

## 캐드시스템을 이용한 철골구조물의 설계에 관한 연구

# A Study on the Steel Frame Design using Computer Aided Design System

조 병철\*                      이 수곤\*\*  
Cho, Byeong-Cheol        Lee, Soo-Gon

---

### ABSTRACT

This Paper presents a development of a CAD system for interactive design of steel frames. The adopted building code for structural design is "Steel Building Codes" enacted by the Architectural Institute of Korea in 1973.

The selected member sections, therefore, are domestic rolled sections - especially, H shapes. The authors aim at a development of an integrated computer programs repeating plane frame analysis and design of members until minimum weight design condition is satisfied. This program also provides various section change functions to improve the shortcomings of automatic design.

---

#### 1. 서론

##### 1.1 연구의 배경과 개발방향

구조설계는 최초의 가정단면을 경제적이고 안전한 단면이 되도록 되풀이하여 최종적으로 단면을 확정하는 과정이다. 이 과정중 구조물의 재해석과 단면의 조정, 검증등은 구조 설계자에게 많은 시간을 소요하게 하는 작업이다. 이와같은 과정을 컴퓨터로 일괄처리하면 많은 시간절약이 가능하므로, 현재 GT STRUDL, RISA-2D, STEELER, RAMSTEEL, AutoDesign등과 같은 구조설계용 프로그램들이 개발되어 소개되었다.

하지만 국내에 보급된 설계용 프로그램은 대부분 외국에서 만들어진 프로그램들로 AISC 와 같은 외국의 시방서나 규준을 기본으로하며, 단면선택도 W형강과 같은 외국제품을 대상으로 하므로 우리의 실정에 맞지 않는 경우가 많다. 또한 성능은 우수하더라도 가격이 대부분 고가인 경우가 많고, 그 기술의 공개도 되지 않고있다. 그러므로 국내의 실정에 맞는 프로그램의 자체적인 개발의 필요성이 인식되어 국내에서도 이러한 연구가 진행되고 있다.[6,7]

현재는 국내에도 많은 프로그램들이 구조물의 모델링과 후처리등을 위해 그래픽환경을 채택하는 단계이나[5,12], 구조설계의 경우 전처리에서 설계까지의 전 과정을 통일된 그래픽환경에서 처리하고 있는 프로그램은 거의 없는 실정이다. 보통 여러 프로그램들이 통합되어 각 단계마다 다른 프로그램을 실행시켜야 하며 전체적으로 일관된 그래픽기능을 사용하지 않는 경우가 많다. 또한 자동설계를 할 때의 조건인 최소중량, 최소비용, 주어진 층(Depth)의 유지 등 몇가지의 설계제한조건만으로는 여러가지 예외조건들을 만족시킬 수는 없으므로 자동설계라 하더라도 설계 도중에 설계자가 원하는 부재를 택할 수 있어야 한다.

---

\* 전남대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 전남대학교 건축공학과 교수

본 연구에서는 전처리, 구조해석, 후처리, 구조설계과정을 캐드시스템과 내장 프로그래밍 언어를 이용하여 하나의 시스템으로 통합하여 모든 과정을 하나의 프로그램을 떠나지 않고 처리할 수 있도록 하였다. 특히 설계과정에서 설계자의 의도가 잘 반영될 수 있도록 부재검증, 자동설계기능뿐만 아니라 각 부재를 원하는 단면으로 대화적으로 변경시킬 수 있는 단면선택 기능을 제공하였다. 그리고 해석모듈과 후처리모듈이 내장되어 단면의 변경 즉시 재해석하여 후처리 기능으로 응력의 분포를 알 수 있으며 이 값을 이용해서 다시 단면을 검증할 수 있다. 설계규준은 한국강구조계산규준을 기본으로 하였으며, 사용단면은 H형강에 국한하였다.

## 1.2 연구범위

본 연구에서는 전처리, 구조해석, 후처리, 구조설계기능을 갖춘 구조설계용 캐드시스템을 구축하는 것으로 하며, 적용대상건물은 다음과 같은 범위로 제한한다.

- (1) 구조물은 수평이동이 허용된 브레이스 없는 2차원 강구조물을 대상으로 하며,
- (2) 비틀림응력을 고려하지 않는 보와 기둥의 부재설계로 한정한다.
- (3) 최소중량의 단면선택을 기본으로 한다.

## 2. 프로그램의 특징

본 연구에서는 설계용 캐드시스템을 구축하기 위해 국내에 널리 사용되며 강력한 프로그래밍 환경을 제공하는 상용 캐드시스템인 AutoCAD r11을 사용하였다. AutoCAD는 사용자가 각자의 분야에 맞게 수정하여 사용할 수가 있는 개방형구조(Open Architecture)로 되어 있어 여러 분야에서 사용되고 있다. 또한 r11에서 추가된 ADS(Autodesk Development System)기능으로 C언어를 기존의 개발환경인 AutoLISP과 함께 사용할 수 있어 개발자에게 강력한 개발환경을 제공해준다. 또한 ADS를 이용하면 도스확장자(Dos Extender)의 기능을 이용할 수 있어 메모리의 제한을 가상적으로 4 Gigabytes 까지 사용할 수 있어 사실상 메모리의 제한이 없어지게 되었다. 여기에서는 메모리가 중요한 문제가 되는 해석부분과 이진화일(Binary File)을 사용하는 단면데이터베이스를 C언어로 프로그래밍하였으며 그래픽부분과 설계부분은 AutoLISP을 이용하였다.

모든 과정이 캐드로 구성되어 작업의 정보들이 화면상에 표시되도록 하였다. 작업중 제일 복잡하며 오류를 범하기 쉬운 구조물의 모델링작업을 캐드환경에서 함으로써 형상의 오류나 절점, 요소번호들을 시각적으로 확인할 수 있으며, 경계조건, 재료의 성질, 절점하중, 부재하중등을 대화식으로 입력가능하도록 하였다. 또한 해석결과를 이용해서 응력도를 그려주어 하중에 따른 응력분포를 쉽게 알 수 있다.

단면데이터베이스 모듈에서는 단면설계에서 사용되는 H형강을 단면적의 증가 순서로 재배열하여 랜덤액세스화일(Random Access File)로 저장하였다. 그리고 단면을 여러가지 옵션(Option)으로 추출할 수 있는 몇가지의 단면선택함수를 제공한다.

설계모듈에서는 한국강구조계산규준을 AutoLISP을 이용해서 단면검증부분을 구축하였고, 초기단면가정과 단면검증, 단면조정, 재해석을 통하여 최종 단면을 설계하도록 한다. 이때 단면조정부분에서 단면을 설계자가 직접 지정할 수 있는 몇가지의 함수를 제공함으로써 자동설계가 주는 단점에서 벗어날 수 있게 하였다.

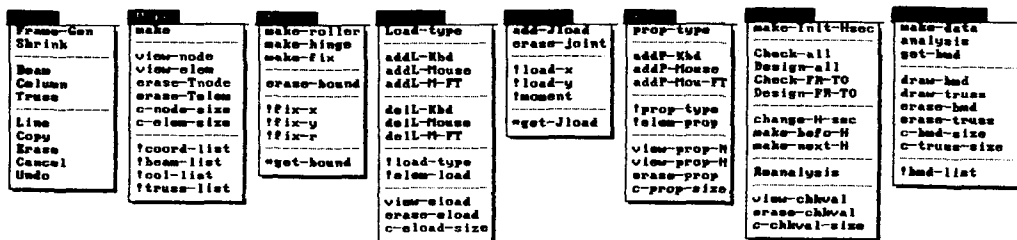


그림 1. 전체 메뉴 구성도

### 3. 전처리 (Pre processing)

(1) 프레임 자동발생 (Frame Generation) : 프레임은 일반적으로 일정한 장방형 형태를 가지므로 본 연구에서는 각 스패길이와 기둥길이를 입력하면 자동적으로 프레임을 발생시키도록 하였다. 발생된 보와 기둥은 각각의 Layer에 그려지게 된다. 이렇게 생성된 프레임을 캐드의 기능을 이용하여 불규칙적인 부분을 부분적으로 추가하거나 제거하여 최종적인 골조를 모델링하도록 하였다.

(2) 절점번호와 부재번호의 발생 (Node and Element Numbering) : 절점과 요소번호를 자동으로 발생하도록 하였다. 절점번호는 좌에서 우, 아래에서 위쪽으로 번호가 붙여지도록 하였다. 요소번호는 보, 기둥, 트러스의 순서로 번호를 붙이도록 하였다.

(3) 경계조건 (Boundary Condition) : 구조물은 FIXED, HINGE, ROLLER 3가지의 경계조건을 가질 수 있다. 각각의 경계조건은 그 모양을 나타내는 BLOCK으로 도면에 표시된다. 이들은 4가지의 각도(0,90,180,270°)를 가지며 이들을 추출함으로써 경계조건을 알 수 있다.

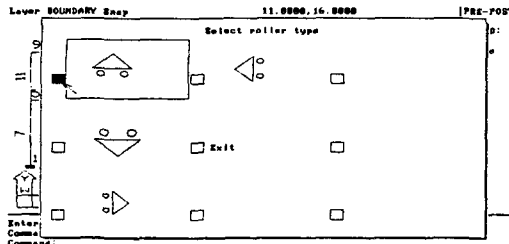


그림 2. 경계조건 선택 (Roller의 경우)

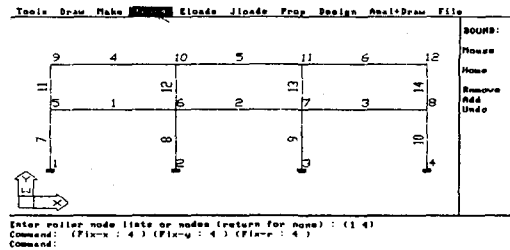


그림 3. 경계조건까지 처리된 골조

(4) 부재하중 (Member Load) : 본 프로그램으로는 8가지의 하중상태를 처리할 수 있다. 어떤 부재에 여러가지 하중이 작용할 때 생기는 고정단모멘트와 전단력은 계속 중첩시켜서 해석용 데이터 확일로 만든다. 부재하중 표시를 그래픽으로 처리하게 되면 여러 하중이 중첩될 때 알아보기가 어려우므로 본 프로그램에서는 부재의 하부에 하중형태의 번호를 출력하도록 하였다.

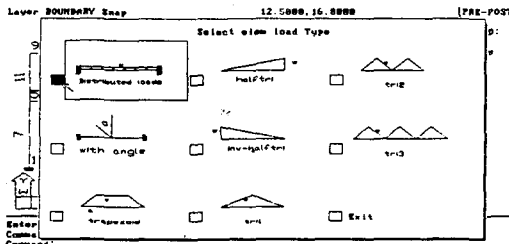


그림 4. 부재하중 선택

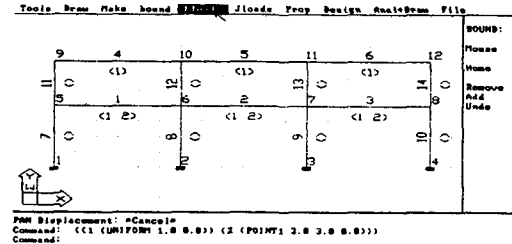


그림 5. 부재하중이 표시된 골조

(5) 절점하중 (joint load) : 절점하중은 수평하중과 수직하중 및 모멘트로 구성된다. 각각 고유한 BLOCK으로 표시되며 속성(Attribute)이 연결되어 있어 하중의 크기를 알 수 있다. 이 BLOCK을 추출하여 절점하중 정보를 얻는다.

(6) 부재성질 (Member Property) : 부재의 성질은 H형강의 이름으로 넣을 수도 있고 직접 단면이차모멘트 I와 단면적 A값을 넣을 수도 있다. H형강 이름으로 입력하게 되면 H형강 단면 데이터베이스에서 찾아서 I와 A값을 읽어온다. 또한 H형강의 경우 힘을 받는 축을 입력하도록 하였다. 화면에 부재를 표시할 때는 일반적으로 부재타입번호로 표시하지만 H형강을 사용할 때는 H형강의 이름으로도 화면에 표시할 수 있다.

(7) DATA 확일 작성 : 지금까지 언급한 모든 정보는 시스템이 내부에 가지고 있기 때문에 이 정보를 여러가지 형식에 맞추어 데이터를 작성할 수 있다. 본 연구에서는 현재 사용중인 해석모듈에 맞는 데이터 형식만을 제공하고 있으나 다른 형식으로도 손쉽게 변환할 수 있다.

#### 4. 해석모듈 (Analysis Module)

본 연구에서 사용한 해석모듈은 PF프로그램[9]을 수정하여 C언어로 변환한 매트릭스 해석 프로그램을 사용하였다. 현재로서는 기본적인 기능만을 가지나 앞으로 여러가지 기능을 추가할 예정이다. 여러가지 타입의 부재하중은 전처리에서 고정단 모멘트와 전단력으로 계산되어 해석모듈에서 사용되게 된다. 해석모듈은 계산이 끝난 후 계산된 변위와 응력을 출력화일로 만들어 설계와 후처리에서 사용하게 된다.

#### 5. 후처리 (Post Processing)

현재 제공하는 후처리 기능은 휨모멘트도와 트러스의 응력표시기능이다. 본 연구에서는 휨모멘트도를 전처리에서 입력한 부재하중과 매트릭스법으로부터 계산한 단모멘트와 전단력을 이용하여 정역학적으로 구하였다. 이 방법을 이용하면 부재의 임의점의 휨모멘트값도 정확히 구할 수 있으므로 정확한 모멘트분포를 알 수 있다. 이 기능은 휨모멘트도를 그릴 때 뿐만 아니라 설계모듈에서 모멘트 분포계수  $C_b$  값을 결정할 때도 사용된다. 트러스는 인장재와 압축재의 그래픽 표시를 달리하여 한눈에 압축과 인장여부를 알 수 있도록 하였으며 각 부재에 축방향력을 표시하도록 하였다.

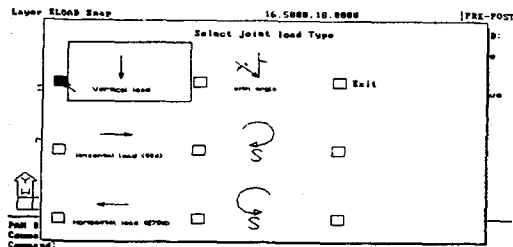


그림 6. 절점하중 선택

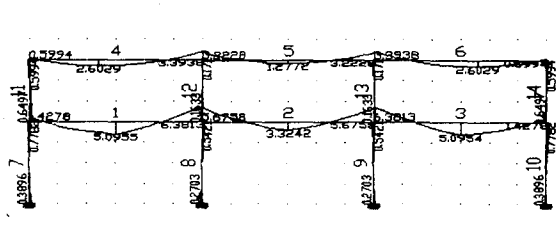


그림 7. 휨모멘트도

#### 6. 설계모듈 (Design Module)

(1) 단면 데이터베이스 : 본 프로그램에서는 H형 단면테이블을 단면적이 증가하는 순서로 재배열한 표를 이용한다. 이 표는 랜덤액세스(Random Access)가 가능한 이진화일(Binary file)로 만들어져서 자료를 신속하게 디스크에서 읽어올 수 있다. 표가 단면적이 증가하는 순서로 배열되어 있으므로 단면선택을 표의 처음부터 시작하여 선택하면 가장 단면적이 작은 단면이 선택되게 된다. 단면 데이터베이스부분은 ADS를 이용하여 C언어로 처리되었으며 단면계수, 단면적, 단면이름으로 추출할 수 있는 함수를 제공한다. 이 함수들은 AutoLISP으로 만들어진 설계모듈에서 호출된다.

H	B	tw	tf	Area	Wgt	Ix	Iy	ix	iy	Sx	Sy	*iy
100	50	5.0	7.0	11.85	9.3	180.0	14.8	3.96	1.12	37.5	5.41	1.31
125	60	6.0	8.0	16.84	13.2	41.3	24.2	4.95	1.32	66.1	9.73	1.57
900	300	16.0	28.0	309.80	243.0	411000.0	12600.0	36.40	6.39	9140.0	843.00	7.68

표 1. 단면적의 순서대로 재배열된 H형 단면테이블

(2) 유효좌굴길이계수  $K$ 의 결정 : 골조를 구성하는 압축재의 설계에서 중요한 문제중의 하나가  $K$ 를 구하는 것이다. 골조를 이루는 압축재의 유효좌굴길이는 단일 압축재의 경우와 달리 단부의 고정도와 절점의 수평이동 여부에 의해 좌우된다. 여기에서는 수평이동이 허용된 브레이스 없는 골조를 연구대상으로 하였다. 이  $K$ 를 구할 때 도표를 이용할 수도 있으나 프로그램에서는 사용할 수 없으므로 본 연구에서는 다음과 같은 방정식을 사용하였다. [2]

$$\frac{G_A G_B \left(\frac{\pi}{K}\right)^2 - 36}{6(G_A + G_B)} = \frac{\frac{\pi}{K}}{\tan\left(\frac{\pi}{K}\right)} \quad \dots (1) \quad \text{where, } G = \frac{\sum \left(\frac{I_c}{L_c}\right)}{\sum \left(\frac{I_g}{L_g}\right)} \quad \dots (2)$$

첨자 A와 B는 기둥 AB의 끝 절점을 나타낸다. 그리고 첨자 c와 g는 각각 기둥과 보를 나타내며 I는 단면2차모멘트이고 L은 지점간 거리이다.  $\Sigma$ 는 절점에 연결된 모든 부재에 대한 합을 나타낸다.

본 연구에서는 위의 식을 풀기 위하여 절점을 지나는 부재를 인식하여 K를 구하는데 필요한 값들을 자동적으로 추출하여 각 부재의 K값을 구하도록 프로그램하였다. 위 식에서 K값을 구하기 위해서는 수치해법을 써야 하는데 여기에서는 Bisection method를 사용하였다.

### (3) 설계 초기단면 가정 (Preliminary Design)

골조의 경우 설계 초기단계에서는 부재의 단면을 알 수 없으므로 해석이 불가능하다. 그러므로 적당한 단면을 가정해주는 방법이 필요하다. 여기에서는 보의 경우 각 부재를 양단고정으로 가정하고 부재하중이 작용할 때 생기는 고정단 모멘트를 중첩한 모멘트중 큰 값을 이용하여 보의 단면을 가정하였다. 기둥의 단면은 모든 부재를 같은 단면으로 주어 해석한 축방향력을 이용하여 단면가정을 하였다. 이렇게 구한 초기단면을 이용해서 해석을 하면 근사적인 응력값을 얻을 수 있다.

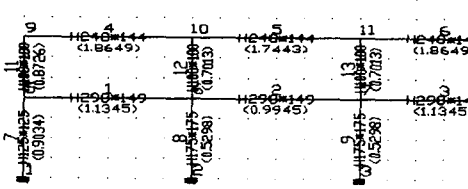


그림 8. 초기단면과 단면검토

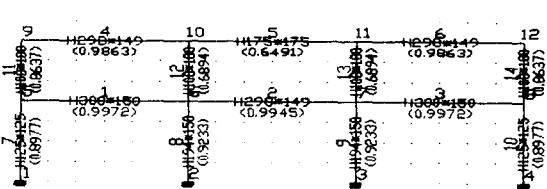


그림 9. 재실계 1회의 단면

### (4) 부재검토 (Member Check)

본 프로그램은 보와 기둥을 모두 축력과 힘을 받는 부재로 설계하고 있다. 압축력과 힘을 받는 경우 다음과 같은 식의 값을 검토결과로 하고 있다.

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0 \quad \dots (3)$$

이 값은 부재의 하부에 표시되어 단면이 변경될 때마다 검토결과를 확인할 수 있다.

### (5) 부재설계 (Member Design)

초기단면이 가정되어 재해석이 되었으면 설계자는 원하는 부재들을 재설계를 할 수가 있다. 설계는 H형강테이블의 처음부터 시작하여 단면검토를 만족할 때까지 단면을 변화시킨다. 이렇게 찾은 단면은 가장 작은 단면적을 가지게 된다. 이렇게 구한 단면을 이용하여 재해석을 하면 보다 정확한 해석결과를 가질 수 있게된다. 이러한 과정을 반복하면 각 부재는 일정한 단면들로 수렴하게 된다. 본 연구에서는 설계자가 만족한 결과가 나올 때까지 이러한 과정을 반복할 수 있도록 하였으며 설계도중에 임의의 단면으로 바뀌서 검토할 수도 있도록 하였다.

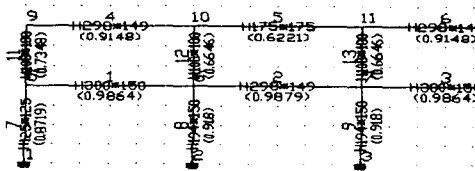


그림 10. 최종설계 단면(H형강 표시)

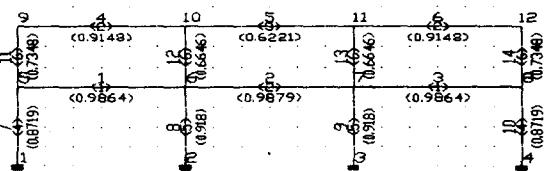


그림 11. 최종설계 단면(단면타입번호로 표시)

각 단계마다 부재설계가 끝나면 같은 단면끼리 단면타입을 형성한다. 또한 설계자의 단면 변경이 용이하도록 다음과 같은 함수들을 제공한다.

- 1) Change-H-Section: 설계자가 설계도중에 임의의 단면으로 직접 바꾼다.
- 2) Before-Section : 선택부재의 현재 단면을 단면테이블의 바로 앞의 단면으로 바꾼다.
- 3) Next-Section : 선택부재의 현재 단면을 단면테이블의 바로 뒤의 단면으로 바꾼다.

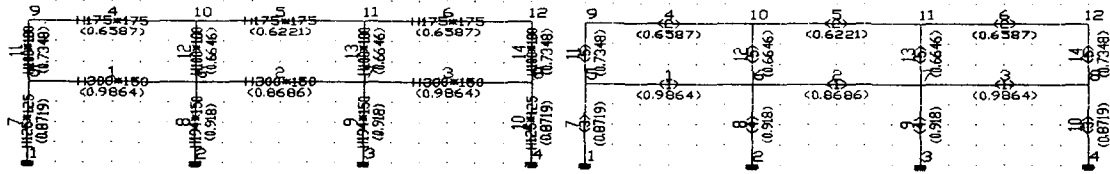


그림 12. 단면의 조정 (H형강 표시)

그림 13. 단면의 조정 (단면타입번호로 표시)

## 7. 결론 (Conclusion)

본 연구에서 구조물의 전처리, 해석, 후처리, 설계까지를 캐드시스템에서 일관된 그래픽 기능과 사용자환경으로 수행할 수 있었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 시간이 많이 걸리고 오류를 범하기 쉬운 데이터작성을 그래픽을 이용한 전처리를 통해 작업함으로써 빠르고 쉽게 수행할 수 있다.
- (2) 본 시스템은 전처리만 이용해서 다른 해석용 프로그램의 자료화일을 만들 수도 있으며 해석 및 부재검증 용도만으로도 사용될 수 있다.
- (3) 설계도중 설계자의 판단에 의해 부재를 선택할 수 있도록 하여 자동설계가 설계자에게 주는 소외감을 줄일 수 있다.
- (4) 응력해석결과가 그래픽으로 화면에 표시되므로 외부하중에 대한 구조물의 응력분포를 쉽게 알 수 있다.
- (5) 전처리에서 후처리까지 구조설계에 필요한 기본적인 기술을 구축하였으므로 앞으로 유사한 여러 연구에 이용할 수 있다.

## 참고문헌

1. Hojjat Adeli, Interactive Microcomputer-Aided Structural Steel Design, Prentice Hall, 1988
2. H. Adeli and H.R.Chu, Interactive Load and Resistance Factor Design of Steel Frames, Jr. of Computing in Civil Eng. , ASCE, Vol. 2, No. 1, January, 1988
3. Brian D. Peck and Eric M. Lui, Microcomputer Structural Member and Frame Design by LRFD, Jr. of Computing in Civil Eng. , ASCE, Vol. 5, No. 2, April, 1991
4. 高一斗, 컴퓨터를 이용한 철근 콘크리트 보-기둥 부재설계 방법에 관한 연구, 서울대학교 건축학과 박사학위논문, 1989
5. 송석환, 高一斗, CAD를 이용한 구조해석 Pre/Post-processor 구축에 관한 연구(I), 대한 건축학회 춘계 학술발표논문집, 제12권, 제1호, 1992
6. 吳世鶴, 高層 鐵骨構造物 設計自動化에 관한 研究, 한양대학교 건축공학과 석사논문, 1989
7. 김홍국, 李丙海, 철골구조물의 통합설계시스템, 한국전산구조공학회 가을학술발표논문집, 1991
8. Bruce G. Johnston, F. J. Lin and T. V. Galambos, Basic Steel Design, Prentice Hall, 1986
9. William Weaver, Jr. and James M. Gere, Matrix Analysis of Framed Structures, D. Van Nostrand Company, 1980
10. 金尙植, 建築鐵骨構造, 文運堂, 1985
11. 許明宰 譯, BASIC에 의한 建築構造計算, 건설문화사, 1982
12. 이성우, Micro-Post 사용자 설명서, 대림엔지니어링, 1990