

유한요소 역해석을 이용한 복잡한 자동차 판넬의 트리밍 라인 설계

송윤준¹, 한영호², 박춘달³, 정완진[#]

Trimming Line Design of Auto-body Panel with Complex Shape Using Finite Element Inverse Method

Y. J. Song, Y. H. Hahn, C. D. Park, W. J. Chung

(Received July 21, 2006)

Abstract

Trimming line design plays an important role in obtaining accurate edge profile after flanging. Compared to the traditional section-based method, simulation-based method can produce more accurate trimming line by considering deformation mechanics. Recently, the use of a finite element inverse method is proposed to obtain optimal trimming line. By analyzing flanging inversely from the final mesh after flanging, trimming line can be obtained from initial mesh on the drawing die surface. Initial guess generation for finite element inverse method is obtained by developing the final mesh onto drawing tool mesh. Incremental development method is adopted to handle irregular mesh with various size and undercut. In this study, improved incremental development algorithm to handle complex shape is suggested. When developing the final mesh layer by layer, the algorithm which can define the development sequence and the position of developing nodes is thoroughly described. Flanging of front fender is analyzed to demonstrate the effectiveness of the present method. By using section-based trimming line and simulation-based trimming line, incremental finite element simulations are carried out. In comparison with experiment, it is clearly shown that the present method yields more accurate edge profile than section-based method.

Key Words : Automobile Body Panel, Flanging, Trimming Line, Incremental Development Method, Finite Element Inverse Method

1. 서 론

자동차용 판넬 제작 공정은 블랭킹(blanking), 드로잉(drawing), 트리밍(trimming), 플랜징(flanging), 헤밍(hemming) 공정으로 이루어진다. 특히 트리밍 공정은 최종 판넬의 외곽 치수 정확도를 좌우하는 중요한 공정으로 완성 제품의 플랜지 끝 단을 전개(development)하여 얻은 트리밍 라인을 이용해

금형을 제작한다. 현재 많이 활용되고 있는 단면 전개방법(section-based method)은 플랜지 끝단을 전개할 때 플랜지 성형에 의한 변형(deformation)을 고려하지 않고 단순한 길이 전개를 통해 트리밍 라인을 결정하기 때문에 실제 최종 판넬과 설계에서 요구하는 제품형상 치수와 차이가 생긴다. 이러한 차이는 자동화된 자동차 조립 공정에서 용접 위치의 이탈, 상대 파트와의 접합 불량 등의

1. 건국대학교 기계설계학과 대학원
2. 건국대학교 기계항공공학부
3. 부산대학교 정밀기계공학과 대학원
교신저자 : 서울산업대학교 금형설계학과, wjchung@snut.ac.kr

문제를 가져오기 때문에 금형제작 과정에서 시행착오적 방법을 통해 수정되어 완성된다.

최근에 이러한 문제점을 개선하기 위해서 해석적 방법에 의한 연구가 활발하게 시도되고 있다. 먼저 증분유한요소법(incremental finite element method)에 의한 방법은 최초의 트리밍 라인을 가정한 후 플랜징 공정을 해석하여 플랜징 라인을 구한다. 이렇게 하여 구한 플랜징 라인과 완성 제품 형상의 오차가 일정 범위 내로 줄어들 때까지 반복 계산을 수행한다[1]. 반복 계산에 의해 트리밍 라인을 결정하는 방법은 플랜징 공정에서 성형 과정에 따른 변형 양상을 정확도 높게 고려하기 때문에 매우 정확한 결과를 얻을 수 있다. 하지만 플랜징 공정의 해석을 수행하기 위해서는 금형 형상 및 성형 조건이 필요하므로 금형 설계 초기 단계에 적용하기에는 어려운 단점이 있다.

최근의 동시공학적 접근에서는 여러 공정의 금형개발이 거의 동시에 착수되므로 금형설계에 효과적으로 반영되기 위해서는 트리밍 라인이 금형 설계 초기 단계에서 결정되어야 한다. 정완진 등[2~3]에 의해 개발된 유한요소역해석(finite element inverse method)에 의한 방법은 해석의 정확도를 상당한 수준으로 유지하면서 신속하게 트리밍 라인을 구해낼 수 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 정완진 등[4]은 유한요소 역해석에 필요한 초기 가정을 점진적 전개방법(incremental development method)으로 구하는 방법을 제안하였고 인장 및 압축 플랜지 성형 및 도어 손잡이 부위 플랜징 공정을 해석하여 그 유효성을 검증한 바 있다. 한편 트리밍 라인을 역 모자이크 방법(inverse mosaic method)을 사용한 전개 방법으로 구하는 연구가 심현보[5]에 의해 수행된 바 있다. 그러나 이러한 전개방법들은 실제 복잡한 자동차 판넬의 트리밍 라인 설계에 적용하기에는 많은 제약점을 가지고 있어 향상된 전개 알고리즘이 필요한 실정이었다.

본 연구에서는 복잡한 자동차 판넬의 트리밍라인 설계에 적용하기 위하여 점진적 전개 알고리즘을 개선하여 이를 초기가정 생성에 적용하였다. 개선된 전개 알고리즘은 플랜징 후의 최종형상에서 생성된 복잡한 메쉬에 대응할 수 있도록 체계적인 전개순서 및 위치결정 방식을 포함하고 있다. 또한 메쉬의 심한 찌그러짐 및 꼬임에 대응할 수 있도록 에너지 최소화법을 효과적으로 활용하였다. 이러한 알고리즘을 이용하여 초기가정을 생성한 후 유한요소 역해석을 적용하여 트리밍 라

인을 구하도록 하였다. 실제 적용 예로 프론트 펜더 공정에 대하여 기존의 단면전개 방식과 제안한 방법의 해석결과를 비교하였다.

2. 유한요소 역해석에 의한 트리밍 라인 설계

2.1 트리밍 라인 설계 과정

Fig. 1에 트리밍 라인을 유한요소 역해석을 이용하여 구하기 위한 전체 과정을 나타내었다.

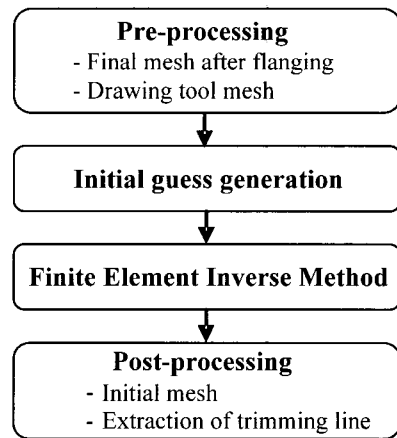


Fig. 1 Flow chart for design of trimming line

사용의 편의성을 위해 전체 시뮬레이션 과정에서 삼각 메쉬(triangular mesh)를 사용하였다. 플랜징 공정후 제품의 형상은 완성품 CAD 데이터에서 쉽게 구해지는데 이로부터 최종 메쉬(final mesh)를 생성한다. 또한 드로잉 공정에서의 드로잉 금형 메쉬(drawing tool mesh)도 같이 생성한다. 입력 데이터로부터 프로그램은 점진적 전개 방법을 통하여 드로잉 금형 메쉬 위에 최종 제품의 메쉬 데이터를 전개한다.

전개된 메쉬는 초기 가정(initial guess shape)으로 사용된다. 그리고 유한요소 역해석에 의하여 역학적 계산이 고려되어 초기형상의 정확도가 더욱 향상된다. 그리고 후처리(post processing) 작업을 통하여 초기 형상 메쉬의 외곽 자유 경계가 트리밍 라인으로 추출된다. 이러한 과정을 수행하기 위한 입력 데이터로는 플랜징 후 제품 형상에 대한 메쉬와 드로잉 금형에 대한 메쉬만을 필요로 하기 때문에 금형 설계 초기 단계에서도 용이하고 신속하게 트리밍 라인을 구할 수 있다.

2.2 유한요소 역해석

유한요소 역해석은 최종 형상이 주어진 경우 최초형상을 신속하게 예측할 수 있기 때문에 주로 금형 설계의 초기 단계에서 성형성의 평가를 위해 사용되고 있다[6]. 이 방법은 변형 경로를 가정하여 계산하기 때문에 복잡한 변형 경로를 가지는 성형 공정에서는 예측 정확도가 저하되는 단점이 있다.

그러나 대부분의 플랜징 공정이 단순한 변형 경로에 의해 성형되는 점을 고려한다면 유한요소 역해석을 이용하여 상당한 수준의 정확도의 플랜징 공정 해석이 가능하다. 물론 해석에 있어 복잡한 변형 경로에 대한 해석 및 마찰 영향의 정확한 고려 등의 문제로 인해 수치해석상의 오차가 발생할 수도 있다. 그러나 기존의 증분 유한요소해석과 비교하여 매우 신속하며, 특히 플랜징 공정에 있어서는 계산의 신속성과 단순성에서 큰 장점을 가진다. 유한요소 역해석은 초기 연구에서 주로 평판 형태의 초기 블랭크 형상 예측에 많이 적용되었는데, 이충호 등[7]은 3차원 공간상의 임의의 면 위에서 초기 형상 예측에 적용하기도 하였다. 최근에는 김승호 등[8-9]에 의해 세장비가 큰 컵형상 성형 공정 해석에 유한요소 역해석을 적용하여 성공적인 결과를 보인바 있다.

본 연구에서 전개된 메쉬의 각 절점은 Fig. 2와 같이 접촉하고 있는 3차원 금형 면에 접한 면 위에서 변형이 허용되도록 변위를 제한하는 방법으로 반복 계산하여 드로우 금형 메쉬 상에서 초기 형상이 결정된다. 복잡한 경계조건 처리를 위해서 삼각형 메쉬 표면에 적용할 수 있는 접촉탐색 방법을 적용하였다.

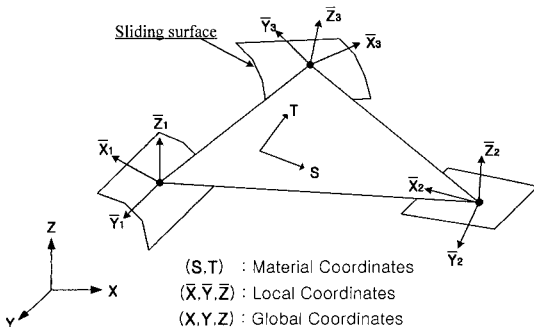


Fig. 2 Imposition of contact boundary condition

2.3 초기가정 (initial guess) 생성

유한요소 역해석을 하기 위해서는 미리 정확하고 요소 형상이 왜곡되지 않은 초기가정이 제공되어야 한다. 플랜징 후의 3차원 형상을 3차원의 임의의 형상을 가지는 드로우 공정 금형 표면 위로 전개하는 것은 매우 복잡한 문제이다. 정완진 등[3~4]에 의해 개발된 점진적 전개방법은 이러한 경우에 매우 효과적인 방법이다. 그러나 플랜지의 일반적인 특성상 플랜지 부위에 생성된 메쉬는 형상특성이 나쁘고 크기차이가 많이 나는 요소를 포함하고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 개선된 알고리즘은 체계적인 전개순서 및 위치결정 방식을 포함하고 있다. 또한 메쉬의 심한 찌그러짐 및 꼬임에 대응할 수 있도록 에너지 최소화법을 효과적으로 활용하도록 하였다. 따라서 보다 안정적으로 초기 형상을 생성할 수 있다.

전개작업에 앞서 최종 제품 메쉬와 드로잉 금형 메쉬가 일정 오차 내에서 일치되는 부분을 선택하여 패드 영역으로 정의한다. 이 부분은 플랜징 과정에서 변형을 받지 않으므로 전개 대상에서 제외하고 패드 영역의 외곽 경계에서부터 전개를 시작하는 것이 경제적이고 전개과정을 용이하게 한다.

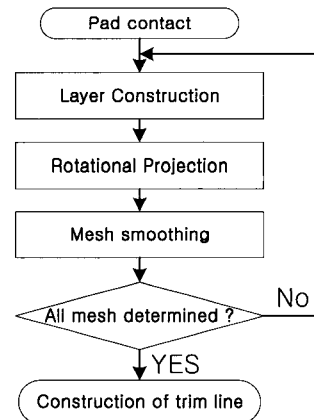


Fig. 3 Procedure of initial guess generation

점진적 전개 방법에서 최종 제품의 모든 형상 요소는 드로잉 금형 메쉬면에 순차적으로 전개되어야 한다. 요소들의 전개순서를 결정하는 것은 여러 가지 방법이 있을 수 있으나 본 연구에서는 전개순서를 결정하기 위해서 종전의 연구[3,4]와 같이 층(layer)의 개념을 사용하여 Fig. 3와 같은 방법으로 전개한다. 층은 이미 전개된 요소의

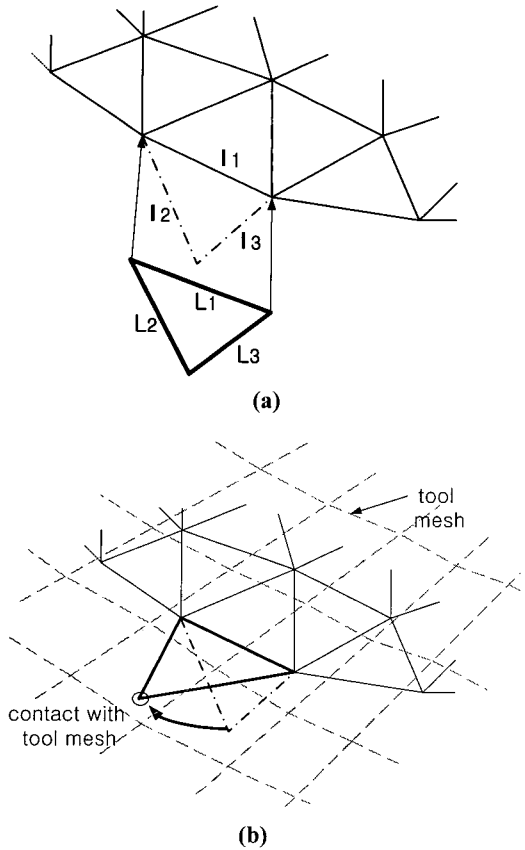


Fig. 4 Procedure of rotational projection: (a) move and attach nodes to pre-developed edge, (b) rotate the third node onto the drawing tool mesh surface

절점을 포함하고 있는 전개되지 않은 요소들의 그룹으로 매번 정의되며 한 층의 전개가 끝나면 다시 정의하여 재차 전개를 반복하여 최종적으로 전체 메쉬가 전개될 때까지 작업을 수행하여 전개를 완성한다.

각 요소는 3차원 접촉 문제와 언더컷 문제를 해결하기 위해 도입한 회전접촉방법에 의하여 전개가 된다. 삼각형 요소의 모서리 L_1 은 Fig. 4(a)의 과정을 거쳐 금형의 표면으로 이동되어 Fig. 4(b)의 기준에 전개된 삼각형 요소 모서리 l_1 과 일치하도록 변형된다. 다음에 나머지 한 절점은 이 모서리 l_1 를 회전축으로 하여 드로잉 금형 메쉬면과 접촉이 이루어질 때까지 회전하게 된다. 이렇게 하여 금형 표면과 만나는 점에서 나머지 절점의 위치가 결정된다.

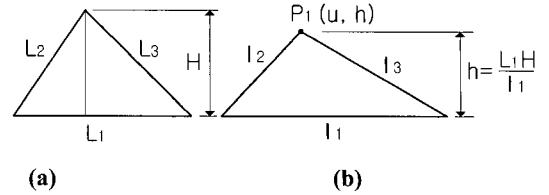


Fig. 5 Determination of element shape by energy minimization : (a) final triangular element, (b) optimized initial triangular element

일반적으로 전개되면서 요소들이 변형하게 되기 때문에 L_1 과 l_1 은 일치하지 않게 된다. 따라서 모서리를 일치시키는 과정에서 삼각형이 변형하여야 한다.

Fig. 5는 최종 제품 형상의 전개되기 전 삼각형 요소와 최소에너지를 갖는 형상으로 변형된 삼각형 요소를 나타낸다. 본 연구에서는 각 변의 길이의 무차원화된 양을 최소화하는 식 (1)에 의하여 변형된 삼각형의 형상을 결정하는 방법을 사용하였다. Fig. 5(b)에서 절점 P_1 의 두 방향의 위치를 결정하면 변형된 삼각형의 형상이 결정된다. 면적 일정의 조건을 적용하면 y방향의 위치, 즉 높이는 식 (1-b)에 의하여 간단히 결정된다. x방향의 위치, u 를 결정하기 위해서 식 (1-a)를 다음과 같이 표현할 수 있다. 이 식은 비선형이므로 식 (1-c)과 같이 선형화한 후 반복계산에 의하여 u 의 값을 결정한다.

$$\Pi_l = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{l_i - L_i}{L_i} \right)^2 \quad (1-a)$$

$$h = \frac{L_1 H}{l_1} \quad (1-b)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial u} \Delta u = - \frac{\partial \Pi}{\partial u} \quad (1-c)$$

층에는 여러 요소가 속해 있으므로 층의 전개가 완료되기 위해서는 층 내에서의 효과적인 전개 순서 및 방법에 대한 알고리즘이 필요하다.

본 연구에서는 다음과 같은 알고리즘을 제시하고자 한다. 현재까지 전개된 메쉬로부터 외곽경계 절점들로 이루어진 전개선단(development front)를 정의한다. 그리고 전개선단의 절점을 포함하는 아

직 전개되지 않은 요소들로 전개층을 결정한다. 전개층에 소속된 요소는 Fig. 6과 같이 절점 2개가 전개선단에 소속된 경우(A형)와 절점 1개가 전개선단에 소속된 경우(B형)로 나눌 수 있다. 또한 양 쪽에 다른 형의 요소를 가지고 있는 경우와 그렇지 않은 경우로 나눌 수 있다.

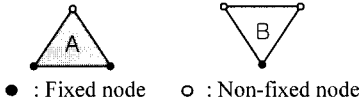


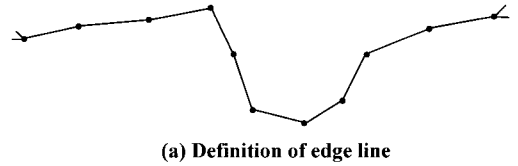
Fig. 6 Classification of elements in layer

Fig. 7에 하나의 층을 전개하는 알고리즘을 나타내었다. Fig. 7(a)는 전개선단의 형상을 나타낸다. 먼저 Fig. 7(b)에 나타낸 바와 같이 A형의 요소 전개가 이루어진다. 그리고 Fig. 7(b)에서 전개된 요소 중에서 한 개의 절점이 중복 전개되는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우 각 요소에서 전개된 위치를 가중 평균하여 Fig. 7(c)와 같이 공통의 절점 위치를 결정한다. 이 때 가중평균 방법으로는 식 (2)와 같이 면적가중평균을 적용하였다. n 은 전개된 요소의 전체 개수를, k 는 요소 번호, A_k 는 각 요소의 면적을 나타낸다. 첨자 i 는 요소 절점이 3차원 공간상의 자유도를 의미한다.

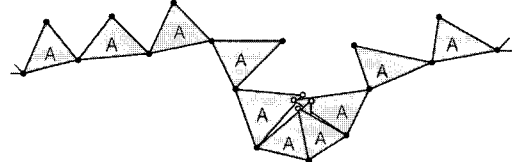
$$X_i = \frac{\sum_{k=1}^n A_k X_i^k}{\sum_{k=1}^n A_k} \quad i = 1, 2, 3 \quad (2)$$

그리고 Fig. 7(c)와 같이 전개가 이루어지고 나면 B형의 요소 중에 양 쪽에 A형의 요소를 가지는 경우는 3개의 절점의 위치가 모두 결정되게 된다. 이러한 경우는 Fig. 7(d)에서와 같이 자동으로 요소의 전개가 완료된 것이 된다. 다른 경우로 A형 요소 사이에 여러 개의 B형 요소가 있는 경우가 있을 수 있다. 이러한 경우는 전개 후에 요소의 면적이 크게 증가하거나 감소하는 경우가 많아 전개된 요소가 뒤집히는 경우가 발생하기 쉬워 전개하는데 특별한 방법을 적용하여야 한다.

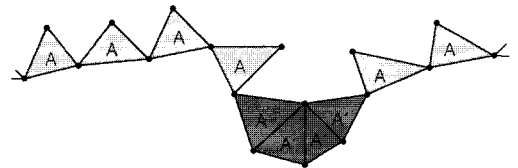
여러 개의 B형의 요소는 전개된 후에 이미 전개된 양 끝의 A형 요소 사이에 정확히 맞아야 한다. 면적이 변화하는 경우에 정확히 맞출 수가 없기 때문에 먼저 양 쪽의 A형 요소에 인접한 요소로부터 순차적으로 전개해 들어간다.



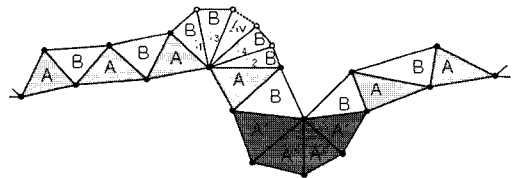
(a) Definition of edge line



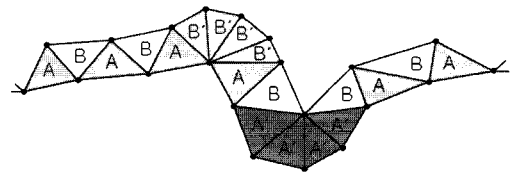
(b) Development of A-type mesh



(c) Geometrical weighted averaging



(d) Sequential development



(e) Complete development of mesh layer

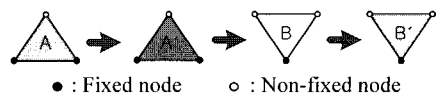


Fig. 7 Incremental development method

요소를 양 쪽에서 번갈아 가며 모두 전개하면 끝 점이 일반적으로 일치하지 않는다. 일치하여야 하는 절점을 두 개의 절점으로 하고 꼭지점을 또 하나의 절점으로 하는 가상의 삼각형 요소를 생성한다.

전개된 삼각형 요소 면적의 합에 가상의 삼각형 요소의 면적을 합하면 이 부분에 들어갈 수 있는 면적의 근사값을 구할 수 있다. 원래 전개

전의 삼각형 면적을 이에 맞추어 비례적으로 변경한 후 위와 같은 과정을 반복한다. 반복계산 중에 가상 삼각형의 면적이 전체 면적에 비교하여 일정 값 이하가 되면 전개를 완료한다.

양 쪽에서 전개되어 오는 요소가 만나는 공통 절점에 대해서는 Fig. 7(c)에서와 같이 면적가중평균법을 적용한다. 이렇게 하여 한 층의 전개가 최종적으로 완료된다. 한 층의 전개 후에 전개되지 않은 요소의 3절점이 모두 결정되어 자동 전개되는 요소가 발생할 수 있으며 이 경우는 전개된 요소로 포함된다. 각 층에서 전개가 이루어질 때 이 전의 전개 결과의 구속 그리고 메쉬의 열악한 형상 및 메쉬 크기의 차이 등으로 인해 전개되는 메쉬는 왜곡될 수 있으며 심지어는 뒤집히기도 한다.

$$\Pi = \sum_{k=1,m} \Pi_k \quad (3-a)$$

$$\Pi_e = \alpha \Pi_I + (1 - \alpha) \Pi_A \quad (3-b)$$

$$\Pi_I = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{l_i - L_i}{L_i} \right)^2 \quad (3-c)$$

$$\Pi_A = \left(\frac{A - A_0}{A_0} \right)^2 \quad (3-d)$$

이를 해결하기 위해 식(3-a) 같은 에너지 범함수를 도입했다. 다양한 메쉬 크기가 존재하는 모델에서 계산이 원활할 수 있도록 무차원화(normalization)가 적용되었다. 무차원화를 적용하지 않으면 요소 크기가 불규칙할 경우 계산 결과를 신뢰할 수 없게 된다.

여기서 식(3-b)의 Π_e 는 삼각형 요소당 에너지를 나타낸다. Π_I 는 최종형상 메쉬에 대한 길이 단위의 에너지이며 Π_A 는 각 삼각형 요소에 대해 부호화된 영역의 구별을 위해 사용되는데, 방향이 다른 삼각형 요소에 대해 높은 에너지를 갖게 하였다.

계산 중에 삼각형 요소가 뒤집히는 경우, 에너지에 의해 방향을 바르게 설정할 수 있다. 이 에너지에 대해서도 여러 가지 요소 크기에 대해 잘 계산될 수 있도록 무차원화가 적용된다. 이 논문에서 수록된 경우는 $\alpha=0.5$ 를 사용한 경우가 안정적인 수렴성을 보였다.

에너지 최소화 과정은 각 층이 전개된 후 층에 대하여 적용하여 메쉬의 왜곡을 완화하도록 하였다. 또한 요소가 뒤집힌 경우에는 반드시 에너지 최소화 과정을 적용하여 요소의 방향을 바로잡아야 한다. 새로운 층이 전개되면 기존에 전개된 층과 합쳐 에너지 최소화를 수행하면 보다 더 메쉬를 평활화할 수 있기 때문에 몇 개의 층이 전개된 후 전개된 모든 메쉬를 함께 에너지 최소화법을 적용하여 메쉬의 변형을 개선하도록 하였다. 모든 메쉬가 전개된 후 최종적으로 전체 메쉬에 대하여 다시 한 번 에너지 최소화를 실시하여 보다 더 개선된 초기가정을 얻도록 하였다.

3. 프런트 펜더 성형을 통한 검증

프로그램의 검증을 위해 자동차의 프런트 펜더의 트리밍 라인을 기존의 단면전개 방법과 본 논문에서 제안한 유한요소 역해석법으로 구하여 그 결과를 비교하였다. 먼저 증분유한요소법을 사용하여 두 가지 방법에 의해서 예측된 트리밍 라인을 적용하여 드로잉 해석 후 트리밍하여 요구되는 제품 형상과 비교하였다.

Fig. 8에서 플랜징 공정에 의해 성형된 두 부분의 형상을 기존의 방법과 제안한 방법으로 결정된 외곽선을 비교하여 나타내었다. 목적하는 외곽 형상과 비교하면 제안한 방법에 의한 외곽 형상이 기존의 단면 전개 방법보다 정확한 결과를 보이고 있다. 기존의 방법과 개발된 방법의 보다 정확한 평가를 위해 프런트 펜더의 좌측 금형과 우측 금형 제작에 각각의 방법으로 구한 트리밍 라인을 적용하여 그 결과를 분석하였다.

Fig. 9에 두 가지 방법을 사용해 성형된 판별에 대해 치수 측정용 치구에서의 측정 결과를 나타내었다. 측정은 품질 관리 기준으로 사용되는 특정 위치에서 외곽선에 수직한 방향으로 수행되었다. 점선은 목적하는 플랜지 외곽 형상이며, 목적 형상보다 긴 경우를 +, 짧은 경우를 -로 나타내었다. Fig. 9(b)를 통해 제안한 방법이 전체적으로 목적하는 외곽 형상을 잘 따라가는 것을 볼 수 있다. 단면전개 방법을 적용한 경우는 측정 위치 모두에서 오차 길이가 4mm 이상으로 나타났다. 특히 ④, ⑤위치에서 플랜지의 일부가 회전 변형하여 외곽 형상을 제대로 따라가지 못함을 보인다.

제안한 방법에 의한 트리밍 라인 적용 시 비록 국부적으로 미소한 변형량의 차이는 있으나 단면

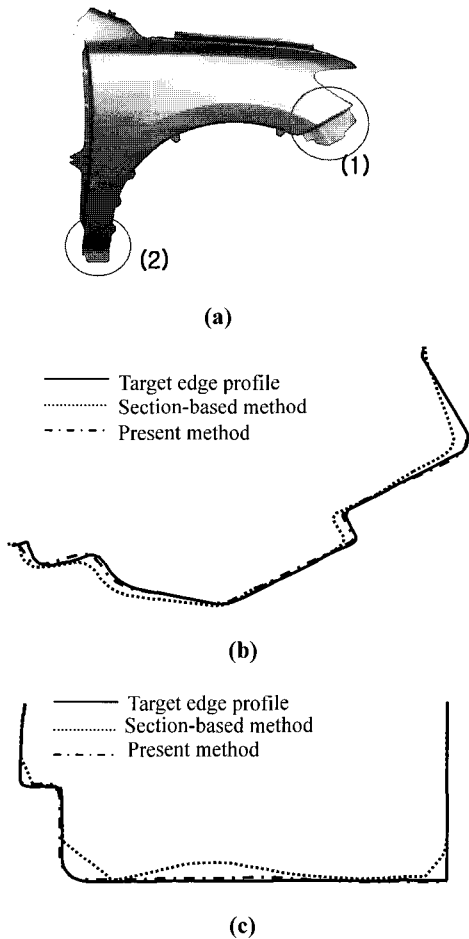


Fig. 8 Comparison between Present method and Section-based method in front fender flanging : (a) shape of developed front fender, (b) comparison of part-(1) after flanging, (c) comparison of part-(2) after flanging

전개 방법에 비해 정확한 결과를 보인다. 특히 회전이 발생하는 우측 선단과 같은 형상에서 기존의 방법에 비해 아주 좋은 결과를 보여준다. 다만 Fig. 9(b)의 위치 ③에서는 목표로 하는 선단보다 길게 성형된 것을 관측할 수 있다. 이는 플랜징 시 본 논문에서 수행한 유한요소 역해석에서 싱형력과 마찰력 등의 힘 경계조건을 고려하지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

위의 예제로 본 연구에서 개발한 방법이 기존의 단면 전개 방법보다 정확도 높은 트리밍 라인을 예측한다는 것을 확인하였다.

일반적으로 플랜징 성형에서도 적은 양이지만

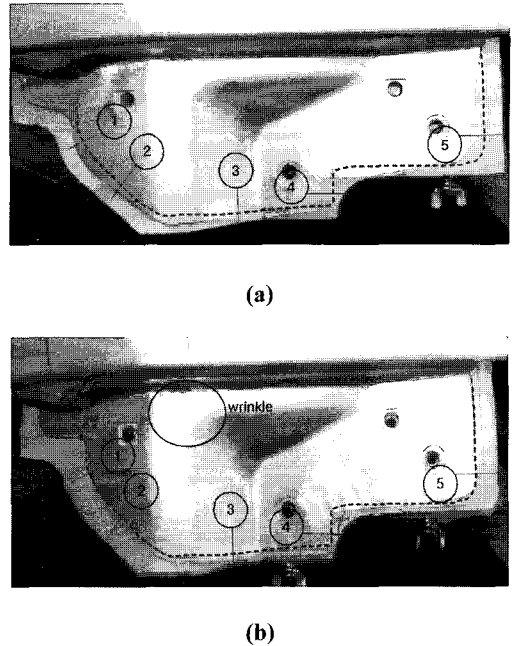


Fig. 9 Comparison with experiment of front fender flanging : (a) Section-based method, (b) Present method

Table 1 Measurement errors on checking fixture

	①	②	③	④	⑤
Section-based	+4.5	+4.5	+5.0	-5.5	-5.7
Present	-2.5	+1.0	+3.0	+0.5	+0.5

형상에 의한 변형이 발생한다. 그러나 단면 전개 방법은 이러한 변형을 고려하지 않기 때문에 정확도가 떨어진다. 특히 기존의 방법과 비교하여 개발된 방법에서는 성형시 소재의 회전을 잘 예측하였다. 그러나 변형이 다소 크게 발생하는 부위에 있어서는 편차가 증가한다. 이는 역해석 유한요소법의 계산 과정에서 마찰력 등을 고려함으로써 개선할 수 있을 것이다.

메쉬의 왜곡 및 뒤집힘 현상을 제거하기 위하여 에너지 최소화 과정을 도입하였지만 성공적인 전개를 위해서는 메쉬 품질이 큰 영향을 미치기 때문에 메쉬의 형상비에 대한 한계 설정이 필요하다. 본 논문에서 수행된 예제에 대해서는 형상

비가 10이하의 메쉬는 성공적인 전개가 가능하였다.

4. 결 론

복잡한 자동차 판넬의 트리밍 공정의 트리밍 라인 설계를 위한 개선된 방법을 제안하였다.

플랜징 된 최종 제품의 메쉬가 개선된 점진적 전개 방법에 의해 드로잉 금형 메쉬면 위에 전개 되고, 이 초기 가정 형상을 이용한 유한요소 역해석을 통해 최종 트리밍 라인을 구하였다. 개선된 전개 방법은 최종 제품의 메쉬 품질이 좋지 않거나 언더컷이 존재하더라도 효율적인 전개를 가능하게 한다. 유한요소 역해석 방법은 플랜징 공정의 해석을 간단하게 처리할 수 있어 변형을 고려한 트리밍 라인을 신속하게 예측할 수 있다. 차체 양산용으로 제작되는 프런트 펜더 판넬을 대상으로 기존의 단면 전개 방식과 제안한 방법에 의한 성형 결과를 비교하였다. 제품 형상의 치수 비교를 통해 제안한 방법에 위한 트리밍 라인의 정확성이 더 좋게 나타남을 보였다. 결론적으로 제안된 방법은 해석에 필요한 모델의 간략성, 해석의 신속성 등의 측면에 장점을 갖게 되어 양산용 금형 제작에 효율적으로 사용이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Autoform Manual, 2004.
 [2] Wan-Jin Chung, Hyun-Bo Shim, Choon-Dal Park, Se-Wook 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.

[3] 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.
 [4] 정완진, 박춘달, 송윤준, 2006, 점진 전개기법 및 유한요소 역해석법을 이용한 자동차 판넬 트리밍 라인설계, 한국소성가공학회지, 제15권 제 6호, pp. 445~452 .
 [5] Hyun Bo 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 publication.
 [6] K. Chung and O. Richmond, 1992, Ideal forming-2. Sheet forming with optimum deformation, Int.J. Mech. Sci., Vol. 34, pp. 617~633.
 [7] 이충호, 허훈, 1997, 박판금속성형의 초기 블랭크 최적설계를 위한 삼차원 다단계 역해석, 대한기계학회논문집A권, 제21권 제12호, pp. 2055~2067.
 [8] 김승호, 김세호, 허훈, 2000, 세장비가 큰 다원형 컵 성형 공정의 다단계 유한요소 역해석, 한국소성가공학회지, 제9권 제3호, pp. 304~312.
 [9] 김승호, 김세호, 허훈, 2001, 다단계 유한요소 역해석을 이용한 세장비가 큰 직사각컵 성형 공정의 해석, 한국소성가공학회지, 제10권 제5호, pp. 389~395.