점진 전개기법 및 유한요소 역해석법을 이용한 자동차 판넬 트리밍 라인 설계

송윤준[1]· 정완진[2]· 박춘달[3]

Trimming Line Design using Progressive Development Method and One Step FEM

Y.J. Song[1], W. J. Chung[2], C. D. Park[3]

Abstract

Traditional section-based method develops blank along section planes and find trimming line by generating loop of end points. This method suffers from inaccurate results for regions with out-of-section motion. In this study, new fast method to find feasible trimming line is proposed. One step FEM is used to analyze the flanging and incremental development method is proposed to handle bad-shaped mesh and undercut part. Also in order to remedy mesh distortion during development, energy minimization technique is utilized. The proposed method is verified by shrink/stretch flange forming and successfully applied to the complex industrial applications such as door outer flanging process.

Key Words : Autobody panel, Trimming Line, Multi-stage operation, Initial guess, One Step FEM, Mapping

1. 서 론

자동차용 판넬 제작 공정 중에서 트리밍 공정은 최종 판넬의 외곽 치수 정확도를 좌우하는 중요한 공정이다. 지금까지 주로 완성 제품의 플랜지 끝 단을 여러 단면에서 전개(development)하여 얻은 트리밍 라인을 이용해서 설계작업이 수행되어 왔다. 플랜지 단면의 전개 시 소재의 변형을 고려하지 않고 단순한 길이 전개를 하기 때문에 실제 판넬과 설계에서 요구하는 제품형상과는 차이가 생긴다. 이러한 차이는 금형 제작 과정에서 시행착오적 방법을 통하여 수정되어 완성된다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 최근에 유한요소 역해석을 이용한 방법들이 시도되고 있다. 역해석을 적용하기 위하여 플랜지 라인의 점진적 전개에 의한 초기 가정해를 효율적으로 구하는 방법에 대한 연구가 수행되었다[1][2]. 또한 역 모자이크 방법(inverse mosaic method)을 사용한 전개 방법에 대한 연구도 수행되어 보고되었다[3].

본 연구에서는 유한요소 역해석법을 통해 최종 제품형상에 대한 초기 형상(initial configuration)을 구하여 드로잉 금형 표면에 나타내게 된다. 완성 제품의 형상이 복잡하여 메쉬 품질이 떨어지고 언더컷 부위가 존재하는 등의 문제해결을 위해 새로운 초기 가정해 생성방법을 개발하였다. 방법의 타당성 검증을 위해 압축 플랜지에 대한 유한요소 역해석을 수행하였으며, 기존의 단면 전개 방법과 제안한 방법의 비교를 위해 실제 양산용 금형인 도어 아웃터(door outer) 핸들부 플랜징의 경우에 대해 적용하여 보았다.

2. 점진 전개 기법을 사용한 one step FEM

Fig. 1에 트리밍 라인을 수치해석적으로 계산을 하기 위한 전체 프로세스를 나타내었다.

1. 건국대학교 기계설계학과
2. 서울산업대학교 금형설계학과 교수
2. 부산대학교 정밀기계공학과

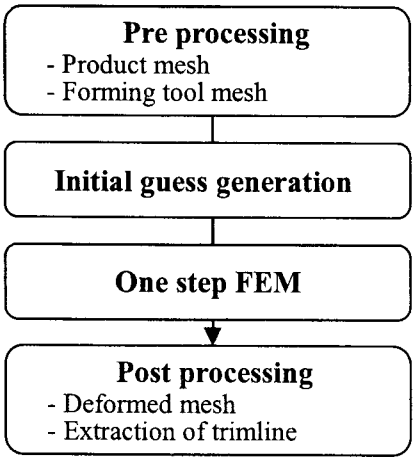
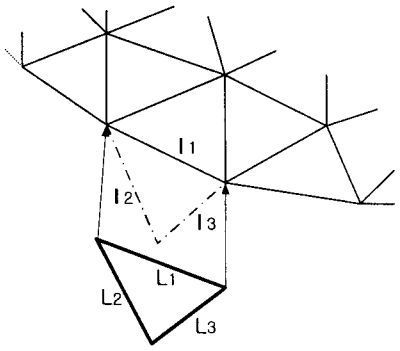


Fig. 1 Flow chart for design of trimming line

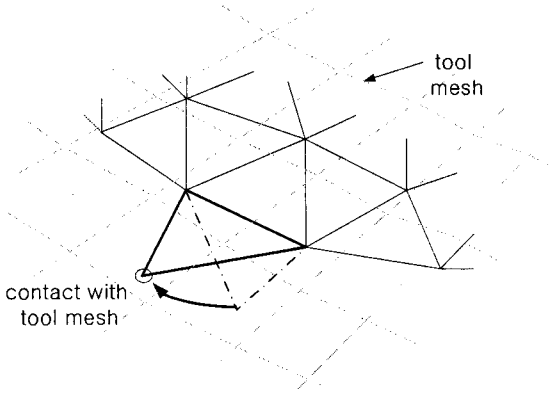
유한요소 역해석을 하기 위해서는 요소 형상이 왜곡되지 않은 초기 형상이 제공되어야 한다. 최근 컴퓨터 그래픽 연구에서 삼각형 폴리곤 형상에 대해 2차원 구조를 3차원으로 맵핑하는 연구가 활발히 수행되었다[4,5]. 이 방법은 약간의 수정을 거쳐 임의의 3차원 면상에서의 초기 형상결정 방법으로 사용될 수 있다. 최종 제품 형상의 맵핑되어야 할 면이 파라메트릭 함수로 정의된다고 가정하면

$$\phi : U \rightarrow E \qquad (1)$$

여기서 U 는 3차원의 최종 제품 형상 메쉬 데이터이고 E 는 3차원의 드로잉 금형 표면을 나타내는 메쉬 데이터이다. U 상의 각 포인트 (u,v) 는 함수 ϕ 즉, $\phi(u,v)$ 에 의해 E 상으로 맵핑된다. 여기서 변수 u 와 v 는 각각 최종 제품 형상을 표현하는 기하학적 정보이다.



(a)



(b)

Fig. 2 Procedure of rotational projection: (a) move and attach nodes to pre-developed edge, (b) rotate the third node onto the drawing tool mesh surface

3 차원 접촉 문제와 언더컷 형상에 대한 메쉬 전개 문제를 해결하기 위한 회전접촉 처리방법 (rotational contact method)을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)에서 요소의 모서리가 이미 전개된 요소와 모서리를 공유하도록 연결하고 나머지 점은 Fig. 2(b)와 같이 드로잉 금형 형상 요소면과 접촉이 이루어질 때까지 회전하게 된다. 전체 플랜지 면의 메쉬의 전개는 Fig. 3과 같은 과정을 거쳐 연속적 층의 전개를 통해 완료된다.

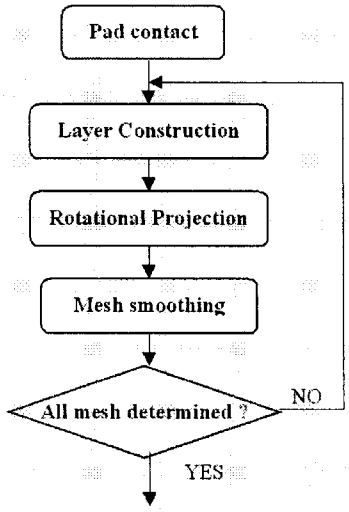


Fig. 3 Procedure of initial guess generation

이 과정에서 층의 전개가 이루어지는 방향은 메쉬마다 불규칙적이어서 경우에 따라 메쉬가 뒤집히기도 해서 더 이상 전개할 수가 없게 된다. 이러한 기하학적으로 전개된 메쉬에 대한 왜곡 현상을 해결하기 위해 아래와 같은 에너지 범함수를 도입했다.

$$\Pi = \sum_{k=1,m} \Pi_k \qquad (2\text{-a})$$

$$\Pi_e = \alpha\Pi_l + (1-\alpha)\Pi_A \qquad (2\text{-b})$$

여기서

$$\Pi_l = \sum_{i=1}^{3}\left(\frac{l_i - L_i}{L_i}\right)^2 \qquad \Pi_A = \left(\frac{A - A_0}{A_0}\right)^2 \qquad (2\text{-c})$$

여기서 Π_e는 삼각형 요소당 에너지를 나타낸다. 식 (2-c)에서 Π_l는 최종형상 메쉬에 대한 길이 단위의 에너지이다. 여러가지 다양한 메쉬 크기가 존재하는 모델에서도 계산이 원활할 수 있도록 무차원화(Normalization)가 적용되었다. 무차원화를 적용하지 않으면 요소 크기가 불규칙할 경우 계산 결과를 신뢰할 수 없게 된다. 식 (2-a)가 비선형 방정식이므로 Π의 최소에너지를 계산하기 위해, 뉴턴-랩슨반복(Newton-raphson iteration) 방법이 사용되었다. 메쉬는 층을 따라 점진적으로 전개되기 때문에 언더컷 부위의 전개시에도 별다른 제한을 받지 않는다.

3. 제안된 방법의 검증

3.1 압축 플랜징 유한요소 역해석

상용 성형해석 프로그램을 사용하여 성형해석한 후 이를 제시한 알고리즘을 사용한 프로그램의 결과와 비교하였다. 형상을 Fig. 4에 나타내었다. 최종 플랜지 높이는 10mm이며, 다이와 펀치의 어깨반경은 1mm 이다. 소재는 SPCC를 사용하였다. Fig. 5(a)는 Fig. 4에서 제시한 굽힘선부터 플랜지 끝 단까지 10mm의 d 구간에서 플랜지 절점 이동량을 나타낸다. y축 방향은 목표로 하는 원래의 요소위치에 대해 0.05mm정도로 큰 차이 없이 해석되었다. 그러나 x축 방향으로는 단면 A와 B구간은 목표로 하는 형상보다 작게 계산되었다.

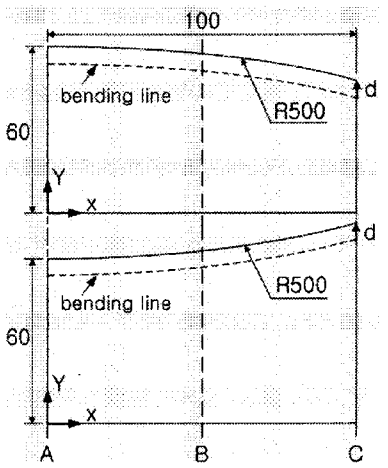
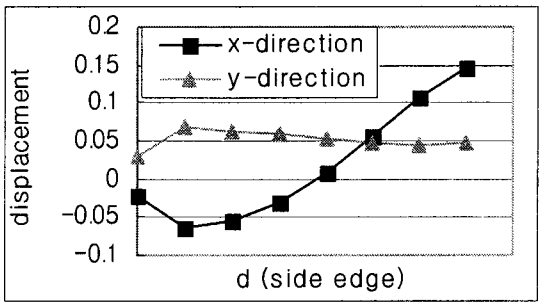
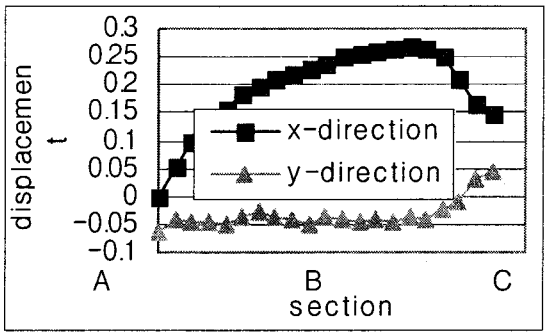


Fig. 4 Blanks dimension & coordinates (unit: mm)



(a) Side edge (in section C)



(b) Flange edge

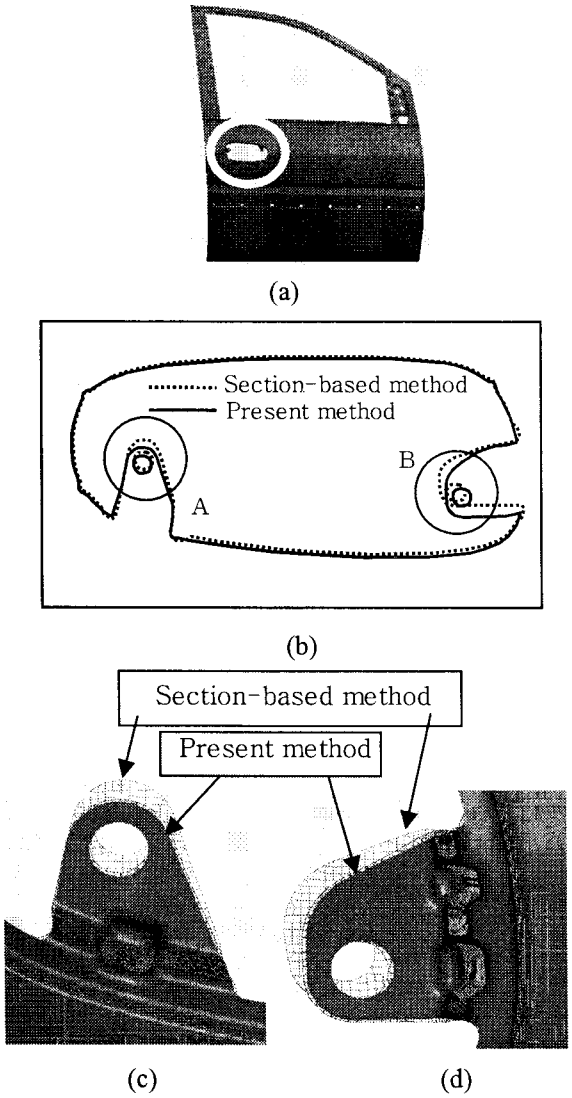
Fig. 5 Error on shrink flange (flange height : 10mm)

Fig. 5(b)는 플랜지 끝단 반경을 따른 요소 절점의 이동량을 나타낸다. 플랜지 끝 단 반경 절점의 x방향 오차를 살펴보면 단면 A의 대칭 중심선 절점에서는 초기소재 위치와 차이가 전혀 없었으나 단면 C방향으로 갈수록 소재 절점의 위치 차이가 더 크게 나타났다. 그러나 전체적으로 원소재와의 위치 차이는 0.25mm 이내로 나타나 소재 폭에 비해 그 정도가 크지 않다고 판단할 수 있다.

3.2 도어 아웃터 핸들부 플랜징 성형

Fig. 6(a)에 나타낸 도어 아우터 핸들부의 플랜지에는 핸들뭉치를 조립하기 위한 두 개의 브라켓이 있으며, 브라켓의 성형시 변형이 발생하므로 트리밍 라인을 설계하기 어려운 부분이다.

Fig. 6(b)에서 핸들부의 플랜징 형상과 기존의 단면 전개 방식으로 설계하여 증분 해석 방법(Incremental FEM)으로 해석한 결과와 제안한 유한요소 역해석에 의해 예측된 트리밍 라인을 비교하였다. Fig. 6(c)와 Fig. 6(d)에서 비교된 핸들부의 해석 결과를 비교하였다. A와 B부분 모두에서 제안한 유한요소 역해석 방법이 목적하는 플랜지 형상과 구멍의 위치가 기존의 단면전개 방식을 이용한 해석 결과보다 더 정확히 일치하는 것으로 나타났다.



(a) (b) (c) (d)

Fig. 6 Comparison between simulation-based method and section-based method: (a) view of flanging of handle part of door outer, (b) trimming line by two methods, (c) comparison of part-(A) after flanging, (c) comparison of part-(B) after flanging (shaded image is the target shape.)

4. 결 론

트리밍 공정의 트리밍 라인 설계를 위한 새로운 방법을 제안하였다. 최종 제품의 요소가 새로운 전개 방법에 의해 드로잉 금형 형상면 위에 전개되고, 전개된 초기 형상(initial guess shape)을 이용하여 유한요소 역해석을 수행하여 최종 트리밍 라인을 구하였다. 제안한 새로운 전개 방법은 최종 제품의 메쉬 품질이 좋지 않거나 언더컷이 존재하더라도 효율적인 전개를 가능하게 한다.

제안한 방법은 해석에 필요한 모델의 간략성, 해석의 신속성 등의 측면에 장점을 갖게 되어 양산용 금형 제작 공정에서 효율적으로 사용이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] W. J. Chung, H. B. Shim, C. D. Park, S. W. Oh, 2004, Optimal trimming line design for flanging using one step FEM, the 55th Japanese Joint Conference for the Technology of Plasticity, pp.187~188

[2] W. J. Chung, C. D. Park, D. Y. Yang, 2005, Trimming Line Design using New Development Method and One Step FEM, Proceedings of NUMISHEET 2005, pp. 837-842.

[3] H. B. Shim, 2006, Geometrical mapping for triangular element. Part 2: trimming-line design for flanging operation, Proc. IMechE Vol. 220 Part B:J. Engineering Manufacture, accepted for publication

[4] C. Bennis, J. M. Vezien, G. Iglesias, 1991, *Comput. Graphics* 25, pp.237-246.

[5] J. Malliot, H. Yahia, A. Verroust, 1994, *Comput. Graphics* 27, pp.27-34.