

〈기술논문〉

## 기계요소설계 과목을 위한 교육용 소프트웨어 개발

박 경 진 · 도 성 희

(1995년 10월 11일 접수)

### Software Development for the Machine Element Design Course

Gyung-Jin Park and Sung-Hee Do

**Key Words :** Machine Element Design(기계요소설계), Computer Aided Design(컴퓨터 원용설계), Design Methodology(설계방법론), Decision Making Process(설계결정과정)

#### Abstract

Machine element design is a very important course in the undergraduate program of mechanical engineering in that it presents traditional design concepts. While computer aided design (CAD) receives more attention, students tend to ignore the machine element design or traditional design concepts. However, design methodologies related to machine elements are utilized quite often in practical fields. Also, design methodologies provide good insight for the decision making process of modern design. Generally, CAD is used for simple drafting without the real design process in the undergraduate program. Design software has been developed for various machine elements. Through menu display, a user can select or furnish the design input such as design objects, dimensions, environmental forces and usages, and safety factors. Then the software carries out the design processes which are the same as those of textbooks. The result of the design is filtered to have the values in the standards. The designed machine element is drawn via commercial CAD software. The software has been developed with C language on a personal computer. The developed software is being utilized successfully in a design course, and the experiences are discussed in this paper. The software can be used in industries which require the repeated process of the machine element design.

#### 1. 서 론

최근 들어 기계공학 교육분야에서는 설계기술 (design technology)에 관한 내용에 비해 해석과정 (analysis process)에 대한 교육을 강조하는 경향이 강하다. 그러나 기계공학을 전공하는 학생들의 미래를 위해서는 설계과정 (design process)에 대한 경험이 꼭 필요하다. 기계요소설계 과목은 설

계에 대한 기본적인 개념을 제공하는 과목 중의 하나로서 여러 가지 기계요소를 설계하는 과정을 통하여 전통적인 설계개념 (design concept)을 습득할 수 있는 기회를 제공한다. 기계공학 분야가 발전되기 시작하면서 오랜 시간 동안 기계요소설계 과목의 교육이 이루어졌고, 관련 서적 또한 많이 제공되었다.<sup>(1~5)</sup> 일반적인 기계공학에 대한 지식은 요소 설계시 사용되는 설계 과정을 바탕으로 한 응용이라 볼 수 있다. 학생들은 기계요소설계 과목을 통해 전형적인 설계결정과정 (decision making process)을 경험할 수 있고, 아울러 설계과정에 대한

\*회원, 한양대학교 기계공학과

\*\*회원, 한양대학교 대학원 기계설계학과

감각을 익힘으로써 추상적인 설계이론 등을 가리키는 다른 설계과목을 이해하기에 많은 도움을 얻을 뿐만 아니라 졸업 후에 실지 현장업무를 수행하는데에도 상당한 도움을 받을 수 있다. 보통 기계요소설계 수업시 강의되는 설계과정에 대한 요약은 Fig. 1과 같이 보여줄 수 있으며, 수업에서는 피드백과정(feedback process)은 고려되고 있지 않은 실정이다. 그러나 Fig. 2에 도시한 바와 같이 실제 기계요소설계를 위해서는 피드백과정이 중요한 역할을 담당한다. 학생들이 Fig. 2에 도시된 전체 과정을 이해한다면 복잡한 기기에 대한 실지 설계과정을 위한 기초 설계 개념을 경험할 수 있을 것이다.

기계요소설계를 강의하기 위해서는 두 가지 어려

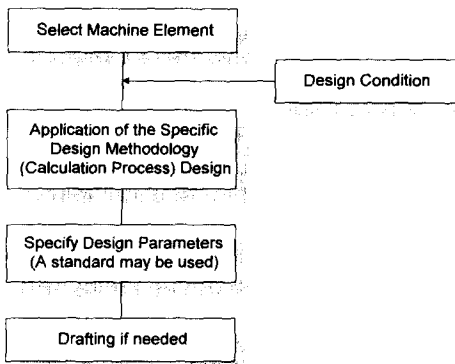


Fig. 1 Flow of machine element design in general textbooks

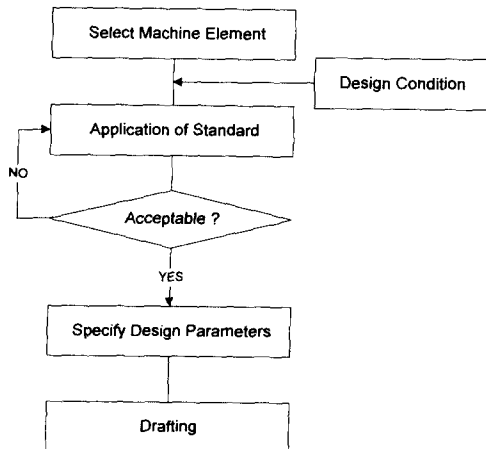


Fig. 2 Flow of machine element design in general industries

운 점이 있다. 첫째는 학생들의 관심이 그다지 많지 않다는 것이다. 소위 신세대들은 컴퓨터 응용 분야에 보다 더 관심을 두고 있는 것이 사실이기 때문에 수업시간에 설계계산과정 등에 대한 내용만으로 강의를 진행한다면 매우 진부하다고 느끼는 경향이 강하다. 오히려 컴퓨터를 이용한 설계 분야(computer aided design, CAD)에 더 관심을 기울인다. 컴퓨터 원용설계용 도구로는 각종 CAD 소프트웨어가 제공되고 있으나 이들 CAD 소프트웨어들은 설계과정을 위한 도구라기보다는 제도를 위한 도구라고 할 수 있다. 결과적으로 설계과정과 응용 소프트웨어의 사용 사이의 상호 연관성을 확립하기가 쉽지 않은 것이다. 두번째로 기계요소의 특성이라든가 계산과정(calculation process) 등을 이해하기에 많은 시간을 소비해야 하는 학생들에게 전체 설계과정의 모든 개념을 이해시키는 것이 대단히 어렵다. 이러한 문제점들을 해결하고 보다 쉽게 설계교육을 수행하기 위해서는 보다 복잡한 교육용 소프트웨어 시스템이 필요하다고 본다.

현재 CAD 소프트웨어를 이용하여 기계설계 업무를 지원하는 상업용 소프트웨어들의 예는 몇 가지가 있는데, 대표적인 예로는 GENIUS,<sup>(6)</sup> MacSlide,<sup>(7)</sup> CADMEL<sup>(8)</sup> 등의 소프트웨어가 있다. 이러한 소프트웨어들은 대부분 사용자가 설계도면을 제작하는데 필요한 몇 가지 기능(utility)들을 일반적인 CAD 시스템이 구현하는 내용들로 이루어져 있다. 즉 제도를 위한 도구가 몇 가지 첨가되어 있을 뿐 각각의 요소들을 설계하는 데 필요한 계산과정들을 포함되어 있지 않은 것이 대부분이다. 따라서 자동설계 시스템이라기보다는 자동 제도 시스템으로 이해할 수 있다. 공학 설계분야를 위한 설계교육을 위해서는 이러한 소프트웨어들은 큰 도움을 주기 어려울 뿐만 아니라 학생들의 호기심만을 자극하여 설계 개념을 습득하기 어렵게 만들기도 한다.

본 연구에서는 앞에서 설명한 어려움들을 극복하고자 교육용 자동설계 소프트웨어를 개발하였다. 메뉴를 통해 설계조건들을 입력하고 교과서에 있는 계산과정들을 바탕으로 설계를 수행하며, 설계결과는 널리 알려져 있는 상용 CAD 시스템인 AutoCAD를 통해 도면형태로 출력된다.<sup>(9)</sup> 개발된 소프트웨어의 핵심부분은 C-언어를 이용하여 개발하였고,<sup>(10)</sup> 도면을 위해서는 AutoCAD 상의 응용 시스템인 AutoLISP을 이용하였다.<sup>(11)</sup>

## 2. 기계요소 및 기계설계 과정

기계설계과정은 개개의 요소들에 대한 성능 고찰 뿐만 아니라 전체 시스템을 구축하기 위한 각각의 요소들의 조합 등에 대한 고찰이 필요하다. 예를 들어, 기어 시스템은 주어진 속도 상에서 동력을 전달하기 위해 설계되는 것이 보통이며, 설계 항목은 기어의 잇수, 피치, 이의 모양, 이면의 폭, 피치경경, 재료, 열전달 방식 등이 있을 수 있다. 그러나, 기어설계는 상대편 기어, 기어에 의해 구동되는 축, 동작용경 등에 영향을 받는다. 더구나 축은 하우징으로 둘러싸여져 있는 베어링에 의해 지지된다. 결과적으로 설계자는 각각의 기계요소를 설계하면서 전체 시스템에 대한 고려를 해야 한다.<sup>(12)</sup> 이러한 방법으로 학생들은 설계문제를 접근하게 된다.

일반적으로 기계공학 설계분야의 교육을 위해서는 두 가지 과목이 제시되고 있다. 기계요소설계 과목과 시스템설계 등을 가리키는 고등설계 과목이 그것이다. 기계요소설계 과목에서는 나사, 리벳, 용접이음, 키, 축, 베어링, 기어, 벨트, 브레이크, 스프링 등과 같은 모든 종류의 기계요소들에 대한 내용을 강의한다. 이들 요소들은 대다수 기계들의 구성요소들이며 기계요소설계 과목을 통해 습득된 내용은 고등설계 과목의 기초가 된다. 고등설계 과목에서는 시스템 설계에 대한 개념을 제공하기 위해 일반적인 설계이론 등의 내용이 강의된다. 창조적인 혹은 미적인 관점에서 추상적인 설계과정이 논의된다.<sup>(13~15)</sup> 많은 시간교육을 받으면서 공학도들은 실질적 경험을 습득하게 되며, 수업중의 단기 프로젝트를 통해 학생들은 실지 설계과정을 체험하기도 한다. 그러나 이러한 설계과목을 위해 이론과 실습을 병행하여 수업을 진행하거란 매우 어려워지며 제한된 예산 등의 이유로 가장 기초적인 실습(예를 들어 계산 능력향상을 위한 연습)정도만이 이루어지고 있는 것이 사실이다. 그러므로 기계요소설계를 강의하기 위해서는 보다 낮은 가격으로 설계 개념을 제공할 수 있는 방안이 필요하다.

한편, Fig.1에 설명한 기계요소설계를 위해서는 몇 가지 과정이 필요하다. 즉 하나의 요소가 선택되면 설계조건들이 고려되고 설계가 결정된다. 이러한 과정 중에는 Fig.2에 설명된 것처럼 피드백 과정이 요구되지만 수업시간에는 제한된 시간으로

인해 피드백과정은 실지로 수행되고 있지는 않다. 기계요소설계를 강의하기 위한 이러한 몇 가지 문제점을 정리하면 다음과 같다.

(1) 대다수의 시간이 각각의 요소들의 특성이나, 이론적인 계산과정을 이해하는데 사용된다. 학생들의 대부분은 이론을 이해하는데 모든 노력을 다한다.

(2) 전통적인 방식으로는 학생들의 흥미를 유발하기가 쉽지 않다. 그러나 CAD 소프트웨어를 이용하면 설계결정과정을 학생들에게 전달하기가 쉽지 않다. 그럼에도 불구하고 컴퓨터를 응용한다면 학생들의 관심을 끌 수 있다.

(3) 학생들은 기계요소설계를 위한 이론을 통해 좁은 의미의 설계 개념을 이해한다. 그러나 피드백과정을 포함한 전체 설계과정을 이해할 필요가 있다. 그러므로 적은 비용으로도 전체 설계과정을 보여줄 수 있는 설계도구가 필요하다.

학생들이 눈으로 쉽게 이해 가능한 기계요소를 이용한 설계 개념을 습득할 수 있다면 추상적인 설계방법론을 강의하는 고등설계 과목에 상당한 도움을 줄 수 있으며, 습득한 설계 개념은 고등설계과정에서 추진하는 설계 프로젝트를 통해 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

## 3. 기계요소설계를 위한 소프트웨어의 개발

앞에서 언급하였듯이 개발된 시스템은 기계요소설계를 대상으로 설계되었으며, 전반적인 구조는 Fig.3에 설명하였다. Fig.2에서 설명한 피드백과정을 포함한 전체 설계과정을 충분히 지원할 수 있도록 개발된 소프트웨어는 설계모듈(design module), 연계모듈(interface module), 제도모듈(drawing module)의 세 가지를 모듈로 구성되었으며, Fig.3에서 설명된 각각의 모듈은 독립적인 프로그램으로 구성된다. 사용자는 사용자 인터페이스(graphic user interface, GUI)가 제공하는 메뉴 시스템을 이용하여 기계요소 자동설계 소프트웨어

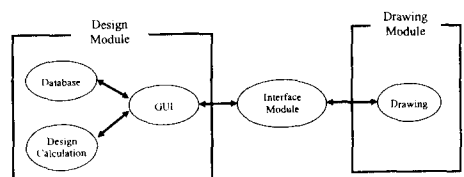


Fig. 3 Structure of the software

를 구동시킬 수 있다. 한편, 사용자는 두 가지 방식으로 소프트웨어를 사용할 수 있다. 하나는 표준 규격을 이용하여 직접 설계결과를 선정할 수 있는 방법으로서 이 경우 Fig. 3의 설계계산과정은 수행되지 않는다. 또 다른 하나는 자동설계방식으로 사용자는 외력이나, 수명 혹은 다른 적절한 조건들을 제공하여 설계계산과정을 활성화시켜 설계과정을 진행해 나가는 방식이다. 모든 결과는 AutoCAD를 통해 도면형태로 출력된다. 개발된 소프트웨어는 DOS를 운영체제로 하는 개인용 컴퓨터(personal computer) 상에서 동작하며, AutoCAD를 주요 도구로 사용한다.<sup>(16)</sup> 즉 사용자가 정의한 메뉴를 Fig. 4와 같이 AutoCAD 상에서 정의할 수 있으며, 이 메뉴를 이용하여 전체 시스템을 운영한다. 개발된 소프트웨어는 ADME(automatic design for machine elements)라 명명하였으며, 사용자가 주 메뉴를 선택하면 그에 해당하는 부메뉴를 출력하여 적합한 기능을 수행하도록 구성하였다. Fig. 3에 설명한 기능의 구체적인 내용은 다음과 같다.<sup>(17)</sup>

3.1 사용자 인터페이스

사용자가 Fig. 4에 있는 ADME 메뉴를 선택하면 기계요소설계를 위한 사용자 인터페이스(graphic user interface, GUI)가 활성화되며 부 메뉴를 출력한다. 사용자 인터페이스를 사용하는 방식은 두 가지가 있다. 하나는 간단한 설계결과와 선택과정이 그것으로 설계결과는 사용자에게 데이터베이스 등을 통해 직접 선택할 수 있으며, 선택된 결과는 직접 도면화된다. 이 경우 설계계산과정은 수행되지 않는다. 앞에서 설명한 GENIUS, MacSlide, CADMEL 등과 같은 몇 가지 응용 소프트웨어들이 이러한 기능들을 제공하기도 한다. 두번째 방식



Fig. 4 Starting screen

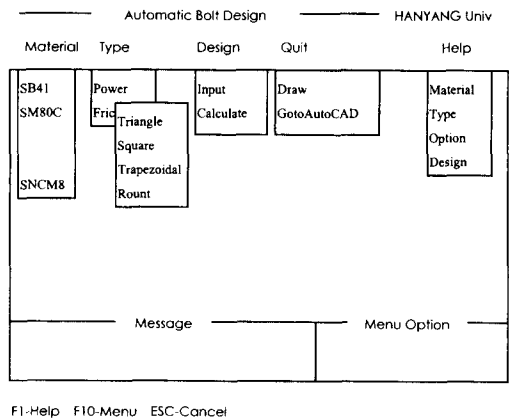
은 설계계산과정을 거치는 것으로서 사용자가 자동 설계를 원하는 경우이다. 이때에는 Fig. 5와 같은 화면이 출력된다. 이때 AutoCAD는 잠시 동작을 멈추게 되며, 자동설계를 위한 사용자 인터페이스가 화면에 출력된다. 여러 가지 설계조건들이 사용자에 의해 선택되며 피드백과정을 포함한 설계과정을 수행한다. 사용자에게는 사용자 인터페이스를 제외한 모든 프로그램들은 블랙박스(black box)로 간주되어 동작된다.

3.2 데이터베이스

데이터베이스(database)에는 다양한 표준규격이 등록되어 있다. 이들 표준규격의 예로는 KS (Korean Standards),<sup>(18)</sup> JIS(Japanese Industrial Standards)<sup>(19)</sup> 등이 있다. 설계계산과정을 통해 결정된 설계 내용은 표준규격에는 등록되어 있지 않은 경우가 대부분이다. 최종 설계를 결정하기 위해서는 표준규격으로부터 계산된 결과에 가장 근접한 항목을 선정하여 설계를 종료하게 된다. 표준규격이 없는 요소인 경우에는 데이터베이스가 사용되지 않는다. 본 연구에서 정의한 데이터베이스는 현재 ASC II 화일형태로 구성되어 있으며, 상용 데이터베이스 소프트웨어를 이용하기 위한 가능성을 두고 구축되었다.

3.3 설계계산

설계계산(design calculation) 과정은 모든 요소들에 대해 프로그램되어 있으며, 교과서에 정의되어 있는 각종 설계계산식을 이용한 응력해석과정이 첨부되어 있다. 설계변수들은 연속적인 형태로 존재



F1-Help F10-Menu ESC-Cancel

Fig. 5 Graphic user interface for design module

**Table 1** Directory structure of the software

Directory name	Design object	Contents
\ADME		- Graphic user interface program - Data files for autoCAD
\ADME\BOLT	Bolts/Nuts	- ICON file - Database file - Menu data file - LISP program - Design calculation programs - Output data file
\ADME\RIVET	Rivets	
\ADME\GEAR	Gears	
\ADME\BELT	Belts	
\ADME\BEARING	Bearings	
\ADME\SPRING	Springs	
\ADME\MACHINE	Machinery	Assembly drawing file

하지만 설계를 완료하기 위해 비교되는 표준규격은 데이터베이스에 단속적인 형태로 구성되어 있다. 그러므로 최종 설계결과는 데이터베이스에 정의되어 있는 결과와 계산된 결과를 비교 검토하여 최종 설계를 확정하게 된다. 이 과정에서 조건에 맞지 않은 결과가 산출되면 다시 설계조건들을 검토하는 피드백과정을 사용자 인터페이스가 처리해 준다.

**3.4 디렉토리 관리**

개발된 소프트웨어와 데이터베이스는 계층구조를 가지는 디렉토리(directory)를 이용하여 체계적으로 운용된다. 즉 DOS에서 사용하는 디렉토리 구조를 그대로 이용하여 전체 시스템을 모듈화시켰으며, 소프트웨어에서 사용하는 디렉토리구조는 Table 1에 설명하였다. 각각의 기계요소를 위한 모든 데이터와 프로그램은 정해진 디렉토리 상에 저장되어 운용된다.

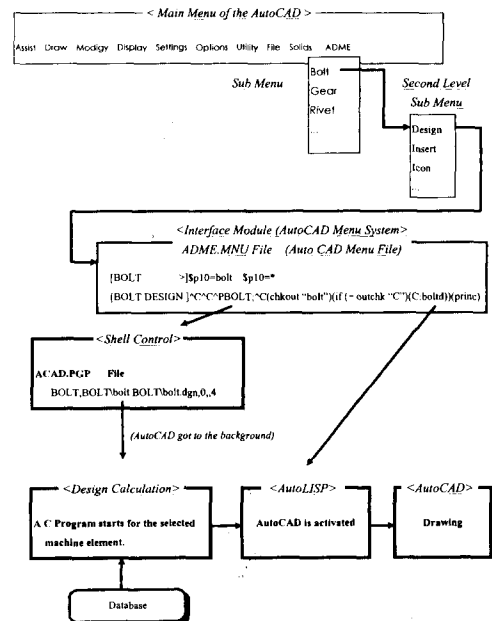
**3.5 인터페이스모듈**

인터페이스모듈(interface module)은 개발된 소프트웨어와 AutoCAD 및 AutoLISP 사이의 관계를 연결하는 기능을 담당한다. 이 기능은 Fig. 6에 자세히 설명하였으며, AutoCAD가 제공하는 메뉴 화일에 필요한 몇 가지 내용을 첨가하여 정의할 수 있다. 즉, 메뉴 화일에 정의되어 있는 몇 가지 제어명령을 이용하여 전체 흐름을 조정할 수 있다. 그 내용을 살펴보면 설계조건을 정하기 위한 사용자 인터페이스 프로그램이 실행되는 동안 AutoCAD는 잠시 그 기능을 멈추게 되고, 설계계

산과정 및 데이터베이스를 이용한 최종 설계결과가 선정된다. 설계결과는 데이터 화일형태로 저장되어 AutoLISP의 입력으로 사용되며, 다음으로 AutoLISP 프로그램이 활성화되어 설계결과를 바탕으로 도면화 작업이 진행된다.

**3.6 제도모듈(drawing module)**

최종 설계결과는 AutoCAD 상에 도면형태로 출

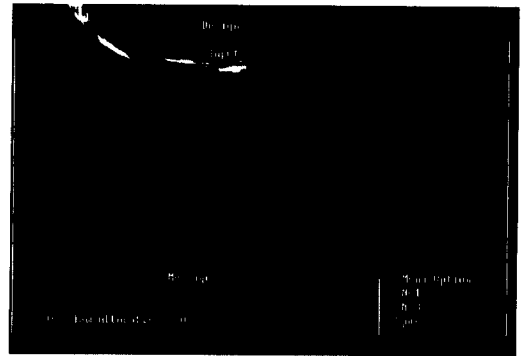


**Fig. 6** Interface module (for BOLT)

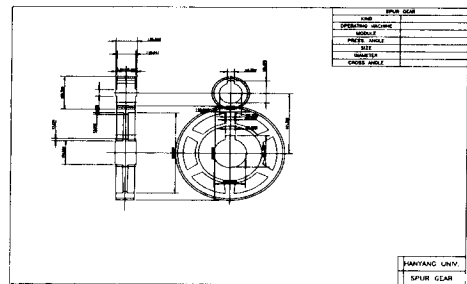
력되며, Fig. 7~Fig. 9에 몇 가지 요소들의 설계 과정을 나타내었다. 도면을 자동으로 출력하기 위해서는 AutoCAD가 제공하는 언어기능인 AutoLISP을 이용하였다. AutoLISP은 보통의 컴파일러 언어들과는 달리 인터프리터(interpreter) 방식으로 실행되는 언어로서 컴퓨터에서 사용된 초창기 언어인 BASIC과 같은 방식으로 동작한다. 설계 계산 모듈에서 출력된 데이터 화일은 AutoLISP 프로그램에서 읽어 들여 설계가 완료된 기계요소 도면을 제작하게 된다.

3.7 그 외의 사양들

복잡한 기기들을 위한 시스템 설계의 아주 간단한 예를 경험할 수 있도록 몇 가지 기능도 첨가되었다. 기기를 구성하는 모든 기계요소들에 대한 설계가 종료되면 각각의 요소들은 서로 조립되어야 전체 기계설계과정이 종료된다고 볼 수 있다. 즉 각각의 요소들을 적절히 조합함으로써 화면에 출력된 전체 시스템의 도면이 출력될 수 있는 것이다.

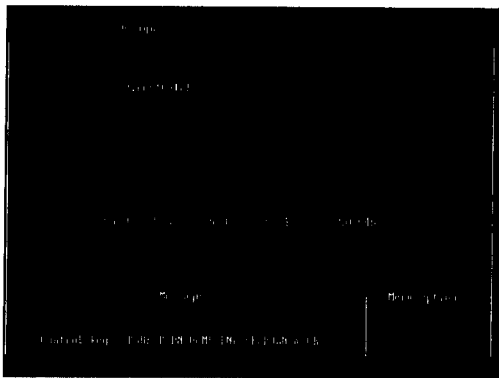


(a) Graphic user interface

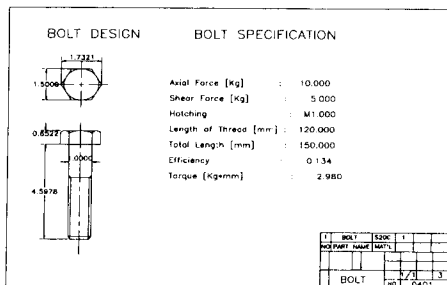


(b) Drawing

Fig. 8 Sample screen (for GEAR)

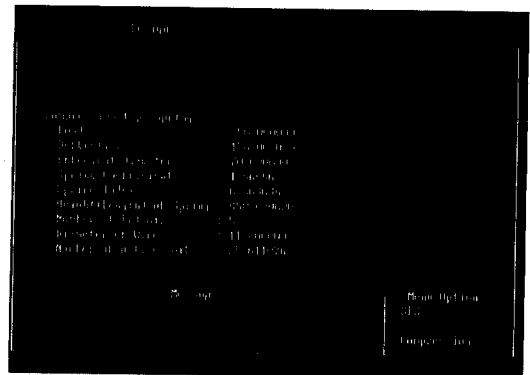


(a) Graphic user interface

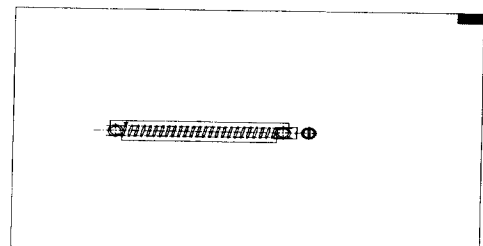


(b) Drawing

Fig. 7 Sample screen (for BOLT)

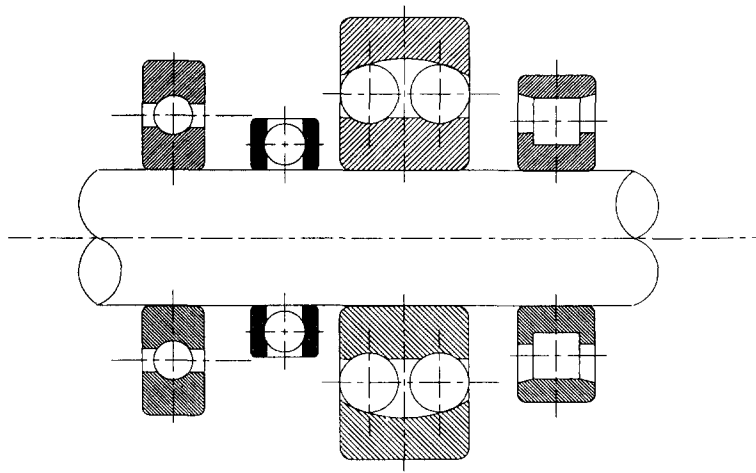


(a) Graphic user interface

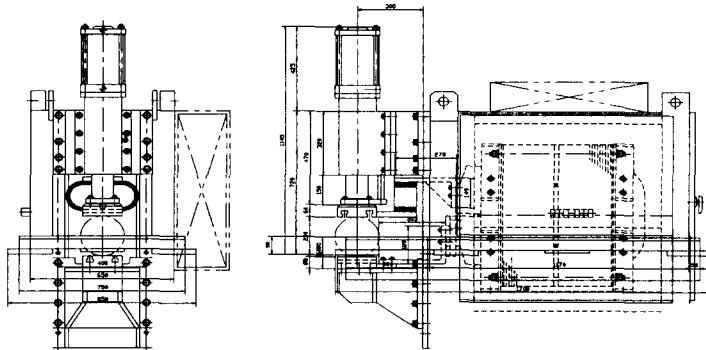


(b) Drawing

Fig. 9 Sample screen (for SPRING)



(a) A shaft system



(b) A welding machine

Fig. 10 Sample machine design

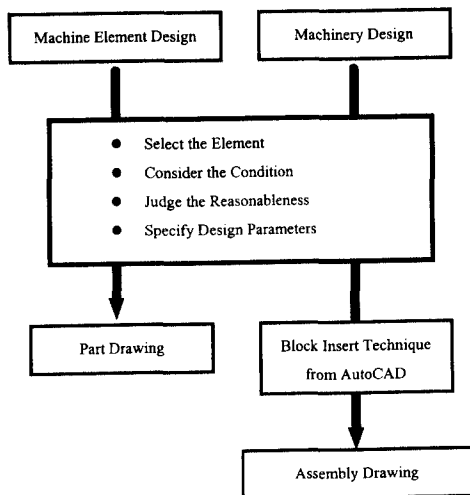


Fig. 11 Operating strategy

Fig. 10에 그 예를 나타내었는데, Fig. 10(a)에는 베어링을 가지는 축 시스템을 Fig. 10(b)에는 나사로 조립되어 있는 용접기 도면을 나타내었다. 위의 기능은 AutoCAD에서 제공하는 블록삽입기능(block insert technique)을 이용하여 구현하였으며, Fig. 11에 소프트웨어를 사용하는 방식에 대한 내용을 설명하였다.

#### 4. 개발된 소프트웨어를 이용한 교육경험

개발된 소프트웨어는 한양대학교 기계공학과 3학년 과정중 기계요소설계 과목을 이용해 강의되었다. 한양대학교에서는 기계요소설계를 2학기에 걸쳐 강의하고 있다. 학생들이 기계요소설계에 대한 몇 가지 개념을 먼저 습득하여야 하기 때문에 첫

학기 주간시험 이후 시도되었다. 세시간을 할애하여 강의가 이루어졌으며, 그 정도의 시간만으로도 소프트웨어의 사용법을 익히기에는 충분하였다. 사용자 설명서가 첨부되었지만 소프트웨어 구성의 간단함으로 인해 필요하지는 않았다. 학생들은 소프트웨어의 내부를 전혀 알 필요가 없었으며, 할애된 시간의 반정도는 메뉴를 이용하는 방법 및 출력하는 방법 등에 대해 교육을 받았고, 남은 시간을 이용해 몇 가지 기계요소들을 설계하는 연습을 하였다. 학생들은 몇 가지 시행착오를 거친 후에 전체 설계과정에 대한 개념을 습득할 수 있었다고 한다. 취득된 개념은 기계요소설계 과목의 남은 과정동안 충분히 활용되었다. 둘째학기 중간고사 이후에도 3시간에 걸쳐 소프트웨어 교육이 이루어졌는데 사용법을 익힌 학생들이므로 설계 응용이 중점적으로 교육되었다. 이미 배운 많은 요소들에 대한 다양한 설계 시도를 통하여 설계에 대한 개념이 아주 쉽게 얻을 수 있었으며, 몇몇 뛰어난 학생들은 요소들간의 조립을 이용하는 기기설계모듈을 사용해 보기도 하였다. 이미 설치된 AutoCAD 소프트웨어와 486 PC 시스템을 이용해 강의가 이루어졌기 때문에 전체 비용은 무시할 정도였다. 이 교육의 시행착오를 위해 지난 2년간 10여명의 지원자에게만 실시하여 강의법이나 메뉴얼 등을 확정할 수 있었다. 그간의 경험을 통하여 앞으로는 전체 학생에 확대할 예정이다.

### 5. 결 론

개발된 소프트웨어는 비록 제한된 숫자이긴 하나 성공적으로 사용되었다고 본다. 수업에 참여했던 학생들의 의견은 설문조사로 확인되었는데 학생들 각자가 대단히 재미있었다고 표현하였다. 소프트웨어는 익히는 과정이 길지 않았으며, 작은 문제지만 두 학기 여섯시간 동안에 설계를 할 수 있었으며, 설계의 흐름을 습득할 수 있었다고 본다. 문제점으로는 지적되는 사항은 소프트웨어 사용시 전반적인 설계 흐름을 볼 수 있으나 각 요소의 설계의 자세한 과정을 볼 수 없다는 것이다. 이는 수업시간의 해석 및 설계강의를 통하여 보강될 수 있다고 본다. 수업시간의 경험을 통해 볼 때 저자들은 각 과목에 대한 적절한 소프트웨어 개발 등을 통해 신세대들에게 좀더 흥미를 유발시키면서 교육하는 방법이 좀 더 많이 개발되어야 한다고 생각한다.

### 참고문헌

- (1) 박영조, 1983, 기계설계, 보성문화사, 서울.
- (2) 정선모, 한동철, 1988, 표준기계설계학, 동명사, 서울.
- (3) 김천옥, 1982, 최신기계설계, 문운당, 서울.
- (4) Shigely, J. S. and Mischke, C. R., 1989, *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill, New York.
- (5) Spotts, M. F., 1985, *Design of Machine Elements*, Prentice-Hall, New Jersey.
- (6) 1994, GENIUS 사용자 설명서, 태일시스템(주), 서울.
- (7) 1994, MacSlide 사용자 설명서, 극동컴퓨터엔지니어링(주), 서울.
- (8) 1994, CADMEL 사용자 설명서, 흥성메카트로닉스, 서울.
- (9) 1991, *AutoCAD Release 11 Reference Manual*, AutoDesk, Inc., California.
- (10) 임인건, 1992, 터보 C 정복, 달리만듬(주), 서울.
- (11) 김찬우, 1992, AutoLISP, 도서출판 청흥, 서울.
- (12) Robert L. Mott, 1992, *Machine Elements in Mechanical Design*, Macmillan Publishing Company, New York.
- (13) Nam P. Suh, 1990, *The Principles of Design*, Oxford University Press, New York.
- (14) Ertas A. and Jones J. C., 1993, *The Engineering Design Process*, John Wiley and Sons, New York.
- (15) Dieter G. E., 1991, *Engineering Design*, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York.
- (16) Minasi and Mark, 1993, *Inside MS-DOS 6*, New Riders.
- (17) 도성희, 박경진, 이흥재, 1994, "CAD 소프트웨어를 이용한 기계요소 자동설계 시스템 개발," '94년도 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp.561~565.
- (18) 1987, KS 규격집 B-Series, 한국공업표준협회, 서울.
- (19) 1985, JIS 규격집 B-Series, 일본규격협회, Tokyo.