

개인용 컴퓨터를 이용한 3차원 유한요소 등가곡선 프로그램 개발

이 석 순*, 최 현 오**

Equi-Value Contour Line Program Development for 3-Dimensional Finite Element Models using Personal Computer

Seok-Soon Lee*, Heon-Oh Choi**

ABSTRACT

A post-processor is developed to be effectively usable in the personal computer. 3-dimensional contour lines are shown on the surface of the finite element model and also on the 3-dimensional cutting plane, using the function linearly interpolated onto the triangular elements which are constructed on the surface or sectional polygons. And these polygons are originated from the finite element model. 3-dimensional model is projected on the plane with hidden line removal by comparison technique[6]. The graphic data file is used to increase the protability of the program. It is easy to use in the other computer system if the graphic routine adopted that computer system is developed. The developed program has wide applications in 3-dimensional finite element analysis.

Key Words : Equi-Value(등가), Finite Element(유한요소), Mesh(격자), Hidden Line Removal(은선처리), Area Coordinate(면적좌표)

1. 서 론

유한요소법이나 유한차분법에 의하여 물체를 해석하면 대단히 많은 수치정보가 만들어진다. 이 수치정보를 한 눈에 파악하기는 대단히 어렵고, 많은 시간과 노력이 요구된다. 이러한 방대한 수치정보를 요약 정리하여 그림으로 출력시켜주면 사용자가 해석결과를 용이하게 파악할 수 있다.

최근에 개인용 전산기의 보급이 확대되고, 그 성능이 상당히 개선되어 많은 수치정보의 처리도 개인용 전산기에서 처리가 가능하게 되었다. 계산시간이 많고 큰 기

역용량을 필요로 하는 수치계산은 대형 전산기를 이용하고 수치계산에 필요한 각종 입력정보를 작성하는 전처리(pre-processor) 프로그램과 수치해석의 결과를 사용자가 파악하기 쉽게 처리하는 후처리(post-processor) 프로그램은 개인용 전산기를 이용하는 것이 최근의 추세이다. 개인용 전산기를 이용하여 전-후처리를 대형 전산기와 별도로 독립적인 작업이 가능하게 하여 대형 전산기의 이용을 줄여줌으로 대형 전산기의 이용효율을 상당히 높일 수 있다. 이런 추세에 맞추어서 개인용 전산기에서 처리할 수 있는 후처리 프로그램을 개발하고자 한다.

* 경상대학교

** 한국기계연구소

후처리 프로그램은 계산결과를 그림을 통해서 등가선도를 나타내는 것이 가장 중요하다. 이때 그림을 잘 이해하기 위하여는 보이지 않는 부분이 나타나지 않도록 하는 은선처리(hidden line removal)가 필요하다. 또한 임의의 위치에 대한 값들을 파악하기 위하여 임의의 단면에 대한 등가선도를 그릴 수 있는 기능이 필요하다.

등가선도를 그리는 방법은 선형 보간을 이용하는 방법을 채택하여 각 표면의 다각형을 삼각형 격자로 재구성하여 응력선도를 그리게 한다.

개발된 후처리 프로그램을 다른 전산기에서 사용하기 용이하도록 하기 위하여 그래픽 과정을 모듈화하고 필요한 그래픽 자료를 별도의 자료파일로 작성하였다. 따라서 각 전산기의 환경에 맞게 그래픽 모듈만 작성하여 주면 본 프로그램을 쉽게 이식하여 사용할 수 있다.

본 프로그램은 개인용 전산기(IBM-AT 호환기종)의 환경에 맞게 개발되었고, 사용한 언어는 FORTRAN 77이다.

2. 이론 및 알고리즘

3차원 유한요소 모델의 표면에 대한 응력 등가선도를 그리기 위하여 유한요소의 표면의 다각형을 구하고 구한 표면 다각형을 3각형으로 재구성하여 선형보간법을 이용하여 등가선도를 구한다. 이때 보이지 않는 유한요소 모델의 외각선 및 등가선도는 은선처리를 통하여 제거한다. 3차원 임의의 단면에 대한 등가선도 단면의 위치를 유한요소 모델에 표시하고 단면을 펼쳐서 2차원 모양으로 등가선도를 그린다.

2.1 삼각형 격자 구성

2.1.1 유한요소 모델의 삼각형 격자 구성

3차원 물체의 유한요소 모델의 표면에서의 응력을 그리기 위해서는 각 유한요소에서 표면에 해당하는 면을 찾아야 한다[1]. 각 요소의 6개 면에서 면의 대각선상의 절점번호의 쌍이 다른 요소에 있으면 내부의 면이 되고 그렇지 않으면 표면의 면이 된다. 이렇게 찾아낸 면들은 사각형 격자들로 완전히 결합된 형태로 된다. 면심을 중심으로 사각형이 변수만큼의 삼각형 격자를 Fig. 1(a)처럼 재구성한다. 3차원 유한요소모델에서는 원래의 격자 구성이 서로 연결되어 있으므로 재구성된 삼각형 격자들도 마찬가지로 모두 연결되어 있다.

2.1.2 임의의 단면에서의 삼각형 구성

유한요소 모델을 임의의 단면으로 절단하면 절단된 각 유한요소의 절단면은 최소 3개의 모서리에서 최대 6개의 모서리를 찾아 내게 되며 특별한 경우도 발생하게 된다. 이 경우는 다음과 같다[2].

- CASE-1. 단면 방정식과 육면체요소 모서리와의 교점이 이루는 다각형이 아주 작은 삼각형이다
- CASE-2. 단면 방정식과 한 면의 모서리와 교점이 없는 경우로 한 면과 단면이 평행하다.
- CASE-3. 단면 방정식과 한 면의 모서리와 교점이 모서리 끝점이다.
- CASE-4. 일반적인 육면체요소의 경우에는 하나의 면은 항상 평면이 될 수 없고 뒤뜰림이 있는 곡면이다.
- CASE-5. 단면과 육면체요소와의 공통부분이 요소 한 면 전체이다.

위와 같은 경우를 표 1에 보이고, 특별한 경우는 프로그램에서 적절히 처리하여 단면의 다각형을 구성한다. 이 다각형은 단면의 평면에 대하여 구하여지므로

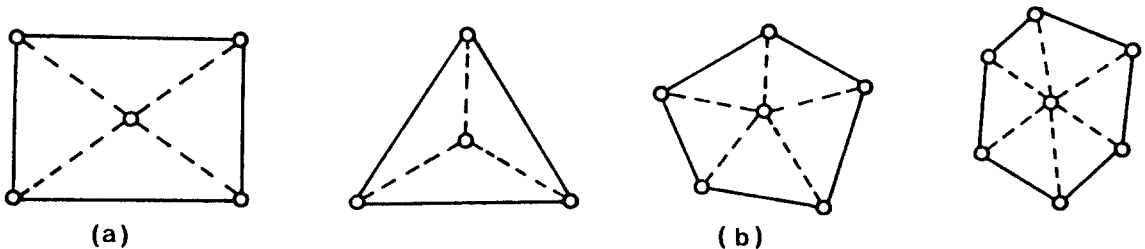
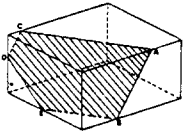
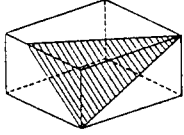
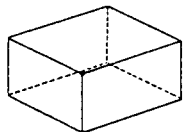
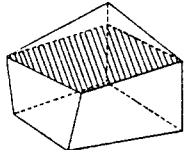
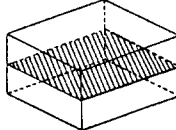
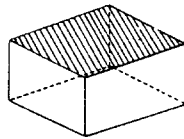


Fig. 1 Triangle mesh generation.

Table 1. Shape of a section for a hexahedral element

<p>GENERAL CASE</p> 	<p>CASE-3</p> 
<p>CASE-1</p> 	<p>CASE-4</p> 
<p>CASE-2</p> 	<p>CASE-5</p> 

2차원 격자가 된다. 이렇게 구성된 단면은 앞에서 설명한 것과 같은 방법에 의하여 다각형의 변의 갯수 만큼의 3각형으로 재구성하여(Fig. 1(b)) 등가선도를 찾아가한다. 등가선도는 단면에 대하여 그리므로 은선처리가 필요하지 않다.

2.2 응력 선도

응력 선도를 그리는 알고리즘은 다음과 같다(3). 3차원 유한요소의 표면에서의 응력선도는 은선처리를 통하여 보이지 않는 선도는 제거하여 준다.

- 1-단계 : 입력격자는 앞에서 재구성한 3각형 격자의 통일된 형태가 되며 각 결점에서의 3차원 좌표와 응력값이 입력된다.
- 2-단계 : 그리고자 하는 응력선의 갯수를 입력케하여 등간격으로 각 응력선의 값을 구한다.
- 3-단계 : 그리고자 하는 응력값을 입력한다.
- 4-단계 : 응력값에 해당하는 값을 포함하는 변과 그 변을 가진 요소를 찾아서 선형 보간법에 의하여 시작점과 시작요소를 구한다. 시작요소와 변이 없으면 새로운 응력값을 입력하여

2-단계를 수행한다.

5-단계 : 시작요소에 있는 시작점의 변을 공유하는 다른 요소에서 그리고자 하는 응력값을 갖는 변을 찾는다. 3각형 격자구성이므로 그 변은 오직 하나가 존재한다. 찾을 변이 없으면 3-단계를 수행한다.

6-단계 : 5-단계에서 구한 등가응력선의 선분은 은선처리를 통하여 보이지 않는 부분을 제거한다.

7-단계 : 시작요소 및 시작점의 변을 새로 찾은 요소 및 변으로 바꾸고, 응력선의 경로에 있는 변을 제거한 후 4-단계를 반복한다.

단면에서의 응력선도를 그릴 경우에는 5-단계가 생략된다.

2.3 은선처리

유한요소법으로 해석하는 3차원 물체를 그림으로 나타내는 기능은 후처리 프로그램에서는 필수적인 기능이다. 3차원 물체는 보는 방향에 따라서 보이는 부분과 보이지 않는 부분이 있게 된다. 3차원 물체에서 보이는 부분과 보이지 않는 부분의 구분이 없이 동시에 그림으로 나타내면 그 물체를 인식하는데 상당히 어려움이 따른다. 따라서 보이지 않는 부분을 제거하는 은선처리(hidden line removal) 작업이 필요하다. 3차원 물체의 표면에 대한 등가선도를 그릴 때에는 유한요소 모델과 표면에서의 등가선도에 대하여 은선처리를 하여야 한다. 은선처리 알고리즘으로 back-face removal, Z-buffer algorithm, scan line algorithm, area subdivision algorithm, painter's algorithm, comparison technique etc. 등이 있다(4). 최근에 Lo(5)에 의하여 area subdivision algorithm을 개량한 방법에 의한 은선처리 알고리즘이 발표되었다. 이 방법들은 보통 많은 계산시간을 필요로 하나 본 연구에서는 comparison technique을 응용한 것이고 유한요소의 모델처리에 적합한 은선처리 알고리즘을 채택하였다(6). 이 알고리즘은 유한요소의 은선처리 프로그램이 간단하고, 계산시간이 짧으며, 요구하는 기억용량이 작은 특징을 가지고 있다.

2.3.1 이론적 배경

가. 회전과 투영법(rotation and projection)
모든 절점의 좌표(X, Y, Z)는 오른손 직교좌표계(right

-handed cartesian coordinate system)으로 표시되며, 유한요소 모델의 한 절점좌표 P(X, Y, Z)는 시 좌표계(eye coordinates)의 P'(Xe, Ye, Ze)로 변환한다. 눈의 위치는 Fig. 2와 같이 θ 와 ϕ 및 원점에서 눈의 위치까지의 거리 ρ 로 주어질 때, 직교 좌표계와 도면 좌표계의 관계식은 다음과 같다(7).

$$\begin{aligned} X_e &= -X \sin\theta + Y \cos\theta \\ Y_e &= -X \cos\theta \cos\phi - Y \sin\theta \cos\phi + Z \sin\phi \\ Z_e &= -X \cos\theta \sin\phi - Y \sin\theta \sin\phi + Z \cos\phi + \rho \end{aligned} \quad (1)$$

시 좌표 P'(Xe, Ye, Ze)를 Fig. 3과 같이 투사(Projection)시켜서 화면 좌표계(Screen Coordinate)의 P''(Sx, Sy, Sz)으로 나타내면 다음과 같다 [8].

$$\begin{aligned} S_x &= D \cdot X_e / Z_e \\ S_y &= D \cdot Y_e / Z_e \\ S_z &= \rho - Z_e \end{aligned} \quad (2)$$

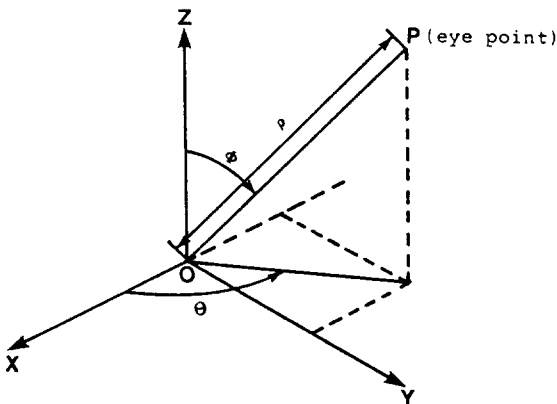


Fig. 2 Eye point and global coordinate.

여기서 D는 눈의 위치에서 화면까지의 거리이다.

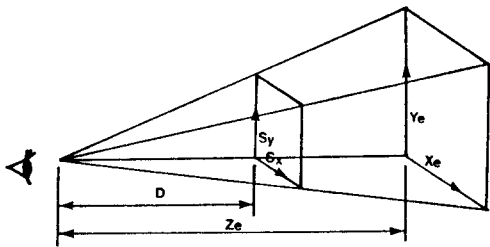


Fig. 3 Projection from plotter coordinate to screen coordinate.

나, 면적 좌표계(area coordinate)

Fig. 4에서 삼각형 내부의 임의의 점 P를 화면좌표계(x, y)로 나타낼 수 있고 3개의 면적 A₁, A₂, A₃으로 나타낼 수 있다. 즉 P(x, y) 또는 P($\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$)로 나타낸다. 여기서 $\zeta_1 = A_1/A$, $\zeta_2 = A_2/A$, $\zeta_3 = A_3/A$ 이고 $A = A_1 + A_2 + A_3$ 이다. 면적 좌표($\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$)는 무차원 값으로 단위에 관계없이 x-y 평면상에서 임의의 삼각형과 한 점의 위치를 판별하는데 사용된다(6). 면적 좌표계에서는 2개의 좌표에 의하여 한점의 위치가 다음과 같은 관계식에 의하여 정하여진다.

$$\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 = 1 \quad (3)$$

삼각형의 3꼭지점은 면적좌표계에서 각각 (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1)으로 표시되고, 각 변은 ($\zeta_1 = 0$), ($\zeta_2 = 0$), ($\zeta_3 = 0$)이 된다.

면적 좌표계와 화면좌표계의 관계식은 다음과 같이 주어진다.

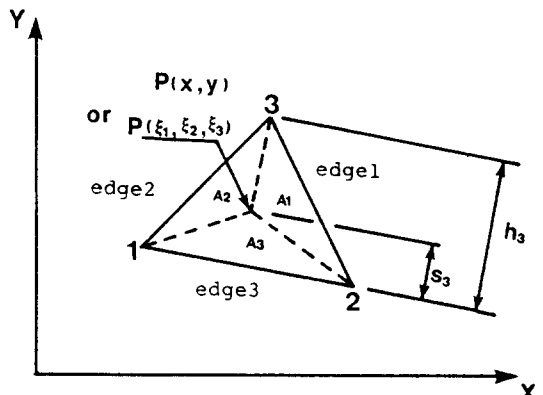


Fig. 4 Area coordinate, $\xi_i = s_i/h_3$.

$$\begin{pmatrix} 1 \\ x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \\ \zeta_3 \end{pmatrix} \quad (4)$$

혹은

$$\begin{pmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \\ \zeta_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} x_2 y_3 - x_3 y_2 & y_{23} & x_{32} \\ x_3 y_1 - x_1 y_3 & y_{31} & x_{13} \\ x_1 y_2 - x_2 y_1 & y_{12} & x_{21} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ y \end{pmatrix} \quad (5)$$

여기서

$$2A = x_{13}y_{23} - y_{13}x_{23}$$

$$X_{13} = x_1 - x_{13}, \text{ etc}$$

두 점 a, b를 잇는 선분은 다음과 같이 표현된다.

$$x = x_a + t x_{ba}$$

$$y = y_a + t y_{ba} \tag{6}$$

여기서 $0 \leq t \leq 1$ 이다.

선분의 끝점의 면적 좌표는 식(5)에 의하여 구하여진다. 이때 $\min(\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3)$ 와 $\max(\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3)$ 가 모두 0과 1사이에 있으면 그 해당 점은 삼각형 내부에 있게 되고 최소값이 영이고 최대값이 1이면 그 점은 삼각형의 꼭지점이 된다. 선분과 삼각형의 교점은 식(6)과 삼각형의 한변, 즉 식(5)의 $\zeta_i = 0$ 과의 관계식에서 다음과 같이 구해진다.

$$t = \frac{(x_2y_3 - x_3y_2) + y_{23}x_a + x_{32}y_a}{y_{23}x_{ba} + x_{32}y_{ba}} \tag{7}$$

t값이 $0 \leq t \leq 1$ 을 만족하면 교점이 존재하고 교점의 좌표는 식(6)에 의하여 계산이 된다. Fig. 5에서는 식(7)을 이용하여 구한 교점이 옳지않은 교점(invalid intersection)이 될 수 있다. 이 점을 프로그램에서 제거해 주어야 한다.

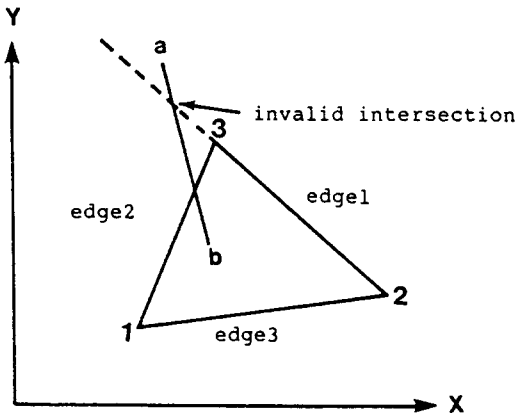


Fig. 5 Intersection point.

다. 평면 방정식(equation of a plane)

삼각형 내부에 있는 끝점에 대하여는 그 점이 삼각형의 뒤쪽에 있는지의 여부를 알기 위하여 깊이(depth) 계산이 필요하다. 3차원 변환좌표계(X, Y, Z)에서 Fig. 4의 3점(1, 2, 3)으로 형성되는 평면 방정식은 다음과 같다[9].

$$z = Cx + Dy + E \tag{8}$$

여기서

$$C = \frac{1}{2A} (z_{13}y_{23} - y_{13}z_{23})$$

$$D = \frac{1}{2A} (z_{13}x_{23} - x_{13}z_{23})$$

$$E = z_1 - Cx_1 - Dy_1$$

이고 2A는 식(5)와 같다.

선분 ab가 삼각형을 통과할 때는 식(6)을 식(8)에 대입하여 값을 구하면 다음과 같다.

$$t = \frac{z_a - Cx_a - Dy_a - E}{Cx_{ba} + Dy_{ba} - z_{ba}} \tag{9}$$

식(9)의 t값을 조사하여 선분 ab가 삼각형의 한 모서리와 만나는지 여부를 조사한다.

2.3.2 은선처리 알고리즘

먼저 회전과 투영법을 통하여 각 절점의 좌표가 화면 좌표계(r, s, t)로 변환된 다음 각 절점을 잇는 wire frame 모델을 형성하는 모든 선분들을 기억하게 하여 그 선분이 모든 다각형에 대하여 가려지고 있는지의 여부를 판별하게 된다. 이때 각 다각형을 체크함에 있어서 min-max test를 먼저 적용하여 대부분의 다각형들을 제거하게 함으로써 계산시간을 절약한다. 이 과정의 흐름도는 Fig. 6에 보인다.

2.4 단면의 결정과 변화 계수

입력한 유한요소 내부의 임의의 위치에서 응력상태를 알기 위하여는 임의의 단면에 대하여 응력선도를 그려보면 된다. 단면은 3점의 좌표에 의하여 정의되고, 이 3점은 사용자에게 의하여 입력 규칙에 따라 정해진다. 그 정해진 단면을 Fig. 7과 같이 나타내면 A점은 국부 좌표계의 원점이 되고, A점과 B점을 연결한 축이 S가 되고 A에서 B방향이 양의 방향이 된다. T축은 단면에 포함되고 S축에 수직이며, C점의 방향이 양의 방향이다. 단면에 수직인 축 U는 S축과 T축의 벡터 곱으로 정의한다.

단면좌표계(S, T, U)와 전체좌표계(X, Y, Z)는 다음의 변환계수에 의한 관계 식으로 표현된다[2].

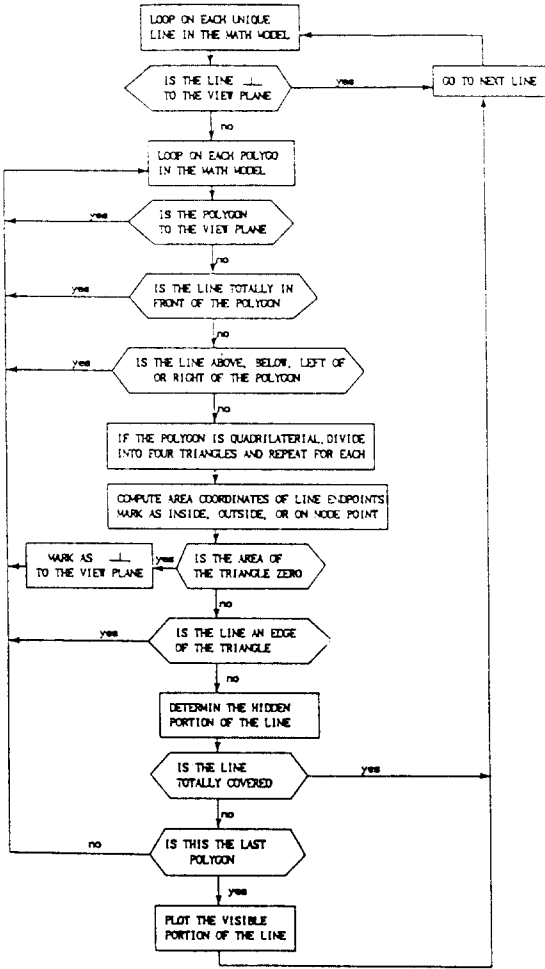


Fig. 6 Flow chart of hidden line removal.

$$\begin{Bmatrix} s \\ t \\ u \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 & L_1 & M_1 & 0 \\ K_2 & L_2 & M_2 & 0 \\ K_3 & L_3 & M_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -x_1 \\ 0 & 1 & 0 & -y_1 \\ 0 & 0 & 1 & -z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (10)$$

여기서

$$K_1 = ABx$$

$$L_1 = ABy$$

$$M_1 = ABz$$

$$K_2 = (x_3 - xD) / |\vec{DC}|$$

$$L_2 = (y_3 - yD) / |\vec{DC}|$$

$$M_2 = (z_3 - zD) / |\vec{DC}|$$

$$K_3 = AB_y \cdot DC_z - AB_z \cdot DC_y$$

$$L_3 = AB_z \cdot DC_x - AB_x \cdot DC_z$$

$$M_3 = AB_x \cdot DC_y - AB_y \cdot DC_x$$

AB_k: 선분 AB의 k성분

DC_k: 선분 DC의 k성분

이다.

식 (10) 에서 u=0를 통하여 단면 방정식을 얻을 수 있다.

$$K_1x + L_1y + M_1z - (K_1x_1 + L_1y_1 + M_1z_1) = 0 \quad (11)$$

유한요소의 각 변의 선분과 식(11)과의 교점을 구하고, 교점으로 이루어진 다각형의 폐곡선을 3각형 격자로 구성한다. 구성된 삼각형을 이용하여 등가선도를 그린다.

3. 3차원 등가선도 시스템 구성

전체 프로그램의 구조는 Fig. 8과 같다. INPUT에서 3차원 각절점에서 좌표 및 절점 값을 읽어 들인다. 절

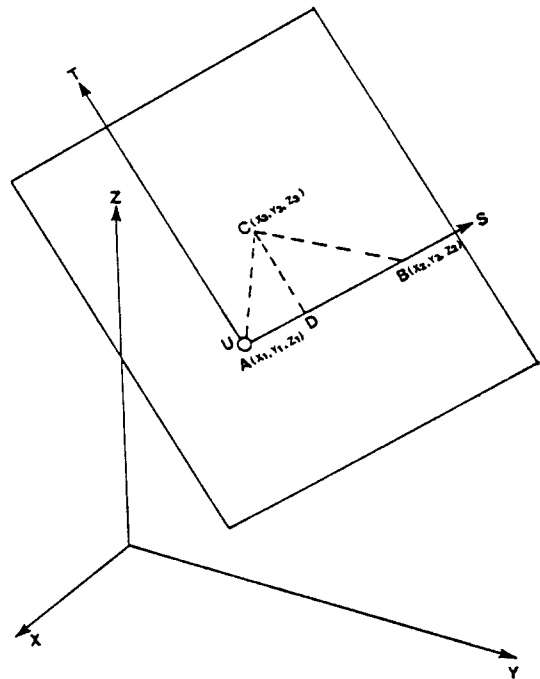


Fig. 7 Sequence of three-point for defining section plane.

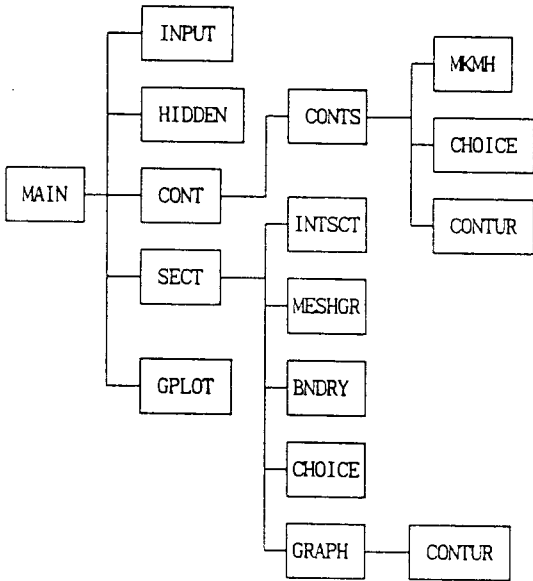


Fig. 8 Program structures for 3-dimensional equi-value contour line.

Table 2. graphic data

No.	Rec. No.	VARIABLE
1	1	NSPT1, NEPT1
2	2	NSPT2, NEPT2
3	3	XC1, YC1, EXT1
4	4	XC2, YC2, EXT2
5	5	NSET1
6	6-12	ICHO, NSPT, NEPT, LSTR, SMAX, SMIN
7	13	NSET2
8	14-20	ICHO, NSPT, NEPT, LSTR, SMAX, SMIN
9	21-END	Xcoord, Ycoord, K, L, IGP, GCON

NSPT1, NEPT1 : 은선제거한 유한요소 모델 좌표의 시작 Rec. No. 와 끝 Rec. No.
 NSPT2, NEPT2 : 단면 좌표의 시작 Rec. No. 와 끝 Rec. No.
 XC1, YC1, EXT1 : 은선제거한 유한요소 모델의 중심점의 좌표와 모델 외곽선의 최대거리
 XC2, YC2, EXT2 : 단면의 중심점의 좌표와 단면 외곽선의 최대거리
 NSET1 : 유한요소 모델 표면에서의 등가선도 종류 (최대 7 종류)
 NSET2 : 단면에서의 등가선도 종류 (최대 7 종류)
 ICHO, NSPT, NEPT, LSTR, SMAX, SMIN :
 ICHO = 등가선도 종류 번호
 NSPT = 등가선도 DATA의 시작 Rec. No.
 NEPT = 등가선도 DATA의 끝 Rec. No.
 LSTR = 등가선도 갯수
 SMAX = 등가선도의 최대 값
 SMIN = 등가선도의 최소 값
 Xcoord, Ycoord, K, L, IGP, GCON :
 Xcoord, Ycoord = 좌표값
 K = 3 MOVE
 K = 2 DRAW
 K = 0 LABELLING
 L = 선의 종류 (NOT USED)
 IGP = 등가선도 LABELLING No.
 GCON = 등가선도 값

점 값의 종류는 최대한 6종류를 줄 수 있다. 이 데이터는 필요에 따라 다른 값으로 입력해도 된다. Fig. 2 눈의 위치는 대화식으로 주도록 되어 있고, HIDDEN에서 은선처리되고 은선처리된 유한요소 모델의 그림을 보고 눈의 위치를 변경할 수 있다. 유한요소 표면의 등가선은 CONT에서 처리된다. MKMH에서 사각형을 3각형으로 분해하고 CHOICE에서 그리고자 하는 응력의 종류를 대화식으로 입력할 수 있다. CONTOUR에서 유한요소 모델의 표면에서 등가선도 자료를 처리한다. 단면에서의 등가선도는 SECT에서 처리된다. INTSCT에서 단면을 결정하는 3점을 입력한다. 단면의 위치는 3점을 주는 방법과 보이는 면에서 20등분한 한 단면을 선택하는 방법이 있으며, 이 단면은 대화식으로 선택할 수 있다. 선택된 단면은 유한요소 모델에 표시되어, 그 위치를 쉽게 알 수 있다. MESHGR에서 각 유한요소와 단면의 방정식과의 교점을 구하여 다각형을 형성하고 다각형의 갯수 만큼의 삼각형을 구성한다. BNDRY에서 단면의 경계를 구하여 외곽선에 대한 자료를 처리한다. GRAPH에서 단면의 등가곡선 자료를 처리한다. 모든 그래픽은 GPLOT에서 처리한다. 부 프로그램 GPLOT을 각 컴퓨터 시스템의 환경에 맞게 프로그램을 작성해 주면 본 프로그램을 쉽게 인식하여 사용할 수 있다. 그래픽 데이터는 표 2와 같은 파일구조로 되어 있다.

4. 결 과

개발된 프로그램을 예제에 대하여 보인다. Fig. 9와 같은 유한요소 모델에 대하여 응력해석한 결과를 개발된 프로그램으로 처리하였다. 등가선도를 그리는데 필요한 수치는 유한요소해석에 의하여 구하였고, 유한요소 프로그램은 ADINA(10)를 사용하였다. Fig. 10에서는 유한요소 모델의 표면에서의 상당 등가 응력선도를 보인다. Fig. 11에서는 보고자 하는 유한요소 모델 단면의 위치를 나타내어 단면의 위치를 사용자가 쉽게 알 수 있게 하였다. Fig. 12은 단면에서의 상당 등가 응력선도를 보인다. 표면 및 단면에서 다른 응력선도도 나타낼 수 있다. 단면의 위치는 사용자가 단면상의 3점을 입력하거나 프로그램에서 정의된 방법으로 보는 방향에 평행한 절단면을 선택하는 방법이 있다. Fig. 11에서는 보는 방향에 평행한 절단면을 선택하는 방법에 의하여 단면을 선택한 것이다.

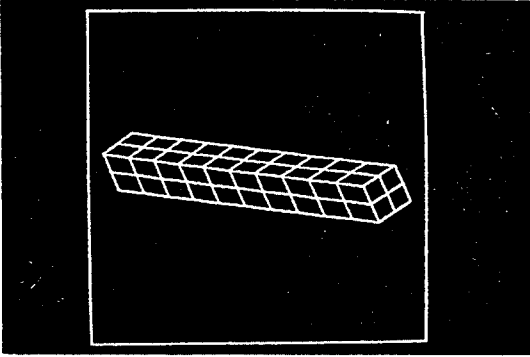


Fig. 9 Model I-cantilever finite element model.

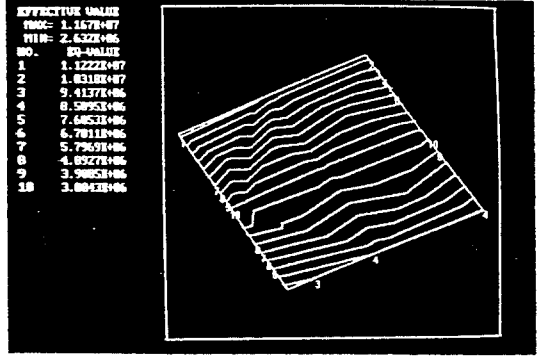


Fig. 12 Contour line on the sectional area for model I.

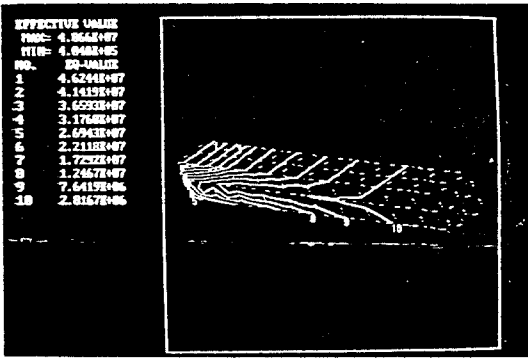


Fig. 10 Surface contour line for model I.

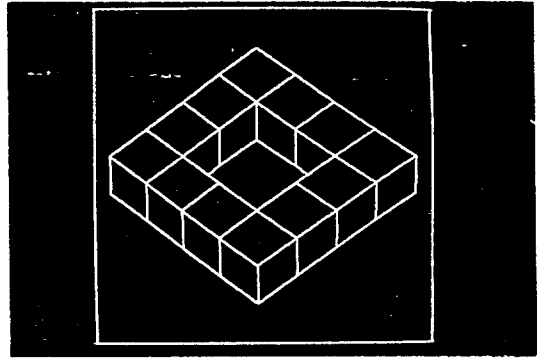


Fig. 13 Model II.

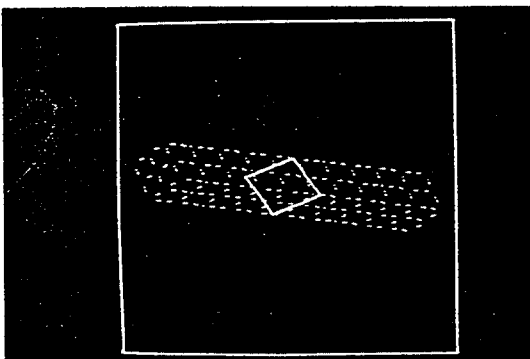


Fig. 11 Position of the sectional area for model I.

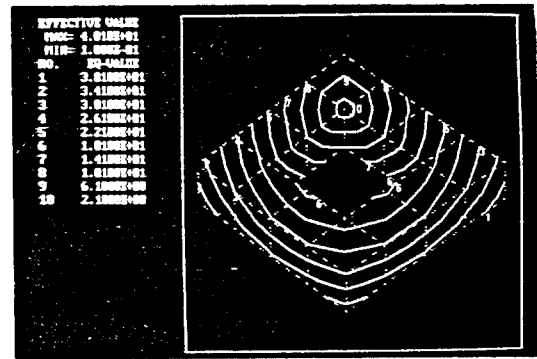


Fig. 14 Surface contour line for model II.

Fig. 13~16은 유한요소 모델에 대한 절점의 좌표값을 절점의 값으로 대치하여 본 프로그램을 통하여 처리한 결과이다. Fig. 16에서 보인 바와 같이 절단된 단면의

갯수가 1개 이상일 경우에도 본 프로그램에서 잘 처리됨을 보인다.

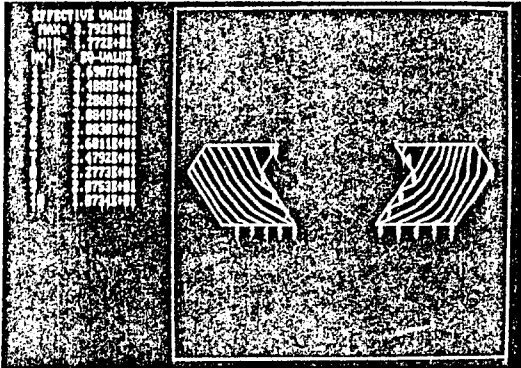


Fig. 15 Position of the sectional area for model II.

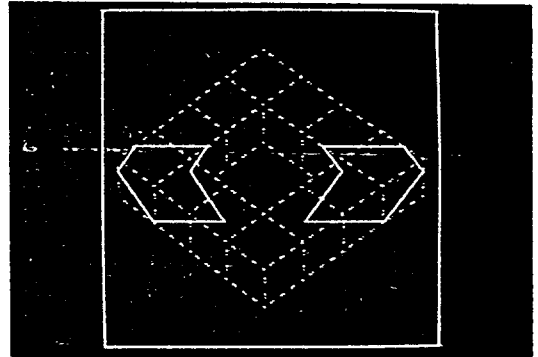


Fig. 16 Contour line on the sectional area for model II.

5. 결 론

개인용 전산기를 사용하여 3차원 유한요소 모델의 후처리 프로그램을 개발하였다. 실제 적용결과로부터 본 프로그램은 후처리 프로그램으로 유용하게 사용될 수 있다. 그래픽 처리를 모듈화하여 다른 전산기에 쉽게 이식이 가능하여 널리 이용되길 기대한다. 본 프로그램을 보완하면 판요소 및 쉘요소 경우에도 적용할 수 있다. 최근에는 칼라 그래픽 모니터가 급속하게 보급되고 있다. 이 추세에 맞추어 본 프로그램을 칼라 그래픽이 가능하도록 확장시키고 전처리와 연계를 시켜서 전-후처리 프로그램을 개발하는 것이 앞으로의 과제로 남아 있다.

참고문헌

1. Park, J.K., Development of a stress contour display program for surface of three-dimensional finite element models with curved brick and plate elements, M.S. Thesis, KAIST, 1986.
2. Park, K.O., A stress contour display program for cross section of three-dimensional finite element models in curved brick elements, M.S. Thesis, KAIST, 1985.
3. Jaycox, D.P., NUFIG, A two-dimensional finite element stress analysis is using interactive graphics, Report of the Rehabilitation Engineering Program, Northwestern Univ., Chicago, Illinois 60611, 1978.
4. Harrington, S., Computer Graphics, 2nd Edition, McGraw-Hill, pp.311-344, 1987.
5. Lo, S.H., "A hidden-line algorithm using picture subdivision technique", Computers & Structures, Vol.28, No.1, pp.37-45, 1988.
6. Janssen, T.L., "A simple efficient hidden line algorithm", Computers and Structures Vol.17, pp.563~571, 1983.
7. Myers, R.E., Microcomputer graphics for the IBM PC, Addison-Wesley, pp.145~175, 1984.
8. Gordon, J.J. and C.L Goodzeit, "COIFES-an efficient structural graphics program using the hidden line technique", Computers and Structures, Vol.12, pp.699~712, 1980.
9. Foly, J.D. and A.V. Dam, Fundamental interactive computer graphics, Addison-wesley, pp.512~513, 1982.
10. "ADINA Users manual", ADINA Engineering, Inc., 1981.