

## 범용 유한요소 프로그램 소개

### General Purpose Finite Element Programs

민 옥 기\* 박 명 식\*\*  
Min, Oak-Key, Park, Myung-Sik

컴퓨터의 발달에 따라 이를 이용한 자연과학 분야의 문제해석도 많은 발전을 보이고 있다. 수치해석으로 알려진 여러방법중에서 유한요소법이 가장 광범위하게 응용되고 있으며, 이러한 응용분야는 구조해석, 열전도, 유체흐름, 및 전자장 등 다양하다. 또한 개인용 컴퓨터의 발달과 함께 소규모로 운영할 수 있는 전문적인 프로그램이 다수 개발되어 적절한 프로그램의 선정이 어려워지고 있다. A. Niku-Lari<sup>1)</sup>가 전문구조해석 시스템의 이론적 배경, 응용, 프로그램설명, 하드웨어, 및 응용예 등을 요약하였으며, B. Fredriksson과 J. Markerle<sup>2)</sup>은 범용 프로그램의 기능을 정리하였다. 본 란에서는 상용 유한요소 프로그램의 범용성과 그 한계 등을 B. Fredriksson과 J. Mackerle가 정리한 내용을 소개하는 방법을 통해 알아보하고자 한다. 또한 A. Niku-Lari가 요약한 도표를 소개하여 각 프로그램을 비교하는데 도움이 되도록 하였다. 이를 통해 해석하고자 하는 문제의 설정, 이용가능한 상용프로그램의 선정, 이의 이용을 통해 얻을 수 있는 결과의 유용성 등을 프로그램을 직접 취급 하기전에 검토하여 볼 수 있으리라 기대한다.

### 1. 서 론

컴퓨터의 하드웨어가 급속히 발달함에 따라, 이에 따른 소프트웨어의 발달 또한 급속히 이

루어져 왔다. 유한요소법은 이러한 소프트웨어의 급속한 발전 분야 중의 하나이었으며, 현재에도 계속 발전하고 있는 분야 중의 하나이다. 유한요소법의 응용은 컴퓨터의 하드웨어에

\* 주 1) A. Niku-Lari, "Structural Analysis System," in 3 volumes, Pergamon Press, 1986.

\* 주 2) 본 소개란은 B. Fredriksson과 J. Markerle의 "Partial list of major programs and description of some of their capabilities"을 발췌 요약한 것이며, 원문은 Ahmed K. Noor, and Walter D. Pilkey, "State of the Art Surveys on Finite Element Technology," by The American Society of Mechanical Engineers, 1983, pp. 363-403에 기록되어 있다.

\* 연세대학교 기계공학과 교수

\*\* 연세대학교 대학원 연구조교

따라 제한을 받게 된다. 유한요소법의 관점에서 보았을때 수많은 컴퓨터 기종은 대략 도표(1)과 같이 분류될 수 있다. 수년전까지만 해도 유한요소 프로그램은 소위 대형 컴퓨터인 CDC, UNIVAC, IBM 등의 기종에서만 사용이 가능하였다. 그러나 오늘날 많은 유한요소 프로그램이 중형 내지는 소형 컴퓨터인 PRIME, VAX, DEC, NORD 등의 기종에서 사용이 가능하다. 또한 오늘날 탁상형 컴퓨터인 HP-9845, Tektronix-4051, IBM-PC 등은 유한요소 프로그램을 실질적인 문제의 해석에 까지 적용이 가능하도록 그 기능을 신장하였다. 도표(1)에 각기 다양한 컴퓨터의 한계를 표시하였으나, 이러한 한계는 현재 그리고 앞으로 계속 변화할 것이며, 특히 소형 컴퓨터의 기능 신장은 유한요소 프로그램에도 많은 영향을 미치게 될 것이다.

## 2. 유한요소 프로그램의 선택 및 평가에 대한 안내

유한요소 프로그램을 사용하고자 하는 모든 사람은 다음의 3가지 문제에 직면하고 있다. 첫째는 현존 프로그램에 대한 정보수집에 있으며, 둘째는 수집된 프로그램들 가운데서 사용자에게 적합한 프로그램을 어떻게 분류하는가 하는 문제이다. 세째는 분류된 몇몇 프로그램들 가운데서 문제해석에 가장 적합한 프로그램의 선택에 있다. 유한요소 프로그램을 사용하고자 하는 사람들은 이러한 문제를 좀더 용이하게 해결하기 위해서는 수많은 프로그램의 설명서를 모두 읽어 보는 것 보다는 프로그램의 해석능력을 요약한 테이블을 찾아보는 것이 좀더 쉬운 일일 것이다. 또한 이러한 일을 컴퓨터의 자료은행에 의존하면 좀더 편리할 것이다. 그러나 유한요소 프로그램 사용자들이 프로그램 정보자료를 통해 수집된 몇개의 프로그램 가운데서 가장 적합한 하나를 선택하는 것은 매우 어려운 일이다. 사용자는 프로그램의 본질적인 특징들을 제한한 후 이론적인 그리고 실질적인 면을 철저히 평가해야 한다. 일반적 견해로는 사용자가 자기의

문제가 너무 전문적이어서 적합한 프로그램을 찾을 수가 없다는 생각이 들었을 때에도 프로그램을 스스로 작성할 필요는 없다고 생각된다. 무엇보다도 수많은 훌륭한 프로그램이 있으므로 반드시 문제에 적합한 프로그램을 찾을 수 있을 것이다. 또한 많은 프로그램들이 사용자가 직접 작성한 일부 프로그램 모듈을 첨가하여 사용자의 목적에 맞는 문제를 해결할 수 있도록 구성되어 있다. 프로그램의 개발은 많은 비용과 시간을 필요로 하므로, 전문가에 의해 개발된 일반 상용 프로그램을 구입하여, 필요에 의해 사용자가 작성한 프로그램 모듈을 결합하여 사용하면 그만큼 프로그램의 개발에 필요한 시간을 절약할 수 있을 것이다. 이러한 경험을 습득한 후 프로그램을 개발하는 것이 보다 더 높은 수준에서 프로그램을 개발할 수 있을 것이다.

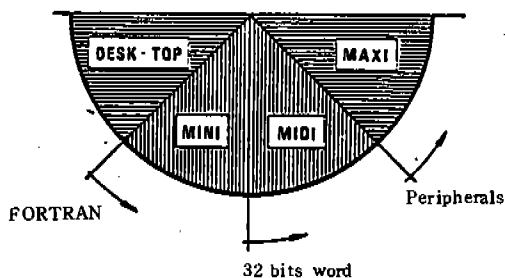


Fig.1 A possible division of computers

## 3. 주요 유한요소 프로그램들의 개요

### 3.1 유한요소 소형프로그램

유한요소법의 기본요소 교육이나 유한요소법을 이용한 연구를 위해서는 기존 프로그램의 사용이 필요하다. 방대한 일반 목적용 다기능 프로그램의 구조는 사용자가 조작가능한 일련의 기능단위별로 구성되어 있다. 즉,

- 1) 모델의 수학적기술 및 기본 데이터 입력
- 2) 요소행렬의 계산
- 3) 요소행렬의 구조행렬로의 결합과정
- 4) 연립방정식의 풀이
- 5) 변위 및 응력의 계산

6) 결과의 제시  
등으로 구성되어 있다.

본 란에서 제시되는 프로그램들은 이미 철저하게 검토되었으므로 사용자가 제작한 일부 프로그램 모듈을 여러 기능단위들과 결합시켜 주문 제작용 프로그램이나 다기능 프로그램 및 특별한 목적용 프로그램을 구성할 수 있다. 일반적으로 이러한 다기능 프로그램의 기능단위들은 기계어로 구성된 실행 프로그램이므로 사용자는 그 내용을 임의로 변화시킬 수 없다. 따라서 사용자는 프로그램의 입력 데이터 작성기법에 따라 모델을 작성하면 된다. 교육용 문제해석을 위한 프로그램들은 사용이 매우 용이하며, 모델의 입력 데이터 기능이 사용자와의 대화형 형식을 사용하고, 예러수정 제시문 또한 매우 훌륭하다. 대부분의 교육용 문제해석을 위한 프로그램들은 일부 수정하여 일반적인 프로그램화가 가능하도록 체계화 되어 있으며, 연구적인 응용을 위해 사용자가 작성한 프로그램 모듈들을 결합하여 사용할 수 있도록 되어 있다.

교육기관과 교육자에 따라 많은 교육용 프로그램이 있으며, 유한요소법을 설명하고 있는 책이나 논문 등에도 교육에 이용할 수 있는 프로그램이 소개되어 있다. 이들 프로그램은 대개 BASIC이나 FORTRAN으로 작성되어 있고, 소형 탁상용 컴퓨터에서 대화식으로 운영할 수 있다.

최근까지 유한요소 프로그램들은 소형, 중형 및 대형 컴퓨터에서 사용되어 왔으나, 대부분의 프로그램들이 프린터, 플로터, 그래픽 장치들을 결합하여 사용하는 것이 필요하게 되었다. 탁상형 컴퓨터의 경우 이러한 대부분의 외부장치들이 함께 갖추어져 있다. 따라서 이러한 사실은 유한요소 해석을 좀 더 용이하게 하여준다. 이러한 외부장치 이외에도 많은 프로그램들이 대화형 방법을 사용함으로써 사용하기에 매우 편리하게 되었다. 탁상형 컴퓨터의 경우 일반 목적용 프로그램보다는 특별한 목적을 위한 프로그램을 사용하기에 더 적합하다. 탁상형 컴퓨터에서 사용되는 언어는 대부분 BA-

SIC이었으나 개인용 탁상용 컴퓨터의 발달과 함께 점차 FORTRAN이 주요 언어가 되고 있다. 기존의 다기능 프로그램도 사용자의 목적에 맞추어 개인용 컴퓨터에서 사용할 수 있도록 기능별로 나누어 여러개의 프로그램을 제시하고 있다. 개인용 컴퓨터의 처리능력 확장과 컴퓨터 그래픽기능의 이용으로 다기능 프로그램의 상당부분이 개인용 컴퓨터에서 운영할 수 있게 될 것이다.

### 3.2 다기능 유한요소 프로그램

본 단원에서는 최근에 개발중이거나, 이미 개발된 다기능 유한요소 프로그램을 소개하기로 한다. 현재 수많은 유한요소 프로그램이 전 세계에서 사용되고 있다. 유한요소 프로그램 시장에서 최근에 개발된 다기능 프로그램이 성공하기는 매우 힘들다. 완전히 새로운 프로그램을 개발하는 것 보다는 새로운 특징과 장점을 개발하여 현존 프로그램을 개선하는 것이 좀더 현실적이고 경제적이다. 본 단원에서 나열하는 다기능 프로그램들은 이미 잘 알려져 있고 널리 사용되는 것들이다. 동력학계의 문제해석에 관한 주요 발전사항이나 비선형 문제해석을 위해 개발된 프로그램에 대한 사항을 테이블과 기술식으로 설명하기로 한다.

프로그램 이름 : ADINA

개발기관 : Prof. K. J. Bathe, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA

개요 : ADINA는 SAP IV와 NONSAP에서 발전된 것이며, 현재 가장 널리 사용되고 있는 프로그램 가운데 하나이다. ANIDA는 저작권이 보호되는 프로그램이며 현재에도 새로운 프로그램 내용이 개발중에 있다. CDC 6400, 6600, 7600, IBM 370, UNIVAC 1108, 1110 기종에서 사용이 가능하다.

해석범위 : ADINA는 선형 및 비선형 정력학 문제 및 동력학 문제해석이 가능하며, 대변

위 및 대변형을, 비선형 재료거동에 의한 비선형 효과를 해석할 수 있다. ADINAT 는 열전달 및 이와 유사한 형태의 문제를 해석하기 위한 프로그램이다. 해석가능한 재질특성은 다음과 같다. 일차원 요소에 대해, 선형 및 비선형 탄성재질, 열탄성, 열탄소성, 탄소성 재질, 크립거동의 해석이 가능하며, 이차원 요소에 대해 등방성 선형 탄성 재질, 직교 이방성 선형 탄성 재질, 등방성 열탄성 재질, Curve Description 모델과 콘크리트 모델, 탄소성 및 열탄소성 크립, Mooney-Rivlin 재질의 해석이 가능하다. 삼차원 요소에 대해, 등방성 및 직교 이방성 선형 탄성 재질, 등방성 열탄성 재질, Curve Description 모델과 콘크리트 모델, 탄소성 및 열탄소성 크립 거동이 해석 가능하다. ADINA 는 미리 선정된 시간 단계에서 재착수기능(Restart)이 가능하다. 동적 해석에서 고유치 및 고유모드, 동적 응답해석이 가능하다. 스펙트럼 해석은 불가능하며 비선형 Collapse, Dynamic Buckling, Post-Buckling 에 대해 안정성 해석이 가능하다.

전처리 및 후처리 기능 : 불가능하다.

관련해법 : Equation solver - Compacted out-of-core solver

Eigenvalues - Determinant search, subspace iteration is being incorporated

Dynamic response - Implicit time integration(Newmark or Wilson) or Explicit time integration

Nonlinear Problems - Incremental solution, Newton-Raphson method

처리 가능 요소 : 트러스, 보, 2차원 및 3차원 Isoparametric 요소가 사용 가능하다. 요소형태와 관계하여 다음의 4가지 해석과정이 사용된다. 선형 탄성 해석, 재료 비선형 해석, Total Lagrangian 해석, Updated Lagrangian 해석이 가능하다.

주요 기능 : Sub-structuring이 불가능하며, Specified Displacement Boundary Condit-

ion이 현재 개발중이다. 사용자가 정의한 유한요소의 사용이 가능하다.

프로그램 이름 : ANSYS

개발 기관 : Swanson Analysis System, Inc., P. O. Box 65, Houston, PA 15342, USA

개요 : User's Manual, Example Manual, Verification Manual, Theoretical Manual, Introductory Manual, Programmer's Manual을 구비하고 있다. ANSYS는 일괄 처리작업, 대화형 작업, 그래픽 처리기능이 가능하며, 컴퓨터 시분배방식을 사용한다. CDC, IBM, UNIVAC, CRAY, AMDAHL, PRIME, MODCOMP, VAX 기종에서 사용이 가능하다.

해석 범위 : 정력학계 및 동력학계의 선형 및 비선형 구조 해석과 열전달 문제의 해석이 가능하다. 열전달 문제는 정상상태 및 과도상태 해석, 전도, 대류, 복사문제의 해석이 가능하다. 연성 열유동(Coupled Thermal Fluid Flow) 해석 및 연성 열전기파동해석(Thermal Electric Wave Motion)이 가능하다.

전처리 및 후처리 기능 : PREP 5, PREP 7가 요소형성 프로그램이며, PREP 6는 과도상태의 경계조건 계산 프로그램이다. 2차원 및 3차원 유한요소와 INTERSECTING SHELL 요소의 형성이 가능하다. WAVE FRONT의 최소화를 위한 요소 재배치기능이 있다. ANSYS의 처리 가능한 모든 요소에 대해 도시가 가능하며, 응력, 변위, 온도의 표시가 가능하다. 해의 풀이과정에서 계산된 자료들을 보조기억장치에 저장하여 필요한 행렬 계산을 수행한다.

처리 가능 요소 : 40가지 이상의 요소가 정력학 및 동력학계의 해석에 사용가능하며, 열전달 문제의 해석을 위해 30가지의 요소를 사용할 수 있다. 열유동 해석 및 열전기파동 해석을 위해 각각 3가지의 요소를 사용할 수 있다. 특별한 구조해석을 위해 집중 질량, Spring, Damper, Slide-Interface, Gap-Interface, 케이블을 처리할 수 있다.

관련 해법 : Equation solver - Wave front method

Condensation - Guyan's reduction

Eigenvalues - Jacobi eigenvalue extraction

Dynamic response - Modal superposition; Harmonic response; Implicit quadratical integration

Nonlinear problems - Incremental method

주요 기능 : 효과적인 데이터 검토기능과 여러 수정 제시문을 통해 입력 데이터의 실수를 수정할 수 있다. 해의 풀이 계산시간 및 기억장치 사용량을 알려주며, 재작수 기능을 갖고 있다.

프로그램 이름 : ASAS

개발 기관 : Atkins Research and Development, Woodcote Grove, Ashley Road, Epsom, Surrey KT18 5BW, England

개요 : ASAS G, ASAS HEAT, ASAS RESPONSE로 구성되어 있다. ASAS G는 일반 목적용 다기능 프로그램이며, ASAS HEAT는 열전도 문제 해석용 프로그램이다. ASAS RESPONSE는 동력학계 해석용 프로그램이다. IBM, CDC, UNIVAC, AM-DAHL, HONEYWELL, DEC, PRIME, XEROX 기종에서 사용가능하다.

해석 범위 : 등방성 및 이방성 재료의 선형 탄성 해석, 동력학계에 대해 고유치 및 선형 응답 해석, 스펙트럼 해석이 가능하다. 정상 상태 및 과도 상태의 열전달 문제해석이 가능하다.

전처리 및 후처리 기능 : MESH 3, MESH 4가 2차원 유한요소 형성 프로그램이며 요소의 크기와 증가형태에 대해서 조절이 가능하다. 이에 의해 형성된 자료들은 Tektronix 단말기를 통해 수정이 가능하다. ASDIS는 형성된 요소들을 그래픽 화면으로 도시하거나 프린터로 작도할 수 있는 프로그램이며, 이것은 투시각도의 조절, 크기의 확대, 축소기능을 갖고 있다. ASBAND는 Band-Width의 최적화 프로그램이며, ASLOCO는 하중

조절 및 결합 기능 프로그램이다. ENGR-AVE가 개발중이며, 이것은 모델의 요소형성 및 요소선택, 형성된 요소자료의 수정 및 도시기능을 갖는 프로그램으로 ASAS의 전처리 및 후처리 프로그램으로 사용될 것이다. 처리 가능 요소 : 변위 수식 및 평형 방정식 수식에 기인하는 모든 유한요소 사용이 가능하며, Membrane Crack Tip 요소, Warped Shear panels의 처리가 가능하다.

관련 해법 : Equation solver - Wave front method in-core ; partitioned Cholesky out-of-core

Condensation - Guyan's reduction

Eigenvalues - Superspace iteration, Jacobi, Householder, QL, Householder Sturm sequence

Dynamic response - Newmark  $\beta$ -method

주요 기능 : 자중 및 원심력의 처리기능과 Front Width의 자동선택 및 3 등 분할 보조 기억장치 이용해법(Three Partition out of core Solution)의 사용으로 기억 용량의 감축과 허용용력 수준하에서의 응력상태 검토기능이 있다. 초기 응력 및 초기 변형을 문제 해석이 가능하다.

프로그램 이름 : ASKA

개발 기관 : Statik und Dynamik Forschungsgesellschaft Gmbh, Postfach 80 1044, 7 Stuttgart 80, West Germany

개요 : ASKA는 기구학 해석용 프로그램으로 ASKA I, ASKA II, ASKA III-1, ASKA III-2, ASKA HS, ASKA CS; ASKA-FM, ASKA-HEAT으로 구성되어 있다. IBM, ICL, UNIVAC, CDC, HONEYWELL, BURROUGHS, VAX, PRIME에서 사용 가능하다.

해석 범위 : 등방성 및 이방성 재료의 선형 및 비선형 탄성 구조의 해석 및 탄소성 재료, 크립문제의 해석이 가능하다. 탄소성 재료의 경우 von-Mises 항복조건과 Prandtl-Reuss의 흐름 이론이 적용되며, 동방경화, 이동경화, 복합적인 가공경화 현상을 해석

할 수 있다. 동력학계의 문제에 대해서 고 유치 해석, 선형 응답 및 스펙트럼 해석이 가능하며 다단계 Sub-Structuring 이 가능하다.

전처리 및 후처리 기능 : 유한요소 형성 프로그램으로 FEMGEN이 사용된다. 이 프로그램은 일괄 처리작업 및 대화형 작업이 가능하며, 일련의 명령어 계층으로 제어할 수 있다. FEMGEN은 요소의 기하학적 좌표 및 교차점, 공간 곡선 등의 자동적 형성이 가능하며, 플로팅 장치에 의한 요소의 검토가 가능하다. FEPS는 결과를 플로팅하는 프로그램이다.

처리 가능 요소 : 플랜지, 보, Membrane, 판, 쉘, 축 대칭 및 연속체 요소가 사용가능하며, 재질은 등방성 및 이방성이 해석가능하다. 여러 형태의 하중 경로 모델에 대해 요소의 선택이 가능하며, 확장된 보 요소의 사용이 가능하다. 각각의 유한요소들은 그 단면 형상 및 절점의 배치가 서로 다르다.

관련 해법 : Equation solver - Partitioned Gauss elimination

Condensation - Guyan's reduction

Eigenvalues - Simultaneous vector iteration; Householder, Jacobi

Dynamic response - Model superposition with the option of analytical integration of harmonic linear and delta function; Numerical integration of user specified functions; Direct integration

Nonlinear problems - Initial strain/stress method

주요 기능 : 600 가지 이상의 에러수정 제시문을 갖고 있으며, 여러가지 선택사항이 있다. 비대칭 하중을 받는 축 대칭 구조의 해석이 가능하며, Hyper-Matrix 조작이 가능하다. 특별한 문제해석을 위해 ASKA의 계산자료 를 이용하여 사용자가 작성한 부프로그램에 서의 사용이 가능하다.

프로그램 이름 : BERSAFE

개발 기관 : Central Electricity Generating

Board, Research and Development, Berkeley Nuclear Laboratories, Berkeley, Gloucestershire GL3 9PB, England

개요 : BERSAFE, BERDINE, FLHE, 전처리 및 후처리 프로그램으로 구성되어 있다. 이 프로그램은 Power Plant 문제 해석을 위해 개발되었으며, 이외에도 많은 문제의 해석이 가능하다. IBM, UNIVAC, ICL 기종에서 사용이 가능하다.

해석 범위 : BERSAFE는 압력, 집중하중, 자중력, 온도분포 등을 갖는 구조물에 대해서 선형 및 비선형, 등방성 및 이방성 재질의 탄소성 해석이 가능하다. BERDINE는 자유진동, 비감쇠 강체진동의 2차원 및 3차원 해석이 가능하다. FLHE는 열하중을 받는 2차원 및 3차원 구조의 정상상태 및 과도상태 온도 해석이 가능하다. BERSAFE의 비선형 재질 부분은 등방경화 및 이동경화를 고려할 수 있으며, 과도상태 열하중을 고려할 수 있는 소성 및 크립 문제를 해석할 수 있다. 암석재질 및 전자장 문제를 해석할 수 있다.

전처리 및 후처리 기능 : BERMESH, BERGEN, BERCYL이 2차원 및 3차원 유한요소 형성 프로그램이다. DATA GEN은 요소 및 입력 데이터의 수정 기능 프로그램이며, POINTA는 대화형 그래픽 프로그램이다. POINTA는 요소형성, 수정 및 작도기능을 갖고 있으며, 하중과 구속조건의 검토 및 할당 기능을 갖고 있다. PLOT 3은 POINTA 프로그램의 일부인데 주요 계산결과를 도시한다. 후처리 기능 프로그램으로 BERPLOT 과 ELOPPER을 갖고 있다.

처리 가능 요소 : 약 50 개의 요소를 처리할 수 있다. 이들 요소들은 평면 응력, 평면 변형, 축 대칭, 3차원 보, 쉘 요소들로 분류된다. 기하학적 데이터 및 하중데이터는 직각 좌표계, 원통 좌표계, 구면 좌표계로 처리 가능하며, 이는 요소형태에 무관하다. 서로 다른 자유도를 갖는 요소들이 결합되는 문제의 경우 decoupling을 이용하여 해석이 가능하며, 특이요소(singular element)가 BERSAFE에서 처리 가능하다. 이 요소는

크랙 선단 주위의 반경방향의 변위가 변화하는 문제의 해석에 사용된다.

관련 해법 : Equation solver - Frontal solution method

Eigenvalues - Sturm sequence

Dynamic response - Direct time integration

Nonlinear problems - Initial stress method; initial strain method; tangential stiffness method

주요 기능 : 이 프로그램은 크랙 문제의 해석에 대해 효과적이며, 파괴 역학 문제의 해석에 관한 특별한 기능을 갖고 있다. 계수폭의 체적화 기능과 Sub-Structuring 이 가능하다.

프로그램 이름 : MARC

개발 기관 : MARC Analysis Corporation,  
260 Sheridan Avenue, Palo Alto, CA  
94306, USA

개요 : IBM, CDC, UNIVC, PRIME 에서 사용가능하다.

해석 범위 : 이 프로그램은 요소처리 부분, 재질 해석부분, 구조해석 부분으로 구성되어 있으며, 선형 및 비선형 정력학계 및 동력학계를 해석할 수 있다. 재질해석을 위해 35개의 상이한 모델을 갖고 있으며, Maxwell-Mooney의 대변위 탄성학 문제, Hypo-Elasticity 문제, 소성해석에 있어서 von-Mises 항복조건, Mohr-Coulomb 항복조건의 처리가 가능하다. 변형율에 종속하는 항복응력의 처리가 가능하며, von-Mises형 크립, Pure volumetric creep, Pure deviatoric creep, 탄소성 크립의 등방성 거동, 점탄소성, Low tension cracking의 해석이 가능하다. 구조해석 부분에서는 선형 및 비선형 정력학계의 해석, Modal damping, Proportional damping, Lumped mass 대변위의 해석이 가능하다. 좌굴, 탄소성 좌굴, 크립 좌굴, 정상 상태 및 과도상태 열전달 해석이 가능하다. 동력학계의 해석에서는 기하학적 비선형 효과, 재질 비선형 효과를 고려할 수 있다.

전처리 및 후처리 기능 : 2차원 및 3차원 요소형성이 가능하며, Band-Width의 체적화 기능을 갖고 있다. 모델의 단면 및 전면도 시 기능과 온선을 제거한 3차원 구조물의 도시기능을 갖고 있다. 후처리 기능에서 등온선, 등응력선, 등변형율선의 표시가 가능하며, 변형된 구조물의 도시, 3차원 구조물의 일부 단면 도시 기능 등을 갖고 있다.

처리 가능 요소 : 60개 이상의 요소를 처리할 수 있다. Special Pipe Band 요소, 일차원 Truss Gap 요소, 일차원 Gap & Friction link 요소, 평면 변형을 요소, 축대칭 비틀림 요소, 선형 및 비선형 스프링 요소, 집중 질량을 고려하는 특정요소의 사용이 가능하다.

관련 해법 : Equation solver - Gaussian elimination

Eigenvalues - Inverse power sweep

Dynamic response - Modal superposition; Duhamel exact integration Implicit

Newmark's  $\beta$ -method; Explicit central difference method, Houbolt operator; step-by-step using tangent stiffness

Nonlinear problems - Tangent stiffness; Initial strain

프로그램 이름 : MISA

개발 기관 : Mitsui Engineering Shipbuilding Company, Ltd., Technical Research and Development Headquarters, 6-4, Tsukiji 5-Chome, Shuo-Ku, Tokyo, Japan

개요 : 전처리 및 후처리 기능이 효율적이다. 해석하고자 하는 모델의 데이터 입력이 용이하며, 컴퓨터 사용시간에 있어서 경제적이다. 대형 구조물의 해석에 있어서 준비 데이터가 매우 적으며 자동적인 데이터 입출력 기능을 갖고 있다. IBM기종에서 사용이 가능하다.

해석 범위 : 선형 응력 해석 및 열응력 해석을 고려한 열전도 문제를 해석할 수 있다. 서로 같은 구조 형태가 이어지는 동적 구조물을 해석하는 경우 하나의 구조물에 대해서

만 필요한 계산을 하여 중복되는 계산을 피할 수 있는 기능을 갖고 있다. 이러한 COPY기능을 이용하여 문제해석에 필요한 데이터의 준비를 줄일 수 있으며 행렬 계산에 드는 시간을 절약할 수 있다. 서로 다른 자유도를 갖는 요소가 결합되는 구조물의 경우 결합 부분에서 필요한 자유도의 자동적 계산이 이루어진다.

전처리 및 후처리 기능 : 전처리 기능에서는 요소, 하중 및 구속 조건의 형성, Super parametric 요소의 사용, 데이터의 검토 및 절점의 재배열, 구조물, 하중, 경계조건의 그래픽 처리가 가능하며, 원통면, 구면, 원추면 등 임의의 형상면을 갖는 요소의 형성이 가능하다. 후처리 기능에서는 모델의 도시, 응력의 크기별 표시, 주응력 및 등가응력의 표시 기능을 갖고 있다.

처리 가능 요소 : 응력 해석을 위해 27가지의 요소를 사용할 수 있으며, 열전도 문제를 위해 16가지의 요소가 사용 가능하다. 변위 중심 수식 및 Pian의 Hybrid 수식이 사용 가능하다.

관련 해법 : Equation solver - Wave front method ; LDU decomposition

주요 기능 : 재착수 기능, 축대칭 구조물의 비대칭 하중조건 처리기능이 있다.

---

프로그램 이름 : MSC/NASTRAN

개발 기관 : The MacNeal-Schwendler Corporation, 815 West Colorado Blvd, Los Angeles, CA 90041, USA

개요 : CDC, IBM, AMDAHL, FACOM, ITEL, UNIVAC, DEC, VAX 기종에서 사용 가능하며, 방대한 사용 설명서 및 3가지의 공식번안을 갖고 있다. 이 중 MSC/NASTRAN에 대해 설명한다.

해석 범위 : MSC/NASTRAN은 재료 비선형 및 기하학적 비선형 문제, 선형 정력학계 및 동력학계를 해석할 수 있는 대규모 다기능 프로그램이다. 열전달, 항공탄성학, 음향학, 전자장 등의 문제를 해석할 수 있으며, 일괄 처리작업, 시분배 방식, 그래픽 처리 등이

가능하다. NASTRAN은 여러개의 변경할 수 없는 고정체계 형식으로 해석할 수 없는 문제의 경우 사용자 자신이 직합한 계산 단계를 수행하는 부분적인 프로그램을 작성하여 해결할 수 있다.

전처리 및 후처리 기능 : MSG MESH는 일차원, 2차원 및 3차원 구조물의 요소를 형성한다. NASPLOT은 플롯하기 위한 데이터를 파일로부터 읽어들이어 플롯팅처리가 가능한 데이터로 Format 처리한다. TEK는 Tektronix 플롯팅 장치를 위한 대화형 플롯팅 프로그램이다. BANDIT는 계수폭을 최적화 시킨다.

처리 가능 요소 : 모든 형태의 유한요소가 사용 가능하며, 현재에도 새로운 요소가 개발 첨가되고 있다. Higher order plate, Membrane, Shell element, Shell-Panal, Out of plane membrane 요소, Singular plastic 요소, Rigid 요소, Thermo-fluid 요소, Scalar 요소, Influence-coefficient에 의해 묘사되는 일반 요소 등이 사용가능하다.

관련 해법 : Equation solver - Partitioned LDL decomposition for symmetric matrices ; LDL decomposition for nonsymmetric matrices

Condensation - Guyan's reduction

Eigenvalues - Determinant method ;

Inverse power with shifts ; Givens and QR-method

Dynamic response - Modal superposition ; Numerical integration of uncoupled systems ; Direct integration by Newmark  $\beta$ -method

Nonlinear problems - Incremental method (tangent stiffness)

주요 기능 : 다목적 행렬계산 기능, 중복된 구속조건의 처리기능, 강체 운동 해석, 다단계 Sub-structuring, 재착수 기능이 있다.

---

프로그램 이름 : NEPSAP

개발 기관 : Dr. S. Nagarajan, Lockheed Missiles and Space Company, Inc., P. O.



Box 504, Sunnyvale, CA 94088, USA

개요 : 비선형 탄소성 구조해석용 프로그램으로 UNIVAC, CDC 기종에서 사용가능하다.

해석 범위 : 3 차원 비선형 문제를 해석하기 위한 프로그램으로 대변위, 열탄소성 및 크립 문제를 해석할 수 있다. 선형 중복 하중 해석, 비선형 좌굴, Bifurcation Buckling, 진동문제 해석, 선형 및 비선형 과도상태 진동상태, 정상상태 및 과도상태 열응력 해석이 가능하다. 열탄성, 열소성, 등방경화 및 이동경화, 직교이방성 탄성재질, 복합재료, 등방성 비압축성 탄성재질, 비압축성 열탄소성 재질, 크립 문제의 해석이 가능하다.

전처리 및 후처리 기능 : 모델의 기하학적 데이터, 경계조건 등이 전처리 기능 프로그램에서 형성되어 보조 기억장치에 기억되며, 계수폭(Band-Width) 최적화 기능, 데이터의 검토, 결과물의 인쇄 제어기능, 계산된 응력값들 가운데서 최대, 최소치의 선택기능, 모델 및 결과의 그래픽 처리기능을 갖고 있다.

처리 가능 요소 : 비압축성 재질의 이방성 다층 구조의 판 및 셸 요소, 비선형 직선 및 곡선 Pipe 요소, Gap 및 Contact 요소가 사용가능하다.

관련 해법 : Equation solver - Variable band skyline matrix solver

Dynamic analysis - Newmark, Houbolt, Park or any user-defined refractoring intervals and variable time steps

Nonlinear problems - Modified stiffness approach with user specified load and temperature increments

주요 기능 : Multipoint 구속 조건, 원통좌표계 및 구면좌표계 사용 기능, 재착수 기능, 해석결과의 보조기억장치 저장 기능, 자료은행 체제 사용기능을 갖고 있다.

프로그램 이름 : PAFEC

개발 기관 : PAFEC, Ltd., Thane Road, Lenton Industrial Estate West, Nottingham NG7 2TG, England

개요 : 이 프로그램은 모듈 단위로 구성되어 있으며, 수정이 용이하여 특정한 문제 해석을 위해 응용하기 쉽다. IBM, CDC, UNIVAC, XEROX, SIGMA, HONEYWELL, BURROUGHS, DEC, PRIME, ICL, GE 기종에서 사용이 가능하다.

해석 범위 : 등방성 및 이방성 재질의 선형 탄성 정력학계 및 동력학계 해석이 가능하다. 제한된 한도내의 대변위 문제, 열전달 문제를 해석할 수 있으며, 비선형 탄성재질, 온도에 따라 재질 특성이 변화하는 문제, 탄소성 및 크립 문제를 해석할 수 있으며, 동력학계의 해석에 있어서 고유치, 고유모드, 동적응답 해석이 가능하다. 또한, 고유치 안정성 해석과 동적 안정성 해석이 가능하다.

전처리 및 후처리 기능 : PIGS는 입력 데이터의 검토 및 수정을 위한 그래픽 처리 프로그램으로 Tektronix 장비와 호환성을 갖는다. 요소형성 프로그램으로 2 차원 및 3 차원에 대해 각각 8개의 PAF BLOCK을 갖고 있다. IN. DRAW는 변형전의 구조물 도시 프로그램이며, OUT. DRAW는 해석된 결과 변위 및 응력을 구조물과 함께 도시하는 프로그램이다.

관련 해법 : Equation solver - Gaussian elimination : in-core and out-of-core

Cholesky decomposition; Frontal method  
Condensation - Dynamic condensation by an automatic method for choosing masters

Eigenvalues - Householder tridiagonalization and QL method

Dynamic response - Newmark  $\beta$ -method with variable

Nonlinear problems - Incremental method

주요 기능 : 계산 과정이 10 단계로 나뉘어져 있으며, 재착수 기능은 이중 어느 한 단계의 종료후에 가능하다. 다단계 Sub-structuring이 가능하며, 비대칭 하중을 갖는 축대칭요소의 해석이 가능하다.

프로그램 이름 : SAMCEF

개발 기관 : Univ. of Liege, LTAS, Rue de val Benoit, 75, 4000 Liege, Belgium

개요 : ASAF, OPTIN, DESSIN, DYNAL, SAMNL, REPOYL, POST, STABILL, POSTFAC 으로 구성되어 있으며, IBM, CDC, UNIVAC, SIEMANS 기종에서 사용이 가능하다.

해석 범위 : 선형 및 비선형 정력학계의 해석이 가능하며, 등방성 및 이방성 재질, 온도에 따라 특성이 변화하는 재질, 비선형 탄성재질, 탄소성 문제의 해석이 가능하다. 대변위를 고려하는 기하학적 비선형 문제 및 대변형을 문제를 해석할 수 있는 프로그램이 개발중이다. 열전달 문제를 해석할 수 있으며, 동력학계의 고유치 및 고유모드 해석, 동적 응답 및 스펙트럼 해석, 고유치 안정성 해석이 가능하다.

전처리 및 후처리 기능 : 2 차원 및 3 차원 요소를 형성할 수 있으며, 모델 데이터의 기하학적 적합조건의 타당성을 검토할 수 있다. 국부 좌표의 자동 선택과 모델 및 해석결과 플롯팅 기능, 확대, 축소, 회전 등의 그래픽 처리기능을 갖고 있다. 변위, 진동 모드, 등가선의 표시, 주응력의 표시, 과도응답 등이 그래픽으로 처리가능하다.

처리 가능 요소 : 변위 요소, 온도 요소, 평형 요소, 혼성 요소 등 100 여 가지의 요소들을 사용할 수 있다. Local Stiffness 요소, Special convection 요소, Tying 요소, Fluid 요소가 사용가능하다.

관련 해법 : Equation solver - Frontal solution method

Condensation - Iron's - Guyan's reduction

Eigenvalues - Simultaneous iteration

Dynamic response - Modal superposition and Newmark  $\beta$ -method

Nonlinear problems - Incremental, Newton - Raphson

주요 기능 : 특정한 문제해석을 위한 파일처리 기능이 우수하며, 초기 응력 및 초기 변형

을, 비압축성을 고려할 수 있으며, Multi level Super element 를 사용할 수 있다.

프로그램 이름 : SAP V

개발 기관 : SAP User's Group, Dept. of Civil Engineering, University of Southern California, University Park, Los Angeles, CA 90007, USA

해석 범위 : 3 차원 탄성 정력학계 및 동력학계 해석용 프로그램이다. 동력학 해석은 고유치 및 고유 벡터 해석, 모드 중첩법에 의해 강제 진동해석, 진동수 해석, 스펙트럼 해석이 가능하다. 좌굴과 열전달 문제의 해석이 가능하다.

전처리 및 후처리 기능 : CALCOMP 와 SC 4020 Plotter 와 연결하여 사용가능하며, 변형전 및 변형후 구조물의 도시, 진동 모드의 도시가 가능하다.

처리 가능 요소 : 3 차원 트러스요소, 보 요소, 평면 변형을 요소, 축 대칭요소, 3 차원 Solid 요소, 판 요소, 쉘 요소, Boundary 요소, 파이프 요소가 사용가능하다.

관련 해법 : Equation solver - Gauss elimination

Eigenvalues and dynamic analysis - Mode superposition, determinant search method, subspace iteration solution, direct step-by-step integration

주요 기능 : 계수폭의 최적화 기능이 있으며 Sub-structuring 이 불가능하다.

프로그램 이름 : SEASAM 69

개발 기관 : A. S. Computas, Postboks 310, 1322 Hovik, Norway

개요 : IBM, CDC, UNIVAC, GE 기종에서 사용가능하다.

해석 범위 : 탄성 정력학계 및 동력학계, 크랙 전파, 정상상태 및 과도상태 열전달 문제를 해석할 수 있다. 동력학계의 해석에서는 고유치 및 고유모드 해석, 동적 응답해석이 가능하다. Post Buckling, 비선형 Collapse 문제의 안정성 해석, Piping System 해석,





