

Microcomputer 용 유한요소 해석 시스템의 개발

심 경수*, 김 창현**, 김 상국*, 이 종원*

* 한국과학기술원 CAD/CAM 연구실, ** 한국과학기술원 시스템공학 센터

Development of PC-Based FEA System

Jung Soo Sim, Chang Heon Kim, Sang Gook Kim, Chong Won Lee

KAIST CAD/CAM Lab., KAIST SERI

ABSTRACT

In this study, PC-based FEA system (Micro-STANS) running on the 16 bit microcomputer is developed. This system has powerful pre & post processing function using computer graphics, and is interfaced to AutoCAD system which is most popular PC-CAD system, making it possible to accomplish the concept of real integration between design and analysis.

This system, which has truss, beam, plate & shell elements in the element library, can perform linear static analysis.

1. 서론

국제 시장경쟁이 첨예화되고, 선진국의 자국기술 보호의 경향이 주류를 이룸에 따라 우리 나라 산업계도 자체설계 기술의 축적이 요구되고 있다. 이 경우 컴퓨터를 이용한 설계해석 기술이 급변하는 기술시장을 추적하는데 절대적인 요소로 되어 있다. 그 중 흔히 접할 수 있고, 많이 쓰이고 있는 해석기술로는 유한요소법(Finite element method)을 들 수 있다. 대기업의 경우 대자본의 투입으로 손쉽게 접근할 수 있는 기술이지만 중소기업의 경우 쉽게 접근하기 힘든 기술이다. 이런 취지에서 값싼 Micro-Computer 에서 구조해석을 할 수 있는 시스템을 구축하는 것이 본 연구의 목적이다.

과거에 유한요소법을 이용한 해석시 해석시간의 대부분을 차지하던 요소발생 단계를 컴퓨터 내에서 자동으로 할 수 있는 전처리(Preprocessing) 시스템이 있고, 해석 능력으로는 선형 정적 해석이 있다. 또한 해석결과인 변위, 응력 등의 방대한 양의 자료를 Computer Graphics 를 이용하여 가시화 시키는 후처리(Postprocessing) 시스템을 갖추고 있다.

본 시스템은 Micro-Computer 용 CAD System 으로 가장 높은 보급률을 보이고 있는 AutoCAD 와의 연계도 제공하고 있어 설계와 해석의 실질적인 결합이 이루어 질 것으로 기대된다.

2. 유한 요소 해석 이론 (Theory of Finite Element Analysis)

복잡한 형상을 갖는 연속체의 해석은 통상 쉽게 이해할 수 있는 요소들로 전체시스템을 분할한 후 다시 이들 요소들의 조합으로 전체 시스템을 이해하는 것이 자연스러운 방법이다. 유한요소법은 다음과 같은 과정에 의해 연속체 문제를 유한개의 미지수를 갖는 문제로 바꾼다.

- * 전체 관심 영역을 유한개의 요소로 분할
- * 각 요소들 내에서 가정된 근사식에 의해 장변수 (Field Variable) 를 나타냄.
- * 각 요소들을 대표하는 행렬 방정식을 구성.
- * 요소 행렬 방정식을 조합하여 전체시스템 방정식을 구성.

위와 같은 과정에 의해 생성된 시스템 방정식은 선형 또는 비선형 연립방정식이 된다.

요소 특성 행렬 방정식을 구성하는 방법중 대표적인 Variational Approach 를 소개하면 다음과 같다. Variational principle 은 다음과 같은 범함수 π 를 예대하여 Stationary 하게 하는 예의해 연속체 문제의 해가 구해진다는 것을 나타낸다.

$$\pi = \int_{\Omega} F(\underline{u}, \frac{\partial}{\partial x} \underline{u}, \dots) d\Omega + \int_S E(\underline{u}, \frac{\partial}{\partial x} \underline{u}, \dots) dS \quad (1)$$

\underline{u} ; 미지함수

F, E ; 미분 연산자

$$\delta \pi = 0 \quad (2)$$

유한요소 내부에서의 미지함수 \underline{u} 를 다음과 같은 근사식에 의해 정의하면

$$\underline{u} = \underline{u}^e = \sum N_i a_i \quad (3)$$

식 (2) 는 다음과 같이 표시된다.

$$\delta \pi = \sum_1^n \frac{\partial \pi}{\partial a_i} \delta a_i \quad (4)$$

식 (4)는 임의의 변분 δa_i 에 의해 성립해야 하므로 아래와 같은 식이 성립하며 이식으로부터 a_i 가 계산된다.

$$\frac{\partial \pi}{\partial a_i} = 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (5)$$

여기서 범함수 π 가 a_i 에 대하여 Quadratic 이면 식 (5) 는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$[k_{ij}] \{a_j\} + \{f_j\} = \{0\}, \quad i, j = 1, \dots, n \quad (6)$$

특히 지배 미분 방정식과 경계조건이 선형이고, self - adjoint 이면 식 (6) 에서 계수행렬 $[k_{ij}]$ 는 항상 Symmetric 이며, 이 특성은 Variational Principle 이 존재하는 문제의 경우 이 방법의 가장 큰 장점이다.

선형탄성 연속체 문제를 위한 Variational Principle 은 최소위치에너지 법칙이며, 범함수의 형태는 다음과 같다.

$$\pi = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \underline{\epsilon}^T \underline{C} \underline{\epsilon} d\Omega - \int_{\Omega} \underline{u}^T \underline{f}^b d\Omega - \int_{S} \underline{u}^T \underline{f}^s dS - \sum_i \underline{u}^T \underline{F}^i \quad (7)$$

\underline{f}^b ; body force

\underline{f}^s ; surface force

\underline{F}^i ; point force

\underline{u} ; displacement (U, V, W)

$\underline{\epsilon}$; strain

\underline{C} ; stress 와 strain 사이의 관계 행렬

3. Module화된 구조해석 시스템 (Micro - stans)

본 시스템은 Micro-computer 의 제한된 Main-Memory 를 감안하여, 각기능들을 독립된 program 들로 분리 시켰으며, 이들은 그림. 1 과 같이 Hard Disk 에 구성되어 있는 UDB (Unified Data Base) 에 의해 조합된다.

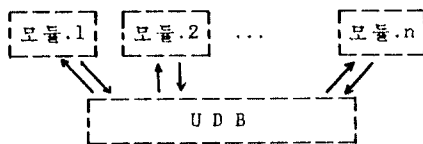


그림.1 모듈화된 시스템과 UDB

이들 Module 들을 기능별로 3부류로 나누어보면, 전처리 시스템, FEA 시스템, 후처리 시스템 등으로 분류된다.

전처리 시스템

전처리 시스템에 속하는 Modul 은 7개의 독립된 프로그램으로 되어있다. (그림.2) 이들의 각각의 기능은 다음과 같다.

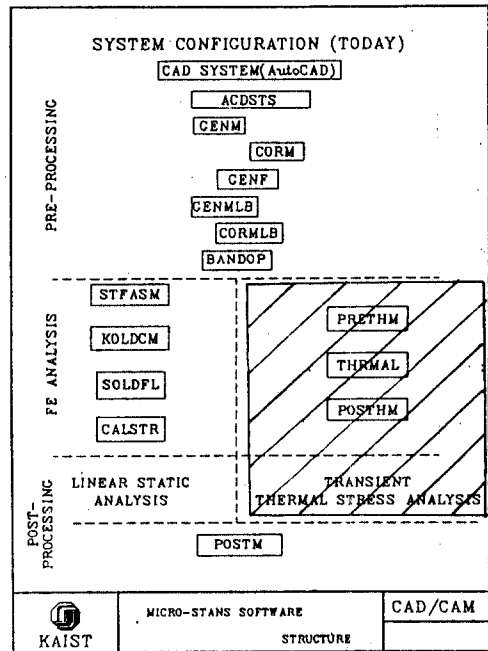


그림.2 Software 구성도

* ACDSTS : Auto CAD 에서 정의된 기하학적 형상을 Model Generator 의 Format 으로 바꾸어 주던 Module

* GENM : 3차원 평판과 쉘로 이루어진 모델을 발생시키는 모듈이며, 모델을 발생시키기 위해서는 다음의 4단계를 거쳐야 한다.

- 재료의 물성치 및 두께의 지정
- Key 절점의 정의
- Key 절점으로 경계를 이루는 3차원 곡선의 정의
- 3차원 곡선으로 이루어지는 구면구역의

정의

* CORM : 이 모듈은 GENM 모듈에서 생성된 모델을 수정하거나, 보완하는 기능을 갖고있다. 또한 간단한 모델이나, 자동발생시킬 수 없는 복잡한 불규칙한 모델을 만들 수도 있다.

* GENF : 이 모듈은 생성된 모델에 요소의 종류에 따른 절점의 자유도를 할당해 주는 기능을 갖고있다.

* GENMLB : GENM 에서 발생된 모델에 하중과 경계조건을 가하는 모델이다. 또한, 동일한 모델에 여러종류의 하중조건을 주어 동시에 해를 구할 수도 있다.

* CORMLB : GENMLB 에서 부가한 하중과 경계조건을 극부적으로 수정하고, 간단한 하중을 발생시킬 수도 있다.

* BANDOP : 이 모듈에서는 Bandwidth 를 최소화 시킨다.

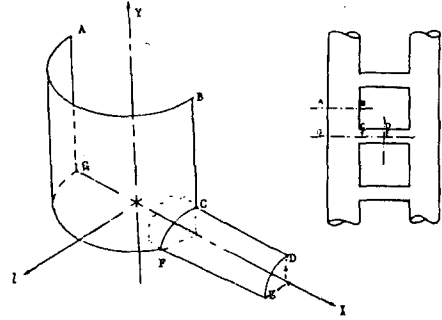


그림.3 구조물의 형태 (Pipjoint)

이상의 전처리 시스템을 통하여 유한요소 해석을 위한 요소가 발생된다. 현재 발생될 수 있는 요소의 종류는 다음과 같다.

- * Constat strain triangle
- * Isoparametric Quadrilateral Membrane
- * Linear strain triangle
- * Bi-quadratic Isoparametric Quadrilateral Membrane
- * Triangular Bending plate
- * Quadrilateral Bending plate
- * Truss
- * Generalized Beam
- * Linear & Torsional Spring
- * Lagrangian Constraint

FEA 시스템

본 Micro-stans System 의 Main Solver 는 선형정적 해석을 할 수 있다. 이를 위해 4개의 Module 이 있으며 이들의 기능은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- * STFASM : 요소 강성행렬의 계산 및 조합
- * HOLDCM : 강성행렬의 Decomposition
- * SOLDFL : 변위의 계산
- * CALSTR : 요소내에서의 대표 응력의 계산

후처리 시스템

복잡한 모델의 해석결과는 매우 방대한 양의 Data 로 형성이 되며, 이들을 수치적으로 인식하기는 거의 불가능하다. 결국 가장 자연스러운 방법인 그림의 형태로 표시하게 되며, 이 기능을 위해 본 시스템은 POSTM 이라는 모듈을 제공하고 있으며 이 것은 평판 및 쉘요소에 대한 아래의 사항을 가시화 시킨다.

- * 변형된 모양 (Deformed Shape)
- * 응력 등고선 (Stress Contour)
- * 주응력의 방향 및 크기 (Principal Stress)

4. 적용 예제

그림.3 과 같은 pipe 구조물에 내압이 걸렸을 경우의 응력 해석을 수행하였다.

재질

Stainless steel

Young's Modulus (E) = 28.0 x 10⁶ PSI
Yield stress (Sy) = 7.0 x 10⁶ PSI
Poisson's Ratio = 0.29

plate Thickness = 0.1 in

하중 조건

internal pressure (p) = 500 PSI

Solution Procedure

- * GENM : Model definition ; 그림.4
- * CORM : Mesh Representation ; 그림.5
- * GENF : DOF Assignment
- * GENMLB : B.C,L.C (Internal pressure) Assignment
- * CORMLB : L.C Representation (Equivalent point load) ; 그림.6
- * BANDOP : Bandwidth Optimization
- * STFASM
- * HOLDCM
- * SOLDFL
- * CALSTR
- * POSTM : post-processing ; 그림.7, 그림.8

Solution time 비교

PRIME (Super Mini Computer) ; 104 SEC
IBM PC/AT ; 1418 "

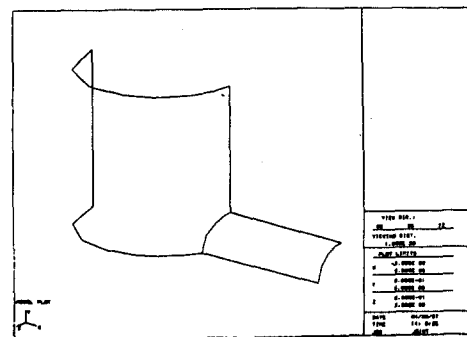


그림.4 Model plot 1

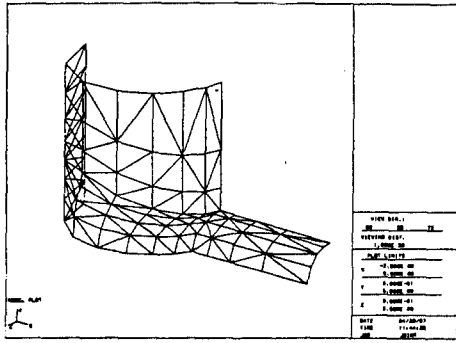


그림.5 Model plot 2

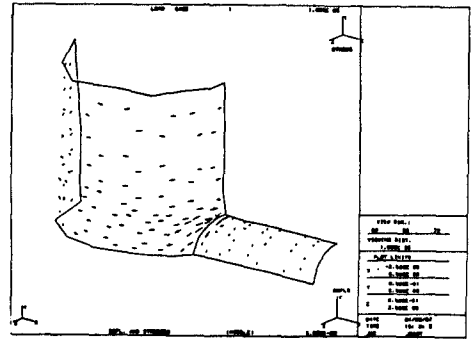


그림.8 변형된 모양과 주응력

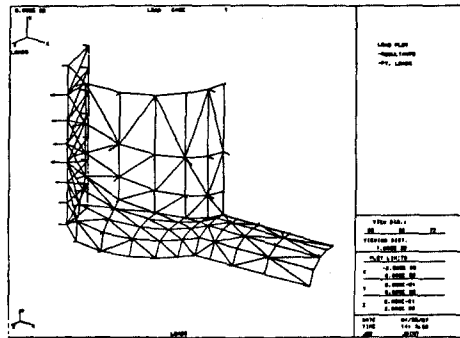


그림.6 하중 조건

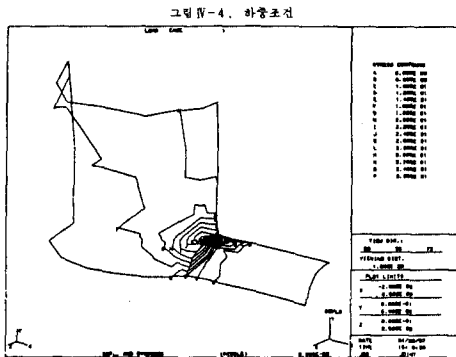


그림.7 변형된 모양과 응력 등고선

5. 결론

본 연구에서는 IBM PC/AT 와 호환성 있는 Micro-computer 에서 구조해석을 할 수 있는 시스템 Micro-STANS 를 개발하였다. 산업계의 보급용으로 많은 장점을 지닌 Micro-STANS 는 높은 보급률을 보이고 있는 CAD System 인 Auto CAD 와의 연계도 제공하고 있으므로 설계 해석업무의 신속성을 보장해 줄 수 있을 것이라 믿는다.

Micro-STANS 의 제원은 다음과 같이 요약될 수 있다.

HARDWARE

IBM PC/XT/AT compatible Micro-computer
 720x1024 High Resolution Color Monitor
 (알로 Hercules Monochrome Monitor 와 Enhanced Graphics Adaptor Monitor 에서 작업이 가능할 수 있도록 개발 중임)

SOFTWARE

Linear static Analysis

Reference

- 1). 기계설계 시스템의 고도화에 관한 연구 , 한국과학기술원 , 1986
- 2). 기계부품 설계용 Modular CAD Software 개발 , 한국과학기술원 , 1987