

# MIDAS, 구조해석 및 최적설계 시스템



이 형 우\*

## 1. MIDAS FAMILY PROGRAM의 소개

### 1.1 개발배경

유한요소법은 공학적, 수학적인 문제를 해결하기 위한 수치해석적 방법으로, 구조해석(structural analysis), 열 전달(heat transfer), 유체역학(fluid mechanics), 전자기학(electro magnetic potential) 등의 분야에 널리 사용되고 있다. 이 방법은 복잡한 기하적조건, 외부하중, 재료성질 및 경계조건의 변화 등으로 인해 해석적 방법(analytical method)으로 정확해를 구할 수 없는 문제들에 대해 근접한 해를 구할 수 있는 효과적인 방법으로 이론과 실무에 있어서 많은 연구와 적용이 이루어지고 있다.

이와 같은 유한요소 이론에 기초한 구조해석 프로그램으로 SAP series가 소개된 이후로 다수의 범용 프로그램 및 특수 목적용 S/W들이 개발되어 구조설계 분야에 필수적인 도구가 되었다. 최근 들어 컴퓨터 기술의 비약적인 발전으로 과거의 대형컴퓨터에서만 설치 운용되던 구조해석 S/W들이 일반 개인용 PC에서 구동될 수 있도록 전환되었고, 시장의 대형화로 인해 저렴한 가격으로 보급이 이루어져 쉽게 접할 수 있게 되었다. 또한 S/W개발 측면에서도 해석기능과 H/W의 데이

터 처리 및 연산속도의 향상으로 CPU time의 절감을 통한 해석시간 단축에 역점을 두었던 80년대와는 달리, 데이터 입력과정 및 해석결과 분석 과정에 소요되는 시간을 단축시켜 해석 실무자들의 수고를 덜어주는 방향으로 진행되고 있다. 특히, 효율적인 해석작업의 수행을 위해서 컴퓨터 그래픽을 기초로 전처리(pre-processing)와 후처리(post-processing) 기능을 대폭 보강한 S/W들이 상용화되어 사용되고 있다. 국내에도 이러한 S/W들이 소개되어 사용 중에 있으나 고가이고, 대부분이 해석 모델이나 해석 결과에 대한 정밀한 도화처리 기능이 미비하기 때문에 사용하는데 어려움을 가지고 있다. 그리고, 해석 S/W가 구조설계의 초기단계부터 이용되지 않고 경험적으로 선택된 부재에 대해서 안정성 여부를 확인하거나 최종 검증을 위한 기초자료를 제공하는 수준에서만 활용되기 때문에 실무 엔지니어링의 궁극적 목표인 최적설계와는 상당한 거리가 있는 실정이다.

MIDAS FAMILY PROGRAM은 이러한 제반 문제들의 해결은 물론, 사용이 쉽고 국내 설계 환경을 고려한 저가의 S/W를 보급하여 구조공학분야의 해석 및 최적 설계의 수준 향상에 기여하고, 해외 기술 및 S/W에 대한 예속화를 부분적이거나 탈피하고자 함을 목적으로 연구 개발되었다.

\* 정회원 · 포스코개발(주) 구조기술팀장

1989년부터 연구 개발된 MIDAS FAMILY PROGRAM(이하 MIDAS로 표기)은 구조해석(analysis), 검토(code checking), 설계(design)의 일련 과정을 수행할 수 있는 통합시스템이라 할 수 있으며, MIDAS는 "the Most Intellective Design and Analysis System"의 첫글자를 따서 지어진 이름이다.

MIDAS FAMILY PROGRAM은 다음과 같이 5개의 프로그램으로 구성되어 있다.

- MIDAS / GEN : 구조물 전용 구조해석 및 설계용 프로그램
- MIDAS / BDS : 건축구조물 전용 구조해석 및 설계용 프로그램
- MIDAS / ADS : 국내 전단벽식 아파트 전용 구조해석 및 설계용 프로그램
- MIDAS / SDS : 바닥 구조시스템 전용 구조해석 및 설계용 프로그램
- MIDAS / PLANT : 공장건축물 전용 구조해석 및 설계용 프로그램

MIDAS중에서 "GEN"과 "BDS" 그리고 "SDS" 프로그램은 교육기관(대학 : 140여개소, 전문대학: 50여개소), 공공기관(5개소), 설계사 및 건설사(300여개소)에서 사용되고 있으며, "ADS" 프로그램은 시범운동 중이다. 그리고 "PLANT" 프로그램은 현재 개발중이며 97년 말 완료될 예정이다. MIDAS는 현재 13명의 팀원으로 지속적으로 연구 개발중이다. 본 내용에서는 MIDAS / GEN Ver. 3.0을 중심으로 소개하고자 한다.

### 1.2 MIDAS / GEN의 개요와 특징

MIDAS / GEN의 source code는 FORTRAN과 system level 및 graphic control을 위해 ASSEMBLY와 C-Language로 되어있으며 H / W 환경과 S / W 특징은 다음과 같다.

#### MIDAS / GEN의 H / W 환경

MIDAS / GEN은 H / W의 보급성 및 O / S의 친숙도를 고려하여 IBM 호환기종 PC로 하였기 때문에(기본 O / S : PC-DOS) 80386에서 80586

까지 어느 processor에서나 운용이 가능하다. 그리고 PC-DOS의 메모리 사용한계(640Kbyte)를 극복하기 위해 protected mode상에서의 실행이 가능하도록 DOS-EXTENDER를 사용하였다. 해석 가능한 적정 자유도(degree of freedom) 및 기억용량, 처리속도 등을 고려하여 8~12Mbyte 정도의 확장 메모리(extended memory)가 필요하며 이 경우에 대략 30,000개의 절점에 대해 해석이 가능하다. 그리고 C.G.I.(computer graphics interface) graphic standard의 library와 device driver를 채택하여 개발되었기 때문에, 상용화되어 있는 거의 모든 입출력 주변장치의 활용이 가능하다.

#### COMMUNICATION 방식의 입출력

MIDAS / GEN의 입출력 대화방식은 icon-menu 방식으로 되어있고, interactive error checking 기능을 내재하여, 사용자의 입력부분에서의 오류를 최소한으로 줄일 수 있도록 하였다. 그리고, 내장된 수치 연산기능을 이용하여 사용자가 데이터를 입력할 때 사전에 일일이 계산한 결과를 입력할 필요없이 산술 연산식을 그대로 입력할 수 있도록 하였다. 해석 결과를 그래픽 처리하여 사용자가 쉽게 인지할 수 있도록 하였고, menu button의 조작은 마우스나 키보드로 가능하다.

#### MIDAS / GEN의 주요기능

MIDAS / GEN은 산업용 플랜트, 해양구조물, 용광로, 압력용기류, 저장용기류, 저 / 고층 건축물, 철탑, 교량 등 일반 엔지니어링 분야에서 요구되는 거의 모든 유형의 구조물에 대해 해석이 가능하다. 특히 전처리 및 후처리 기능에 역점을 두고 개발되었기 때문에 G.U.I.(graphic user interface), computer graphics 등의 기능을 통해 단기간의 교육으로 사용자가 충분히 활용할 수 있으며, 3차원 모델에 대한 hidden line 처리와 shading 처리 등으로 입력된 실제 형상을 제공함으로써 정확한 모델링 여부를 쉽게 판단할 수 있게 한다. 후처리 단계에서 제공되는 shear force diagram, bending moment diagram, displacement

contour, stress contour, interaction ratio color band 및 각 부재별로 상세한 해석 결과를 나타내는 기능들은 사용자가 보다 쉽게 해석 결과를 분석, 판단할 수 있도록 해준다.

MIDAS/GEN은 철골, RC, 전단벽 부재에 대한 강도검증(AIK/AISC/SSRC/ACI code checking)을 자동적으로 수행하고, 그 결과를 출력하도록 하여 종래의 해석 결과에 대한 검토 소요시간을 대폭 감축하여 해석의 생산성을 향상할 수 있다. 또한 대부분의 기존 S/W에서 요구되는 단일 단위에 문제를 해소하기 위해서 공학에서 사용하는 대부분의 단위계를 수용할 수 있도록 하여, 입력과 출력의 단위계를 사용자의 편의에 따라 지정할 수 있도록 하고 있다. 그리고, 구조물에 대한 최적경량화 설계의 수준을 판단할 수 있는 bar chart 및 line graph를 이용하여 부재선결과 최적 경량화에 필요한 정보를 제공함으로써 사용

자가 구조물의 최적경량화 설계에 쉽게 접근할 수 있도록 하였다.

MIDAS/GEN은 다양한 예제들을 통하여 이론치와 기타 동종의 S/W들과 비교 검증되었으며 자체적으로 이미 300여 프로젝트에 적용한 결과 종래의 유사 S/W들에 비해 기능 및 설계, 생산성 면에서 우수한 것으로 평가를 받고 있다.

MIDAS/GEN configuration

MIDAS/GEN은 그림 1과 같이 구조설계에 수반되는 모델링, 해석, 강도검증, 설계, 자재목록 산출, 계산서 작성 등을 일련과정으로 수행하기 위해 각 모듈 간 유기적 관계를 유지하도록 고안되었으며, 아래와 같이 12개의 모듈로 구성되어 있다.

- I.D.S. : Input Data preparation System
- F.E.S. : Finite Element analysis System

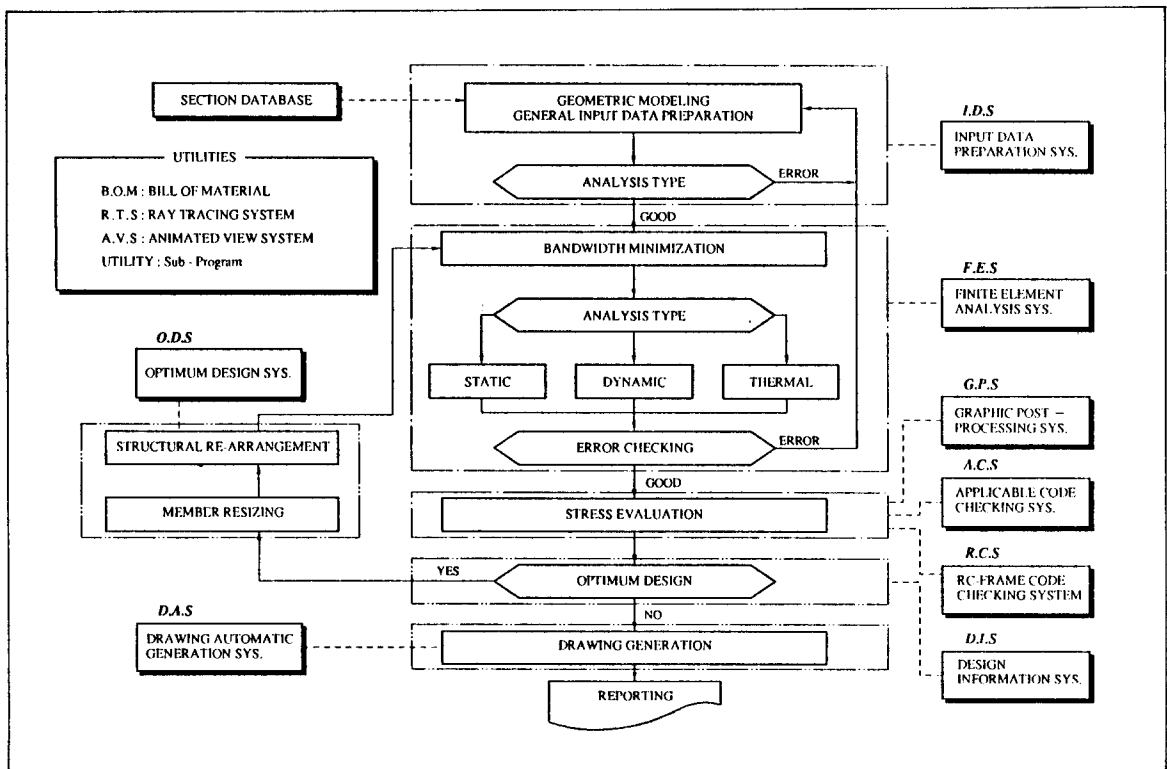


그림 1 MIDAS/GEN의 수행체계

- G.P.S. : Graphic Post-processing System
- D.A.S. : Drawing Automatic generation System
- D.I.S. : Design Information System
- A.V.S. : Animated View System
- B.O.M. : Bill Of Material
- R.T.S. : Ray Tracing System
- A.C.S. : Application code Checking System
- O.D.S. : Optimum Design System
- R.C.S. : RC-frame code Checking System

## 2. MIDAS/ GEN의 모듈별 기능

### 2.1 전처리(pre-processing) 모듈

#### 2.1.1 I.D.S(input data preparation system)

I.D.S는 MIDAS /GEN의 전 처리 단계에 해당하며 modeler와 internal editor, graphics processor 등으로 구성되어 있다. 모델의 입력은 모델링 메뉴의 사용 및 internal editor를 이용하여 직접 입력이 가능하며, 모델링 작업 시에 각 지시 사항에 대한 수행 결과가 화면상에 도화처리 되기 때문에 모델링 오류에 대한 즉각적인 수정작업이 가능하다. 또한 수정이 필요한 경우에는 I.D.S 모듈의 실행을 중단할 필요 없이 internal editor를 호출하여 입력된 데이터의 수정 및 추가 입력이

가능하다. 그리고 기존의 alphanumeric 입력 방법 이외에도 마우스를 이용하여 화면상에 원하는 데이터의 입력, 수정, 삭제가 가능한 그래픽 입력 기능을 이용하여 손쉽게 모델링을 수행할 수 있다. 도화처리 기능중 rotating view 처리기법 및 3-D frame 모델의 입체화 표현(부재의 실제형상) <그림 2 참고>, hidden line removing 기능 등은 우수 해석 S/W의 성능보다 월등히 우수한 것으로 평가되고 있다.

I.D.S의 주요기능은 다음과 같다.

#### - MODELER -

- 절점, 유한요소 입력 및 자동생성
- 동일 절점의 merging 및 대칭 복사(sym-metric copy), 회전복사(rotation copy)
- 자재 및 각종 강성데이터의 자동입력
- 집중하중, 분포하중, 압력하중, body force, prestress, mass, 온도 등의 자동입력
- 경계조건 및 구속조건의 자동입력
- rigid link의 자동입력
- 기 선언된 데이터의 수정 및 추가
- 복잡한 모델링 작업 시에 원하는 화면 설정 기능
- 해석에 사용되지 않은 절점 및 유한요소의 자동삭제
- time history, sinusoidal function, response spectrum 등 동하중의 자동입력

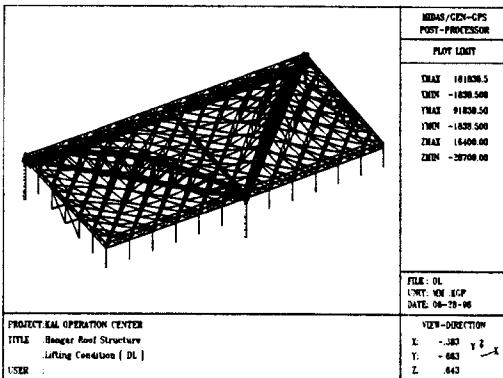


그림 2 격납구조 모델 (KAL, Hangar Roof)

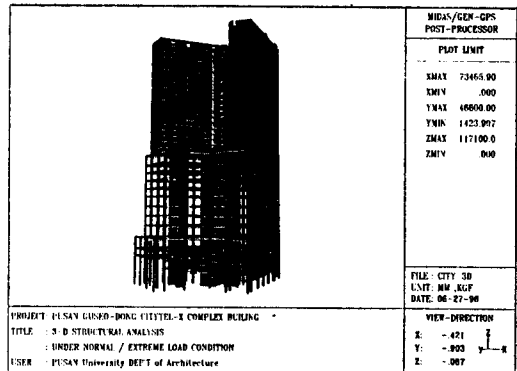


그림 3 주상복합 건물의 모델 (부산 구서동 CITYTEL-X)

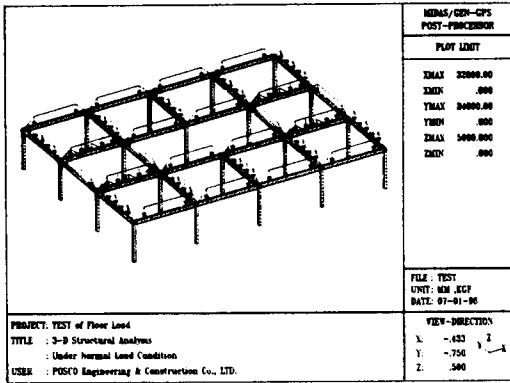


그림 4 하중작용의 도시 예 (집중+Floor Load의 작용)

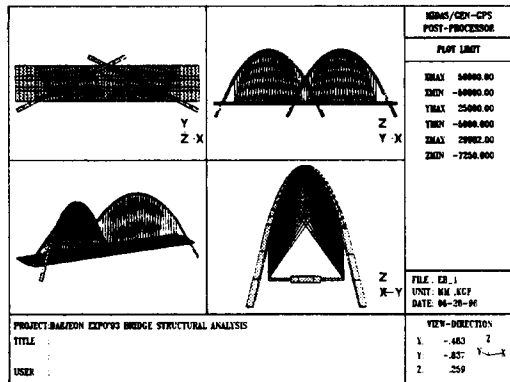


그림 5 3-D Model 및 평면도, 정면도, 측면도 (대전 Expo'93 Bridge)

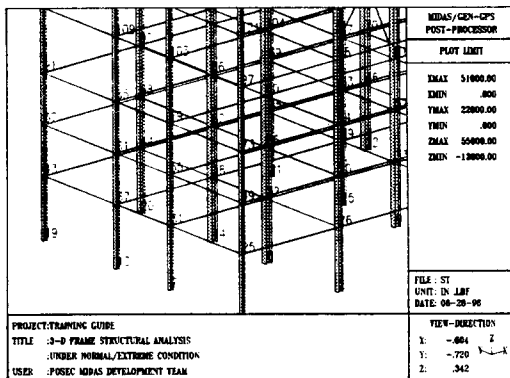


그림 6 특정 부분의 도화처리 (절점번호)

· KS, JIS, AISC, DIN, BS 등의 standard section database 내장

— GRAPHIC PROCESSOR —

- 모델의 회전, 부분확대, 투시도 등의 도화처리
- hidden line removing, shrinkage, 확대 및 축소 <그림 3 참고>
- 작용하중 및 경계조건의 도화처리 <그림 4 참고>
- 절점, 유한요소 및 기타 해석 조건의 탐색
- 동일화면상에 3차원 입체 모델 및 평면도, 정면도, 측면도 등의 동시 도화처리 <그림 5 참고>
- 모델의 shading 처리
- rigid link 상태의 도화처리
- 모델의 특정 필요 부분만을 도화처리 <그림 6 참고>

— INTERNAL EDITOR —

- 신규입력, 탐색, 대체, 각종 명령어 삽입, 삭제, 복사 등의 editing 기능

2.2 처리(processing) 모듈

2.2.1 F.E.S(finite element analysis system)

F.E.S는 I.D.S로부터 입력된 데이터를 정적해석(static analysis), 열응력해석(thermal stress analysis), 고유치해석(eigenvalue analysis) 및 동적해석(response spectrum analysis, time history analysis) 등을 수행하며, 필요시 P-delta 효과 등의 기하학적 비선형성을 고려할 수 있다. 그리고, 주어진 하중조건에 대하여 각 절점별 변위와 각 요소 내부에 작용하는 하중, 모멘트 및 응력을 산출하고, 고유진동수, response history 등의 결과를 출력한다.

F.E.S에서 사용가능한 유한요소와 해석가능한 절점수는 다음과 같다.

- 사용 가능한 요소(element library)
- 3-D truss element

- tension only element\*
- compression only element\*
- cable element\*
- 3-D beam element
- tapered beam element
- axisymmetric element\*
- plane strain element
- 2-D plane stress element
- 3-D plane stress element
- 3-D plate element
- 3-D shell element
- 3-D solid element\*
- gap element\*
- slab element
- wall element
- panel element
- spring element
- 3-D mass element
- 3-D damping element\*
- \* MIDAS /GEN Ver. 4.0에 추가될 요소

— 약 30,000여개의 절점 해석 가능

## 2.3 후처리(post-processing) 모듈

### 2.3.1 G.P.S(graphic post-processing system)

G.P.S는 F.E.S와 A.C.S로부터 생성된 해석결과를 다양한 형태로 화면상에 도화 처리하는 모듈로, 사용자가 해석결과를 시각적으로 쉽게 확인할 수 있는 후처리(post-processor) 프로그램이다.

G.P.S의 주요기능은 다음과 같다.

- 구조물의 변형을 wire frame 또는 부재의 실제형상과 같은 입체상태에서 변형형상(deformed shape)과 변형된 크기를 등고선(contour/color band) 형태 및 수치로 출력 <그림 7 참고>
- 판형요소 내부의 각 성분별 응력을 벡터 형태 및 수치로 출력 <그림 8 참고>

- 요소의 내부응력 분포를 등고선 형태 및 수치로 출력 <그림 9 참고>
- 각 부재의 전단력선도(S.F.D) 및 굽힘모멘트선도(B.M.D) 출력 <그림 10 참고>
- 강도검증 결과를 등고선 형태 및 수치로 출력 <그림 11 참고>
- 각 부재의 모든 정보를 문자 형태로 화면상에 출력
- 단위하중 조건에 대한 해석결과를 임의로 조합(load combination)하여 출력
- 화면상에서 원하는 요소의 모든 정보(변위, 응력, 속성 등) 출력
- 열응력 해석 결과 출력 <그림 12 참고>
- time history data의 그래픽 출력 <그림 13 참고>
- dynamic response에 대한 frequency domain의 output 출력

위의 기능 중 보요소를 실제 형상대로 표현할 수 있다는 점과 실제형상에 발생 응력과 변형형태를 color band로 나타내는 기능은 독특하며, 전단력 및 굽힘모멘트 응력선도를 3차원 형태로 도화 처리하여 시각적 효과를 높였다. 또한 칼라 및 흑백 프린터를 사용하여 양질의 그래픽 결과를 출력할 수 있다.

### 2.3.2 D.A.S(drawing automatic generation system)

D.A.S는 구조해석과 최적설계가 완료된 상태의 모델을 이용하여 기본도 수준의 도면을 자동 생산하는 모듈이다. 또한 최종 상세도면의 작업을 위해 각종 CAD S/W와 neutral file(DXF)의 형태로 상호 호환이 가능하다.

### 2.3.3 D.I.S(design information system)

D.I.S 모듈은 A.C.S에서 산출된 각 보요소별 발생응력(computed stress), 허용응력(allowable stress) 및 interaction ratio(computed stress/allowable stress)데이터를 사용하여 각 성분별 interaction ratio level에 대한 구조물의

중량분포도를 막대 혹은 꺾은선 그래프 형태로 나타낸다.<그림 14 참고> 막대그래프는 단면종류 번호를 기준으로 한 것과 각 요소를 기준으로 한 것으로 나타내며, 꺾은선 그래프는 보요소에 대한 각 성분별 발생응력과 허용응력 및 interaction ratio를 화면상에 나타내는 후처리 기능으로, 구조 해석 실무자가 해석결과에 대한 강도검증을 단시간 내에 마칠 수 있도록 해 준다.

2.3.4 A.V.S(animated view system)

A.V.S는 해석된 변위결과를 이용하여 구조물의 변위 거동을 동적으로 묘사하는 모듈로 사용자

가 시각적으로 쉽게 구조물의 거동을 관측할 수 있도록 하는 후처리기능(post-processing)이다. 특히 고유치해석 결과에서 산출된 각 모드별 특성을 한눈에 파악할 수 있는 이점이 있다.

2.3.5 B.O.M(bill of material)

B.O.M은 모델링에 사용된 모든 부재의 자재 목록표를 한눈에 쉽게 알아볼 수 있도록 제공해주는 모듈이다. 재질 종류별, 단면크기별 자재 목록표를 제공하며, 특히 용접 제작 부재(Build-Up Member)의 경우 판재 두께별 목록표를 제공함으로써 물량 산출에 매우 효과적으로 활용할 수 있다.

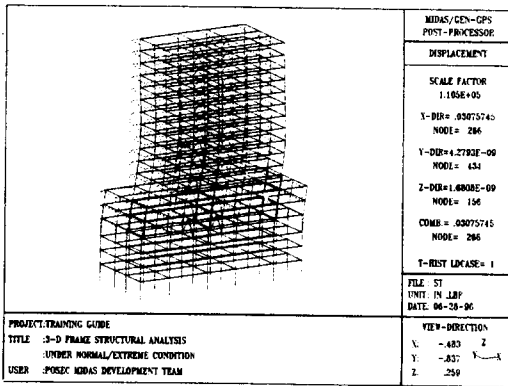


그림 7 구조모델의 변형형상

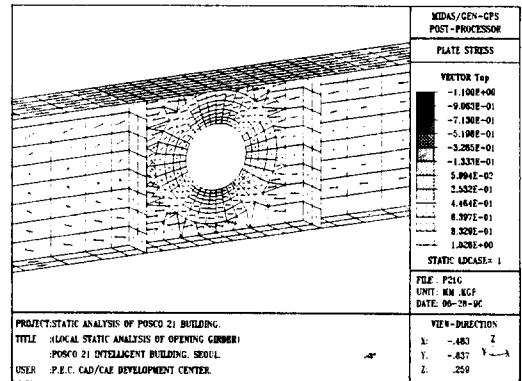


그림 8 판 요소의 주응력 벡터선도

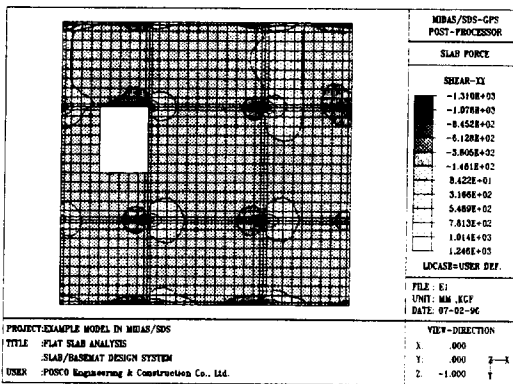


그림 9 Slab의 내력선도

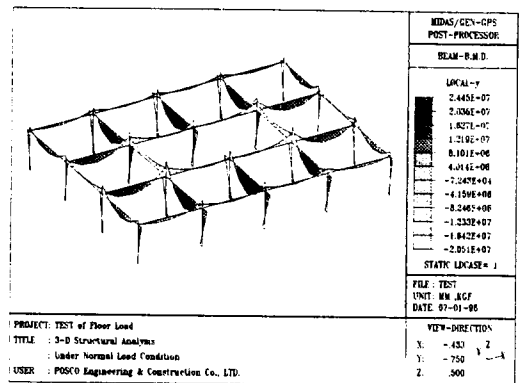


그림 10 구조물의 해석결과(BMD)

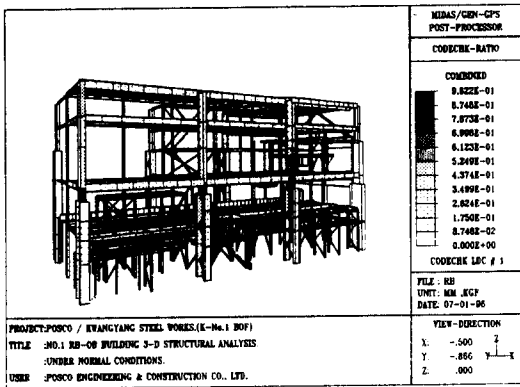


그림 11 강도 검증의 결과 도시 (AISC RATIO)

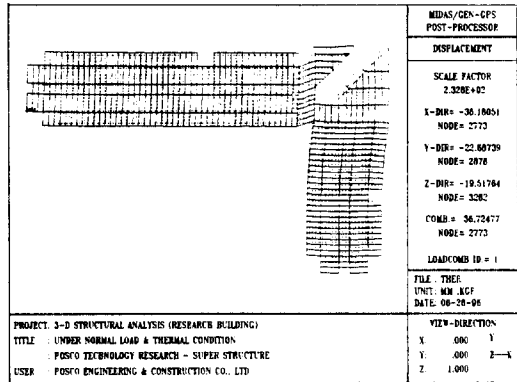


그림 12 열응력 해석 결과

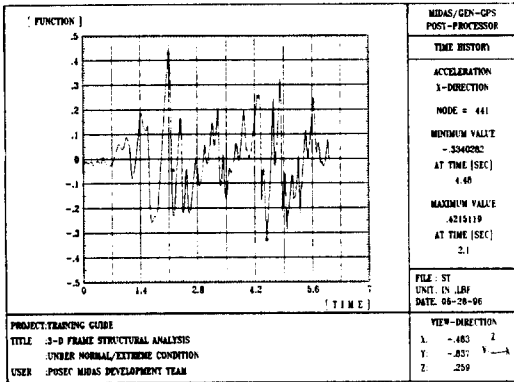


그림 13 동적해석 결과(시간이력곡선)

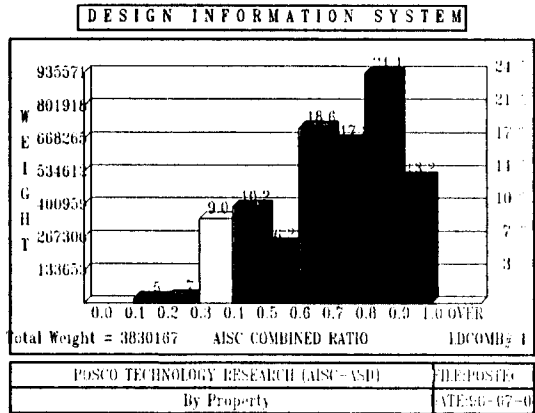


그림 14 최적설계 평가표 (Bar Chart)

### 2.3.6 R.T.S(ray tracing system)

R.T.S는 역방향 광선 추적법(backward ray tracing) 알고리즘(시선의 경로를 따라가다가 빛을 분산시키는 물체에 도달하면 shading model로 광선의 색과 밝기를 결정하는 방법)을 이용하여 대상 구조물을 실제 제작하여 보는 것처럼 현장감 있는 화면을 제공하는 모듈이다.

## 2.4 설계(design) 기능

### 2.4.1 A.C.S(applicable code checking system)

A.C.S는 철골 부재 및 철골철근콘크리트 합성

기둥 부재에 대한 응력 검증을 수행하는 후처리 프로그램이다. 부재에 대한 응력 검증에 적용된 규준은 철골부재 경우에는 대한건축학회(AIK)의 강구조계산, 미국 강구조협회(AISC)의 허용응력 설계법(AISC-ASD89 : allowable stress design specification for structural steel buildings), 하중저항계수설계법(AISC-LRFD93 : load and resistance factor design specification for structural steel buildings) 등이고, 철근콘크리트 합성기둥 부재인 경우에는 미국 SSRC(structural stability research council)의 허용응력설계법(a specification for the design of steel-concrete composite Columns, 1979)을 적용하였다.



A.C.S는 해석 모델에 포함된 보 형태의 모든 부재에 대한 강도 검증과 Interaction Ratio를 자동적으로 계산하고 그 결과를 출력한다. A.C.S에서 강도 검토가 가능한 단면 형상은 H-beam, I-beam, channel, angle, rectangular tube, pipe등 일반적으로 구조물에서 사용하는 대부분의 단면에 대해서 적용이 가능하며, 사용자가 직접 각 component별 허용응력을 입력하여 응력검증을 할 수도 있다. 그리고, AISC specification이 english unit system(Kips-in)을 채택하고 있기 때문에 MKS 단위계에 익숙한 일반 실무자를 위하여 단위계를 필요에 따라 변경시켜 사용할 수 있도록 하였다.

2.4.2 R.C.S(RC-frame code checking system)

R.C.S는 F.E.S에 의해 수행된 해석결과를 사용하여 철근콘크리트 부재(보, 기둥 및 전단벽 부재)에 대한 자동설계(배근량 산출) 및 강도검증을

수행하는 프로그램이다. 콘크리트 부재의 자동 설계 또는 강도 검증에 적용된 설계 기준으로 미국 콘크리트학회(ACI)의 극한강도설계법(ACI318-89, building code requirements for reinforced concrete)을 사용하였다.

2.4.3 O.D.S(optimum design system)

O.D.S는 철골부재에 대해 F.E.S와 A.C.S를 연계하여 설계자가 정의한 feasible range(constraint condition)내에서 AISC-ASD89에 따라 프로그램 스스로 최적의 단면 크기를 도출, 자동 설계하는 모듈이다.

3. MIDAS/ GEN의 특징

MIDAS/GEN 프로그램은 구조설계자가 해석, 검토 및 설계 업무를 효율적으로 수행할 수 있도록 개발되었다. 프로그램 개발에 있어서 최신의 알고리즘을 사용하여 타 S/W에 비해 정확한 해

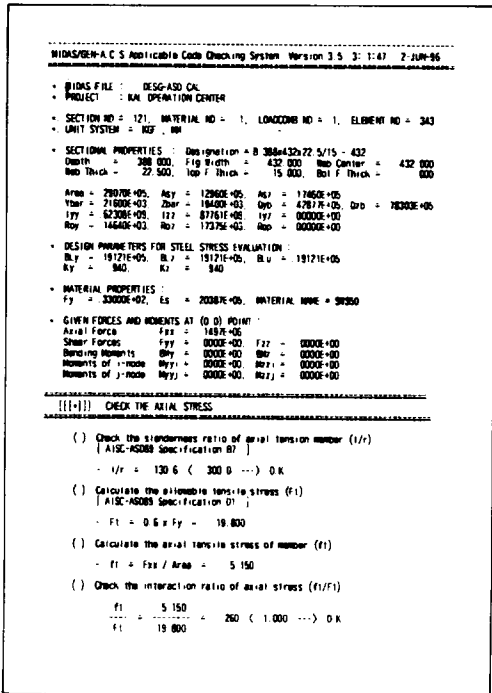


그림 15 강도검증 계산서 출력 예

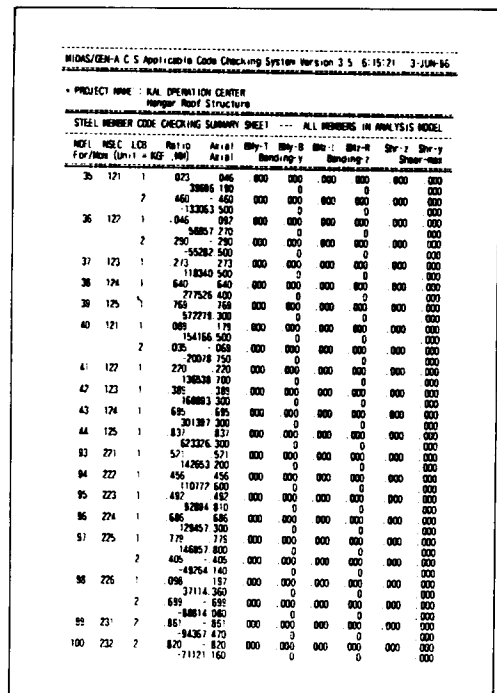


그림 16 강도검증 결과 목록표 출력 예

석을 수행할 수 있으며, 동시에 사용이 편리하도록 구성되어 있고, 다양한 모듈을 사용하여 원하는 해석과 검토 결과를 손쉽게 얻을 수 있도록 되어 있다. 설계업무를 수행함에 있어 해석, 검토 및 설계과정을 일괄적으로 수행할 수 있어 경제적인 작업을 수행할 수 있다. 또한 국내에서 사용하는 여러 가지 기준이나 설계관계 등을 쉽게 적용할 수 있고, 국내 기준의 개정과 같은 변화에 쉽게 대처할 수 있는 장점을 가지고 있는 MIDAS /GEN은 이미 많은 프로젝트를 수행한 경험을 가지고 있으며 해석, 설계 과정에서 좋은 평가를 받고 있다.

#### 4. 감사의 글

본 지면을 통해 MIDAS /GEN 프로그램을 소개할 수 있도록 배려해주신 전산구조공학회, S/W 개발에 직·간접적으로 도움을 주신 여러 교수님들과 기술인 여러분들께도 진심으로 감사드립니다. MIDAS FAMILY PROGRAM이 해석 및 설계분야의 기술력 신장과 건설시장 개방에 따른 대외 기술경쟁력 확보에 다소나마 기여할 수 있기를 바랍니다.

추가적인 문의 사항이 계시면 다음 연락처로 연락하시기 바랍니다.

(Tel 0562-80-3309, Fax 0562-85-0816) 