

構造解析을 위한 Symbolic Manipulation Program

A Symbolic Manipulation Computer Program for Structural Analysis

沈 在 守*
Shim, Jae Soo

Abstract

The general purpose programs are in their fixed algorithm and theory of mechanics which can not be altered without painful program modifications. Users are usually guided by user's manual for data input. The several symbolic manipulation programs for structural analysis are introduced recently. These programs allow users to include a wide class of solution algorithm and to specify, by means of some symbolic manipulation, a combination of analytical steps to suit a particular problem. As they can solve a single domain problem, a large computer is usually needed. The scope of this study is to develop an efficient symbolic manipulation program with space beam element, plate bending element and eigen value routines. The incorporated Substructure capability and generation capability of finite element characteristic arrays (e.g., stiffness matrix, mass matrix) enables users to analyse multidomain problem with small computer. The program consists of modularized independent processors, each having its own specific function and is easily modified, eliminated and added. The processors are efficiently handling data by the Data base approach which is the concept of integrated program network(IPN).

要 旨

既存 범용 構造解析용 프로그램들은 選擇된 力學의 理論, 計算 algorithm 등이 固定되어 있으므로 利用者は 프로그램을 원하는 대로 control 하기 어렵고 프로그램에 定義된 대로 data input 만 準備한다. 利用者が 計算過程을 control 할 수 있으며 원하는 力學의 理論 및 計算 algorithm 등을 補完하여 利用할 수 있도록 한 構造解析용 프로그램인 Symbolic Manipulation Program 들이 開發되었으나 이들은 single domain 問題 解析用이므로 大型컴퓨터가 必要하다. 本 研究에서는 substructure technique 을 導入하여 構造物을 multi domain 으로 하여 中, 小形컴퓨터로도 解析할 수 있으며, matrix analysis 및 finite element analysis 를 할 수 있도록 finite element characteristic arrays (Stiffness, Mass matrix) 등을 計算하는 Element Subroutine 중 3D Beam element, Plate bending element 및 動力學計算을 위한 Eigenvalue routine 을 包含한 Symbolic Manipulation Program 開發이다. 이 프로그램의 構造는 module 化된 獨立的 機能을 가진 processor 들로 構成되어 프로그램의 修正, 添加, 削除가 容易하며, Integrated Program Network(IPN) 概念中 data base 方法으로 matrix form 으로 된 data 의 취급이 效率的이다.

* 正會員 · 慶熙大學校 工科學科 土木工程學科 助敎授

1. 序 論

컴퓨터를 利用한 構造解析은 범용 構造解析用 프로그램^(1,2)들을 많이 利用하고 있으나 利用者는 入力資料만 準備하면 프로그램에 定해진 理論과 方法에 따라 結果만 自動的으로 얻게 되며, 計算過程에 關여할 수 없으며, 프로그램의 修正 補完 등이 힘들다. 最近에 새로운 形態의 프로그램^(3,4,5,6)들이 開發되어 適當한 이름으로 定한 解析過程들을 利用者가 構造解析에 適合하게 組合하여 使用하게 한다. 이 프로그램들을 Symbolic Manipulation Program 이라고 하는데 하나의 機能만 가진 獨立된 Processor 들로 構成되어 있어 利用者의 命令에 따라 計算이 進行된다. 이 프로그램들과 一般의인 Black Box 形態의 프로그램들과의 比較는 그림 1 에 있다.

CAL 프로그램 (3)은 모든 데이터를 Array 로 취급하며 行列計算을 할 수 있어 行列에 依한 構造解析은 利用者의 意圖대로 할 수 있으나 Element characteristic arrays (stiffness, mass

matrix and generalized force)등에는 接近할 수 없다. MACSYMA 프로그램⁽⁵⁾은 數學的 計算 및 有限要素解析 등을 할 수 있는 융통성있는 大型 프로그램이나 實際利用에는 效率性과 費用問題가 있다. FEAP 프로그램⁽⁴⁾은 macro 프로그램이며 Single domain 問題의 有限要素解析을 效果的으로 할 수 있으나 行列計算을 할 수 없고 Substructure capability가 없어 Multi domain 問題解析은 할 수 없다. AIT 프로그램⁽⁶⁾은 行列計算 및 有限要素解析 能力이 있는 macro 프로그램이며 Substructure 및 效果的인 Profile Solution Capability가 있어 multi domain 問題解析을 할 수 있으나 有限要素解析을 爲한 element Processor 들이 不足하다. 本 研究에서는 AIT 프로그램의 Data Control 을 爲한 processor 들과 element processor 의 space beam element, plate bending element 및 動力學解析에 利用되는 eigen value processor 를 開發한다. CAL, FEAP 과 AIT 프로그램의 比較는 表 1 에 있다.

表 1. Comparison of program capabilities between AIT and CAL, FEAP programs.

	FEAP	CAL	AIT
Matrix operations		○	○
F.E. Mesh characteristic generation	○	○	○
Multidomain capability			○
Substructure capability			○
Efficient profile solver	○	○	○
Looping capability	○	○	○
Matrix identification with user's defined name		○	○
Option for in-core storage and secondary storage			○
Nonlinear capability	○		
Restart option	○		○
Dynamic storage allocation	○	○	○
Data management		○	○

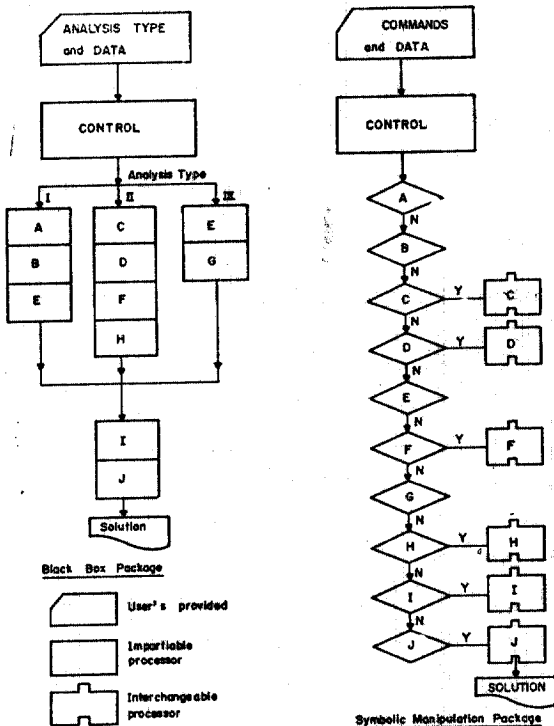
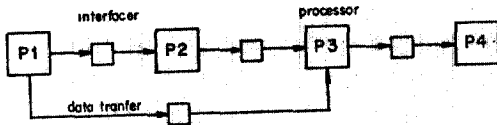


그림 1. Black box package vs. symbolic manipulation package.

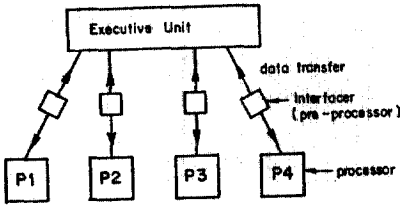
2. 프로그램 構造

2.1 데이터

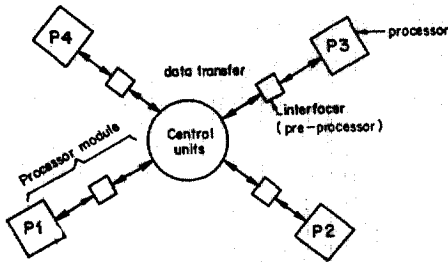
最近 工學用 프로그램에서 데이터 취급의 效率性을 增進하기 爲하여 Integrated Program network(IPN) 概念이 導入되었다⁽⁷⁾. IPN의 構成은 Direct link approach, Superexecutive approach



(a) Direct link approach

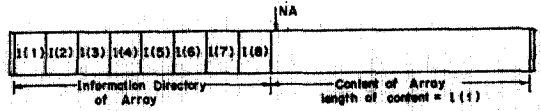


(b) Super-executive approach

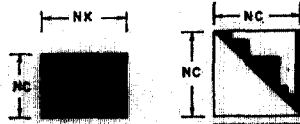


(c) Data base approach

그림 2. Three approaches of integrated program network (IPN)



$I(1)$ = total length of real array



$I(4) = 1$ $I(4) = 2$

$I(1) = NC * NR * I(2)$ (IF $I(4) = 1$)

$I(1) = NO. of terms in profile * I(2) + NC$ (IF $I(4) = 2$)

$I(2)$ = number of precision of array

$I(2) = 1$ Single-precision

$I(2) = 2$ Double-precision

$I(3)$ = number of columns of array

$NC = I(3)$

$I(4)$ = storage code of array

$I(4) = 1$ rectangular form

$I(4) = 2$ profile form

$I(5)$ = alphabetic name of array, each contains 4 characters.

$I(6)$

$I(7)$ = secondary storage code

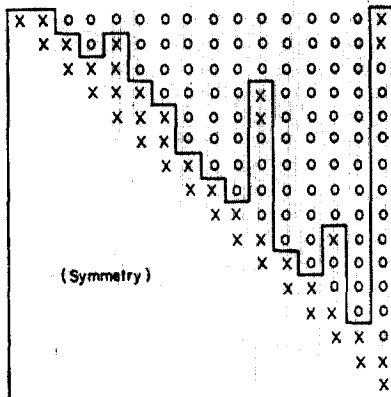
$I(7) = 0$ primary storage for content of array

$I(7) = 1$ first secondary storage for content of array

$I(7) = 2$ second secondary storage for content of array

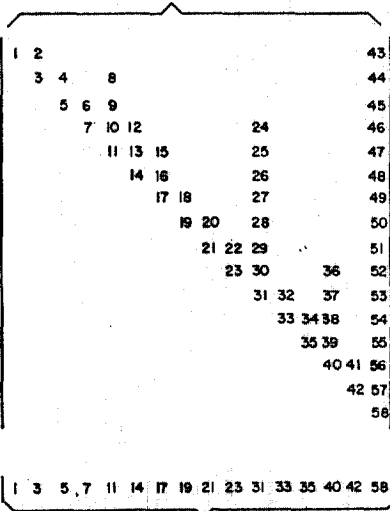
$I(8)$ = record pointer of secondary storage

그림 3. Directory of an array.



X indicates non zero coefficient

Array of active coefficients in a matrix.



Vector of diagonal pointers

그림 4. Profile storage of a matrix.

ach, Data base approach 方法이 있는데 本 研究에서는 Data base approach 方法을 適用한다. IPN 은 그림 2에 있다. 데이터는 行列로 취급되며 Information directory 와 데이터로 區分되며 Information directory 에는 데이터의 이름, 크기, 저장형태, Secondary Storage 情報 등이 있으며 그림 3, 4에 있다.

2.2 데이터 Control

AIT 프로그램은 Control Unit 와 Processor Unit 로 構成되며 그 構造는 그림 5에 있다. Control Unit (Central Unit)는 프로그램 수행의 必要한 段階를 管理한다. 그 段階를 說明하면 Control Unit 는 利用者로부터 Command 와 데이터를 받아 Command 에 規定된 適合한 Processor Unit (Satellite unit)로 必要한 資料를 넘긴다. Processor unit 는 pre-processor 와 processor 로 되어 있으며 pre-processor 는 데이터 저장장소인 Data bank 로부터 必要한 데이터를 가져와 計算을 하는 processor 로 넘기거나 計算된 새로운 데이터를 processor 로부터 받아 Data bank 에 저장한다. 이후 Control unit 는 다음 Input Command 를 받아들여 위의 過程을 STOP Command 가 나타날 때까지 되풀이 進行한다.

利用자가 準備하는 Input Command 는 規定된 Process 이름 및 array 이름들과 Control pa-

parameter 들로 構成되어 1 줄에 Comma 로 區分된 Free format 으로 다음 形態이다.

PROCESS NAME, H1, H2, H3, H4, H5, H6, N1, N2, N3, N4

Array 이름(H1~H6)들의 數와 Control parameter (N1~N4)들의 數는 Process 이름에 따라 틀린다. 어떤 Process 이름의 경우는 Input Command 뒤에 데이터를 準備해야 한다.

2.3 Processor unit

AIT 프로그램에는 processor 들의 機能에 따라 3개의 部分으로 되어 있다.

2.3.1. 一般行列計算用 processor

하나의 processor 는 特定한 行列計算을 수행하며 이들을 利用하면 行列에 依한 構造解析을 할 수 있다. 이들 processor 들의 Command (process) name 과 그들의 機能은 그림 6에 있다.

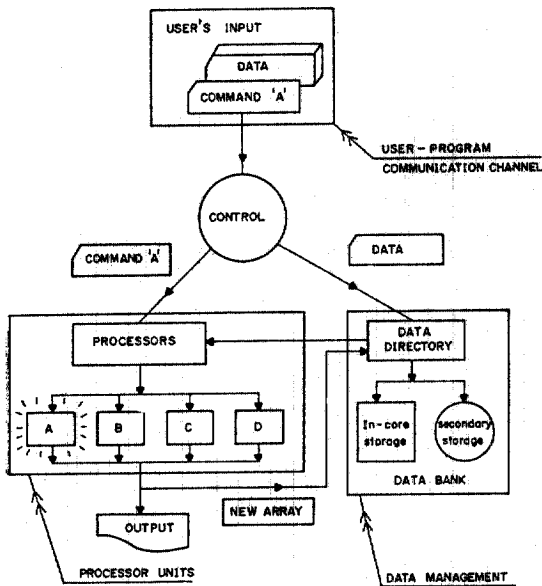


그림 5. AIT program architecture

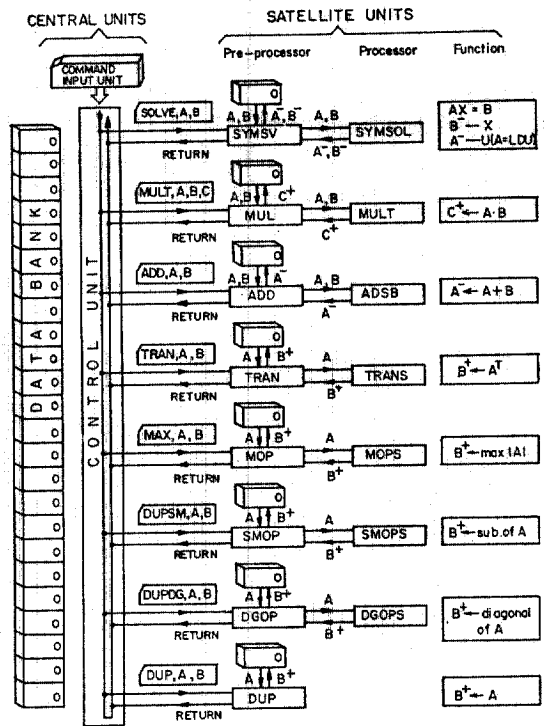


그림 6. Processor unit for general matrix operations.

2.3.2. Finite element characteristic array 計算用 processor

processor 들의 Command name 과 그들의 機

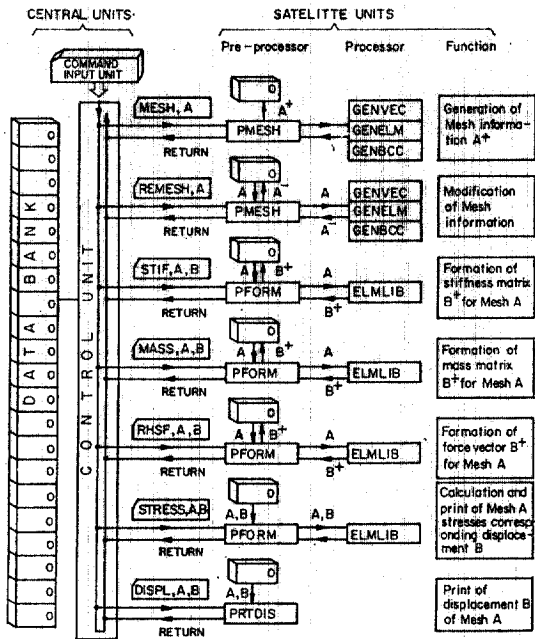


그림 7. Processor unit for generation of finite element characteristic arrays.

能은 그림 7에 있다. MESH Command는 利用者가 定義한 mesh name(domain name), node의 數, element의 數, 材料의 種類, dimension, node當自由圖(D.O.F), element當最大 node의 數 等의 parameter로부터 이 mesh에 必要한 記憶容量의 크기를 決定한다. MESH Command는 mesh에 必要한 데이터를 入力하고 處理하는 micro processor 들로 構成되어 있으며 Sub command(micro process) name과 機能은 그림 8에 있다. MESH Command 다음엔 Sub Command가 반드시 있어야 하며 END Sub Command가 나타날 때까지 繼續한다.

2.3.3. 有限要素法에 依한 計算用 processor processor 들의 Command name과 그들의 機能은 그림 9에 있다. 그림 6,7 및 9에서 array name 위의 “+”부호는 새로운 array가 만들어 지고 “-”부호는 array內容이 變한다.

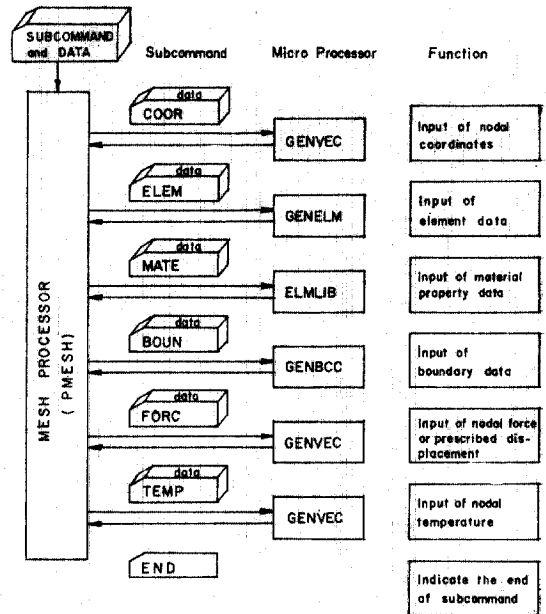


그림 8. MESH Command와 Sub command의 관계도

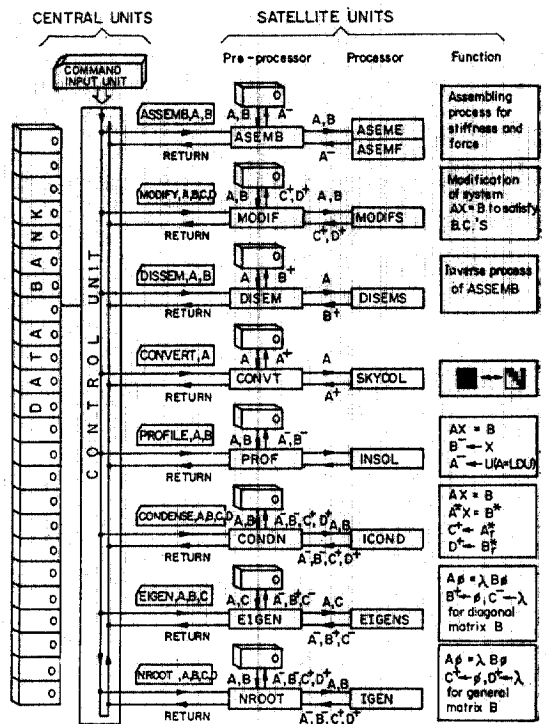


그림 9. Processor unit for finite element operations.

2.4 Standard element library

現在 利用可能한 element는 다음과 같다.

Subroutine	element 種類
ELMT01	平面變形 및 平面應力 element
ELMT02	軸對稱 element
ELMT03	平面 트라스 element
ELMT05	平面 보 element
ELMT06	立體 보 element
ELMT09	판 element

Subroutine의 標準形態는 그림 10과 같다.

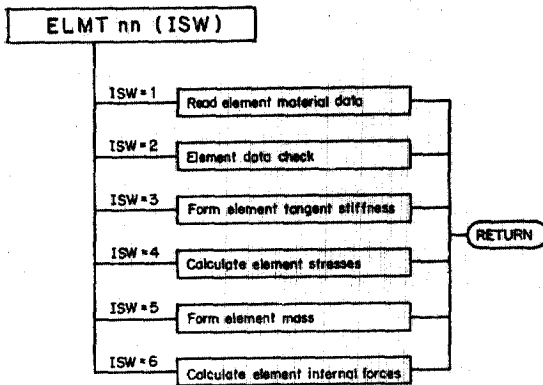


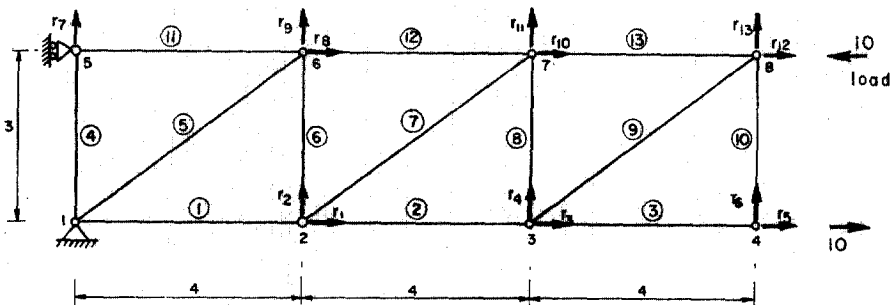
그림 10. Structure of element subroutines.

3. 例題

프로그램은 韓國科學技術院 研究部 IBM 컴퓨터를 利用하여 開發한다.

3.1 平面 트라스 모델

프로그램의 有限要素解析 및 eigenvalue 能力



$$E = 100,000 \quad , \quad A = 0.2 \quad \rho = 2.4$$

그림 11. Plane Truss Model.

을 보여주는 例이다. Mesh 데이터는 TRUSS 라는 이름으로 入力된다. TRUSS mesh의 stiffness matrix는 STIF Command에 의해 K라는 array 이름으로, 荷重 Vector는 RHSF Command에 의하여 R이라는 array 이름으로 計算된다. 變位는 PROFILE Solver에 의하여 計算되어 R이라는 array 이름에 저장되어 出力되고 應力計算에 利用된다. Consistent mass matrix는 MASS Command에 의해 計算되어 NROOT Command

表 2.

```

START TRUSS      2D TRUSS ANALYSIS
MESH,TRUSS      3 13 1 2 2 2
COORD
1 1 0. 0.
4 1 12. 0.
5 1 0. 7.
8 1 12. 3.

ELEM
1 1 1 3 1
3 1 3 4 1
4 1 1 5 1
5 1 1 6 1
6 1 2 5 1
7 1 2 7 1
8 1 3 7 1
9 1 2 8 1
10 1 4 8 1
11 1 5 6 1
13 1 7 9 1

BCON
1 1 1
5 1 1

FCRC
4 10.
8 -10.

MATE
1 3
100000. 0.2 2.4

END
STIF,TRUSS,K STIFFNESS MATRIX
RHSF,TRUSS,R RIGHT HAND SIDE FORCE VECTOR
PROFILE,K,R,1,13,13
DISPL,TRUSS,R
STRESS,TRUSS,R
LABEL,1
FREE VIBRATION
STIF,TRUSS,K
MASS,TRUSS,M,2 CONSISTENT MASS
DUP,K,K,K
NROOT,K,M,VALUE,VECTOR
PRINT,VALUE EIGEN VALUE
PRINT,VECTOR EIGEN VECTOR
MASS,TRUSS,M,1 LUMPED MASS
EIGEN,K,K,VECTOR,M
PRINT,M EIGEN VALUE
PRINT,VECTOR EIGEN VECTOR
STOP
    
```

에 의하여 eigen value 및 eigen vector 計算에 利用되고, Lumped mass matrix는 Mass Command에 의해 計算되어 EIGEN Command에 의하여 eigen value, eigen vector가 計算된다. 固

有圓振動數(ω)는 eigenvalue로, 振動 mode shape은 eigenvector로 나타난다. 構造物의 모델은 그림 11에 있고 入力데이터는 表 2에, Consistent mass 및 Lumped mass 경우에 대한 固

表 3. 固有圓振動數 比較

Mode	Consistent mass	Lumped mass
1	5.907	5.755
2	21.62	18.67
3	30.80	30.13
4	44.54	32.75
5	68.09	56.27
6	97.38	82.59
7	108.3	84.82
8	117.3	95.72
9	130.3	97.59
10	133.9	102.1
11	152.5	109.7
12	162.6	118.4
13	174.8	127.3

3.2 平面 프레임 모델

프로그램의 行列計算, eigenvalue 能力 및 有限要素解析 能力을 보여주는 例이다. 自由度 9 次인 Mesh 데이터는 FRAME 이라는 이름으로 入力된다. Stiffness matrix는 KK 라는 array 이름으로, Consistent mass matrix는 MASS Command에 의해 MM 이라는 array 이름으로, 荷重 Vector는 RR 이라는 array 이름으로 計算된다. 變位는 PROFILE Solver에 의하여 計算되어 array 이름 RR에 저장되어 DISPL Command에 의해 出力되며, 內力은 STRESS Command에 의하여 計算된다. Consistent mass matrix를 計算하여 NROOT Command에 의하여 eigenvalue, eigenvector가 計算된다. Lumped mass

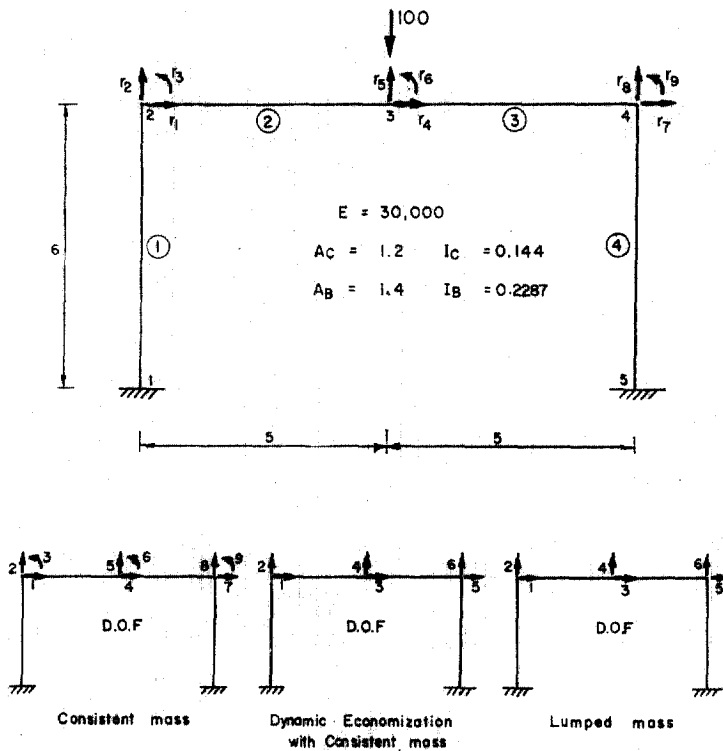


그림 12. Plane Frame Model.

表 4.

```

START
LABEL,1
MESH,FRAME
5 4 2 2 3 2
COORD
1 -5. 0.
2 -5. 4.
3 0. 4.
4 5. 4.
5 5. 0.
ELEM
1 2 1 2
2 1 2 3
3 1 3 4
4 2 4 5
BCON
1 1 1 1
5 1 1 1
MATE
1 5 14 * 1.4M BEAM IC.
30000. 5 1.4 0.22807 2.4
2 30000. 1.2 14 * 1.2M COLUMN
0.144 2.4
FCRC
3 -100.
END
STIF,FRAME,KK STIFFNESS MATRIX
MASS,FRAME,MM,2 CONSISTENT MASS MATRIX
RHSF,FRAME,RR RIGHT-HAND SIDE FORCE VECTOR
DUP,KK,KKK RR IS DISPLACEMENT VECTOR
PROFILE,KK,RR,1,7,9
DISPL,FRAME,RR
STRESS,FRAME,RR
DUP,KK,KKK
DUP,M,M,MM
LABEL,2
CALCULATION OF EIGEN PROBLEM CASE OF CONSISTENT MASS
NROOT,KK,MM,VALUE,VECTOR
PRINT,VALL EIGEN VALUES
PRINT,VECT EIGEN VECTORS
ZERO,M,S,5,0,0
ZERU,M,S,1,0,0
CCONVERT,KK,2
LABEL,2
CALCULATION OF EIGEN PROBLEM CASE OF LUMPED MASS
MASS,FRAME,MM,1 LUMPED MASS
ASSEM3,M,PKK
4 5 1 5 7 2 8 5 3
CENUSE,P,K,ARR,ARR,5,3
ZERU,M,S,1,0,0
ASSEM3,M,PKK
4 5 1 6 7 2 8 5 3
DUPSM,M,MRR,4,1,6,1
EIGEN,KRR,VECT,MRR
PRINT,KRR EIGEN VALUE
PRINT,VECT EIGEN VECTOR
ZERO,K,S,5,0,0
ZERO,M,S,5,0,0
CCONVERT,KK,2
CCONVERT,M,PKK,2
ASSEM3,M,PKK
1 2 7 3 4 9 5 6 9
1 2 7 3 4 8 5 6 9
ASSEM3,M,PKK
1 2 7 3 4 8 5 6 9
DELETE,KRR
DELETE,PKR
DUPSM,K,K,RR,1,1,6,6
DUPSM,K,K,RR,1,7,6,3
DUPSM,K,K,RR,7,1,3,6
DUPSM,K,K,RR,7,7,3,3
DUPSM,M,M,RR,1,1,6,6
DUPSM,M,M,RR,1,7,6,3
DUPSM,M,M,RR,7,1,3,6
DUPSM,M,M,RR,7,7,3,3
CLVE,KEE,3
MULT,KRE,KEE,KREE
MULT,KEE,KEE,KEER
MULT,KRE,KEE,KREE
SUB,PKR,KREE
MULT,KREE,PER,MREE
MULT,MRE,KEE,MREE
MULT,KREE,MEE,PRER
MULT,MREE,KEE,MARE
SUB,MRR,MREE
ADD,MRR,MARE
LABEL,2
CALCULATION OF EIGEN PROBLEM CASE OF DYNAMIC ECONOMIZATION
NROOT,KK,MRR,EVALUE,VECTOR
PRINT,EVALLE EIGEN VALUE
PRINT,EVECTOR EIGEN VECTOR
STOP
    
```

matrix 를 計算하여, 3 個의 回轉自由圖에 對應하는 Stiffness Coefficient 를 ASSEMB 및 CONDENSE Command 를 利用하여 Stiffness matrix 를 修正하여 EIGEN Command 에 의하여 eigenvalue, eigen vector 가 計算된다. 經濟的인 動的解析을 위하여 自由度次數를 줄여 必要한 mode 數까지의 結果를 求하는 方法인 Dynamic economization 을 行列計算으로 行하여 NROOT Command 에 의한 eigen value, eigen vector 가 計算된다. 構造物의 모델은 그림 12 에 있고 入力 데이터는 表 4 에, 固有圓振動數 比較는 表 5 에 있다.

表 5. 固有圓振動數 比較

Mode	Consistent mass	Mode	Dynamic Economization with Consistent mass	Mode	Lumped mass
1	2.7179	1	2.7190	1	2.5416
2	6.2578	2	6.2995	2	6.1018
3	17.611				
4	24.414	3	22.139	3	18.871
5	25.796	4	24.916	4	19.324
6	29.347				
7	45.397	5	28.795	5	22.457
8	51.211	6	59.128	6	38.681
9	76.727				

表 6

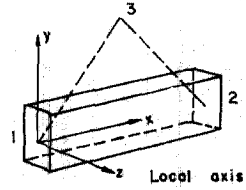
```

START
MESH,TEST
5 3 1 3 6 3
COORD
1 0. 0. 0.
2 0. 0. 1.
3 0. 2. 1.
4 3. 2. 1.
5 0. 5. 2.
6 5. 2. 2.
ELEM
1 1 1 2 3
2 1 2 3 5
3 1 3 4 6
MATE
1 6
2.0 0.833333 0.166666 0.666666 300000. 125000. 2.4
FCRC
4 1000.
BCON
1 1 1 1 1 1
5 1 1 1 1 1
6 1 1 1 1 1
END
STIF,TEST,K
RHSF,TEST,R
PROFILE,K,K,R,1,18,18
DISPL,TEST,R
STRESS,TEST,R
REMESH,TEST
MATE
1 6
2.0 0.833333 0.166666 0.666666 300000. 125000. 2.4 5.
2.
END
RHSF,TEST,R
STIF,TEST,KK
PROFILE,K,K,R,1,18,18
DISPL,TEST,R
STRESS,TEST,R
STOP
    
```

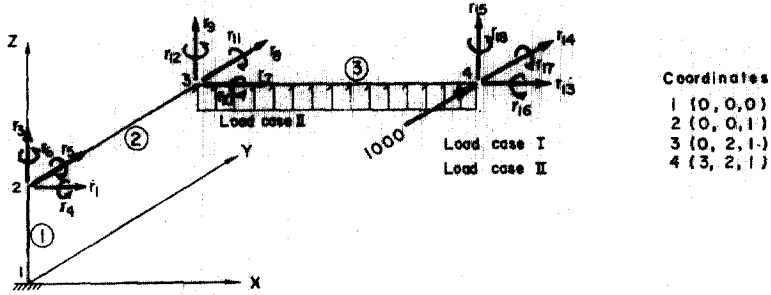

表 7

*****		NUMBER OF CORE USED		1														
**START		NUMBER OF CORE USED		1														
**MESH,TEST																		
NAME OF DOMAIN = TEST																		
NUMBER OF NODAL POINTS	=	4																
NUMBER OF ELEMENTS	=	1																
NUMBER OF MATERIAL SETS	=	1																
DIMENSION OF COORDINATE SPACE	=	3																
DEGREE OF FREEDOM/NODE	=	6																
NODES PER ELEMENT (MAXIMUM)	=	3																
***	1	COLUMNS																
COORDINATES	A	COORDIN	B	COORDIN	C	COORDIN												
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0													
2	0.0	0.0	0.0	1.0000	1.0000													
3	0.0	0.0	2.0000	1.0000	1.0000													
4	3.0000	2.0000	1.0000	1.0000	1.0000													
5	0.0	0.0	5.0000	2.0000	2.0000													
6	5.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000													
ELEMENTS																		
ELEMENT	MATERIAL	J	NODE	2	NODE	3	NODE											
1	1	1	1	2	3	3												
2	1	2	3	3	5	5												
3	1	3	4	4	6	6												
MATERIAL PROPERTIES																		
MATERIAL SET 1 FOR ELEMENT TYPE 1																		
AXIAL AREA OF MEMBER = 0.200E+01																		
TORSIONAL MOMENT OF INERTIA = 0.823E+00																		
MOMENT OF INERTIA ABOUT 2-AXIS = 0.167E+00																		
MOMENT OF INERTIA ABOUT 3-AXIS = 0.467E+00																		
MODULUS OF ELASTICITY = 0.300E+06																		
SHEAR MODULUS = 0.123E+06																		
PASS PER UNIT LENGTH = 0.240E+01																		
UNIFORM LOAD = 0.0																		
FORCE/DISPL A FORCE/D B FORCE/D C FORCE/D D FORCE/D E FORCE/D F FORCE/D																		
NODAL C/E	A	B	C	D	E	F												
4	0.0	1000.0000	0.0	0.0	0.0	0.0												
NODAL B.C.																		
NODE	1	B.C.	2	B.C.	3	B.C.	4	B.C.	5	B.C.	6	B.C.						
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
**STIF,TEST,K																		
18 ROWS 18 COLUMNS																		
NUMBER OF CORE USED 582																		
**RHSF,TEST,R																		
18 ROWS 1 COLUMNS																		
NUMBER OF CORE USED 743																		
**PROFILE,R,R,1,18,18																		
NUMBER OF CORE USED 769																		
**DISPL,TEST,R																		
NODAL DISPLACEMENTS																		
NODE	1	COORD	2	COORD	3	COORD	1	DISPL	2	DISPL	3	DISPL	4	DISPL	5	DISPL	6	DISPL
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2	0.0	0.0	0.0	0.100E+01	0.874E-07	0.1607E-02	-0.3492E-08	-0.2500E-02	0.1155E-06	0.2680E-01	0.1488E+00	0.2388E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
3	0.0	0.2000E+01	0.1000E+01	0.1000E+01	-0.1778E+00	0.3000E-02	-0.3000E-02	-0.2500E-02	0.670E-07	0.1488E+00	0.2388E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
4	0.3000E+01	0.2000E+01	0.1000E+01	-0.1778E+00	0.6314E+00	-0.3000E-02	-0.3000E-02	-0.2500E-02	0.330E-07	0.2388E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	0.0	0.5000E+01	0.2000E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
6	0.5000E+01	0.2000E+01	0.2000E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
NUMBER OF CORE USED 769																		
**STRESS,TEST,R																		
3-D BEAM ELEMENT																		
ELM	NODE	AXIAL F.	2-SHEAR	3-SHEAR	TORSION	2-MOMENT	3-MOMENT	2-MOMENT MID.	3-MOMENT MID.									
1	1	NODE 1	0.2159E-02	-0.1000E+04	0.1700E-01	-0.3000E+04	-0.146E-01	-0.1000E+04	0.5374E-02	0.5000E+03								
2	1	NODE 2	-0.2195E-02	0.1000E+04	-0.1780E-01	0.3000E+04	-0.3128E-02	0.488E-02	0.1155E-06	0.2680E-01								
3	1	NODE 1	-0.1000E+04	0.1953E-02	-0.1863E-01	0.2822E-02	-0.3000E+04	0.3174E-02	0.3000E+04	-0.1343E-02								
3	1	NODE 2	0.1000E+04	-0.1953E-02	0.1863E-01	-0.2822E-02	0.3000E+04	0.488E-02	0.1500E+04	0.9693E-05								
3	1	NODE 1	-0.1172E-01	-0.7500E-03	-0.1000E+04	0.1000E-03	-0.3000E+04	-0.2224E-02	0.1500E+04	0.9693E-05								
3	1	NODE 2	0.1172E-01	0.7500E-03	0.1000E+04	-0.1000E-03	0.3000E+04	-0.2224E-02	0.1500E+04	0.9693E-05								
NUMBER OF CORE USED 743																		
**REMESH,TEST																		
MATERIAL PROPERTIES																		
MATERIAL SET 1 FOR ELEMENT TYPE 1																		
AXIAL AREA OF MEMBER = 0.200E+01																		
TORSIONAL MOMENT OF INERTIA = 0.823E+00																		
MOMENT OF INERTIA ABOUT 2-AXIS = 0.167E+00																		
MOMENT OF INERTIA ABOUT 3-AXIS = 0.467E+00																		
MODULUS OF ELASTICITY = 0.300E+06																		
SHEAR MODULUS = 0.123E+06																		
PASS PER UNIT LENGTH = 0.240E+01																		
UNIFORM LOAD = 0.0																		
NUMBER OF CORE USED 769																		
**RHSF,TEST,R																		
-ARRAY* *DELETED																		
18 ROWS 1 COLUMNS																		
NUMBER OF CORE USED 769																		
**STIF,TEST,KK																		
18 ROWS 18 COLUMNS																		
NUMBER OF CORE USED 930																		
**PROFILE,KK,R,1,18,18																		
NUMBER OF CORE USED 930																		
**DISPL,TEST,R																		
NODAL DISPLACEMENTS																		
NODE	1	COORD	2	COORD	3	COORD	1	DISPL	2	DISPL	3	DISPL	4	DISPL	5	DISPL	6	DISPL
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2	0.0	0.0	0.0	0.1000E+01	-0.2249E-03	0.1570E-02	-0.4166E-04	-0.2304E-02	0.4499E-03	0.2880E-01	0.1488E+00	0.2388E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
3	0.0	0.2000E+01	0.1000E+01	0.1000E+01	-0.1778E+00	0.4903E-02	-0.4317E-02	-0.2121E-02	0.8919E-03	0.1488E+00	0.2388E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
4	0.3000E+01	0.2000E+01	0.1000E+01	-0.1778E+00	0.6313E+00	-0.3000E-02	-0.3000E-02	-0.2121E-02	0.9946E-03	0.2388E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	0.0	0.5000E+01	0.2000E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
6	0.5000E+01	0.2000E+01	0.2000E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
NUMBER OF CORE USED 930																		
**STRESS,TEST,R																		
3-D BEAM ELEMENT																		
ELM	NODE	AXIAL F.	2-SHEAR	3-SHEAR	TORSION	2-MOMENT	3-MOMENT	2-MOMENT MID.	3-MOMENT MID.									
1	1	NODE 1	-0.2500E+02	-0.1000E+04	0.1500E-01	-0.3000E+04	0.2249E+02	-0.9625E+03	0.2249E+02	0.4499E+03								
2	1	NODE 2	0.2500E+02	0.1000E+04	-0.1500E-01	0.3000E+04	-0.2250E+02	-0.3999E+02	-0.2249E+02	0.4499E+03								
3	1	NODE 1	-0.1000E+04	-0.2500E+02	-0.1593E-01	0.2250E+02	-0.3000E+04	0.3000E+04	0.3000E+04	0.1750E+02								
3	1	NODE 2	0.1000E+04	0.2500E+02	0.1593E-01	-0.2250E+02	0.3000E+04	0.3000E+04	0.3000E+04	0.1750E+02								
3	1	NODE 1	-0.1172E-01	-0.1500E+02	0.1000E+04	-0.2249E-03	-0.3000E+04	-0.2249E-02	0.1500E+04	0.5626E+01								
3	1	NODE 2	0.1172E-01	0.1500E+02	-0.1000E+04	0.2249E-03	0.3000E+04	0.2249E-02	0.1500E+04	0.5626E+01								
NUMBER OF CORE USED 930																		
**STOP																		

Axial Area of Member : 2.0
 Torsional Moment of Inertia : 0.833
 Moment of Inertia of 2-axis : 0.167
 Moment of Inertia of 3-axis : 0.667
 Modulus of Elasticity : 300,000
 Shear Modulus : 125,000



Nodes 1, 2 & 3 are in the same plane



Coordinates
 1 (0, 0, 0)
 2 (0, 0, 1)
 3 (0, 2, 1)
 4 (3, 2, 1)

그림 13. Space Frame Model.

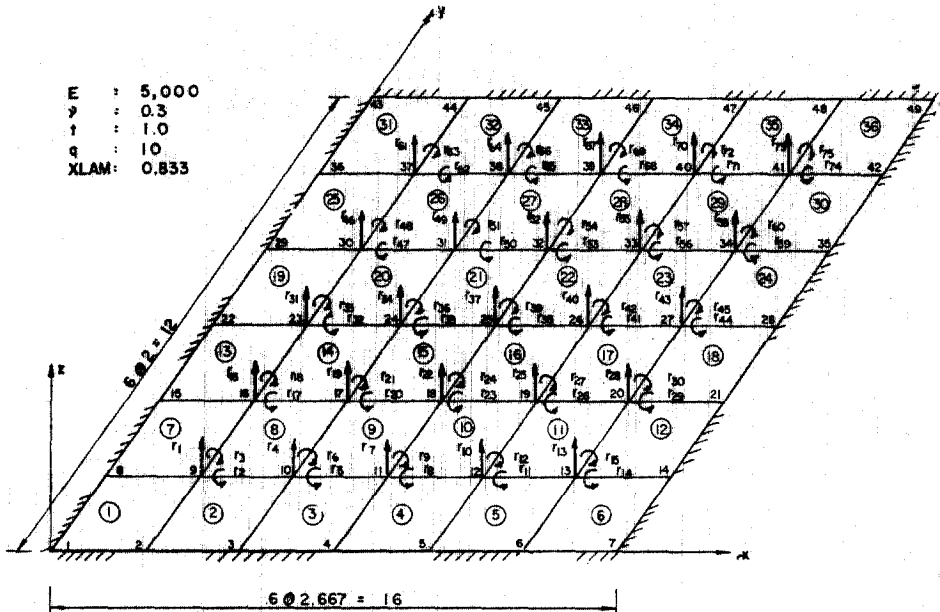


그림 14. Plate Bending Model.

表 8

```

START
MESH,TESTA
49 36 1 2 3 4
36 ELEMENTS
CCOR
1 1 0. 0.
7 16. 0.
9 1 0. 0.
14 16. 2.
15 1 0. 4.
21 16. 6.
22 1 0. 6.
28 16. 8.
29 1 0. 8.
33 16. 8.
35 1 0. 10.
43 16. 10.
43 1 0. 12.
49 16. 12.

ELEM
1 1 1 2 9 8 1
3 1 2 7 14 13 1
7 1 8 5 16 15 1
12 1 13 14 21 20 1
13 1 15 16 23 22 1
13 1 20 21 28 27 1
-19 1 22 23 30 29 1
24 1 27 28 35 34 1
25 1 29 30 37 36 1
30 1 34 35 42 41 1
31 1 36 37 44 43 1
35 1 41 42 49 48 1

MATE
1 5 PLATE 10. 0.

SECO. 0.3 1.0 10. 0.

DCON
1 1 -1 -1 -1
7 1 0 0 0
9 1 1 1 1
14 1 1 1 1
15 1 1 1 1
21 1 1 1 1
22 1 1 1 1
24 1 1 1 1
25 1 1 1 1
29 1 1 1 1
30 1 1 1 1
31 1 1 1 1
43 1 -1 -1 -1
49 1 0 0 0

END
$TITLE,TESTA,K
$PSP,TESTA,R
$PRF,FILE,N,1,175,75
$DISPL,TESTA,K
$STRESS,TESTA,R
STOP
    
```

3.3 立體 프레임 모델

立體 보 element 및 有限要素解析 能力을 보여 준다. 모델은 그림 13에 있고 入力 데이터는 表6에, 出力結果는 表 7에 있다.

3.4 판 모델

plat bending element 및 有限要素解析 能力을 보여 준다. 모델은 그림 14에 있고 入力 데이터는 表 8에, 出力結果는 表9에 있다.

4. 結論

開發된 立體 보 element, 판 element, EIGEN 및 NROOT processor^(8,9,10)들은 既存 AIT 프로 그램과 適合하게 作動하며 Symbolic manipulation에 依하여 行列에 의한 構造解析, 有限要素 解析을 願하는 대로 할 수 있다. 이 프로그램의 長點은 다음과 같다.

1. processor 들은 獨立된 module 이므로 修正 이 프로그램의 다른 部分에 影響없이 쉽게 된다.
2. 프로그램은 새로운 processor 를 삽입하면 쉽게 擴張된다.
3. 데이터는 directory 가 붙어 있어 必要한 array 만 processor 에서 처리되어 데이터 취급 이 便利하다.

表 9

```

NUMBER OF CORE USED
**START
**MESH,TESTA 36 ELEMENTS
NAME OF DOMAIN = TESTA
NUMBER OF NODAL POINTS = 49
NUMBER OF ELEMENTS = 36
NUMBER OF MATERIAL SETS = 1
DIMENSION OF COORDINATE SPACE = 2
DEGREE OF FREEDOMS/NODE = 3
WCIS PER ELEMENT (MAXIMUM) = 4
1091 ROWS 1 COLUMNS

COORDINATES A COORDIN B COORDIN
1 0.0 0.0
2 2.6667 0.0
3 5.3333 0.0
4 8.0000 0.0
5 10.6667 0.0
6 13.3333 0.0
7 16.0000 0.0
8 0.0 2.0000
9 2.6667 2.0000
10 5.3333 2.0000
11 8.0000 2.0000
12 10.6667 2.0000
13 13.3333 2.0000
14 16.0000 2.0000
15 0.0 4.0000
16 2.6667 4.0000
17 5.3333 4.0000
18 8.0000 4.0000
19 10.6667 4.0000
20 13.3333 4.0000
21 16.0000 4.0000
22 0.0 6.0000
23 2.6667 6.0000
24 5.3333 6.0000
25 8.0000 6.0000
26 10.6667 6.0000
27 13.3333 6.0000
28 16.0000 6.0000
29 0.0 8.0000
30 2.6667 8.0000
31 5.3333 8.0000
32 8.0000 8.0000
33 10.6667 8.0000
34 13.3333 8.0000
35 16.0000 8.0000
36 0.0 10.0000
37 2.6667 10.0000
38 5.3333 10.0000
39 8.0000 10.0000
40 10.6667 10.0000
41 13.3333 10.0000
42 16.0000 10.0000
43 0.0 12.0000
44 2.6667 12.0000
45 5.3333 12.0000
46 8.0000 12.0000
47 10.6667 12.0000
48 13.3333 12.0000
49 16.0000 12.0000
    
```

```

ELEMENTS
ELEMENT MATERIAL 1 NODE 2 NODE 3 NODE 4 NODE
1 1 1 2 9 8
2 1 1 2 3 4
3 1 3 4 5 11
4 1 4 5 12 11
5 1 5 6 13 12
6 1 6 7 14 13
7 1 7 8 16 15
8 1 8 9 10 17
9 1 10 11 18 17
10 1 11 12 15 18
11 1 12 13 20 19
12 1 13 14 21 20
13 1 15 16 23 22
14 1 16 17 24 23
15 1 17 18 25 24
16 1 18 19 26 25
17 1 19 20 27 26
18 1 20 21 28 27
19 1 22 23 30 29
20 1 23 24 31 30
21 1 24 25 32 31
22 1 25 26 33 32
23 1 26 27 36 33
24 1 27 28 35 34
25 1 29 30 37 36
26 1 30 31 38 37
27 1 31 32 39 38
28 1 32 33 40 39
29 1 33 34 41 40
30 1 34 35 42 41
31 1 36 37 44 43
32 1 37 38 45 43
33 1 38 39 46 43
34 1 39 40 47 46
35 1 40 41 48 47
36 1 41 42 49 48

MATERIAL PROPERTIES
MATERIAL SET 1 FOR ELEMENT TYPE 0
ELASTICITY MODULUS = 0.500E+04 PLATE
POISSON RATIO = 0.300E+00
PLATE THICKNESS = 0.100E+01
UNIFORM LOAD DIST. = 0.100E+02
SHEAR CORRECTION FACTOR = 0.833E+00
    
```

(뒷면에 계속)

NOCAL B.C.

NODE	1 B.C.	2 B.C.	3 B.C.
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1
3	-1	-1	-1
4	-1	-1	-1
5	-1	-1	-1
6	-1	-1	-1
7	-1	-1	-1
14	1	1	1
15	1	1	1
21	1	1	1
22	1	1	1
23	1	1	1
24	1	1	1
25	1	1	1
35	1	1	1
36	1	1	1
43	-1	-1	-1
44	-1	-1	-1
45	-1	-1	-1
47	-1	-1	-1
48	-1	-1	-1
49	-1	-1	-1

**ETIF,TESTA,R	75 RC=5	75 COLUMNS	NUMBER OF CORE USED	1028
**RHSF,TESTA,R	75 RC=5	1 COLUMNS	NUMBER OF CORE USED	2341
**PROFILE,N,A,1,75,75			NUMBER OF CORE USED	2424

NODE	1 CDORD	2 CDORD	1 DISPL	2 DISPL	3 DISPL
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	C.2667E+01	C.0	C.0	0.0	0.0
3	C.5333E+01	C.0	C.0	0.0	0.0
4	C.8000E+01	C.0	C.0	0.0	0.0
5	C.1067E+02	C.0	C.0	0.0	0.0
6	C.1333E+02	C.0	C.0	0.0	0.0
7	C.1600E+02	C.0	C.0	0.0	0.0
8	C.2667E+01	C.2000E+01	C.1106E+00	C.9589E-01	-0.7832E-01
9	C.2667E+01	C.2000E+01	C.2592E+00	C.1971E+00	-0.4462E-01
10	C.5333E+01	C.2000E+01	C.2592E+00	C.1971E+00	-0.4462E-01
11	C.8000E+01	C.2000E+01	C.1106E+00	C.9589E-01	-0.7832E-01
12	C.1067E+02	C.2000E+01	C.2592E+00	C.1971E+00	-0.4462E-01
13	C.1333E+02	C.2000E+01	C.1106E+00	C.9589E-01	-0.7832E-01
14	C.1600E+02	C.2000E+01	C.0	0.0	0.0
15	C.0	C.4000E+01	C.0	0.0	0.0
16	C.2667E+01	C.4000E+01	C.2742E+00	C.7039E-01	-0.1618E+00
17	C.5333E+01	C.4000E+01	C.4431E+00	C.1475E+00	-0.9467E-01
18	C.8000E+01	C.4000E+01	C.7761E+00	C.1887E+00	-0.1788E-06
19	C.1067E+02	C.4000E+01	C.4431E+00	C.1475E+00	-0.9467E-01
20	C.1333E+02	C.4000E+01	C.2742E+00	C.7039E-01	-0.1618E+00
21	C.1600E+02	C.4000E+01	C.0	0.0	0.0
22	C.0	C.6000E+01	C.0	0.0	0.0
23	C.2667E+01	C.6000E+01	C.3414E+00	-0.2086E-06	-0.2096E+00
24	C.5333E+01	C.6000E+01	C.8038E+00	-0.1585E-06	-0.1247E+00
25	C.8000E+01	C.6000E+01	C.5713E+00	-0.1000E-05	-0.4172E-06
26	C.1067E+02	C.6000E+01	C.8038E+00	C.1118E-06	-0.1247E+00
27	C.1333E+02	C.6000E+01	C.3414E+00	C.9313E-07	-0.2096E+00
28	C.1600E+02	C.6000E+01	C.0	0.0	0.0
29	C.0	C.8000E+01	C.0	0.0	0.0
30	C.2667E+01	C.8000E+01	C.2742E+00	-0.7039E-01	-0.1618E+00
31	C.5333E+01	C.8000E+01	C.4431E+00	-0.1475E+00	-0.9467E-01
32	C.8000E+01	C.8000E+01	C.7761E+00	-0.1887E+00	-0.1788E-06
33	C.1067E+02	C.8000E+01	C.4431E+00	-0.1475E+00	-0.9467E-01
34	C.1333E+02	C.8000E+01	C.2742E+00	-0.7039E-01	-0.1618E+00
35	C.1600E+02	C.8000E+01	C.0	0.0	0.0
36	C.0	C.1000E+02	C.0	0.0	0.0
37	C.2667E+01	C.1000E+02	C.1106E+00	-0.9589E-01	-0.7832E-01
38	C.5333E+01	C.1000E+02	C.2592E+00	-0.1971E+00	-0.4462E-01
39	C.8000E+01	C.1000E+02	C.1106E+00	-0.9589E-01	-0.7832E-01
40	C.1067E+02	C.1000E+02	C.2592E+00	-0.1971E+00	-0.4462E-01
41	C.1333E+02	C.1000E+02	C.1106E+00	-0.9589E-01	-0.7832E-01
42	C.1600E+02	C.1000E+02	C.0	0.0	0.0
43	C.0	C.1200E+02	C.0	0.0	0.0
44	C.2667E+01	C.1200E+02	C.0	0.0	0.0
45	C.5333E+01	C.1200E+02	C.0	0.0	0.0
46	C.8000E+01	C.1200E+02	C.0	0.0	0.0
47	C.1067E+02	C.1200E+02	C.0	0.0	0.0
48	C.1333E+02	C.1200E+02	C.0	0.0	0.0
49	C.1600E+02	C.1200E+02	C.0	0.0	0.0

**STRESS,TESTA,R		11-MOMENT12-MOMENT 22-MOMENT						
ELM	ATL	X-CDORD	Y-CDORD	1-SHEAR	2-SHEAR	11-MOMENT12-MOMENT	22-MOMENT	
1	1	1.733	1.000	C.187E+01	C.591E+01	-0.100E+02	-0.602E+01	
2	1	4.000	1.000	-0.288E+01	C.508E+02	-0.717E+01	-0.327E+02	
3	1	6.667	1.000	C.258E-01	C.489E+02	-0.113E+02	-0.338E+01	
4	1	9.333	1.000	C.258E-01	C.489E+02	-0.113E+02	-0.338E+01	
5	1	12.000	1.000	C.461E+01	C.308E+02	-0.717E+01	-0.338E+01	
6	1	14.667	1.000	-0.187E+01	C.591E+01	-0.100E+02	-0.602E+01	
7	1	17.333	1.000	C.194E+02	-0.110E+01	-0.100E+02	-0.113E+02	
8	1	20.000	1.000	-0.347E+01	C.144E+02	C.112E+02	-0.407E+02	
9	1	22.667	1.000	-0.347E+01	C.144E+02	C.112E+02	-0.407E+02	
10	1	25.333	3.000	C.347E+01	C.266E+02	C.198E+02	C.443E+01	
11	1	28.000	3.000	-0.194E+02	C.110E+01	-0.112E+02	-0.112E+02	
12	1	30.667	3.000	-0.194E+02	C.110E+01	-0.112E+02	-0.112E+02	
13	1	33.333	5.000	C.361E+02	C.401E+01	-0.295E+02	-0.403E+01	
14	1	36.000	5.000	C.131E+02	C.401E+01	-0.295E+02	-0.403E+01	
15	1	38.667	5.000	-0.294E+01	C.808E+01	C.304E+02	C.244E+01	
16	1	41.333	5.000	-0.294E+01	C.808E+01	C.304E+02	C.244E+01	
17	1	44.000	5.000	C.131E+02	C.401E+01	-0.295E+02	-0.403E+01	
18	1	46.667	5.000	-0.361E+02	-0.122E+01	-0.295E+02	-0.403E+01	
19	1	49.333	7.000	C.361E+02	C.131E+02	-0.401E+01	C.205E+02	
20	1	52.000	7.000	C.131E+02	C.131E+02	-0.401E+01	C.205E+02	
21	1	54.667	7.000	-0.254E+01	-0.808E+01	C.304E+02	C.244E+01	
22	1	57.333	7.000	-0.254E+01	-0.808E+01	C.304E+02	C.244E+01	
23	1	60.000	7.000	-0.131E+02	-0.401E+01	-0.295E+02	-0.403E+01	
24	1	62.667	7.000	-0.131E+02	-0.401E+01	-0.295E+02	-0.403E+01	
25	1	65.333	9.000	C.194E+02	C.110E+01	-0.112E+02	-0.112E+02	
26	1	68.000	9.000	-0.194E+02	C.110E+01	-0.112E+02	-0.112E+02	
27	1	70.667	9.000	-0.142E+00	-0.266E+02	C.158E+02	-0.483E+01	
28	1	73.333	9.000	-0.142E+00	-0.266E+02	C.158E+02	-0.483E+01	
29	1	76.000	11.000	C.347E+01	-0.144E+02	C.112E+02	-0.107E+02	
30	1	78.667	11.000	-0.347E+01	-0.144E+02	C.112E+02	-0.107E+02	
31	1	81.333	11.000	-0.194E+02	C.110E+01	-0.112E+02	-0.112E+02	
32	1	84.000	11.000	-0.194E+02	C.110E+01	-0.112E+02	-0.112E+02	
33	1	86.667	11.000	-0.461E+01	-0.308E+02	-0.717E+01	-0.327E+02	
34	1	89.333	11.000	-0.461E+01	-0.308E+02	-0.717E+01	-0.327E+02	
35	1	92.000	11.000	C.461E+01	-0.308E+02	-0.717E+01	-0.327E+02	
36	1	94.667	11.000	C.187E+01	C.591E+01	-0.100E+02	-0.602E+01	

**STOP

4. 效果的인 Profile Solver 는 Band Solver 보다 記憶容量을 줄인다.

5. Secondary storage (tape, disc)를 利用할 수 있다.

6. Multi domain 問題를 解析할 수 있다.

이 프로그램의 缺點은 다음과 같다.

1. 데이터에 directory 가 있으므로 記憶容量이 增加된다.

2. 데이터의 處理를 爲하여 必要한 理論을 明確히 알지 못하면 效能性이 저하된다.

謝辭

本 論文은 1982年度 韓國科學財團研究費에 의하여 研究되었음.

參 考 文 獻

1. Bathe K.J. and Wilson E.L. and Peterson F.E., SAP-IV-A structural analysis program for static and dynamic response of linear systems, *Report No. EERC 73-11*, U.C. Berkeley, 1973.
2. Wilson E.L. and Hollings J.P. and Dovey H.H., Three dimensional analysis of building Systems (Extended version), *Report No. EERC 75-13*, U.C. Berkeley, 1975.
3. Wilson E.L., *CAL-A Computer analysis langu-*

age for teaching structural analysis, Computer and Structures 10, 1979, pp.127~132.

4. Zienkiewicz O.C., *The finite element method* (3rd edition), McGraw-Hill, London, 1977.
5. Noor, A.K. and Anderson C.M., *Computer Symbolic manipulation in the structural mechanics-progress and potential* Computers and Structures 10, 1979, pp.95~118.
6. Shim J.S. and Worsak Nanok-Nukulchai, *Analysis Interpretive Treatise*, Structural package Library SEC-81-001, Asain Institute of Technology, 1981.
7. Felippa, C.A., *Data base management in scientific Computing*, Computers and Structures 10, 1979, pp.53~61.
8. Bathe, K.J. and Wilson, E.L., *Numerical methods in finite element analysis*, Prentice Hall, 1976.
9. Cook, R.D., *Concepts and applications of finite element analysis*, Wiley, 1974.
10. Hughes, T.J.R. and Taylor, R.L. and Worsak Kanok-Nukulchai, A Simple and efficient finite element for plate bending, *International Journal of Numerical method in Engineering*, 11, 1977, pp.1529~1543.

(接受 : 1983. 10. 31)