

균열을 포함한 계의 mesh 자동분할에 관한 연구

박 성 완*

A Study of Mesh Automatic Generating Method for Cracked Body

Sung-oan Park*

ABSTRACT

In this paper new mesh generation method is proposed for crack propagation analysis based on the finite element method.

The main tool of the method is the Delaunay Triangulation, Transfinite element mapping, and it allows the setting of the arbitrary crack-growth increment and the arbitrary crack direction.

It has the form of a subroutine, and it is easily introduced as a subroutine for any mesh generation method which is based on the blocking method.

Key Words : Mesh Generation(매쉬분할), Crack Propagation(균열전파), Finite Element Method(유한요소법), Delaunay Triangulation(델라우니 삼각분할), Transfinite Element Mapping(초유한점 사상법), Blocking Method(블로킹법)

1. 서 론

유한요소법은 오늘날 다양한 공학분야에 있어서 유용하게 이용되어지며 그 유효성은 충분히 인식되어지고 있다. 이 수치해석법은 우선 복잡한 거동을 하는 대상체를 유한개의 소영역의 집합으로 분할하고 또한 그 대상영역을 충분히 작은 영역으로 분할할 수 있다면 그 소영역내의 거동은 비교적 간단하게 표현할 수 있으며 이렇게 하여 소영역으로 결정된 거동을 결합하고 전체영역의 거동으로 표현하도록 하는 것이 유한요소법이다.

이 해석법의 이용효율이라든가 정도는 유한요소

model의 설정법(요소분할법)에 의하여 크게 지배를 받는다. 따라서 유한요소를 유효적절하게 하기 위하여 전처리(pre-processing) 과정에 있어서 mesh의 자동분할이 필요로 되며 좌표교환법, 망목법, 난수법^{1,2)} 등 많은 방법이 제안되고 있으나 이들의 방법에는 각각의 장·단점이 있다.

해석하는 형상에 따라서 사용을 구분해보면 적당한 band폭 축소화와 routine을 병용하는 것에 의하여 상당히 복잡한 형상의 mesh 자동분할도 가능한 것을 생각할 수 있다.

그렇지만 파괴역학 문제의 균열을 가지는 계의

* 시립 인천전문대학 기계설계과, 정희원

mesh 분할을 대상으로 하는 경우, (1) 파괴역학 문제에는 균열선단의 응력, 변형률장을 표현하는 각종 특이 요소가 고안되어지고 있으며 균열선단 근방에 이들의 요소를 배치 가능할 것, (2) 파괴역학 문제에서는 J적분값을 대상으로 하는 것이 많고 균열 선단을 둘러싼 J 경로의 설정이 용이할 것, (3) 균열선단 근방의 급격한 응력변화에 대응가능한 mesh size의 조밀도 및 동일한 요소분할이 가능할 것, (4) 균열의 진전에 의하여 해석할때 마다 새로운 균열이 성장하며 그것이 새로운 경계를 만들어 내므로 그 성장에 따라 요소분할을 변경 가능하도록 할것, (5) 개인용 컴퓨터에 의한 해석에도 가능할 수 있도록 균열선단 근방에서 band폭이 확장되지 않는 것으로 할것, (6) 만곡이나 경사균열등에도 적용 가능할 것 등이다.

본래 균열을 포함한 구조요소는 복잡한 형상을 가진 3차원 물체의 일부분으로 균열의 역학적 거동은 그 주변부분의 영향을 받는 것에 의하여 균열선단부의 요소분할의 복잡성뿐만 아니라 구조계의 기하학적 형상의 복잡성까지도 첨가된 요소분할 방법이 요구된다. 이것에 대응하는 방법으로 현재 사용되는 방법의 mesh 자동분할과 일부 manual입력을 병용한다. 유한요소해석을 행한후의 결과로부터 mesh size의 최적화를 행하는 방법(r법, h법), 혹은 등각사상을 사용하는 방법등이 고려되고 있지만 반드시 위의 모든 조건을 만족하고 있다고 생각되지 않는다.

본 연구에서는 Gordon과 Hall³⁾의 제안에 의한 초유한점 사상법과 blocking 법⁴⁾을 응용하여 효율 양호한 균열을 포함한 계의 mesh 자동분할을 행하는 방법에 관하여 또한 본 방법을 사용하여 개인용 컴퓨터 상에 적용하고 응력확대계수값을 계산하여 Isida⁵⁾ 해석결과와 비교하고자 한다.

2. MESH 자동분할의 원리

복잡한 곡면이나 물체를 곡선좌표계로 표현하기 위한 Gordon과 Hall에 의하여 개발된 초유한점 사상법에서는 Fig. 1에 표시하는 것같은 경계선이 임의의 곡선군에서 구성되어있어 계의 mesh 분할법을 경계상에서 규정하는 것에 의하여 Fig. 1(c)와 같은 mesh가 얻어진다. 이 방법의 특징은 경계상의 임의의 점에서 정규의 곡선에 일치시키는 근사곡선을 결정하는 것이다. 이 원리는 Fig. 1(b)에 표시하는 정규좌표(s, t)상의 정방영

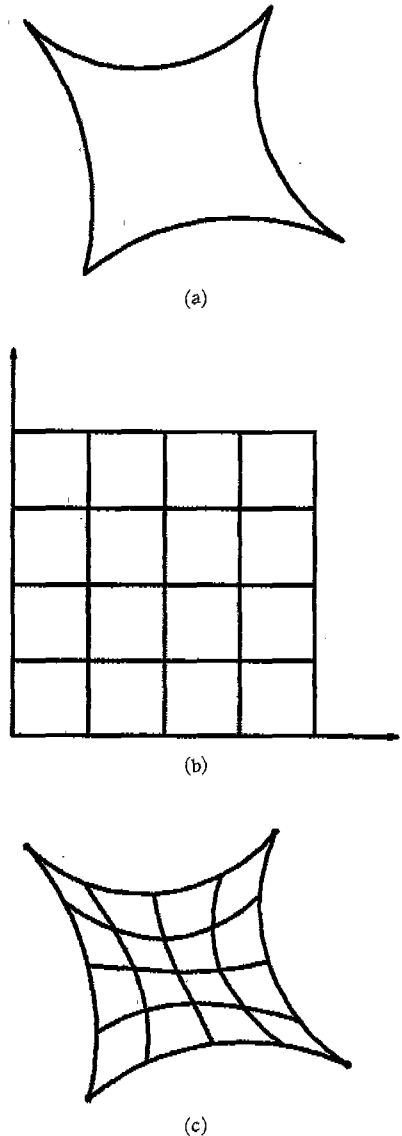


Fig. 1 Transfinite element mapping: (a) boundary shape; (b) coordinate; (c) mesh generating

역 $[0, 1] \times [0, 1]$ 를 Fig. 1(a)의 4 변형 영역으로 사상하는 함수를 $F(s, t)$ 로, $F(s, t)$ 에 대하여 s 방향, t 방향에 독립인 다음의 사상 ϕ_s, ϕ_t 를 적용시키면

$$\begin{aligned} \phi_s[F] &= \phi_0(s)F(s_0, t) + \phi_1(s)F(s_1, t) \\ \phi_t[F] &= \psi_0(t)F(s, t_0) + \psi_1(t)F(s, t_1) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $s_0 = t_0, s_1 = t_1 = 1$ 이며

$$\begin{aligned} \phi_i(s_k) &= \delta_{ik} = \begin{cases} 1 & i=k \text{ for } i,k=0,1 \\ 0 & i \neq k \text{ for } j,l=0,1 \end{cases} \\ \psi_i(t_j) &= \delta_{ij} \end{aligned} \quad (2)$$

이다. 또한 식(1)의 양사상의 積은 다음 식으로 주어진다.

$$\phi_s \phi_t [F] = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 \phi_i(s) \psi_j(t) F(s_i, t_j) \quad (3)$$

여기서 ϕ_s 와 ϕ_t 의 사상의 Fourier 대수 和를 취하는 것에 의하여 새로운 사상이 얻어진다.

$$(\phi_s \oplus \phi_t)[F] = \phi_s [F] + \phi_t [F] - \phi_s \phi_t [F] \quad (4)$$

이 사상은 $F(0, t)$, $F(s, 0)$, $F(1, t)$ 및 $F(s, 1)$ 결국 경계곡선을 주어지는 것에 의하여 경계상의 정규의 곡선에 일치시키는 사상을 부여하고 특히 식(1)의 ϕ_0 , ϕ_1 , ψ_0 , ψ_1 에 선형함수를 사용하면 식(4)는 Fig. 1(c)에 표시하는 것같은 영역내부의 격자점을 부여하는 사상으로 된다. 식(4)의 사상에 는 경계상의 절점배치를 s-t 좌표상에서 지정하는 것에 의하여 mesh의 조밀도는 용이하게 조절하는 것이 가능하며 사각형 요소와 삼각형 요소에 대한 초유한점 사상을 적용한 예를 Fig. 2에 표시한다. 다음에 위의 원리를 확장하여 균열을 포함한 계의 mesh 분할에 대하여 고려한다. 이것을 위하여 위의 사상에 있어서 더욱이 다음의 처리를 행한다.

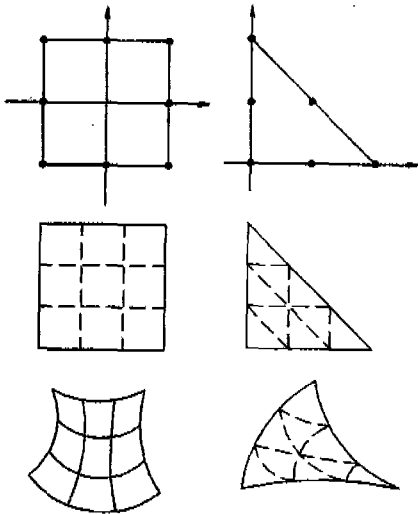


Fig. 2 Transfinite element mapping of rectangular and triangular element

1) $F(0, t)$ 의 변을 줄여서 먼곳의 균열선단의 점에 할당한다.

2) $F(0, t)$ 의 변에 대하여 mesh 분할후의 서로 인접하는 위치에 배치시킨 선.

결국 균열선단을 위한 둘러쌓은 선을 원주상에 일치시킨다. $F(0, t)$ 의 균열선단점에서의 줄여서 먼곳에 있는 것은 다음의 특이요소에서의 대응을 용이하게 하기 위함이다. 이것을 위하여 식(1), (3)을 다음과 같이 수정시키면 된다.

$$\begin{aligned} \phi_s [F] &= \sum_{i=0}^2 \phi_i(s) F(s_i, t) \\ \phi_t [F] &= \sum_{j=0}^1 \psi_j(t) F(s, t_j) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\phi_s \phi_t [F] = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^1 \phi_i(s) \psi_j(t) F(s_i, t_j) \quad (6)$$

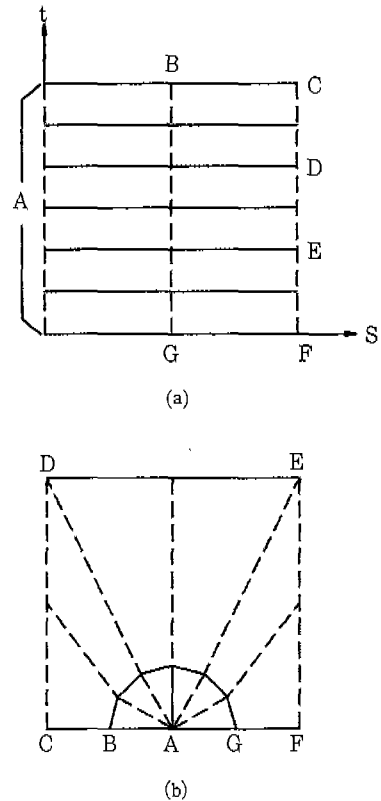


Fig. 3 Mesh generating for cracked body using transfinite element mapping: (a) coordinate; (b) mesh generating for cracked body

또한 식(2)의 조건을 만족시키기 위하여 ϕ_i, ψ_j 에는 다음의 함수를 사용하면 된다.

$$\begin{aligned} \phi_{o(s)} &= n\left(s - \frac{1}{n}\right)(s-1), \quad \psi_o(t) = 1-t \\ \phi_1(s) &= \frac{n^2}{n-1}s(1-s), \quad \psi_1(t) = t \\ \phi_2(s) &= \frac{n}{n-1}s\left(s - \frac{1}{n}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서, n 은 s 방향의 분할수의 총화이다. ϕ_s 와 ψ_t 의 사상의 Fourier 대수 형에 관해서는 식(4)와 완전히 동일한 식으로 표시 가능하다. 이 사상원리에 따라서 Fig. 3(a)의 정규좌표상의 mesh를 사상하면 Fig. 3(b)가 얻어진다. 이 경우 식(7)중의 $n=2$ 이며, Fig. 3(a)의 변 A는 사상후 균열선단에 줄여서 먼곳에 둔다. 본 사상에서는 경계형을 규정의 형상으로 일치시키는 것이 가능한 것으로 볼 수 없다. 선분 BG를 임의로 부여한 곡선형상에 일치시키는 것이 가능하다. 따라서 선분 BG상의 형상으로 원호를 부여하면 효율이 좋은 균열선단 근방 mesh 분할이 행하여지는 것으로

생각된다.

본 사상법에 의하여 각종 요소의 자동분할을 행하는 것은 우선 정규좌표상에서 정방영역내를 격자상으로 mesh 분할하여 절점번호의 번호를 붙이고 각 요소와 절점번호의 대응불입등을 행한다. 내삽함수에 필요한 한정되어진 표면상의 점으로만 정규의 곡면에 일치시키는 isoparametric 요소에서 중간절점이 있는 경우에는 이 단계에서 정의한다. 여기서 영역의 경계형상 및 균열을 둘러싼 원주의 형상을 규정시킨 후 정규좌표로부터 식(4)에 의하여 사상하는 것에 의해 대상영역 전역의 mesh분할이 얻어진다. 다만 식(7)로부터 명확한 것같이 s 방향에 관해서는 2차 사상으로 존재시키기 위하여 isoparametric 요소의 중간절점의 위치는 사상후 현저하게 비뚤어진 위치를 가지게 된다. 이 때문에 경계상 이외의 중간절점에 관해서는 사상후 각 요소의 4정점을 연결한 선상에 가까워지도록 배치하여 수정하면 된다.

Blocking 법은 Fig. 4에 표시한 것같이 복잡한 대상영역을 보다 간단하게 사각형, 삼각형의 소영역으로 분할하고 그것을 요소분할 후 재결합하여 전체의 요소

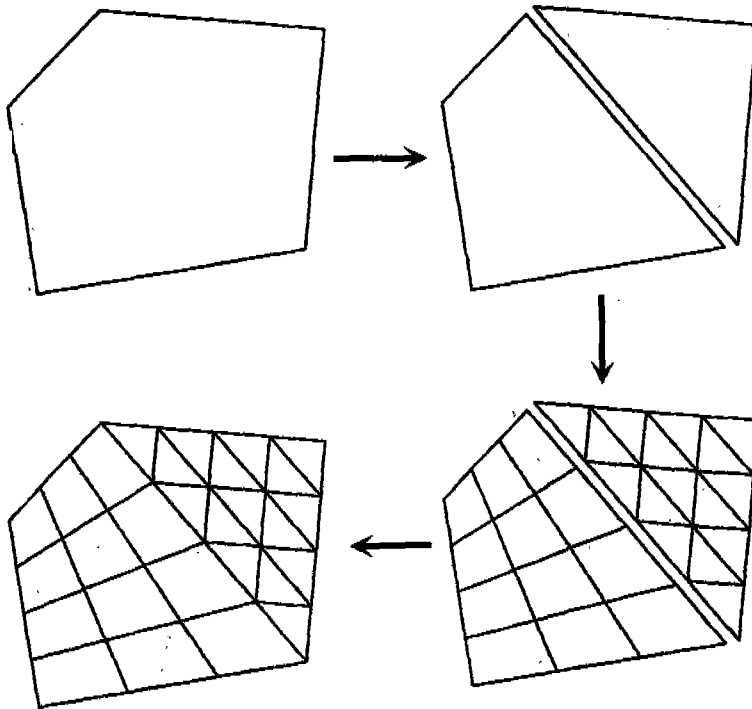


Fig. 4 Blocking method

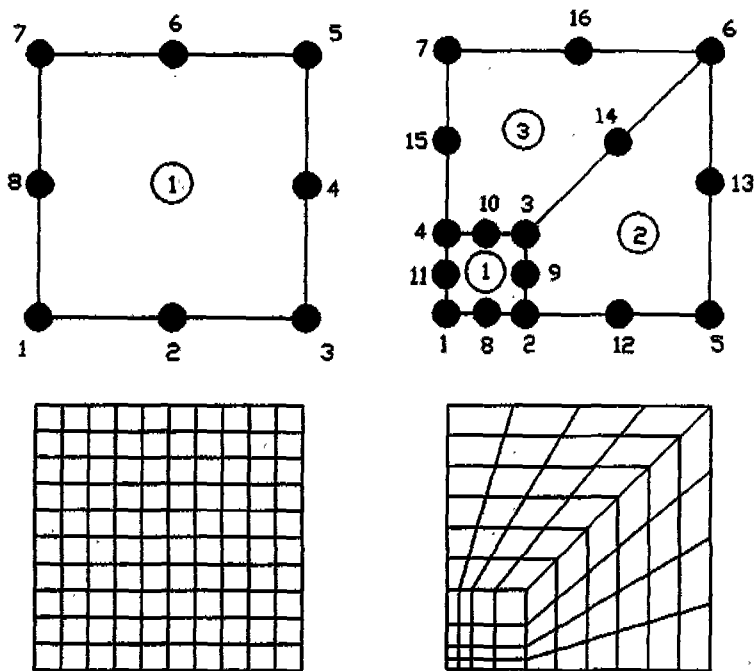


Fig. 5 Mesh generating using blocking method

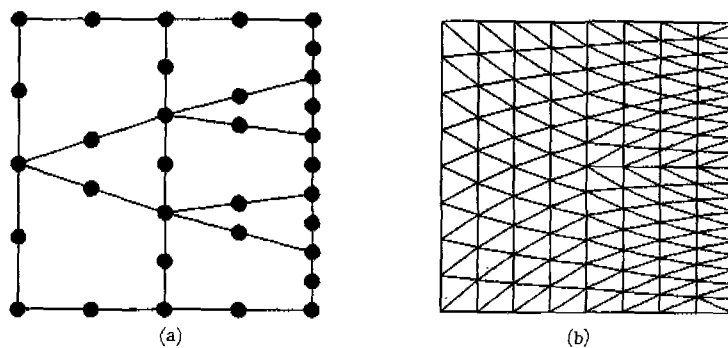


Fig. 6 Mesh generating using Delaunay triangulation: (a) rectangular block; (b) triangular block

분할을 완료하는 방법이다. 더구나 blocking 법의 주요부분은 계 전체의 부분계 집합에서의 분할, 각 부분계의 요소분할, 요소분할이 종료된 부분계의 집합으로 구성되며 사각형 요소에 대한 요소분할을 표시한 것이 Fig. 5이다. 본 연구에서 보여주는 요소 자동 분할법은 균열선단을 포함하여 그것이 진전하는 부분계에 대한 요소자동 분할이다. 부분계에 대한 일반적인 요소분할은 regular한 분할을 통한 mesh 함수이지만 여기서

취급하는 균열진전 영역에 의하여 규칙성을 찾아보기가 곤란하기 때문에 mesh 함수를 작성하는 것이 용이하지 않고 따라서 Fig. 6과 같은 Delaunay⁶⁾의 삼각형 분할법을 도입한다.

2.1 균열진전 영역에 있어서 요소분할에 대한 요구

균열진전 해석은 초기균열 설정시에 있어서의 요소분할과 그 후의 균열진전 해석단계에 있어서의 요소분할

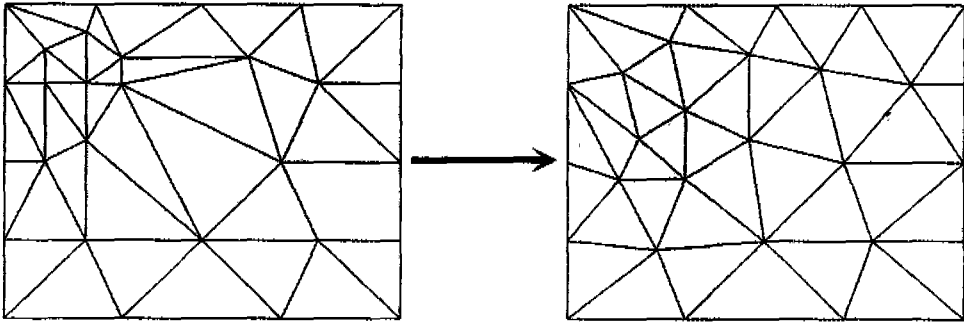


Fig. 7 Mesh generating for cracked body using Delaunay triangulation

로 대별할 수 있다. Fig. 7에 표시한 것과 같은 초기 균열상태에서의 유한요소분할은 이미 서술한 부분계의 각변의 요소분할수와 초기 균열의 선단의 위치 및 균열선의 형상을 충분히 표현할 수 있는 절점군을 할당함으로써 하여 그 부분계를 적절한 요소군으로 분할을 행하는 것이다.

균열진전 단계에서의 요소분할은 전단계에서 medel을 이용하여 유한요소 해석한 결과에 의해 결정된 균열진전 방향과 균열진전량에 의하여 구하여진 새로운 균열선을 고려하여 새롭게 요소분할을 하는 경우이다. 이 요소분할은 균열진전에 의하여 해석할때마다 요구된다. 전자에 있어서는 균열선단부에서의 해석정도를 향상시키기 위하여 요소단위의 작은 그리고 똑같은 요소분할이 그부분에 대하여 요구된다. 계속하여 균열선단부를 둘러싸는 절점군, 균열선상에 위치한 절점군, 부분계의

각 면상의 기설정된 절점군을 잘 연결하여 초기균열 설정시에 있어서의 요소분할을 완료한다. 후자에 있어서는 새로운 균열선단 위치에서의 균열선단부의 요소군의 이동, 구 균열선단 위치의 요소군의 제거 및 새로운 요소군을 발생, 새롭게 성장한 균열선상에서의 절점배치, 그리고 그 절점들 사이를 잘 연결하는 요소분할법이 필요하게 된다.

2.2. 균열선단부의 요소분할

요소분할은 해석자의 의도에 의하여 mesh 분할이 행하여 지며 경우에 따라서는 그 의도에 상반된 요소분할이 되어지는 경우도 생각할 수 있다. 가장 좋은 것은 Fig. 8에서 보여주는 것같이 충분히 해석 정도를 음미한 regular 또는 조밀한 mesh 분할이 균열선단위치에 반드시 배치되는 경우이다. 이 목적을 달성하는 하나의 수단으로 균열 선단부를 제거하고 Delaunay 법을 적용하여 mesh 분할을 한다. 그 다음 Fig. 8의 mesh를 채워넣는 방법을 생각할 수 있지만 이 방법을 취하면 위에서 언급한 \square 형상의 문제가 발생한다. 따라서 여기서는 다음의 방법을 제안한다. 우선 영역 전체를 적당하게 절점을 배치하여 Delaunay 법을 적용하고 mesh 분할을 한다. 역시 여기서는 위에 보여준 균열선상에는 보다 조밀한 절점배치를 행한 균열선을 발생시키는 것으로 한다. 또한 균열선단 위치에 채워넣은 Fig. 8의 mesh군의 단위를 고려하고 그 내부에는 균열선단 위치의 절점 이외에는 배치하지 않는다. 그 다음 균열선단 위치에 적당한 절점을 Fig. 8에 나타난 mesh 군으로 바꾸어 놓는다. Fig. 9는 복수개의 균열이 존재할때의 mesh분할을 나타낸 것이다.

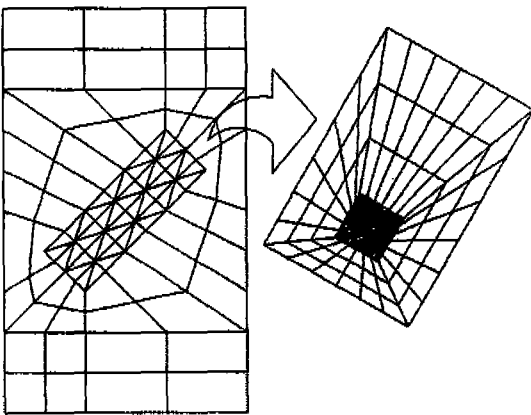


Fig. 8 Mesh generating for cracked body using Transfinite element mapping and Delaunay triangulation

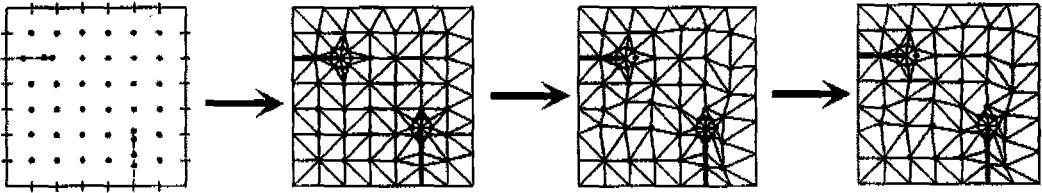


Fig. 9 Process of mesh generating of crack tip

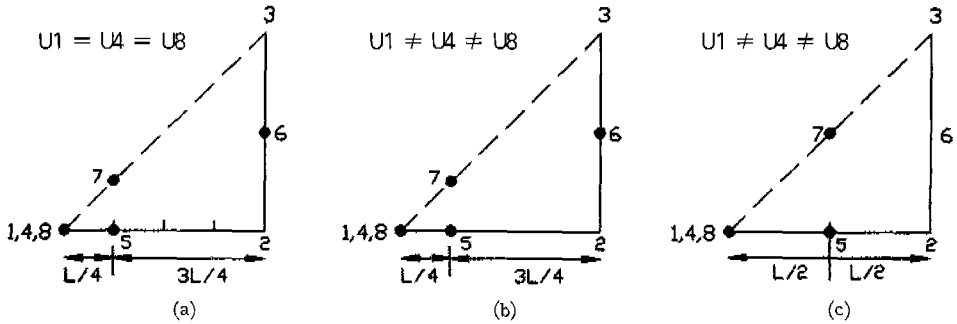


Fig. 10 8-node isoparametric element of crack tip

2.3 특이요소에서의 대응

균열을 포함한 계의 응력, 변형률 해석을 행하는 경우 균열선단위치에서 균열선단 근방의 응력, 변형률장을 표현하는 특이요소를 배치하는 것에 의하여 그다지 빈틈없는 mesh분할을 행하게 되며 고정도인 해석결과가 기대된다. 사상원리를 사용하는 경우 이들의 특이요소에서의 대응이 용이하게 되며 Fig. 10은 4각형 isoparametric 8 절점 요소의 예이지만, 4변의 안에 일변을 균열선단으로 줄여서 멀리한 후 Fig. 10(a), (b)의 중간 절점을 3:1로 내분하는 점으로 이동하는 quartey point element이다. Fig. 10(a)는 균열선단에 독립인 절점자유도를 주어지지 않는 경우로 $1/\sqrt{r}$ 의 특이성을 발생한다.

Fig. 10(b)는 독립인 절점자유도를 주어지는 경우로 $1/r$ 과 $1/\sqrt{r}$ 의 특이성을 발생한다. Fig. 10(c)로 균열선단점에서의 독립인 절점자유도를 주어지는 것으로 $1/r$ 의 특이성을 발생하며 완전소성체의 해석에 적합하다. Fig. 10(c)의 형상에 관해서는 해석할때 특이요소를 사용하고 있는 것에 의하여 HRR⁷⁾ 특이성을 표현 가능하다. isoparametric 8 절점요소에 대하여 앞의 사상원리를 적용하면, 균열선단을 둘러싸은 위치에는 Fig. 10(c)의 특이요소가 배치되는 것으로 한다. Fig. 10(b)의 특이요소를 사용하는 경우 이 상태로 부터 중

간절점을 quartey point의 위치에 이동하면 된다. Fig. 10(a)의 특이요소를 사용하는 경우에는 이 상태에서 절점번호 부여를 다시 한다. 균열 선단이 하나의 절점에 대응하여 만들어지며 4 절점요소, 12 절점요소에 대해서도 유사의 특이요소가 존재하지만 완전히 동일한 형태의 순서로 mesh 작도를 행하는 것이 가능하다. Fig. 11은 위의 원리에 따라서 균열선단 근방에 자동분할에 의하여 발생한 특이요소의 예이다. Fig. 11(a)는 Barsoum⁸⁾의 quartey point element이고 Fig. 11(b)는 Pu⁹⁾ 등이 제안한 12 절점요소의 특이요소이다.

2.4 J 경로의 설정

재료거동이 탄성인 경우와 소성인 경우 모두에 대하여 균열선단 부근의 역학적 상태를 나타낼수 있다는 것과 경로독립성(path-independency)에 의하여 정확한 계산이 어렵고 오차가 혼입하기 쉬운 균열선단에 대한 정보 없이도 결정할 수 있는 파괴역학 parameter의 하나인 J 적분값을 계산하기 위하여 균열선단을 둘러싸은 폐곡선상의 J 경로를 설정할 필요가 있다. isoparametric 요소를 사용하는 경우 Gauss 점을 통과하는 것으로 경로설정을 행하지만 많은 Gauss 점을 통과하기 때문에 그 설정에는 많은 노력을 필요로 한

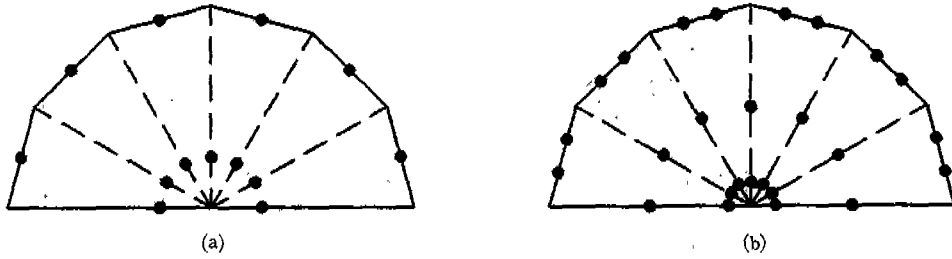


Fig. 11 Singular element of crack tip: (a) Barsoum; (b) Pu at al

다. 그렇지만 여기서는 제안하는 사상법을 사용하는 경우 균열선단 근방의 mesh는 Fig. 11로 부터 명확한 것같이 균열선단을 취한 둘러싸은 동심원상에 배치된다.

따라서 J 경로상의 어떠한 일점의 Gauss 점을 지정하는 것에 의하여 경로전체의 정의를 행하는 것이 가능하고 그 설정은 용이하게 된다. Fig. 12는 균열선단 근방에 설정된 2가지의 J경로 예를 표시한다.

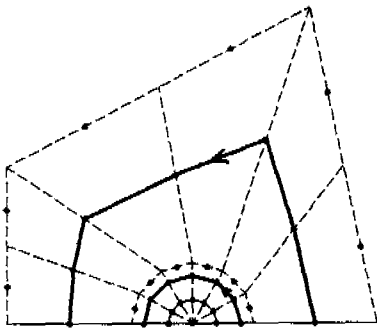


Fig. 12 Path of J-integral

3. 전처리와 계산 예

유한요소법을 사용하여 균열문제를 해석하는 경우 가장 큰 문제가 되는 것은 균열선단의 특이성 (singularity)을 어떻게 취급하느냐 하는 것이다. 표준요소 (standard element)를 사용할 경우 이는 유한크기의 요소에 대해 변위나 응력을 다항식함수로 가정하는 관계상 균열선단의 특이성을 잘 근사시키기 위하여 균열선단 부근에서 요소를 매우 세분화하지 않으면 안되며 이는 자유도의 증가로 인한 계산시간이 길어지고 data준비에 많은 노력이 필요하게 된다. 이러한 난점 때문에 균열

선단을 포함하는 원형요소에 고유함수전개의 여러항을 사용한 고차균열요소 (high order crack element)와 적은 비용으로 정확히 균열문제를 해석할 수 있는 특이 요소에 대해 많이 연구되고 있다. 그러나 균열선단에서는 특이요소가 사용되고 그 이외의 영역에서는 표준요소가 사용되기 때문에 일반적으로 적합성 (compatible)과 수렴조건이 문제되는 경우가 있으며 표준요소의 지나치게 세련된 mesh에 의한 것 보다 몇개의 좋은 특이

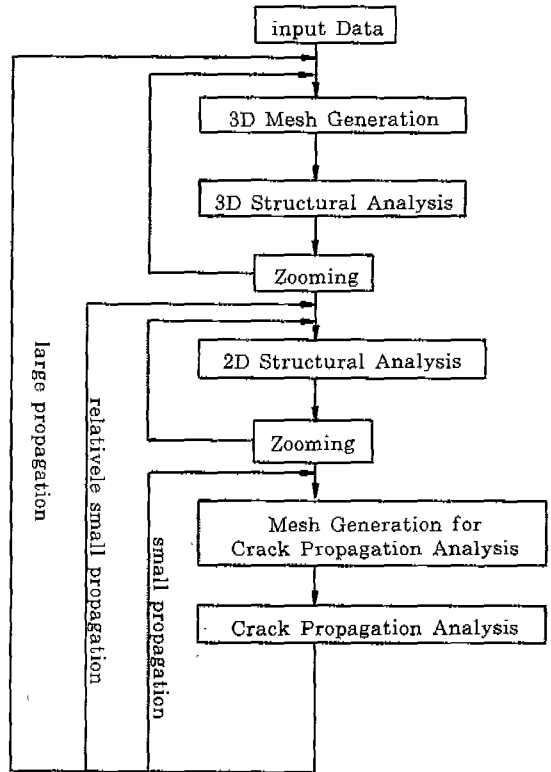


Fig. 13 Algorithm of mesh generation

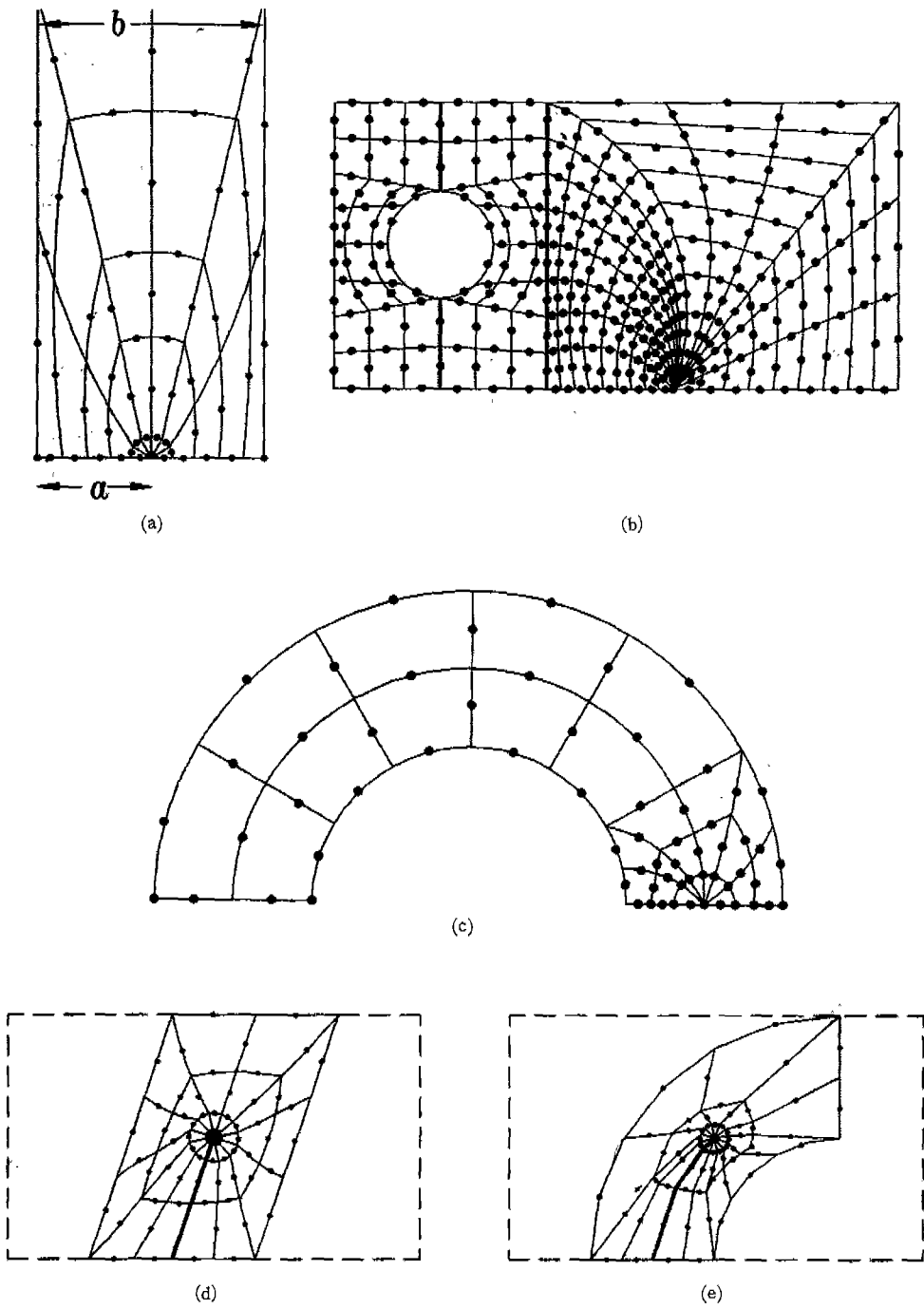


Fig. 14 Examples of mesh generating: (a) CCT; (b) CT; (c) embedded crack in pipe; (d) slant crack; (e) curved crack

요소에 의하여 균열선단을 둘러싼 것이 더욱 좋다. 따라서 정확성과 효율성을 증진시키기 위하여 제안된 사상원리와 blocking법을 사용하여 균열체의 mesh 자동분할 프로그램 알고리즘을 Fig. 13에 표시하며 개인용 컴퓨터 (IBM PC 486-DX2) 상에 작도하였다. 분할 영역의 경계형상의 정의, 경계상에서의 분할법 式의 정의, 사용요소, 균열에 관한 정보를 입력한 후, 초유한점 사상법과 blocking법에 의하여 mesh 자동분할을 행하고 graphic 화면상에 mesh 그림이 표시된다.

균열문제의 경우 자동적으로 균열선단 위치에 특이요소가 배치된다. 따라서 화면의 mesh 그림상에 구속조건, 하중조건, J 경로설정등을 정의한다. J 경로설정은 경로내의 어디에서나 일점을 지시하는 것으로 가능하며 총 요소수, 총 절점수 등을 의식할 필요는 없고 각종 조건의 설정에 있어서도 마찬가지이다. 사각형요소에서는 격자소영역을 직접, 또한 삼각형요소에서는 격자소영역의 두개의 대각선 범위내 원좌표계에 의한 거리의 짧은선을 사용하여 소영역을 두개의 삼각형으로 분할하면 요소가 생성되며 분할 대상영역은 몇개의 부영역으로 나누어 각 부영역내에서 J 경로, 구속조건외의 data 등도 함께 기초 data file내에 저장시킨다. mesh를 link하는 가운데 band폭 최소화를 행하여 효율 좋은 절점번호를 만들어서 실행하는 것도 고려된다.

Fig. 14는 본 방법에 의하여 작도한 mesh 예를 표시한다. Fig. 14(a)는 CCT 시험편이며, Fig. 14(b)는 CT 시험편에서의 3개의 부영역으로 부터 구성되어 있다. Fig. 14(c)는 내주에 축방향 균열을 가지는 pipe에서 2개의 부영역으로 성립되어 있다. Fig. 14(d)는 경사균열의 예이다. 이 경우 정규좌표상의 4 변안에 일변을 균열선단에 줄여서 멀어지게 하여 제2, 4변을 균열면으로, 또한 제3 변을 외주 경계에 할당하는 것에 의하여, Fig. 14(e)와 같은 만곡균열의 mesh도 용이하게 발생시킬 수 있다.

본 연구의 적용성을 평가하기 위하여 Isida의 해석모델과 동일한 모델로 하여 응력확대계수의 계산을 행하였다. 요소수 30, 절점수 113, 사용요소는 isoparametric 8절점요소로서 균열선단에는 quartey point element를 배치했다. 응력확대계수의 계산은 J 적분법을 사용하여 5~6 path의 평균값을 취하였다. 계산결과를 Fig. 15에 나타내었다. Fig. 15에서 Isida의 해와 오차는 적고 본 연구의 mesh 작도가 타당한 것을 알 수 있다. 응력확대계수 계산에 필요한 시간은 한 과

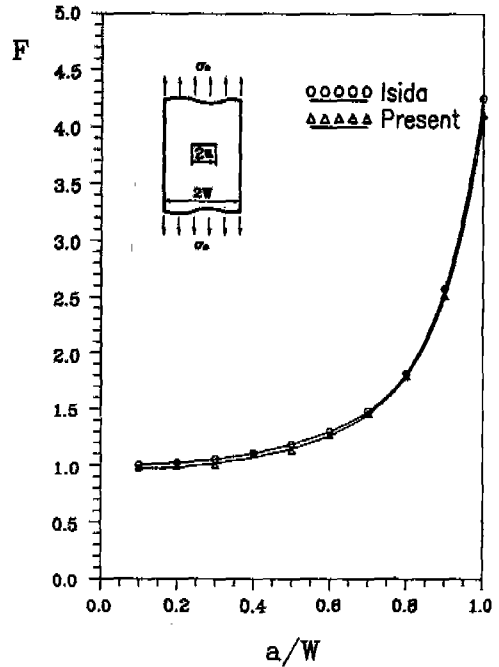


Fig. 15 Tension of long strip with a central crack

제당 15분 정도였다.

지금까지의 방법을 정리하여 임의 3차원 물체를 대상으로 한 4면체 분할법은 (1) 3차원 물체 표면에 위치하는 절점의 입력, (2) 표면의 점을 사용한 3각형 분할, (3) 영역 내부로의 절점배치, (4) 영역 내부점을 사용한 4면체 분할, (5) 영역 외부에 생성된 4면체의 제거이다. 지금 표면의 기하학 형상이 특별하게 복잡한 경우 그 표면을 분할하여 (2)의 분할수의 수만큼 반복하여 표면을 순차 생성하고 그 결과를 결합하여 표면전체를 작성하면 된다. 3차원 물체에 대한 요소분할의 일 예를 Fig. 16에 표시한다.

4. 결 론

초유한점 사상법과 Blocking 법을 사용하여 균열을 포함한 계의 mesh 분할에 응용하는 것에 의하여 효율 좋은 자동분할을 하는 것을 나타내었다. 본 방법은 8 절점 요소에 있어서 quartey point element 나 4, 12 절점 요소에 있어서 특이요소에 용이하게 적용하는 것이 가능하다. 더욱이 요소는 균열선단을 취한 둘러싼은 위치에 배치시키기 때문에 J 적분의 경로설정을 용

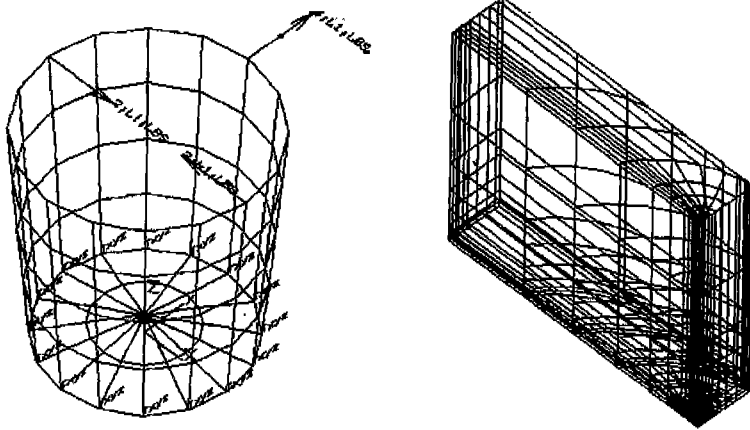


Fig. 16 Mesh generating of three dimensional model

이하에 행하는 것이 가능하며, 파괴역학 parameter의 해석에 있어서도 유효적절하게 되며 더구나 고정도가 기대 가능한 mesh 자동분할이 가능하다. 따라서 본 연구로부터 그다지 많은 요소를 사용하지 않아도 고정도의 解가 얻어지는 요소분할이 가능하게 되었으며 3차원 문제로 확장 가능하다.

참고문헌

1. Zienkiewicz. O. C and Phillips. D. V, 1971, An Automatic Mesh Generation Scheme for Plane and Curved Surfaces by 'ISOPARAMETRIC' Co-ordinates, Int. J. for Numerical Method in Engineering, Vol.3, pp.519-528
2. Cavendish. James C, 1974, Automatic Triangular of Arbitrary Planar Domains for the Finite Element Method, Int. J. for Numerical Method in Engineering, Vol.8, pp.679-696
3. Gordon. William J and Hall. Charles A, 1973, Construction of Curvilinear Co-ordinate Systems and Applications to Mesh Generation, Int. J. for Numerical Method in Engineering, Vol.7, pp.461-477
4. Taniguchi. T. 1987, Flexible Mesh Generator for Triangular and Quadrilateral Areas, Advances in Engineer Software, Vol.9, No.3, pp.142-149
5. Isida. M, 1973, Analysis of Stress Intensity Factors for the Tension of a Centrally Cracked Strip with Stiffened Edges, Engng Frac. Mech., Vol.5, No.3, pp.647-665
6. Watson. D. F, 1981. Computing n-dimensional Delaunay Tesselation with Application to Voronoi Polytopes, The Computer Journal, Vol.24, No.2, pp.167- 172
7. Tsamasphyros. G. and Giannakopoulos. A. E., 1986, Automatic Optimum Mesh around Singularities using Conformal Mapping, Engng Frac Mech., Vol.23, No.3, pp.507-520
8. Barsoum. Roshdy S, 1976, On the use of Isoparametric Finite Elements in Linear Fracture Mechanics, Int. J. for Numerical Method in Engineering, Vol.10, pp.25-37
9. Pu. S. L., Hussain. M. A. and Lorensen. W. E, 1978, The Collapsed Cubic Isoparametric Element as a Singular element for Crack Problems, Int. J. for Numerical Method in Engineering. Vol.12, pp.1727-1742