

폐곡면 셸 형상의 중립곡면 계산을 통한 유한요소 모델 생성 기법에 관한 연구

A study on finite element model generation techniques through the medial surface for closed shell-type shapes

우혁제

Hyuckje Woo (wooh@kinst.ac.kr)
경기공업대학 정밀기계과

Key words :Medial Surface, Medial Axis, FEM Mesh, Voronoi Diagram

1. 서론

중립곡면(Medial surface) 또는 중립축(Medial axis)은 3차원 또는 2차원 형상에 있어서 일종의 뼈대와 같은 형상에 대한 중심축을 의미하며 이를 위상학적 차원 감소를 통한 형상 분석의 도구로 응용할 수 있을 뿐만 아니라 형상 매칭, 해석용 메쉬 생성, 곡면 모델의 변형, 이미지 분석 등 여러 분야에 응용할 수 있어 지속적으로 많은 연구가 수행되어 왔다. 본 연구에서는 셸형상에 맞는 중립곡면 계산 알고리즘을 개발하고, 이를 유한요소 해석 메쉬생성의 기본 곡면으로 활용하는 예를 제시하고자 한다.

2. 중립곡면 추출 알고리즘

2.1 Voronoi 다이어그램 기반 문제점

중립곡면 추출을 위해 과거 많은 연구자들이 Voronoi 다이어그램을 활용하였는데 Voronoi 다이어그램은 모서리나 꼭지점 부분을 관통하는 에지나 면을 포함하고 있지 않기 때문에 완벽한 중립곡면을 추출하는 것에 한계가 따른다.^[1-3] 일반적인 솔리드 형상의 경우에는 모서리(edge)와 꼭지점(vertex)을 강제로 연결함으로써 비연결성 문제를 해결할 수 있게 되나 유한요소망 생성에서 중립면을 필요로 하는 셸 형상의 경우에는 비연결성 문제 외에도 또 다른 갈라짐 문제(branching problem)이 발생하게 되어 이의 해결이 필요하다.

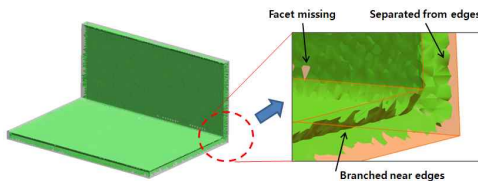


Fig. 1 Medial axis of shell shapes in 3D

2.2 알고리즘 Overview

CAE 해석 분야에 있어서 모델을 단순화시키는 경우가 종종 발생한다. 일반적으로 이러한 셸 형상의 경우 앞서 언급한 Voronoi 접근법에 의한 문제점을 해결하고 두께에 해당되는 사이드 면들을 관통하는 형태의 중립곡면을 계산하기 위해 아래 Fig. 2와 같은 절차를 수행하게 된다.

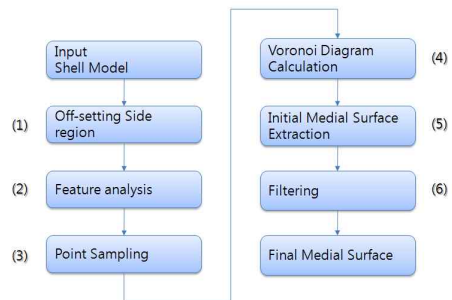


Fig. 2 Overall process of the proposed algorithm

2.3 셸 형상에 대한 중립곡면 추출

1) 초기 중립곡면 계산

초기 중립곡면을 추출하기 위해 기존 Dey 등이 제안한 각도 조건식(angle condition)과 비율 조건식(ratio condition)^[3]에 대상 솔리드 모델의 정보를 활용하고 점데이터 추출 방법을 달리하여 수정된 초기 중립곡면을 완성한다.(Fig. 3)

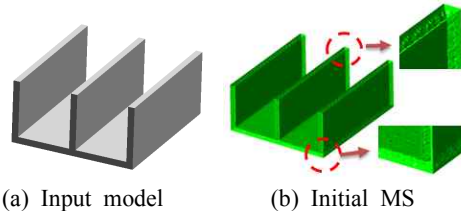


Fig. 3 Initial Medial Surface Calculation

2) 필터링을 통한 최종 중립곡면 완성

다음 단계로 셸 형상에 대한 최종 중립곡면을 얻기 위해서는 초기 모델의 내부에 해당되는 면들을 추출하고 볼록 모서리(convex edge)와 연결된 일부 면들을 제거함으로써 Fig. 4와 같은 전체 셸을 대표하는 중립곡면을 추출할 수 있게 된다.

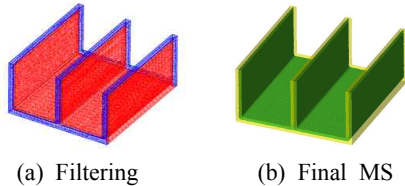


Fig. 4 Final MS calculation by the filtering

3. 중립곡면을 활용한 유한요소망 생성

3.1 알고리즘 Overview

셸 형상에 대한 중립곡면의 경우 그 형상을 단편적으로 가장 잘 표현하는 면이라 할 수 있으며 유한요소 모델링의 생성을 위해 활용될 수 있다. 본 연구에서는 앞서 얻어진 중립곡면을 통한 유한요소망을 생성하기 위해 Fig. 5와 같은 절차를 수행하였다.

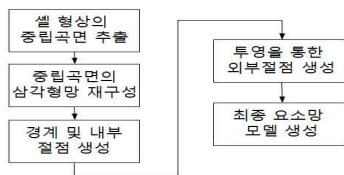


Fig. 5 Procedure of element generation using MS

3.2 중립곡면의 삼각형망 재구성

본 연구에서 개발한 중립곡면의 경우 해당 Voronoi 면들을 선택하여 생성한 형태이므로 여러 형태의 다각형으로 구성되게 된다. 따라서 이를 먼저 삼각형망 형태로 재구성하게 되고, 위상학적 검증을 통해 유효한 모델로 변경할 필요가 있으며 Fig. 6과 같은 단계로 메쉬형태를 재구성한다.

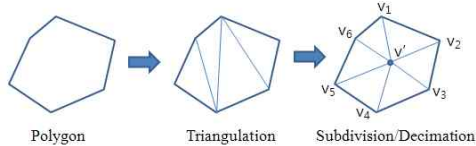


Fig. 6 MS reconstruction by triangles

3.3 내부절점 생성을 통한 유한요소망 생성

다음 단계로 품질이 향상된 중립곡면에 대해 유한요소 해석에 활용될 수 있는 메쉬를 생성하기 위해 중립곡면에 대해 경계선들을 추출하게 되는

데 이는 초기 입력모델과 중립곡면과의 교차되는 곡선에 해당되게 된다. 이후 경계선간의 각도를 기준으로 각각의 모서리 그룹으로 나뉘어지고 모서리상의 절점 및 내부 절점을 생성한 후 이를 기준으로 노말 방향으로 해당되는 면들에 투영함으로써 외부 절점을 생성하도록 하였으며 이들을 연결하여 최종 삼각형망 또는 사각형망 요소들을 구성하게 된다.(Fig. 7)

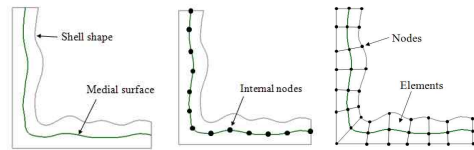


Fig. 7 Finite elements generation using MS

4. 적용예

본 절차들을 비대칭 두께를 갖는 간단한 셸 형상에 적용하여 Fig. 8과 같은 유한 요소망 결과를 얻을 수 있다. 최종 모델은 중립곡면을 반영한 두께 방향으로의 균일 요소망이라 할 수 있다.

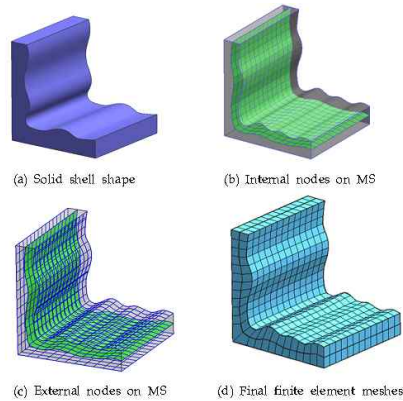


Fig. 8 Example of finite element model generation

참고문헌

1. Brandt, J. W. and Algazi, V. R. "Continuous skeleton computation by Voronoi diagram," Comput. Vision, Graphics, Image Process, pp. 329-338, 1992.
2. Amenta, N., Bern, M. and Eppstein, D., "The crust and the beta-skeleton: combinatorial curve reconstruction," Graphical Models and Image Processing, pp.125-135, 1998.
3. Dey, T. K, H. Woo and W. Zhao, "Approximate medial axis for CAD models," Solid Modeling and Applications, pp. 280-285, 2003
4. Quadros, W. "An approach for extracting non-manifold mid-surface of thin-wall solids using chordal axis transform", Engineering with computers, pp. 305-319, 2008.