

셸 메쉬 모델의 모서리 라운드 탐색 및 수정 기능

이 원경(국민대 대학원 기계설계학과), 이 상헌(국민대 기계-자동차공학부)

Development of Local Modification Functions for Edge Rounds on Shell Meshes

Won-Kyung Lee (Kookmin Univ), Sang Hun Lee (Kookmin Univ)

ABSTRACT

This paper describes a local modification capability on shell meshes, which can change a constant or variable radius of rounding for the sharp edges of the stamping die shoulder in the mesh. The algorithm consists of the following three main steps; (1) the rounding area for sharp edges of a die shoulder are detected from the given shell mesh, (2) a rolling-ball surface with a given constant or variable radius is generated, which is contacting with two incident face groups of the sharp edges, (3) the rounding area of the mesh is cut off, and a new mesh for the rolling-ball surface is generated and implanted into the gap. Owing to this rounding modification capability, CAE engineers can examine various cases based on the existing dies by scanning them to form polyhedral models and then changing radii of die shoulders for stamping process simulation.

Key Words: Shell Mesh (셸 메쉬), Rounding (라운드), Mesh Modification (메쉬 수정)

1. 서론

박판 성형 가공(sheet metal forming)은 자동차 및 기계 부품의 대량 생산에 널리 사용되는 공정으로서 이를 위한 금형을 제작하기 위하여 현재 대부분의 금형 업체에서는 CAD/CAM 시스템을 도입하여 사용하고 있으며, 또한 시험 성형 회수를 줄이기 위하여 CAE 시스템을 이용하여 성형 과정을 미리 컴퓨터 상에서 시뮬레이션하는 연구가 활발히 진행되고 있다^[1]. 이러한 CAD/CAE 시스템을 이용한 금형 설계 및 해석 작업과정을 가속화시키기 위하여 CAE 엔지니어가 CAD 시스템과 작업자의 도움을 받지 않고 해석에 필요한 메쉬 모델을 직접 수정하여 사용하는 방법이 개발되어 왔다.^[2,3] 즉, 다이 견부에 라운드를 주기 이전의 각진 형태의 메쉬 모델로부터 사용자가 지정하는 크기의 라운드 반경을 갖는 메쉬 모델을 자동으로 생성시키고, 해석 결과에 따라 사용자가 라운드 반경을 국부적으로 변경시킬 수 있는 기능을 개발한 것이다. 그럼으로써 기존의 CAD 시스템 상에서의 작업을 생략시켜 기존의 3단계 설계/해석 사이클을 메쉬 수정 및 해석의 2단계로 단축시킬 수 있었으며, 또한 CAD 장비나 CAD 전

문가의 도움없이 CAE 엔지니어가 독립적으로 해석 작업을 수행할 수 있게 되었다.

그러나 위와 같은 메쉬 라운드 기능은 다이 견부에 라운드를 하지않은 모델의 경우에만 적용될 수 있다는 한계를 가지고 있다. 즉, 만일 실제 금형을 3차원 측정하여 평면 다면체 모델을 구성한 후, 이로부터 다양한 라운드 반경에 대해 스탬핑 과정을 시뮬레이션하고자 하는 경우에는 위의 기능을 사용할 수 없다. 현실적으로 과거 금형에 대한 CAD 모델이 없는 경우가 많으며, 시뮬레이션의 정밀도를 높이기 위하여 과거의 금형 자료를 이용해야할 필요성이 있다. 따라서 만일 일반적인 다면체 모델로부터 라운드 특징형상을 추출하고, 그 반경을 자유로이 바꿀 수 있는 기능을 개발한다면, 과거의 금형 형상을 바탕으로 라운드를 변화시키면서 시뮬레이션을 손쉽게 수행할 수 있게될 것이다. 본 논문에서는 이와같이 이미 존재하는 라운드 부분을 메쉬상에서 직접 수정할 수 있는 기능을 개발하고자 한다.

2. 모서리 라운드 수정 알고리즘의 개요

본 논문에서 제안한 메쉬 라운드 수정 알고리즘은

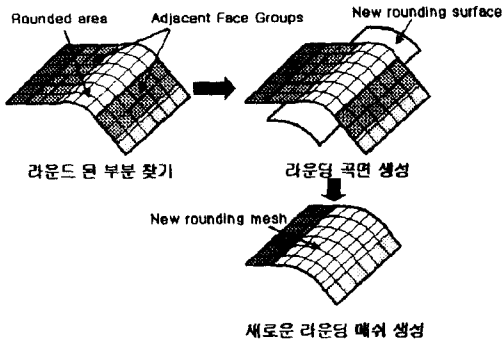


Fig. 1 Overall procedure for mesh round modification

다음과 같은 주요 3단계로 구성되어 있다.

- (Step 1) 메쉬의 모서리 라운딩 영역을 찾고, 이것들에 인접한 한 쌍의 면 그룹을 찾아낸다.
- (Step 2) 한 쌍의 인접면 그룹에 대하여 주어진 라운드 반경만큼 읍셋시킨 두 읍셋 메쉬들간의 교차 곡선을 구한 후, 이를 구 중심 궤적으로 한 새로운 라운딩 곡면을 생성시킨다.
- (Step 3) 라운딩 곡면상에 메쉬를 생성시키고, 이를 원래의 메쉬에 심어 넣는다.

위 3단계 과정가운데 Step 2와 3은 참고문헌 [3]의 내용과 동일하므로 본 논문에서는 Step 1에 대한 설명에 중점을 두고, 이하 Step 2와 3에 대해서는 그 결과만을 보여주도록 하겠다.

본 논문의 메쉬 라운딩 시스템의 개발 환경은 하드웨어는 Intel Pentium-II CPU와 128MB RAM을 장착한 IBM 호환 PC이며, 시스템 개발을 위한 소프트웨어로는 한글 Windows NT 4.0 운영 체제, TGS사의 OpenInventor 2.4 그래픽 라이브러리, Microsoft사의 Visual C++ 5.0 컴파일러, 그리고 NURBS (Non Uniform Rational B-Splines) 곡면과 곡선의 모델링이 가

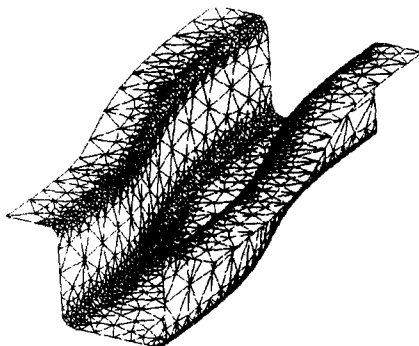


Fig. 2 A rounded s-rail mesh model

능한 SINTEF사의 SISL (Sintef Spline Library) V.4.1 라이브러리^[4]를 사용하였다.

한편, 앞으로 진행될 라운딩 과정의 설명에 있어서 이해를 돕기 위해 Fig. 2에 나타난 것과 같이 자동차의 필라 등의 부분에서 많이 볼 수 있는 에스레일 (s-rail) 형상을 예제 모델로 선정하여 그 중간 결과들을 보여주도록 하겠다. 본 논문에서는 이 에스레일 모델을 먼저 Pro/ENGINEER에서 모델링한 후, Pro/MESH에서 메쉬를 자동 생성하도록 하였다.

3. 모서리 라운딩 영역 찾기

이 단계에서는 사용자로부터 라운딩 영역 상의 한 노드 점을 입력받아 그로부터 전체 모서리 라운딩 영역을 찾는다. 이를 위해 먼저 메쉬 모델의 모든 노드 점에 대한 곡률 특성을 구한 후, 선택한 노드점과 같은 곡률 특성을 가지는 노드점 집합을 구분해 내어 영역화 한다. 메쉬 모델의 각 노드점에 대한 곡률을 구하기 위하여 본 논문에서는 주어진 노드점을 중심으로 인접해 있는 노드점들을 이용하여 최소 사승법에 의해 2차 곡면으로 근사 시키고, 이 2차 곡면으로부터 곡률 정보를 추출하여, 노드점의 특성을 부여하는 방법을 사용한다.

인접 노드점을 2차 곡면으로 근사 시키기 위해서는 최소한 6개 이상의 점이 필요하므로, 대상 노드 점과 그에 연결된 노드점들을 가까운 순서대로 6개 이상의 점을 선정한다. 이때, 인접 노드점이 6개 이하일 경우가 있는데, 이때에는 인접 노드 점에서 다시 인접한 노드점을 찾아내어 거리가 가까운 순서로 점 6개를 선택하여 이들을 2차 곡면으로 근사 시킨다.

2차 곡면으로 근사시키는 방법은 다음과 같다. 먼저 Fig. 3와 같이 인접 노드점들을 u, v, d 축을 가지는 지역 좌표계로 매핑하고, 인접한 각각의 점 (p_i)에 대해 지역 좌표계에서의 좌표 값 (u_i, v_i, d_i)을 구한다. 이때 지역 좌표계의 원점은 곡률을 알고자 하는

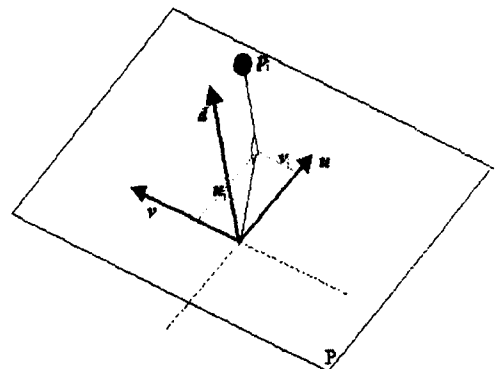


Fig. 3 Local coordinate system

노드점이 되며, d 축은 노드점에 인접한 평면의 법선 벡터의 평균, u 축은 1차 연결점중의 한 점을 d 축의 법 평면에 투영한 점을 기준으로 설정하였다.

근사 하려는 2차 곡면은 다음과 같은 다항식의 형태로 나타낼 수 있다.

$$f_T(u, v) = c_{2,1}u^2 + c_{1,0}uv + c_{2,0}v^2 + c_{1,0}u + c_{1,0}v + c_{0,0}$$

이 식을 풀기 위해 n 개의 점을 사용한다면 다음과 같은 행렬 형태로 쓸 수 있다.

$$\begin{pmatrix} u_1^2 & u_1v_1 & v_1^2 & u_1 & v_1 & 1 \\ u_2^2 & u_2v_2 & v_2^2 & u_2 & v_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_n^2 & u_nv_n & v_n^2 & u_n & v_n & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{2,0} \\ c_{1,1} \\ c_{0,2} \\ c_{1,0} \\ c_{0,1} \\ c_{0,0} \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} c_{2,0} \\ c_{1,1} \\ c_{0,2} \\ c_{1,0} \\ c_{0,1} \\ c_{0,0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix}$$

$$U^T U \begin{pmatrix} c_{2,0} \\ c_{1,1} \\ c_{0,2} \\ c_{1,0} \\ c_{0,1} \\ c_{0,0} \end{pmatrix} = U^T \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix}$$

이 식을 LU 분해법을 사용하여 $\{c_{2,0}, c_{1,1}, c_{0,2}, c_{1,0}, c_{0,1}, c_{0,0}\}$ 의 값을 구하면 주어진 점과 주변의 점들을 이용하여 2차 곡면을 구할 수 있다.

주 곡률은 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$k_{\max} = H + \sqrt{H^2 - K}$$

$$k_{\min} = H - \sqrt{H^2 - K}$$

또한, 위 식에 의해 가우스 곡률(K)과 평균곡률(H)을 계산하면 다음과 같이 된다.

$$K = \frac{f_{uu}f_{vv} - f_{uv}^2}{(1 + f_u^2 + f_v^2)^2}$$

원래의 2차 곡면식을 편미분하면 다음과 같이 된다.

$$f_u = 2c_{2,0}u + c_{1,1}v + c_{1,0}$$

$$f_v = c_{1,1}u + 2c_{0,2}v + c_{0,1}$$

$$f_{uu} = 2c_{2,0}$$

$$f_{vv} = 2c_{0,2}$$

$$f_{uv} = 2c_{1,1}$$

$$H = \frac{(1 + f_u^2)f_{vv} - 2f_u f_v f_{uv} + (1 + f_v^2)f_{uu}}{2(1 + f_u^2 + f_v^2)^{3/2}}$$

따라서 위 편미분 결과를 가우스 곡률(K)과 평균 곡률(H) 식에 대입하여 가우스 곡률과 평균곡률을 구한 후, 다시 주곡률 (k_{\max}, k_{\min})을 구하여 이를 사용하여 메쉬 모델의 영역 특성을 정의하도록 한다.

주 곡률을 이용하여 점을 구분하는 경우, 일반적으로 $\text{elliptic}(k_{\max} \times k_{\min} > 0)$, hyperbolic

$(k_{\max} \times k_{\min} < 0)$, $\text{parabolic}(k_{\max} \times k_{\min} = 0 \text{ and}$

$k_{\max} + k_{\min} \neq 0)$, $\text{planar}(k_{\max} = k_{\min} = 0)$ 등으로 나

누어 볼 수 있다. 이러한 분류방법에 따라 모든 점에 대한 노드점이 특성이 구해지면, 이중 사용자가 선택한 노드점과 같은 곡률 특성을 가지는 노드점 집합을 구분해 내어 영역화한다. 이렇게 구분된 노드 점들은 기존의 라운드 영역으로 판단되고, 이로부터 가까운 면 집합들을 구하여 두 그룹으로 구분하면 두 기준면 집합이 완성된다. S-rail 모델에 대하여 곡률해석을 한 그림을 Fig. 4에 나타내고, Fig. 5에는 두 그룹으로

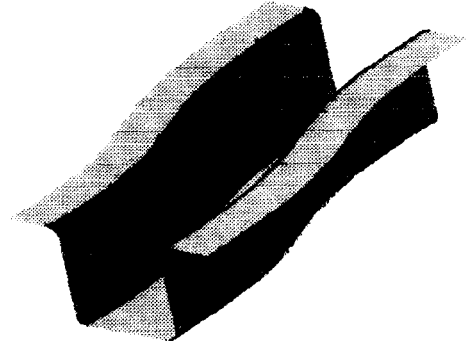


Fig. 4 Region classification according to curvature evaluation

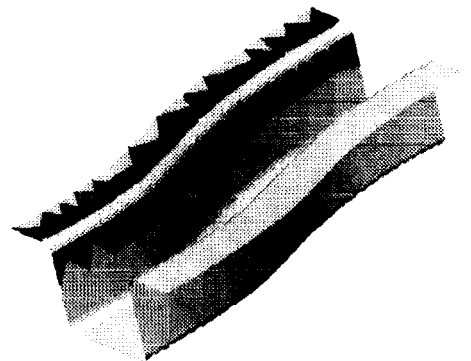


Fig. 5 Two face groups adjacent to an edge rounding area

구분된 라운딩 작업에 사용될 기준면 집합을 보인다.

Fig. 5에서 보는 것과 같이 2차 곡면으로 근사하여 곡률을 계산했기 때문에 기존 라운드 영역의 경계에서 어느 정도 오차를 가지고 있다. 하지만 이러한 오차는 국부적으로 존재하는 것이기 때문에 이 다음 과정에서 수행하게 되는 표본화 과정을 거치면, 라운딩 곡면을 제작할 수 있는 충분한 교차점들이 생성된다. 만약 표본화 시에 접촉점 사이의 간격이 너무 멀다면, 기준면 집합을 넓혀 다시 그룹화 한 후, 다음 과정을 수행한다.

4. 라운딩 곡면 및 메쉬의 생성

두 번째 단계에서는 앞에서 찾은 인접면 그룹들을 이용하여 새로운 라운딩 곡면을 생성시킨다. 이 과정에서는 자유곡면의 라운딩 과정^[5]에서와 마찬가지로 두 기준면 집합사이를 지나가는 구 제적 중심을 찾기 위해 두 그룹의 기준면 집합의 읍셋 시킨다. 두 그룹의 면들이 읍셋 되면, 읍셋된 두 면 그룹간에 교점을 구하고 샘플링한다. 다음, 각각의 교차점에 대해 이에 대응하는 기준면 집합 상의 구의 접촉점을 찾아내어 단면 원호곡선을 만들고, 이를 이용하여 라운드 곡면을 생성시킨다.

라운드 곡면이 완성되면 그를 바탕으로 메쉬를 만든다. 즉, 곡면 내부에 먼저 메쉬를 만든 후, 라운드 곡면의 경계부위에서 기존 메쉬와 연결되는 면들을 제작하여 라운딩 변경 작업을 마치게 된다. S-rail에 대해 동일 반경 라운딩을 적용한 예를 Fig. 6에, 가변 반경 라운딩을 적용한 예를 Fig. 7에 보인다.

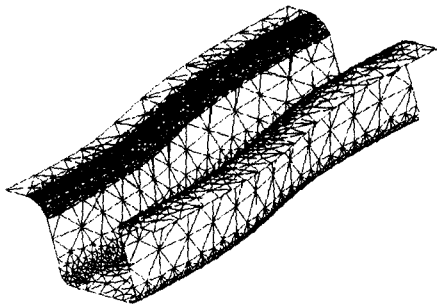


Fig. 6 Constant radius rounding result

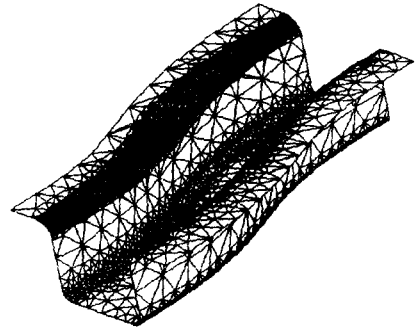


Fig. 7 Variable radius rounding result

5. 결 론

본 논문에서는 이와같이 이미 존재하는 라운딩 부분을 메쉬상에서 직접 수정할 수 있는 기능을 개발하였다. 이를 이용함으로써 CAD 모델이 없는 실제 금형을 3차원 측정하여 평면 다면체 모델을 구성한 후, 이로부터 다양한 라운딩 반경에 대해 스탬핑 과정을 시뮬레이션할 수 있게 되었다.

현재 이 기능은 기존의 반경을 더 크게하는 경우에 대해서만 지원되며, 반경을 줄이는 경우에 대해서는 고려되지 않았으므로 이에 대한 추후 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 이종문, 김종원, "자동차 패널 성형 공정의 3차원 유한요소 해석에 관한 연구", 한국소성가공학회지, 제6권 제2호, pp. 152-153, 1997
2. 이원경, 이상현, "스탬핑 금형 설계 및 해석을 위한 유한 요소 라운딩 기능 개발", '98 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp.1151-1157, 1998
3. 이원경, 이상현, "유한요소모델의 모서리 라운딩 기능 개발", '99 한국 정밀 공학회 춘계학술대회논문집(II), pp.523-527, 1999
4. SINTEF, *SISL Reference Manual*, SINTEF, 1998
5. Choi, B.K., *Surface Modeling for CAD/CAM*, Elsevier Science Publish, 1991