

다양한 2차원 형상에서의 외부 경계 절점 오프셋 방법을 이용한 자동 사각 요소 및 요소망 생성

김도현*, 양현익**

Automatic Quadrilateral Element Mesh Generation Using Boundary Normal Offsetting In Various Two Dimensional Objects

Kim, D.-H.* and Yang, H.-I.**

ABSTRACT

In two dimensional mechanical design analysis, quadrilateral element mesh is preferred because it provides more accurate result than triangular element mesh. However, automation of quadrilateral element mesh generation is much more complex because of its geometrical complexities. In this study, an automatic quadrilateral element mesh generation algorithm based on the boundary normal offsetting method and the boundary decomposition method is developed. In so doing, nodes are automatically placed using the boundary normal offsetting method and the decomposition method is applied to decompose the designed domain into a set of convex subdomains. The generated elements are improved by relocation of the existing nodes based on the four criteria - uniformity, aspect ratio, skewness and taper degree. The developed algorithm requires minimal user inputs such as boundary data and the distance between nodes.

Key words : Mesh(요소망), Automatic Mesh Generation(자동 요소망 생성), Quadrilateral Elements(사각형 요소), Offsetting(오프셋팅), Decomposition(분할)

1. 서 론

유한 요소법은 기계설계 및 해석 과정에서 가장 많이 쓰이는 매우 강력한 해석 방법 중 하나이다. 유한 요소법을 사용하여 설계 대상물을 해석하는 경우 많은 노력과 시간이 해석 대상의 요소망을 생성하는데 소요되며, 해석결과 또한 요소 및 요소망의 형질에 크게 영향을 받게 된다.

일반적으로 사각 요소가 삼각 요소보다 해석 결과의 정밀도에서 우수하다고 알려져 있으며, 따라서 설계 결과에 대한 선형 및 비선형 문제의 해석에서 주로 사각 요소를 많이 사용하고 있다. 하지만 요소 생성에 있어서 사각 요소는 삼각 요소보다 기하학적 제약이 많기 때문에 임의의 해석 영역에서 자유롭게 요소망을 생성하기 어려우므로 이에 관한 연구가 지속적으

로 수행되어 왔다.

지금까지의 자동 사각 요소 생성에 관한 연구¹⁾를 살펴보면 크게 세 가지 정도로 나누어진다. 첫 번째는 사상 기법을 통한 요소망 생성에 관한 것이다. 이 기법은 아직도 널리 사용되어지고 있는데, 먼저 해석 영역을 사상 가능한 여러 개의 영역으로 분할해야 한다. 각 영역에 대한 요소의 생성은 매개 변수 영역에서 생성된 요소를 사상함으로써 이루어진다. 두 번째²⁾는 해석 영역을 볼록 형상(convex)의 하위 영역으로 나눈 다음 각 하위 영역에 사각 요소망을 형성하는 것이다. 각 하위 영역에 사각 요소망을 생성시키기 위해서 격자를 씌우는 방법(Grid-based approach)이나 경계 오프셋팅(Boundary-based offsetting) 등을 사용하는데 이는 요소 생성 속도가 빠르지만 해석시 중요한 형상 경계에서의 요소 형질이 나빠지는 단점이 있다. 세 번째³⁾로는 해석 영역의 경계를 따라 절점과 사각 요소를 동시에 생성시키면서 해석 영역의 안쪽으로 전진하여 해석 영역의 전체를 사각 요소로 채우는 기법이다. 이 방법은 요소를 생성시키는 경계 면에

*한양대학교 기계설계학과
**한양대학교 기계정보경영공학부 부교수
- 논문투고일: 2003. 04. 15
- 심사완료일: 2003. 10. 17

생성되는 사각 요소가 이외의 경계 밖에 생성되는 요소와 교차하는지를 판별함과 동시에 좋은 형상의 사각 요소를 생성하기 위한 여러 가지의 검사가 필요하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 '착수개의 절점으로 나누어진 2차원의 볼록 형상은 사각 요소망 생성이 가능하다'라는 정리¹⁶⁾에 기초하여, 위에서 언급한 두 번째 연구의 단점인 경계에서의 요소 형질이 좋지 못한 점을 개선시킴으로써 우수한 형질의 사각 요소망을 생성토록 하였다. 먼저 해석 영역에 착수개의 절점을 균일하게 위치시키고 해석 영역이 볼록 형상이 아니라면 볼록 형상을 갖는 하위 영역으로 나누어지게 된다. 이렇게 해석 영역을 분할함에 있어 분할각을 특정화시켜 요소의 형질이 떨어지게 되는 것을 방지하였으며, 하위 영역에서 사각 요소를 생성하는 방법으로는 외부 경계 절점 오프셋 기법을 적용하였다. 외부 경계 절점 오프셋 기법은 삼각 요소를 생성하는 방법¹⁷⁾으로 개발되어졌으나, 본 연구에서는 사각 요소망 생성을 위해서 해석 영역의 경계에서 절점을 오프셋팅(offsetting)하는 방법을 제시하고 절점 사이의 내부각 검사, 기리 검사, 두프 검사 및 절점의 교차 검사 등을 통하여 사각 요소를 생성시키기 위한 절점으로 재구성 한 후에 각 절점을 연결하여 사각 요소를 생성하게 된다. 여기서, 오프셋팅된 절점은 외부 형상의 절점 수보다 적어지며 이는 요소 생성 속도에 기여하게 된다. 사각 요소 생성이 끝난 후에는 일반적으로 많이 사용되고 있는 라플라시안 유인화(Laplacian smoothing) 방법을 통해 해석 영역 내부의 절점을 조정하여 생성된 사각 요소의 형질을 개선토록 하였다. 또한 사각 요소의 형질을 판단¹⁸⁾하기 위해 균일정도(Uniformity), 장단비(Aspect Ratio), 비틀림정도(Skewness), 사다리꼴정도(Taper Degree)의 4가지 기준을 사용하였으며 전체 요소에 대하여 상기한 4가지 기준을 3차원 직각 좌표계를 통해 시각화하여 전체 요소망의 '형질을 한눈에 볼 수 있도록 하였다. 마지막으로 생성된 요소망을 기준의 상용 소프트웨어(ANSYS)에서 생성된 요소망과 비교 검토하였다.

2. 경계에서의 절점 생성 및 분할법

2.1 절점의 생성 순서

2.2.1 형상의 기본 입력 조건

절점을 생성하고 사각형 요소망을 생성시키기 위한 최소한의 조건은 형상을 이루는 경계의 꼭지점 위치와 생성하고자 하는 요소의 크기이다. 이때, 경계의 꼭

지점의 위치 입력은 외부 경계일 때는 반시계 방향으로, 내부 경계일 때는 시계 방향으로 정의하여 주어야 한다.

2.2.2 경계의 분할

정리 : 외부 경계에 착수개의 절점을 가진 임의의 볼록 형상은 자체의 외부 경계에 절점의 추가 없이 사각 요소망을 구성할 수 있다.

위의 정리에서 알 수 있듯이 볼록 형상에 사각 요소망을 구성하기 위해서 먼저 형상의 경계를 착수개의 절점으로 분할하여야 한다. 형상의 경계를 착수개의 절점으로 분할하는 방법은 볼록 형상과 오목 형상에 관계없이 다음과 같은 방법으로 이루어진다. 식 (1)과 같이 경계를 이루는 한 선분의 길이(L)를 요소의 크기의 두 배로 나눈 값을 정수화한 다음 이 값의 두 배를 취하여 분할할 개수(m)를 구한다. 이 분할개수의 두 배로 선분을 나누어 식 (2)와 같이 경계를 분할할 크기(d'')를 정하고 이 크기로 경계를 분할하여 형상의 경계에 절점을 생성시킨다(Fig. 1).

$$m = 2 \times \text{정수화} \left(\frac{L}{(2 \times d)} \right) \quad (1)$$

$$d'' = \frac{L}{m} \quad (2)$$

여기서, m : 분할개수

L : 한 외부경계의 길이

d : 요소의 크기

d'' : 분할크기

2.2 볼록 형상으로의 분할

2.2.1 내부에 홀을 포함하지 않는 형상

해석 영역의 경계에서 선점의 내부각이 180도 보다 큰 각을 가지고 있으면 이 해석 영역은 오목 형상

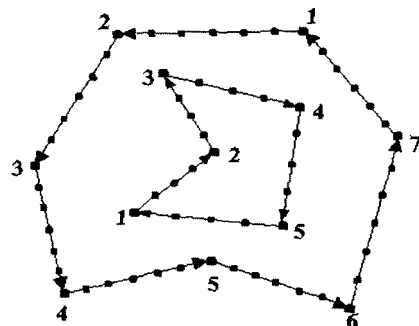


Fig. 1. Boundary division.

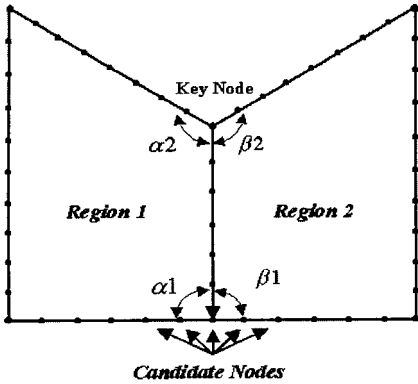


Fig. 2. Boundary decomposition.

(concave)라 할 수 있다. 이러한 오목 형상은 180도 보다 큰 내부각을 가지는 절점(keynode)을 기준으로 분할되어 볼록 형상의 하위 영역으로 전체 해석 영역을 다시 나누게 된다. 오목 형상을 볼록 형상으로 분할함에 있어서 분할선이 날카로운 모서리를 만들게 되면 형질이 좋지 않은 사각 요소가 생성될 수 있으므로 본 연구에서는 분할각($\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$)이 70도 보다 크게 하여 이점을 방지하였다. 70도는 여러 분할각을 실험한 결과 가장 적절하다고 판단되어 결정되었다. 이렇게 적절한 분할선을 찾는 방법은 180도 보다 큰 내부각을 가지는 절점에서 외부 경계의 절점으로 분할선을 만들어 이 분할선으로 만들어지는 분할각이 70도 보다 크도록 하는 외부 경계의 절점을 먼저 찾은 후에 $\sin(\alpha_i - \beta_i)$ 의 값이 최소가 되는 절점을 취하여 분할선을 최종 선택하게 된다(Fig. 2).

단, 여기서 주의해야 할 사항은 분할선이 해석 영역에 존재해야 한다는 것이며 분할선상에 위치하게 될 절점은 하위 영역의 절점이 짝수개가 되도록 조정되어야 한다는 것이다. 이와 같은 과정을 반복하여 해석 영역은 여러 개의 볼록 형상으로 나누어지게 된다.

2.2.2 내부에 홀을 포함하는 형상

해석 영역 내부에 홀이 있는 경우는 Fig. 3과 같이 내부 홀의 모서리에서 가장 가까운 외부 경계의 절점을 찾아 연결선을 만든 후 전체의 해석 영역을 하나의 외부 경계를 가진 영역으로 만들게 되면 식 (3)에 의해 외부 경계와 내부 경계는 하나의 경계로 구성되게 된다. 이러한 외부 경계는 볼록 형상으로서의 분할법을 통하여 여러 개의 볼록 형상으로 나누어지게 된다.

$$bR = bR_E \cup bR_I \tag{3}$$

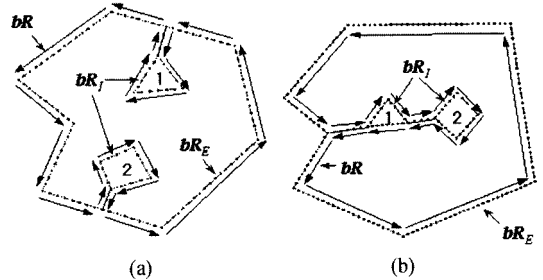


Fig. 3. Boundary extension.

3. 내부 절점 생성

3.1 절점 오프셋팅

초기 절점 오프셋은 외부 경계의 절점으로부터 이루어지며 오프셋 된 절점들의 위치가 조정되고 사각 요소가 구성되어지면 이후 외부 경계는 조정되어진 오프셋 절점으로 이루어지게 된다. 이러한 과정을 반복하여 형상의 내부로 사각 요소를 구성해 나가게 된다. 절점 오프셋은 식 (4)와 식 (5)와 같이 절점(N_i)에 이웃하는 두 절점(N_{i-1}, N_{i+1})과의 내부각을 이등분하는 각으로 절점(N_{i+1})을 회전변환한 다음, 요소 크기(d)에 $\sin\left(\frac{\angle N_{i-1}, N_i, N_{i+1}}{2}\right)$ 을 곱한 크기로 길이를 조정하여 절점(N_i)를 오프셋하게 된다. 오프셋 각도와 크기를 정리하면 식 (4)와 식 (5)와 같고 오프셋 된 절점은 외부 경계와 같은 짝수 개수이다(Fig. 4).

$$OffsetAngle(\theta) = \frac{\angle N_{i-1}, N_i, N_{i+1}}{2} \tag{4}$$

$$d_Offset = d \times \sin\left(\frac{\angle N_{i-1}, N_i, N_{i+1}}{2}\right) \tag{5}$$

3.2 오프셋 절점들의 각도 검사

오프셋 된 절점들은 대부분 외부 경계의 절점들과 평행하게 구성되어 마치 새로운 내부 절점들을 구성해 가는 것과 같다. 그러나, 모서리에서 오프셋 된 절

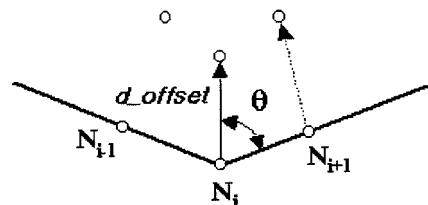


Fig. 4. Node offsetting.

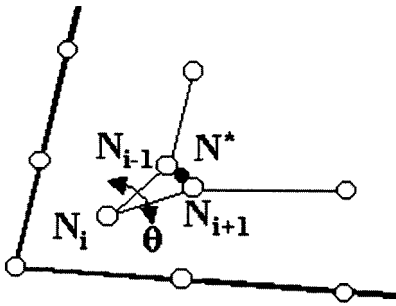


Fig. 5. Angle checking.

점들은 새로운 경계 절점들 구성과는 다르므로 모서리에서 오프셋 된 절점들을 제거하고 모서리 절점과 이웃하는 두 절점의 중간점으로 새로운 경계의 모서리 절점을 취하기 위해 내부각 검사를 수행하여야 한다. 이는 세 절점(N_{i-1}, N_i, N_{i+1})의 내부각이 80도 이하이면 두 절점(N_{i-1}, N_{i+1})의 중간에 새로운 절점을 생성하고 이 세 절점(N_{i-1}, N_i, N_{i+1})을 제거함으로써 수행된다(Fig. 5). 80도는 여러 내부각에 대한 실험을 통하여 가장 적절한 결과를 내는 각도로서 선택되었다. 따라서, 세 절점을 하나의 절점(N^*)으로 통합화시킴으로써 오프셋 된 절점은 짝수개를 유지하게 된다.

3.3 오프셋 절점들의 거리 검사

복록 형상에서 외부 경계 위의 절점들을 안쪽으로 오프셋하게 되면 오프셋된 점들은 서로 가까워지기 때문에 거리 검사에서는 내부각 검사와 유사하게 일정 거리 안에 있는 세 절점(N_{i-1}, N_i, N_{i+1})을 하나의 절점(N^*)으로 합치게 된다(Fig. 6). 본 연구에서는 세 절점(N_{i-1}, N_i, N_{i+1})의 거리 합이 요소 크기의 1.2배 보다 작다면 하나의 절점으로 합치게 하였다.

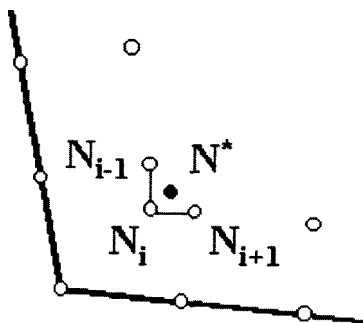


Fig. 6. Distance checking.

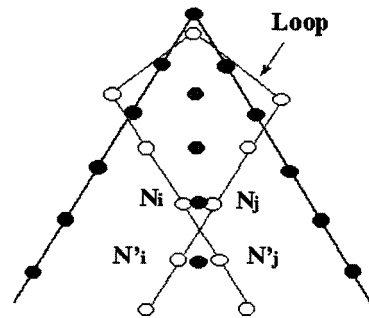


Fig. 7. Loop intersection checking.

3.4 오프셋 절점들의 교차 검사

해석 영역의 모서리 절점이 이루는 각이 작은 경우 오프셋 된 절점들을 있는 루프(Loop)는 서로 교차하게 되는데 이렇게 교차하는 부분에서 정형화된 사각 요소를 생성하기 위해서는 오프셋 된 절점으로 요소를 생성하지 않고 교차되어지는 루프의 중점에 새로운 절점을 생성하여 요소를 생성해야 한다(Fig. 7). 여기서 주의해야 할 것은 교차되는 루프의 절점 개수가 짝수개가 아니라 홀수개가 되는 경우 전체 절점의 개수는 홀수가 되므로 이를 조정하여 짝수개의 절점을 갖도록 해야 한다는 것이다.

4. 사각 요소 생성 및 요소 평가

4.1 사각 요소 생성

외부 경계를 따라 절점들을 연결하여 사각 요소를 생성하게 되며, 다시 이 절점들은 새로운 외부 경계의 절점들이 되어 내부로 절점을 오프셋하게 되는 과정을 반복함으로써 전체 해석 영역을 사각 요소화 하게 된다(Fig. 8).

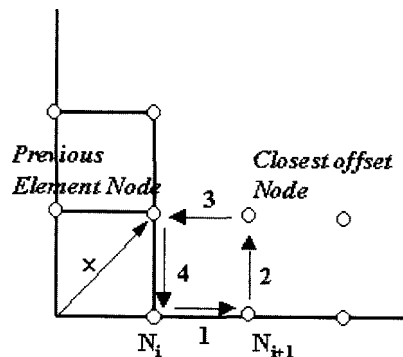


Fig. 8. Element generation.

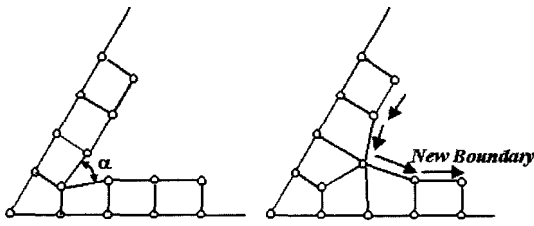


Fig. 9. Element reconstruction.

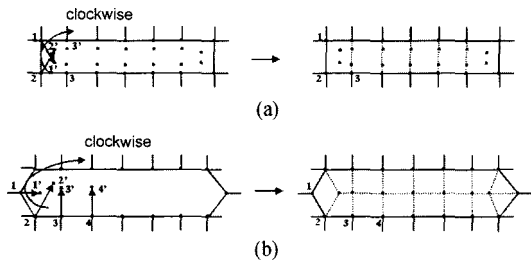


Fig. 10. Termination of element generation.

4.2 요소 재구성

사각 요소의 재구성은 사각 요소를 생성한 후에 사각 요소 사이의 각이 60도(α) 보다 작을 경우 두 사각 요소를 재구성하여 다음에 절점을 오프셋 하기 쉽도록 만드는 과정이다(Fig. 9). 여기서 60도는 요소 사이의 각에 대한 많은 실험을 통하여 가장 적절한 결과를 내는 각도로써 선택되었다.

4.3 요소 생성 종결

4.3.1 절점의 방향에 의한 요소 생성 종결

요소 재구성 과정을 통해 조정되어진 절점이 초기 입력된 반시계 방향이 아닌 시계방향으로 형성되는 경우 다음 Fig. 10의 (a)또는 (b)와 같이 요소 생성을 종결 할 수 있다.

4.3.2 절점이 6개 이하일 때의 요소 생성 종결

사각 요소를 생성하는 과정에서 조정되어진 절점이 6개 이하 일 경우에는 기본적으로 Fig. 11의 (a)와 같이 3번 절점과 6번 절점을 연결하여 두 개의 요소를 생성하게 된다. 하지만 Fig. 11의 (b), (c)와 같이 3번과 6번의 연결선이 외부 경계와 이루는 각이 작다면 2번과 5번 또는 1번과 4번을 연결하여 두 개의 요소를 생성하게 된다. 또한 Fig. 11의 (d)와 같이 연결선이 요소의 크기보다 크다면 이 연결선의 중점에 하나의 절점을 추가하여 세 개의 요소를 생성하게 된다.

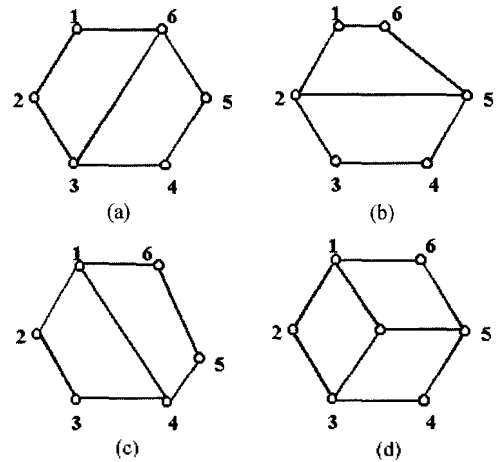


Fig. 11. Termination of element generation when six nodes or less left in the domain.

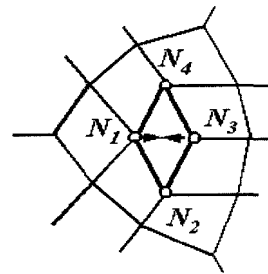


Fig. 12. Element deletion.

4.4 유연화

4.4.1 요소 삭제

해석 영역에 요소망이 완성된 후에 Fig. 12의 가운데 사각요소와 같이 요소의 비틀어짐이 심한 경우 각 절점이 이루는 내부각을 검사하여 일정 각도 보다 크거나 작게 되면 두 절점을 하나로 하여 요소를 삭제함으로써 전체적인 요소망의 형질을 개선한다.

4.4.2 절점 조정

해석 영역에 절점과 사각 요소가 생성된 후 요소의 형질을 개선하기 위한 과정으로 절점 조정을 수행하게 된다. 본 연구에서는 일반적으로 많이 쓰이고 있는 Laplacian 방법^[2]을 사용하여 해석 영역의 내부 절점(P_i)을 식 (6)에 의하여 P_i 의 위치로 조정하여 요소의 형질을 개선하였다(Fig. 13).

$$P_a = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} P_j \tag{6}$$

여기서, n_i 는 P_i 에 연결된 P_j 의 개수이다.

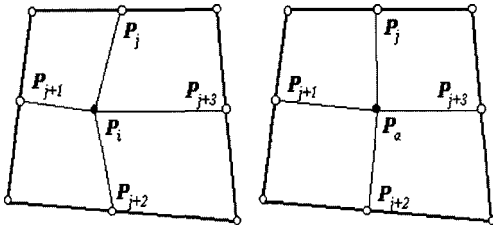


Fig. 13. Node smoothing.

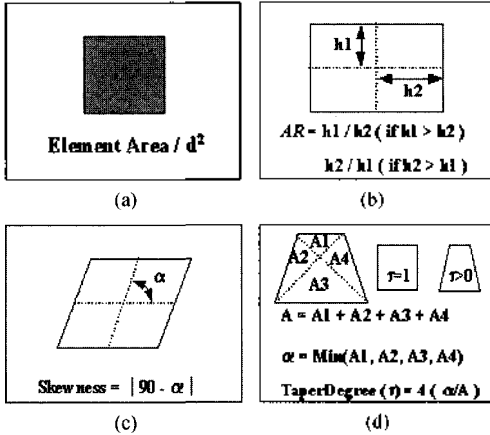


Fig. 14. Element evaluations.

4.5 요소 평가 방법

4.5.1 균일정도 평가

Fig. 14의 (a)와 같이 해석 영역에 구성된 전체의 사각 요소가 균일한지를 알아보는 것으로 처음 사용자가 입력한 요소 크기와 생성된 사각 요소 크기를 비교하여 생성된 사각 요소를 평가하게 된다. 따라서, 비교 수치가 1에 근접하면 사용자가 원하는 요소 크기의 사각 요소가 생성된 것이다.

4.5.2 장단비 평가

Fig. 14의 (b)에서 알 수 있듯이 장단비 평가는 요소의 장단비의 값이 1에 가까울수록 가로, 세로의 길이가 일정하여 정사각형에 가까운 양질의 사각 요소임을 나타낸다.

4.5.3 비틀림 정도 평가

Fig. 14의 (c)와 같은 방법으로 비틀림 정도 평가는 요소의 비틀어짐 정도를 나타낸다. 즉, 비틀림 정도의 값이 0°에 가까울수록 양질의 사각 요소임을 알 수 있고 90°에 가까울수록 요소가 비틀어지게 되어 바람직하지 않다. 대개의 경우, 요소의 비틀림 정도의 값이 30° 이내의 값을 가지면 적절하다고 볼 수 있다.

4.5.4 사다리꼴 정도 평가

Fig. 14의 (d)와 같은 방법으로 사다리꼴 정도 평가는 그 값이 1에 가까울수록 양질의 사각 요소이고 0에 가까울수록 사다리꼴 형상으로 접근한다. 여기서는 가능하면 0.8 이상의 값을 가질 수 있도록 하였다.

5. 예 제

5.1 다양한 형상에서의 요소망 생성

Fig. 15는 본 연구 결과를 가지고 다양한 형상을 대

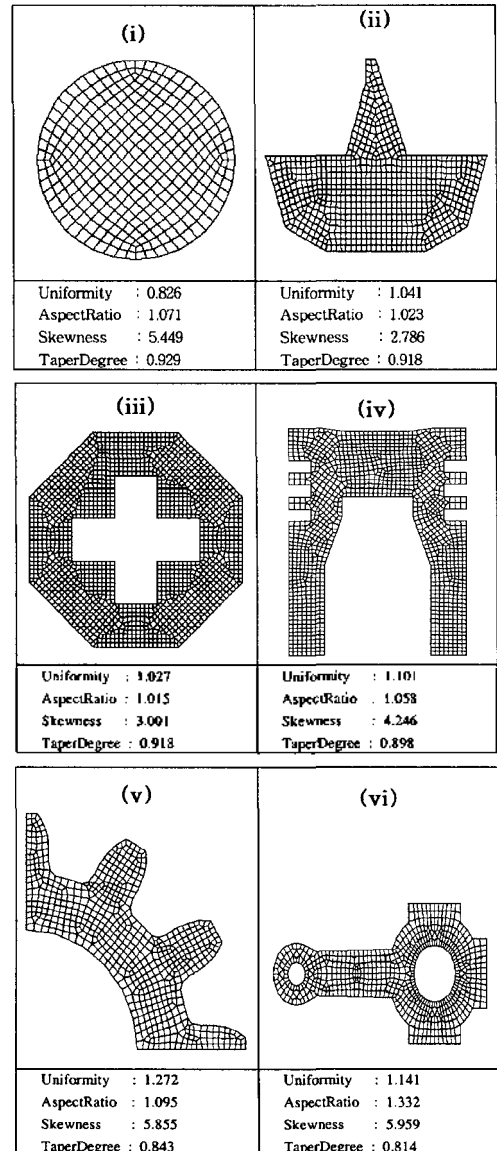


Fig. 15. Examples of Mesh generation in arbitrary domains.

상으로 요소망을 생성시킨 결과이다. 각 형상에 대한 요소망의 형질을 알아보기 위해 균일정도, 장단비, 비틀림 정도, 사다리꼴 정도 평가 방법에 의한 평균 형상비의 값을 계산한 결과, 각 형상에서 요소망의 형질은 비교적 적절한 값을 가지고 있을 뿐 만 아니라 (iv), (v), (vi)와 같은 복잡한 형상에서도 해석시 중요한 형상의 경계 부근에 정형화 된 요소가 많이 분포되었음을 알 수 있다.

5.2 ANSYS 요소망과 비교

Fig. 15의 (iv), (v), (vi)의 형상에 대해 상용 소프트웨어(ANSYS)를 이용하여 요소망을 생성하여 보았다(Fig. 16). 그림의 우측은 상용 소프트웨어인 ANSYS에서 자동으로 생성된 요소망으로서 정형화된 요소보다 그렇지 못한 요소가 많으며, 특히 원으로 표시된 부분에서는 형상의 경계임에도 불구하고 극히 비틀어짐이 심한 요소가 생성되어 해석에 오차를 일으킬 여지가 있음을 알 수 있다. 이에 반해 본 연구 방법에 의해서 생성된 좌측 요소망에서는 정형화 된 요소가 많으며, 경계에서는 비교적 정사각형에 가까운 요소가 생성되었다.

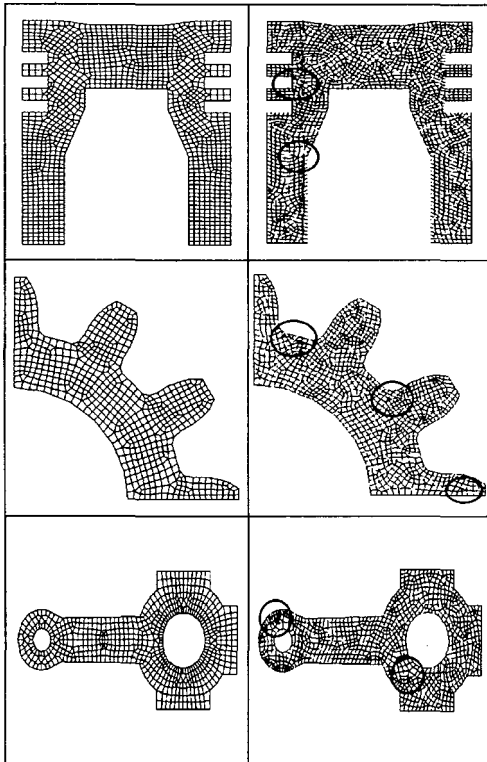


Fig. 16. Mesh comparison.

여기서, 생성된 각 요소망의 요소 형질에 대한 분석은 ANSYS에서 생성된 요소망의 형질 자료를 수치적으로 분석할 수 없어 부득이 그림 상으로만 비교하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 외부 경계 절점 오프셋 방법과 볼록 형상으로의 분할법을 바탕으로 전체적으로 정형화된 사각 요소 및 요소망을 구성할 수 있었다. 특히 기존의 Advance front technique에서 절점 투영을 통한 요소 생성 과정에서 발생하는 문제점을 외부 경계 절점 오프셋 방법을 적용하여 사각 요소의 절점 생성 과정을 체계화하였으며, 또한 경계선 상에서의 불균형적인 요소 생성을 방지할 수 있었다.

본 연구에서 제시한 알고리즘을 통하여 제작된 프로그램은 다양한 형상에 대해서 비교적 우수한 요소망을 생성함을 알 수 있었고 각 사각 요소의 형상비가 우수함을 보여주었다. 예를 통해서 알 수 있듯이 본 연구에서 개발된 요소망과 기존의 상용 소프트웨어(ANSYS)에서 생성된 요소망을 비교하였을 때 본 연구에서 개발된 요소망에서 상대적으로 정형화 된 요소와 균일한 요소망이 생성되는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. K. Ho-Le, "Finite Element Mesh Generation Method: A Review and Classification," *Comp. Aided Design*, Vol. 20, pp. 27-38, 1988.
2. Talbert, J. A. and Parkinson, A. R., "Development of an Automatic, Two-dimensional Finite Element Mesh Generator Using Quadrilateral Element and Bezier Curve Boundary Definition," *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol. 29, pp. 1551-1567, 1990.
3. Sezer, L. and Zeid, I., "Automatic Quadrilateral/triangular Free-form Mesh Generation for Planar Regions," *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol. 32, pp. 1441-1483, 1991.
4. Blacker, T. D. and Stephenson, M. B., "Paving: A New Approach to Automated Quadrilateral Mesh Generation," *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol. 32, pp. 811-847, 1991.
5. Zhu, J. Z., Zienkiewicz, O. C., Hinton, E. and Wu, J., "A New Approach to the Development of Automatic Quadrilateral Mesh Generation," *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol. 32, pp. 849-866, 1991.
6. Johnston, B. P. and Sullivan, J. M. Jr, "Fully Automatic Two Dimensional Mesh Generation Using Non-

mal Offsetting," *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol. 33, pp. 425-442, 1992.

7. 채수원, 신보성, 민중기, "사각형 유한요소망의 자동 생성," 대한 기계학회 논문집, 제17권, 제12호, 2995-3006, 1993.
8. Joe, B., "Quadrilateral Mesh Generation in Polygonal Regions," *Comp. Aided Design*, Vol. 27, pp. 209-222, 1995.

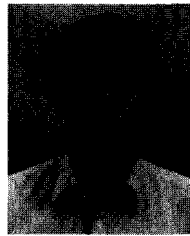
9. D. Nowotny, "Quadrilateral Mesh Generation Via Geometrically Optimized Domain Decomposition," *Proceedings, 6th International Meshing Roundtable*, pp. 309-320, 1997.

10. 박대용, 임용택, "격자 재구성을 위한 사각형 요소 자동 격자 생성기 개발," 대한 기계학회 논문집 A 권, 제22권, 제9호, pp. 1639-1653, 1998.



김도현

2000년 전북대학교 기계설계학과 학사
 2002년 한양대학교 기계설계학과 석사
 2003~현재 한국 GE 조음파 연구원
 관심분야:



양현익

1984년 한양대학교 기계공학과 학사
 1986년 Columbia University 기계공학과 석사
 1991년 Columbia University 기계공학과 박사
 1991년~1994년 현대전자 산업전자 연구소 책임연구원
 1995년~현재 한양대학교 기계정보경영공학부 부교수
 관심분야: mesh generation, CAD/CAM, nano engineering, energy transmutation