

자동차 외판 플랜징/헤밍 공정에 대한 유한요소해석 모델링

김현영* · 임희택* · 최광용** · 이우홍*** · 박춘달***

Finite Element Modeling of Flanging/Hemming Process for Automotive Panels

H. Y. Kim, H. T. Lim, K. Y. Choi, W. H. Lee and C. D. Park

Abstract

The 2nd forming process of flanging/hemming has recently many interest because it determines external quality of automobile. It is difficult to apply finite element simulation in flanging/hemming due to small element size which needs for expression of bending effect on the die corner and big model size of side door, back door, trunk lid and like opening parts. This paper shows the process of flanging/hemming simulation using finite element model for automotive panels. The explicit finite element program PAM-STAMP™ was used to simulate the flanging and hemming operations.

Key Words : Finite Element Modeling, Flanging Process, Hemming Process, Automotive Panels

1. 서 론

금속판재성형 시뮬레이션(simulation)은 많은 실험들에 의해 그 타당성과 정확성이 증명되었으며, 새로운 판재 성형공정 시뮬레이션을 위해 많은 연구들이 진행되고 있다.⁽¹⁾ 특히 최근에는 2차 성형 공정인 플랜징(flanging)과 헤밍(hemming) 공정에 유한요소 시뮬레이션을 적용하는 연구에 많은 관심을 갖고 있다.^(2~5)

자동차 차체에서 사이드 도어(side door), 백 도어(back door), 트렁크 리드(trunk lid)등의 여닫이 부품들의 외판과 내판을 결합하는 플랜징과 헤밍은 결합부가 깨끗하고 간결하다는 장점을 갖는다. 패널 자체의 정밀

도는 드로잉 공정에서 결정되지만 실제 완성차의 외판 품질은 후속공정인 플랜징이나 헤밍공정에서 결정된다. 따라서 헤밍 공정은 자동차의 외판 품질을 결정하는 중요한 요소로 자동차의 상품성을 좌우하게 된다.

유한요소법을 이용한 헤밍공정에 대한 연구가 많이 수행되고 있지만 일반적으로 헤밍단면모델을 이용한 변수연구만이 진행되었을 뿐, 전체모델에 대한 해석은 진행되지 못하고 있다.^(2~4) 또한 외판 3차원 모델 해석이라고 해도 특정부분에 대해 해석한 것이 대부분이었다.⁽⁵⁾

전체모델의 플랜징 및 헤밍 공정 시뮬레이션은 해석상 다음과 같은 어려움을 갖는다. 첫째, 플랜징/헤밍해석은 모서리부분에서 과도한 벤딩(bending)이 일어나기 때문

* 강원대학교 기계·메카트로닉스 공학부
** 한국 ESI
*** 현대자동차

에 외연적(explicit) 유한요소법을 이용한 성형해석시 벤딩을 표현하기 위해서 작은 요소 크기(element size)를 요구하게 된다. 요소 크기가 작으면 해석시 타임스텝(time step)이 작아지기 때문에 많은 해석시간이 소요된다. 특히 사이드 도어, 백 도어, 트렁크 리드등은 형상이 복잡하고 큰 부품으로 상당한 해석시간이 소요된다. 둘째, 중력처짐(gravity)공정과 드로잉(drawing), 트리밍(trimming), 플랜징, 헤밍 공정의 연속적인 공정의 해석을 수행할 경우 드로잉과 트리밍 공정 후의 요소상태를 그대로 플랜징, 헤밍 공정 해석에 사용하면 모서리부에서 요소의 뒤틀림(warpage)등의 발생으로 해석이 매우 힘들며 해석이 되더라도 그 결과를 신뢰하기 힘들다.

본 연구에서는 내외판의 3차원 전체모델에 대한 판재 성형 및 연속된 2차공정, 즉 플랜징/헤밍공정에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 플랜징/헤밍공정에 대한 유한요소해석시 모델링(modeling) 방안, 요소 재구성 및 맵핑(mapping)방법, 부분모델을 이용한 플랜징/헤밍 해석방안에 대하여 논의하였다.

2. 플랜징/헤밍을 위한 유한요소모델링

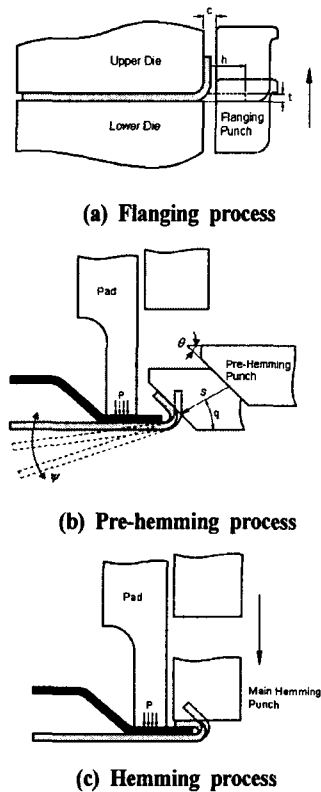


Fig. 1 Process of flanging/hemming operation

플랜징/헤밍공정은 일반적으로 다음과 같은 3단계 공정으로 구성된다. 1단계 공정은 Fig. 1(a)처럼 외판을 지면에서 수직으로 약 90도 벤딩하는 것이다. 2단계 공정은 외판을 Fig. 1(b)와 같이 프리헤밍펀치(pre-hemming punch)에 의해서 약 45도의 각으로 누르는 것이다. 두번째 공정은 Fig. 1(c)와 같이 외판의 플랜징 부를 약 180도 접어 내판과 외판을 결합하는 것이다.

Fig. 2(a)처럼 드로잉해석과 트리밍해석이 끝난후 판넬은 플랜징부의 요소 상태가 균일하지 않다. 만약 이 문제를 해결하기 위해 성형 초기부터 작은 요소크기로 해석을 진행한다면 많은 해석시간이 소요될 것이며, 드로잉 성형 후 요소가 플랜징 방향으로 정렬된다는 보장도 없을 것이다. 따라서 이 같은 문제가 발생하지 않도록 Fig. 2(b)처럼 중력처짐, 드로잉, 트리밍 해석시에는 일정한 격자로 구성된 블랭크를 이용하여 해석을 수행하고 플랜징 및 헤밍 해석에서는 벤딩을 표현할 수 있도록 새로운 요소를 구성하였다. PAM-STAMP™에서는 요소 재구성을 위하여 맵핑기법을 지원하고 있다. Fig. 3은 맵핑 전/후의 두께변형률분포이며 결과는 완전히 동일하다.

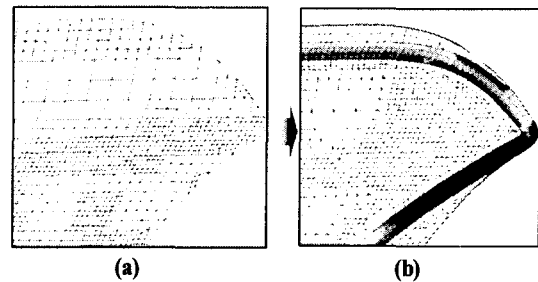


Fig. 2 Mesh regeneration for flanging simulation ; (a) before mesh regeneration (b) after mesh regeneration

3. 플랜징 해석

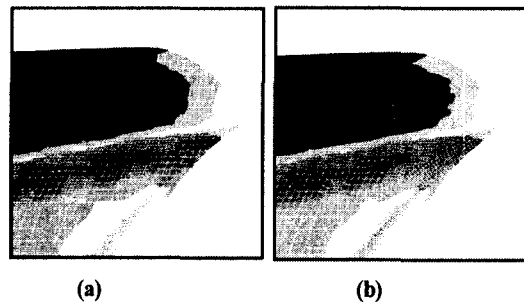


Fig. 3 Thinnig distribution after mapping of outer panel ; (a) before mapping (b) after mapping

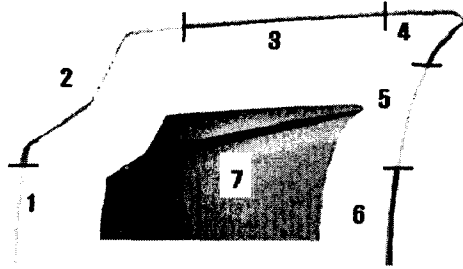
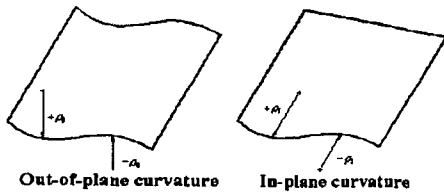


Fig. 4 Part model of outer panel for flanging/hemming simulation

Table 1 Characteristics of part models

R=0.3mm	R=2.5mm
2 [edge]	1 [in plane curvature '+']
3 [out of plane curvature '-']	5 [in plane curvature '-']
4 [edge]	6 [in plane curvature '-']

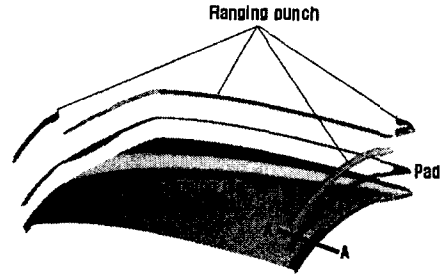


실제 플랜징 공정에서 외판은 패드에 의해 고정된 후 플랜징되므로 플랜징 공정시 외판 중 패드에 눌러있는 부분은 이동과 회전의 변화가 없는 상태이다. 따라서 판넬의 안쪽은 플랜징 성형에 영향을 주지 않을 것이므로 패드를 기준으로 판넬 안쪽을 떼어내고 나머지 부분의 플랜징 해석을 수행하였다. 안쪽 패널이 해석에 이용되지 않기 때문에 많은 해석시간을 줄일 수 있다.

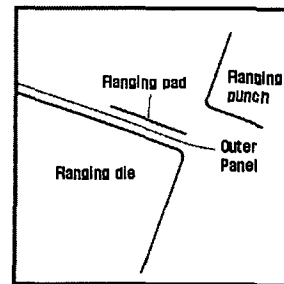
이 방법은 외판의 전체모델을 패드로 고정하는 1단계와 부분모델을 플랜징 해석하는 2단계로 이루어진다. 1단계 해석은 실제 공정에서 플랜징 다이에 위치시킨 외판이 패드에 의해 변형되는 모습을 표현하기 위한 것이다.

Table 2 Forming condition for flanging simulation

flanging punch velocity	2mm/msec
flanging pad velocity	1mm/msec
friction coeff.	0.15



(a) Tool position



(b) Section AA

Fig. 5 Tool position for flanging simulation



Fig. 6 Deformed shape of part model for flanging simulation

2단계 해석은 1단계 해석을 거친 외판을 패드를 기준으로 판넬 안쪽을 떼어내고 Fig. 4처럼 플랜징부의 반지름과 후드의 곡률 반경을 기준으로 하여 총7개의 부분 모델로 분리한 후 플랜징 해석을 수행하였다. Table 1은 부분모델을 위한 외판의 분할기준이다. 부분모델로 해석할 때의 장점은 다음과 같다. 첫째, 전체모델을 7개로 분할하였기 때문에 전체해석시간을 줄일 수 있다. 둘째, 부분모델은 위치에 따라 플랜지반경, 평면곡률(plane curvature)등의 조건이 다르기 때문에 각 부분 모델에 특징있는 문제점을 빨리 찾을 수 있고 문제 해결을 위해 다양한 변수를 통한 해석이 가능하다.

Table 2는 플랜징해석의 성형조건이다. 플랜징펀치(flanging punch)를 해당 방향으로 주어진 속도에 의해

40mm를 이동한다. 패드는 외판을 홀딩할 때까지 이동하며 홀딩된 후 고정한다. 접촉조건(contact condition)은 라그랑지법을 사용하였다. Fig. 5는 플랜징틀과 단면형상이다. Fig. 6는 부분모델의 변형형상(deformed shape)이다. Fig. 7처럼 각 부분모델을 결합한 후 변형형상을 확인한 결과 경계부분에서 플랜징부의 끝단이 길이 차이를 보이고 있음을 확인하였다.

이 문제는 플랜징 과정에서 좌우가 정확하게 동일하지 않은 부분모델에 대칭조건을 적용했기 때문에 발생한 것이다. 하지만 외판의 곡률이 일정하지 않아 각 부분모델을 정확하게 설정한다는 것은 어려움이 많기 때문에 단차발생을 억제하는 방안으로 실제 부분모델의 경계를 중복되도록 모델링하였다.

4. 헤밍 해석

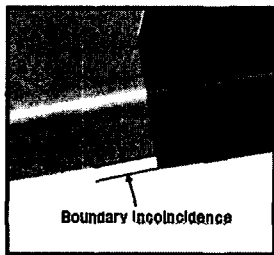
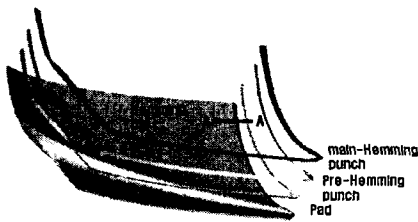
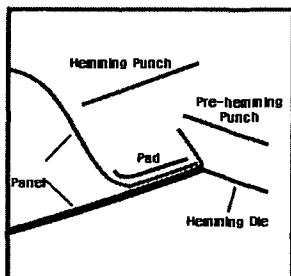


Fig. 7 Boundary incoincidence after flanging simulation

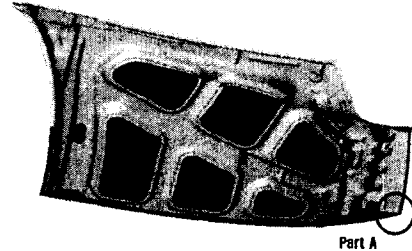


(a) Tool position

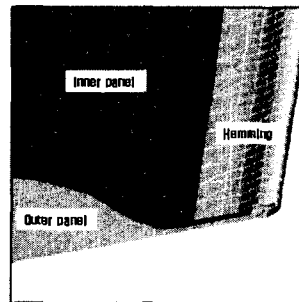


(b) Section AA

Fig. 8 Tool position for hemming simulation



(a) Assembled model



(b) Part A

Fig. 9 Assembled model and detail shape of part A after hemming simulation

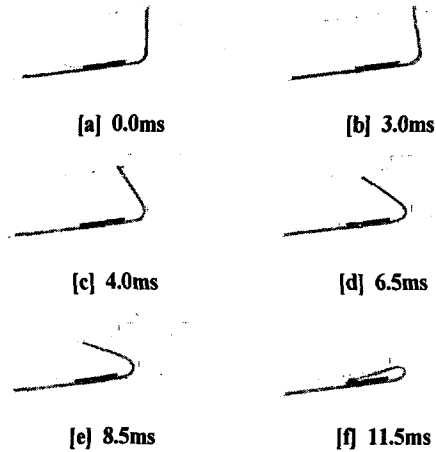


Fig. 10 Section view of hemming process

내판도 외판과 마찬가지로 헤밍패드로 고정된 후 헤밍을 하기 때문에 안쪽부분의 변형은 기대하기 어렵다. 따라서 내판도 안쪽 부분을 떼어낸 후 해석에 이용하였다. 해석은 내판의 전체모델을 헤밍패드로 고정하는 1단계와 부분 내측판넬을 플랜징된 부분 외측판넬을 결합하여 헤밍해석을 하는 2단계로 진행되었다.

Fig. 8은 헤밍틀과 단면형상이다. Fig. 9(a)는 부분모델의 헤밍해석을 실행한 후 부분모델을 모두 결합한 모델이다. 스프링백(springback)해석을 위해 구성하였다. Fig. 9(b)는 part A의 헤밍해석결과이다. Fig. 10은 헤밍해석에서 단계적인 단면변화를 보여준다.

5. 결 론

본 연구에서 자동차 외판 플랜징/헤밍 3차원 전체모델에 대한 유한요소해석을 수행하였으며, 특히 요소의 재구성 및 맵핑방법, 부분모델을 이용한 해석등 2차 성형 공정인 플랜징/헤밍공정의 해석방안에 대하여 논의하였다. 플랜징/헤밍해석방법의 정립을 통해 연속적인 전체 공정에 대한 성형해석 가능성을 확인하였다. 향후 부분 모델과 단면모델에 대한 변수연구의 결과와 전체모델의 헤밍결과를 비교하여 전체헤밍모델해석의 타당성과 신뢰성을 검증하는 절차가 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Hongjong Kim, Youngmoo Heo, Naksoo Kim, Heon Young Kim, Daehyo Seo, 2000, "Forming and Drawing Characteristics of Tailor Welded Sheets in a Circular Drawbead", Journal of Materials Processing Technology Vol. 105, pp. 294~301.
- (2) Mats Svensson and Kjell Mttiasson, 2000, "Simulation of hemming of automotive body components with the explicit FE-method.", European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Barcelon.
- (3) H. Livatyali, A. Muderrisoglu, M.A. Ahmetoglu, N. Akgerman, G.L. Kinzel, T. Altan, 2000, "Improvement of hem quality by optimizing flanging and pre-hemming operations using computer aided die design, Journal of processing Technology 98, pp.41~52.
- (4) 안덕찬, 이경돈, 정경훈, 김권희, 2000, "자동차 패널의 헤밍 공정 설계에 관한 연구", 한국소성가공학228회 제3회 박판성형 심포지엄 논문집, pp.172~179.
- (5) 주식재, 최해석, 1998, "도어 내외판 헤밍 시뮬레이션", MARC User's Forum 98, pp.147~153.