid Edge의 사용법에 익숙하지 않은 사용자라도 쉽게 설계변경을 수행할 수 있게 해 준다.

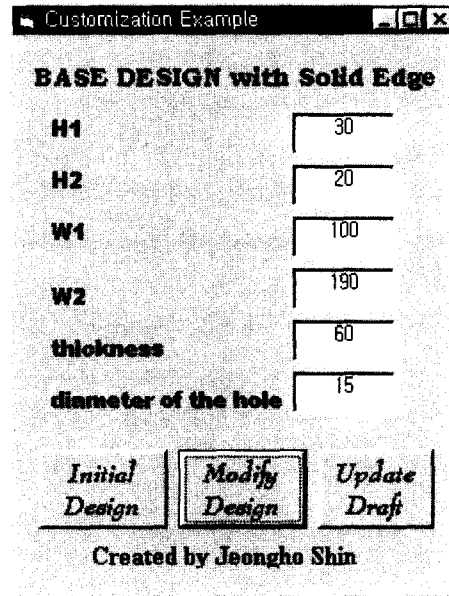
### 2.3 커스터마이제이션 예제

그림 1에는 파라메트릭 모델링을 위한 Customization 예제로 사용한 솔리드 모델이다. 이 그림에서 구멍사이의 간격과 구멍의 지름, 판의 두께를 나타내는 6개의 치수가 V1~V6으로 변수로 선언되어 있음을 살펴볼 수 있다. 이렇게 선언된 변수를 Visual Basic을 이용하여 구성된 GUI환경을 통하여 제어할 수 있다. 그림 2에는 구성된 프로그램의 모습과 초기의 치수와 다른 값들을 입력하여 얻은 솔리드모델의 모습을 보여주고 있다.

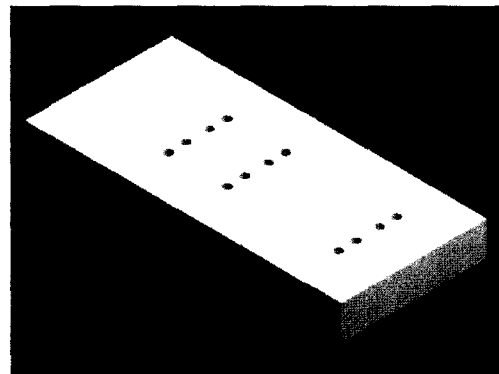
각 치수의 해당란에 사용자가 변경하고자 하는 치수를 입력하고 'Modify Design' 버튼을 누르면 자동적으로 솔리드 모델에 이 값들이 적용되어 설계가 바뀌게 된다. 또한 이 솔리드모델을 토대로 구성된 도면이 있을 경우 'Update Draft' 버튼을 누르면 설계의 변경이 자동적으로 기존에 구성되어 있는 도면에 반영되어 사용자의 요구에 부합하는 새로운 도면을 얻을 수 있도록 프로그램을 설계하였다.



(그림 1) 파라메트릭 모델링을 위한 변수선언



(a) 프로그램의 레이아웃



(b) 사용자의 요구에 의한 설계변경

(그림 2) 커스터마이제이션 프로그램 실행 예

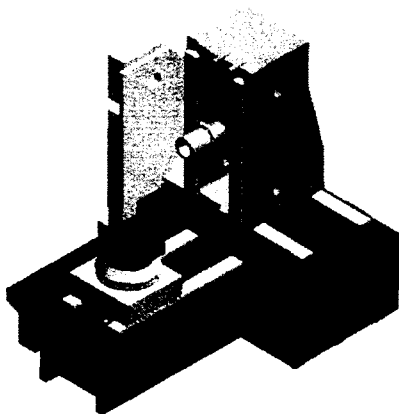
## 3. 구조해석 및 최적설계

### 3.1 해석모델의 구축

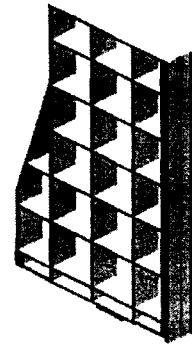
본 연구에서 제안하는 통합시스템의 대상으로 공작기계를 선택하였다. 공작기계는 정밀도를 위해서 여

러 가지 힘의 작용으로 인한 정적 및 동적 변형에 대한 충분한 강성을 지니고 있어야 한다. 일반적으로 이러한 형태의 공작기계는 다른 기계구도와 비교할 때 자유도가 많고, 그 구조도 크게 달라지게 되므로 첨단 생산시스템에 적합한 새로운 형태의 공작기계를 설계 및 제작하는 과정에서는 많은 노력, 시간, 비용 등이 필요하게 된다.

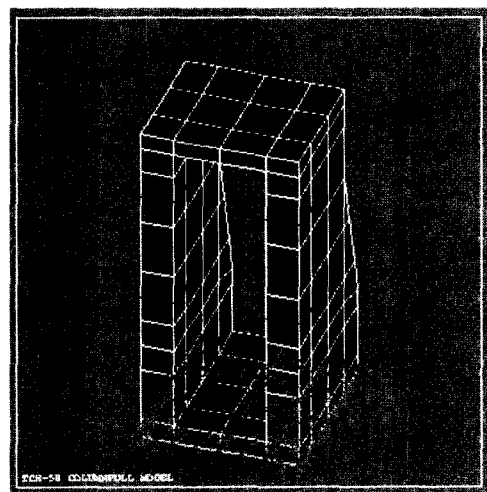
이 글에서는 간단한 예제로서 수평형 머시닝센터 컬럼에 대해서만 살펴보았다. 이 공작기계에서 컬럼은 스피들 박스를 이송시키며 가공의 정밀도에 큰 영향을 미치는 중요한 구조물이며 가공에 적합한 강성을 가져야 한다. 그림 3은 수평형 머시닝센터의 솔리드 에지 모델을 나타낸 것이다. 앞서 언급한 Customization 예제와 같이 이 공작기계에 대해서도 해석모델에서 설계변수로 선정된 치수에 대하여 솔리드 모델도 동조하여 설계변경이 가능하도록 파라메트릭하게 모델링하였다. 그림 4는 컬럼외벽의 내부구조를 보이고 있다. 격자형의 구조를 가지고 보강재가 배치되어 있음을 알 수 있다. 그림 5에는 이러한 구조를 반영하여 구성된 컬럼에 대한 ANSYS 해석모델을 나타내었다.



(그림 3) 수평형 머시닝센터의 캐드 모델



(그림 4) 컬럼외벽의 보강재 구조

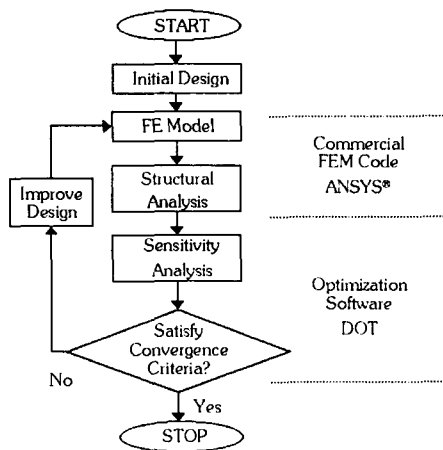


(그림 5) 컬럼에 대한 구조해석 모델

전체 시스템의 모든 치수와 형상을 변수로 선언하여 파라메트릭하게 모델링하였다. 이는 최적설계를 수행할 때 설계변수로 선정된 값의 변화에 따라 새로운 해석모델이 자동으로 생성되도록 하기 위함이다.

### 3.2 최적설계 과정

최적설계는 주어진 제한조건을 만족하는 범위 내에서 목적함수의 값을 최소로 하는 설계변수의 값을 찾아내는 문제이다. 본 연구에서는 상용 유한요소해석



(그림 6) 최적설계 순서도

프로그램인 ANSYS Version 5.3을 최적설계 프로그램인 DOT(Design Optimization Tool) Version 4.0과 연계하여 사용하였다. 그림 6에 최적설계가 이루어지는 과정을 순서대로 나타내었다. 먼저 설계변수의 초기 값을 설정한 후, 주어진 설계변수를 적용하여 유한요소 모델을 재구성한다. 이것은 해석모델이 모든 치수와 형상을 변수로 선언하여 파라메트릭하게 모델링되었기 때문에 가능하다.

유한요소해석 프로그램에서 현 상태의 시스템을 해석한 후 설계변수를 각각 독립적으로 섭동시켜 각 섭동된 설계변수에 대한 모델에 대하여 구조해석을 수행한다.

아내는 문제이다. 본 연구에서는 상용 유한요소해석 앞의 과정에서 수행한 내용으로 각 설계변수에 대한 목적함수 및 제한조건들의 민감도를 계산한다. 계산된 민감도 값을 이용하여 최적화기법에 의한 시스템의 새로운 설계변수들을 결정한다.

이러한 일련의 과정을 수렴조건을 만족할 때까지 반복하여 최적 해를 구하게 된다. 두 프로그램간의 데이터를 서로 직접 사용하기가 불가능하기 때문에 텍스트 파일에 쓰고 다시 그 파일로부터 정보를 읽는 방

법으로 위의 과정들을 반복하여 수행하였다.

최적화 탐색기법으로는 순차적 이차 계획법(Sequential Quadratic Programming)을 이용하였고 민감도는 따로 계산하지 않고 유한차분법에 의해 DOT가 내부적으로 구하는 값을 이용하였다.

## 4. 통합시스템의 개발

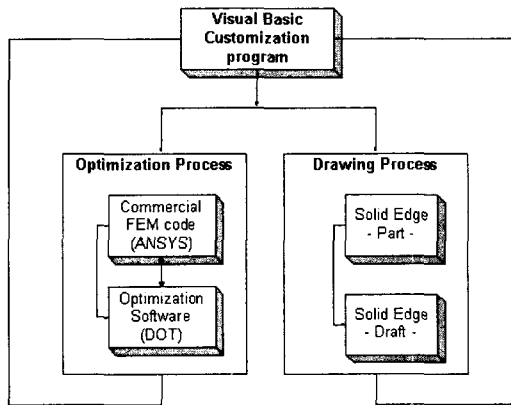
### 4.1 객체지향 윈도우 프로그래밍

2절과 3절에서 솔리드 모델에 대한 Customization 과정과 최적설계가 이루어지는 절차에 대하여 언급하였다. 이 두 과정을 통합하기 위하여 객체지향 언어인 Visual Basic을 이용하였다. 기존의 도스용 언어들이 구조적이고 순차적으로 실행되는 프로그램을 작성하는 데에 반하여 객체지향 윈도우 프로그래밍 언어는 이벤트 드리븐(Event Driven)방식에 의해 프로그램이 실행되므로보다 직관적이고 사용이 용이한 프로그램을 작성할 수 있다. 뿐만 아니라 GUI(Graphic User Interface)의 구현이 쉬운 것이 큰 장점이다.

이에 본 연구에서는 Visual Basic을 이용하여 일련의 작업들을 사용자가 손쉽게 작업하고 필요한 정보를 편리하게 입출력하기 위한 사용자 인터페이스를 개발하여 통합화를 시도하였다.

### 4.2 통합시스템의 구축

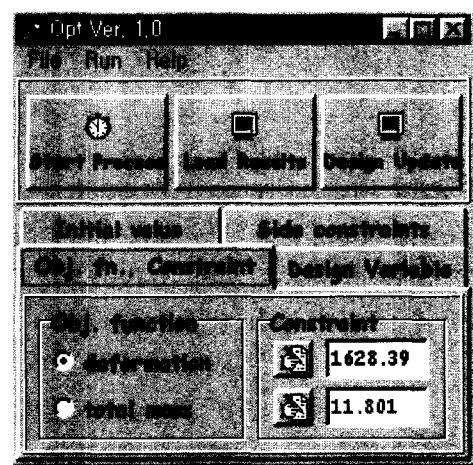
그림 7은 통합시스템의 구조를 나타내는 순서도이다. 이 그림에서 좌측은 앞서 설명한 최적설계가 이루어지는 과정을 나타낸 것이고 우측은 솔리드 에지를 이용한 Customization의 과정을 보이고 있다. 우선 대상에 대한 유한요소해석 모델과 솔리드 캐드모델이 파라메트릭하게 작성되어 있고 솔리드 모델에 대한 초기 상태 도면이 제작되어 있다. 이에 사용자가 설계



(그림 7) 통합시스템의 구성

변경을 위해서 최적설계 조건을 입력하여 최적설계를 수행하게 된다. 수회의 반복적인 구조해석과 최적화 과정을 통해서 얻어진 해를 메인 프로그램에서 GUI환경을 통해 출력해준다. 사용자가 최적설계를 통해서 구한 설계변경 내용을 캐드모델에 반영하고자 하면 메인 프로그램에서 솔리드 에지를 제어하여, 자동으로 개선설계가 반영된 캐드모델을 변경하여 준다. 또한 이 캐드모델을 바탕으로 하는 도면도 자동적으로 갱신될 수 있도록 통합시스템을 구성하였다. 그림 8은 작성된 통합시스템의 메인 화면을 나타내고 있다. 최적설계를 의미하는 'Opt' 로 명명하였다.

은 최적설계에 필요한 정보들을 입력하는 공간이다. 이 예제에서는 설계변수로는 가로 방향과 세로 방향의 보강재의 두께로 선정하였다. 두 치수 모두 초기 치수는 20mm이고 하한 값과 상한 값을 각각 5mm, 35mm 로 제한하였다. 모든 초기조건을 입력하고 나서 최적설계를 시작하는 버튼을 누르면 그림 9에 나타낸 것처럼 ANSYS와 DOT를 연계한 프로그램이 실행되게 된다. 최적설계의 과정은 사용자가 입력한 텍스트 파일로 저장된다.

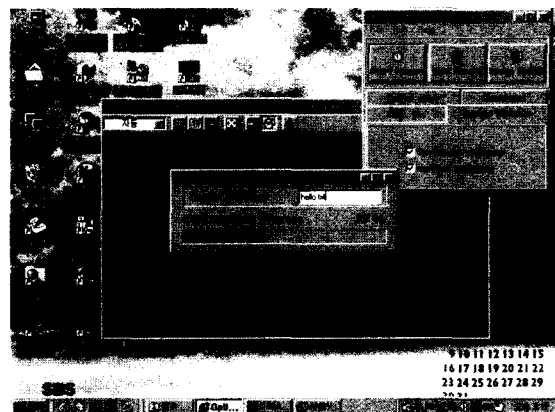


(그림 8) 통합시스템의 메인화면

### 4.3 통합시스템의 활용예제

#### 4.3.1 최적설계 조건 입력

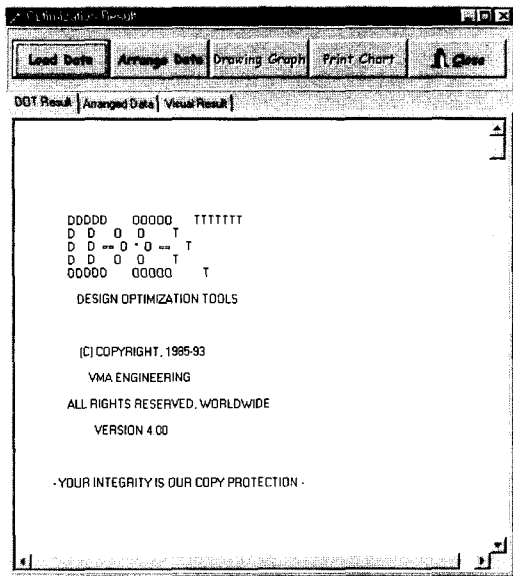
본 연구에서 제안된 통합시스템을 구체적으로 보이기 위하여 그림 5에 나타낸 것과 같이 컬럼에 경계조건을 부여하고, 컬럼의 전면 최상단이 뒤로 밀리는 양을 현 상태로 유지하면서 총 질량을 최소화하는 것을 최적설계 예제로 선택하였다. 그림 8에서 하단의 탭들



(그림 9) 최적설계 수행 모습

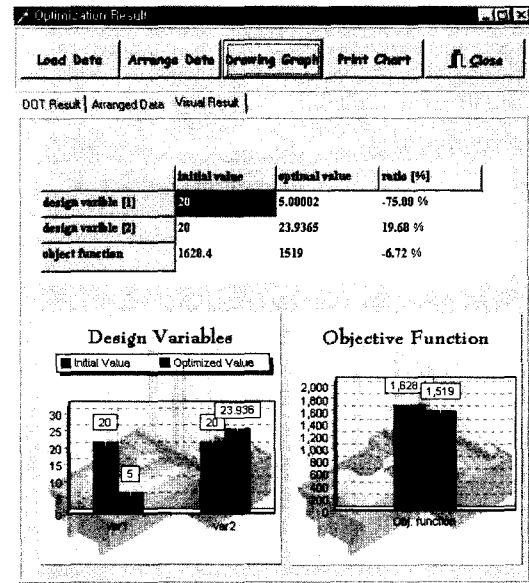
### 4.3.2 최적설계 결과 추출

최적설계가 끝나면 그 결과를 보기 위해서 'Load Result' 버튼을 누르면 그림 10과 같은 새로운 창이 생성되게 된다. 여기서는 최적설계 과정을 통해서 생성된 텍스트 파일을 볼 수 있고 그 파일에서 자동으로 결과를 정리하는 데에 필요한 정보를 추출할 수 있게 되어 있으며 그 추출된 결과를 도표와 그래프를 이용하여 보일 수 있도록 구성되어 있다. 그림 10은 최적설계과정이 기록된 DOT 출력파일을 보인 것이다. 그림 11은 추출된 결과를 바탕으로 도표와 그래프를 이용하여 최적설계결과를 정리한 모습이다. 여기서 작성된 그래프는 그림파일로 저장하거나 프린터로 출력하는 것도 가능하다. 최적설계결과를 표 1에 정리하였다. 가로방향의 보강재는 하한 값에 근접하였고 수직방향 보강재 치수가 증가하였다. 그 결과 컬럼상단의 변형을 초기 값과 거의 같은 값을 유지하면서 총질량을 6.7% 줄일 수 있었다. 이 결과는 통합시스템의 예제로서 얻은 결과에 불과하지만 실제 작



(그림 10) DOT 출력 파일 보기

업환경에 가까운 경계조건을 설정하고 목적함수와 설계변수를 적절히 선정한다면 보다 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있으리라고 본다. 이 단계에서 구성된 정보를 가공하여 다음 단계인 캐드 모델의 갱신에 필요한 정보를 텍스트 파일로 자동으로 저장하게 된다.



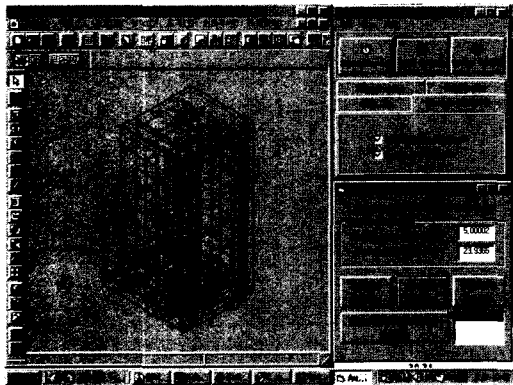
(그림 11) 자동생성된 그래프와 테이블

(표 1) 최적설계 결과

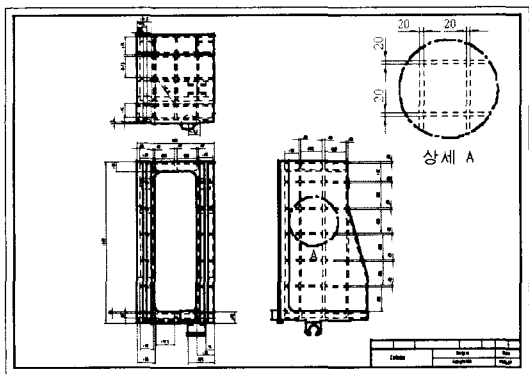
Design variables [mm]	Initial value (Ini)	Optimal value (Opt)	Opt/Ini
horizontal	20	5.00002	0.25
vertical	20	23.9365	1.20
Deformation [ $\mu$ m]	11.801	11.803	1.0002
Objective function [kg]	1628.4	1519.0	6.72% reduced

4.3.3 Customization 프로그램 실행

다음 단계는 최적설계 과정을 통해서 얻은 결과를 반영한 캐드모델을 얻는 것이다. 메인 프로그램에서 'Design Update' 버튼을 누르면 그림 12와 같이 캐드모델의 갱신을 위한 프로그램과 솔리드에지가 실행된다. 우측 하단의 프로그램이 최적설계 단계에서 전달된 정보를 이용하여 자동으로 설계를 변경할 수 있도록 한 Customization 프로그램이다. 여기에서 설계를 변경하고자 하는 파일을 선택하고 설계변경 버튼을 누르면 솔리드모델이 최적설계 결과를 반영한 형태로 갱신되게 된다. 최적설계 결과를 반영한 캐드모델이 구성되면 새로운 설계에 대한 도면을 재구성할 수 있다.



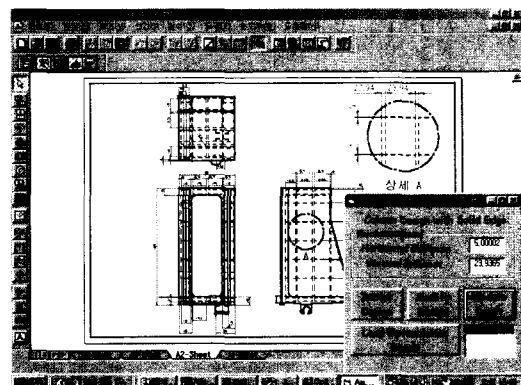
(그림 12) 최적설계 결과를 반영한 캐드모델의 갱신



(그림 13) 컬럼의 초기 도면

그림 13은 초기설계에 대하여 구성되어 있는 도면이다. 상세하게 나타낸 부분을 살펴보면 가로와 세로의 보강재가 20mm로 설정되어 있음을 알 수 있다. Customizing 프로그램에서 도면갱신 명령을 실행시키면 그림 14와 같이 개선설계를 반영한 새 도면이 구성되게 된다.

설계변수로 선정된 치수만 변경되는 것이 아니라 그 치수와 연관관계를 가진 치수들도 함께 변하게 된다.



(그림 14) 최적설계를 반영한 도면 자동 갱신

5. 맺음말

본 연구에서는 기계구조의 설계시 제품의 설계변경이나 재설계를 보다 빠르게 수행할 수 있는 통합화 시스템을 제안하였다. 통합시스템의 구성원리를 살펴보고 그 예제로 공작기계의 한 부품에 대한 수행결과를 살펴보았다. 본 연구에서 제안된 시스템의 큰 특징은 기존의 기술과 도구들을 통합하여 사용자 위주의 시스템을 개발하였다는 데에 있으며 유한요소해석을 위한 구조해석기술, 파라메트릭 모델링 기술, 최적화기법에 의한 최적설계 기술을 솔리드 모델링기술과 접목시킨 시스템이다. 이 통합시스템을 이용하면 최적설계에서부터 캐드모델의 설계변경까지를 한 시스템



내에서 수행하여 각 설계단계에서 평가단계까지의 정보를 유기적으로 이용할 수 있다.

향후에는 최적설계와 형상모델링에 관련하여 지식 베이스를 구축하고 통합시스템과 연결을 시도해 보고자 한다. 사용자 위주의 보다 사용이 쉬운 시스템의 개발하고 해석결과에 대한 신뢰도의 검증을 위한 노력이 더 필요하리라고 본다.

본 연구는 정부와 통일중공업의 지원에 의한 '첨단 가공기계의 설계 및 품질평가 예측기술 개발에 대한 연구' 의 일환임을 밝히며 관계자 여러분께 감사의 말을 전한다.

### 참 고 문 헌

1. V.V. Kaminskayia, "Calculation and Research on Machine Tool Structures and Foundation", Proc. 8th Int. MTDR Conf., 1967, pp. 139-161.
2. M. Yoshimura, "Computer-Aided Design Improvement of Machine Tool Structure Incorporating Joint Dynamics Data", Annals of the CIRP, Vol. 28, No.1, 1979, pp. 241-246.
3. Akio Nagamatsu, Park Sok-Shu, "Vibration Analysis and Structural Optimization of a Press Machine", Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 14, 1993, pp. 297-310.
4. Masataka Yoshimura, Design Optimization of Machine Tool Dynamics Based on Clarification of Competitive Cooperative Relationships Between Characteristics, ASME Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 109, 1987, pp. 143-150.
5. Masahide Matsumoto, "Design Optimization for Dynamic Response of Machine Structures Using a Mini-Max Method", JSME International Journal, Vol. 36, No. 4, 1993, pp. 402-409
6. M.W. Sonius, B.W. Tew, "Parametric design optimization of an entrapped fiber connection", J. of Composite Structures, Vol. 35, 1996, pp. 283-293.
7. 신정호, 곽병만, "수평형 머시닝센터에 대한 구조 해석 및 최적설계", 대한기계학회 98' 춘계학술대회 논문집, 1998, pp. 396-401.
8. 곽병만 외, "첨단가공기계의 설계 및 품질평가 예측기술 개발에 대한 연구(1차년도 연차 보고서)", 한국과학기술원, 1997.
9. 곽병만 외, "첨단가공기계의 설계 및 품질평가 예측기술 개발에 대한 연구(2차년도 연차 보고서)", 한국과학기술원, 1998.
10. 명세현, 한순홍, "구성설계 방법과 설계유니트를 이용한 공작기계의 파라메트릭 설계", 대한기계학회 99' 춘계학술대회 논문집, 1999, pp. 446-451.
11. 차주현, 이동욱, "공작기계 안내면 설계를 위한 지능형 설계시스템 개발", 한국CAD/CAM 학회 98' 논문집, 1998, pp. 407-413.