

트리밍과 플랜징을 포함한 Front Door Panel 의 성형해석

조진우*, 김충식*, 정완진**

Analysis of Forming a Front Door Panel Including Trimming and Flanging

Jin Woo Cho, Chung Sik Kim, Wan Jin Chung

Abstract

Using a new dynamic-explicit program, SAIT_STAMP, the analysis of forming a front door panel is presented. The analysis consists of 7 processes including drawing, trimming, flanging and springback. From the analysis results, it is shown that adaptive refinement scheme and robust trimming algorithm enable SAIT_STAMP to simulate the multi-stage forming of automotive parts with large and complex geometry.

Key Words : Sheet Metal Forming, Finite Element Analysis, Adaptive Refinement, Trimming, Flanging

1. 서론

컴퓨터와 해석 프로그램들의 발전에 힘입어 과거에는 상상하지 못했던 크고 복잡한 형상을 가진 판재의 성형해석이 가능해진 것은 사실이다. 하지만 아직도 해석을 수행하기 위해서는 많은 어려움이 존재한다. 해석에 필요한 입력파일의 구성은 실제의 프레스 공정과는 많은 차이가 있기 때문이다.

SAIT_STAMP⁽¹⁻²⁾는 객체지향(object oriented)적인 구성을 가지고 있다. 각각의 해석공정은 마치 프레스 공정과 흡사한 구조를 가진다. 즉 작업자가 하나의 프레스 공정에서 성형된 공정품을 다음 프레스로 옮겨서 제품을 찍어내는 것처럼 SAIT_STAMP는 하나의 해석공정에서 계산된 결과를 다음 해석공정으로 넘긴다. 그러므로 프로그램 사용자는 입력파일을 작성할 때 각각의 공정 데이터를 다른 공정과 무관하게 독립적으로 입력할 수 있다. 이러한 공정단위의 입력파일 작성은 아무리 복잡한 다단계 공정의 해석이라 할지라도 프로그램 사용자가 입력파일 작성을 쉽게

할 수 있게 하며 작성된 입력파일은 이해하기 쉽고 수정이 용이하다는 장점이 있다.

본 해석에서는 SAIT_STAMP를 이용한 front door panel의 성형해석을 소개한다. 본 문제는 NUMISHEET'99⁽³⁾의 벤치마크 문제로서 크게 드로잉, 트리밍, 플랜징의 3단계 공정을 거치지만 해석의 관점에서 볼 때에는 자중처짐, 바인더랩 및 드로잉, 트리밍, 굽힘, 플랜징, 스프링백의 6단계 공정해석이 필요하다.

크고 복잡한 형상을 가진 판재의 성형해석을 효율적으로 수행하기 위하여 적응 세분화 기법(adaptive refinement scheme)은 필수적이다. SAIT_STAMP는 형상변화에 근거한 오차지시기를 사용하여 하나의 요소를 4개의 부요소로 분할하며 삼각형 및 사각형 요소를 동시에 처리할 수 있다.

다단계 공정에서는 트리밍(trimming) 공정이 대부분 포함되며 트리밍 후 재성형을 통하여 플랜징 등의 공정이 수행된다. 트리밍 해석시에 경계부근에서는 요소들이 경계선에 맞게 재조정되거나 새로운 요소가 생성된다. Dynamic explicit code에서는 매 축차(iteration)에 사용되는 시간간격크기(time step size)가 가장 작은 요소의 크기에 비례하기 때문에 트리밍 후 재성형 해석을 위해서는 생성되는 요소의 크기가 너무 작아

* 삼성종합기술원 CSE Lab.

** 서울산업대 금형설계학과

지지 않는 알고리즘이 필요하다. SAIT_STAMP 는 트리밍 경계에서 생성되는 요소의 크기를 기존 요소크기의 1/2 이상으로 하는 알고리즘을 채용하고 있기 때문에 트리밍 후 재성형 해석이 가능하다.

2. 문제 정의

성형해석은 다음과 같이 총 6 개의 공정으로 구성되며 소재는 두께 1mm 의 mild steel(DDQ)이다.

2.1 자중 처짐

드로잉을 하기 위하여 소재를 금형 위에 놓았을 때 생기는 자중에 의한 처짐을 계산한다

2.2 바인더랩 및 드로잉

홀더가 700KN 의 힘으로 플랜지 부위를 잡은 상태에서 펀치가 이동하여 소재를 성형한다. 다이와 홀더에는 드로우비드(drawbead)가 존재한다. Fig.1 은 이때 사용되는 금형의 모델을 나타내며 그림의 곡선은 비드의 중심선을 표시한다.

2.3 트리밍

주어진 곡선을 따라 소재를 트리밍 한다.

2.4 굽힘(bending)

100KN 의 홀딩력을 가하면서 트리밍된 소재의 플랜지 부위를 펀치로 굽힌다. Fig.2 는 금형 모델을 나타낸다.

2.5 플랜징(flanging)

100KN 의 홀딩력을 가하면서 굽힘된 일부 부위를 서로 다른 방향으로 움직이는 두개의 펀치로 플랜징한다. Fig.3 는 금형 모델을 나타낸다.

2.6 스프링백(spring back)

금형에서 취출된 소재에 생기는 후변형을 계산한다.

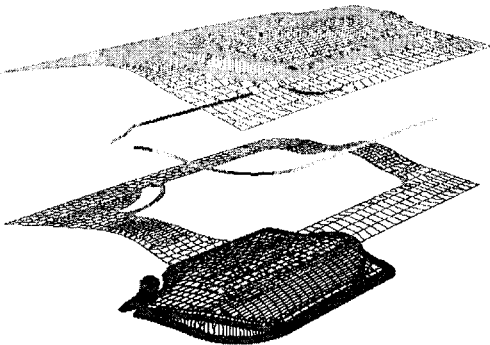


Fig.1 FE model for deep drawing analysis

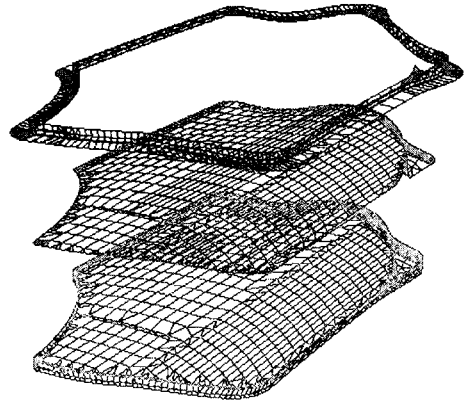


Fig.2 FE model for bending analysis

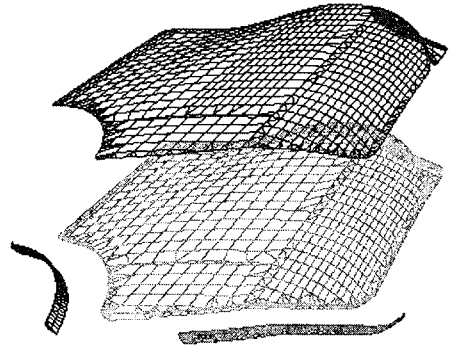


Fig.3 FE model for flanging analysis

3. 해석 결과

주요공정에 대하여 변형된 소재의 형상을 Fig.4-5 에 나타내었다. Fig.4 는 드로잉이 끝난 후 변형형상이며 Fig.5 는 플랜징이 끝난 후의 형상이다. Fig.6 은 평면 $y = -301.48$ 과 만나는 단면에서의 변형을 각각 드로잉, 트리밍, 벤딩, 플랜징, 스프링백에 대하여 나타낸 그림이다.

3.1 상당 드로우비드(Equivalent drawbead)

드로잉 해석을 하기 위해서는 비드를 고려해야 한다. 비드를 고려하지 않는 경우 소재에 발생하는 변형율과 드로우인(draw-in)에 큰 오차가 발생할 수 있기 때문이다. 일반적으로 비드의 형상은 금형의 전체 크기에 비하여 상대적으로 아주 작기 때문에 비드의 형상 자체를 고려하여 해석을 수행한다는 것은 현실적으로 불가능하다. 그

러므로 해석에서는 상당드로우비드를 사용하여 비드가 소재의 성형에 작용하는 힘만을 고려하도록 한다. 본 해석에서는 문제에 주어진 비드의 단면형상을 고려한 해석을 실시하여 비드의 측면 힘(tangential force)과 수직힘(uplift force)을 계산하고 이를 적용함으로써 비드의 효과를 고려하였다.

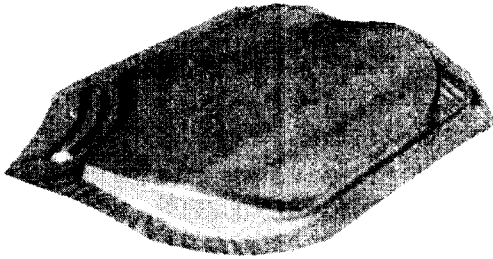


Fig.4 Deformed shape after deep drawing

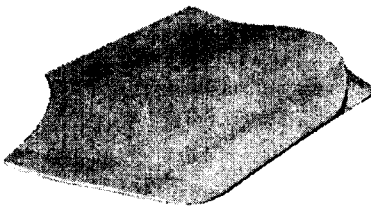


Fig.5 Deformed shape after flanging



Fig.6 Deformed profile of section $y=-301.48$

3.2 적응 세분화 기법의 적용

효율적인 해석을 위하여 적응세분화 기법을 적용하였다. 본 해석에서 각 해석단계별 사용된 요소의 수와 적응단계(adaptive level)는 Table 1 과 같다. 트리밍시 적응단계를 1로 낮추어 사용한 이유는 요소의 개수를 조절하여 플랜징 이후 스프링백 해석을 가능하게 하기 위함이다. 스프링백은 static implicit code 로 해석되므로 요소의 개수가 너무 많아지게 되는 경우 기억용량

의 한계 때문에 해석이 불가능하다. 현재의 해석에서 스프링백에 사용된 메모리량은 약 1.4GB 이다.

	Number Of Elements	Adaptive Level
Initial blank	2,642	0
After drawing	27,374	2
After trimming	5,581	1
After flanging	17,836	3

Table 1. Number of elements according to Adaptive level

Fig.7은 굽힘해석이 실시된 부위에서의 적응세분화 결과를 보여준다. 트리밍시 생성된 삼각형 요소와 사각형 요소에 대하여 잘 작동되고 있는 것을 볼 수 있다.

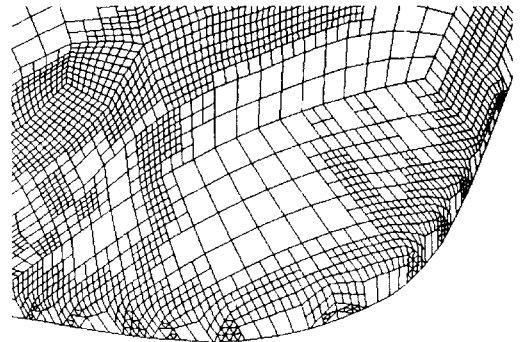


Fig.7 Adaptive mesh for bending analysis

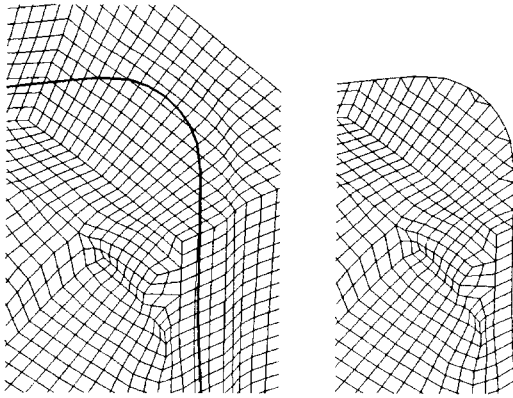
3.3 트리밍 알고리즘

Fig.8은 주어진 트리밍 경계선에 대하여 트리밍 전과 후의 요소를 보여준다. 주어진 경계를 잘 따라가면서 새로운 요소가 생성되거나 기존 요소의 재 배치가 이루어진 것을 볼 수 있다. 또한 트리밍 후 삼각형 또는 사각형 요소들의 크기는 기존 요소 크기의 1/2 이상이기 때문에 트리밍 후의 재성형 해석이 가능하다.

3.4 해석 시간

각 해석에 소요된 cpu time 과 사용된 하드웨어를 Table 2에 나타내었다. 사용 CPU time은 해석에 사용되는 금형의 작동속도에 영향을 받는

다. 본 해석에서 사용된 모든 금형의 작동속도는 5m/sec 이하이다.



(a) before trimming (b) after trimming
Fig.8 Mesh change by trimming algorithm

	CPU (sec)	H/W
Gravity	12,350	HP C240
Binder wrap		
Drawing	16,371	HP C240
Trimming	84	HP C240
Bending	20,234	HP C240
Flanging	19,870	HP C240
Spring back	11,508	HP Exemplar X

Table 2. CPU time and Hardware for analysis

스프링백을 제외한 모든 해석은 HP C240 에서 수행되었고 스프링백의 경우 많은 양의 메모리를 필요로 하기 때문에 HP Exemplar X Class 에서 수행되었다. 전체 해석을 위하여 CPU time 기준으로 약 22 시간의 계산시간이 소요되었음을 알 수 있으며 금형의 작동속도가 5m/sec 이하로 설정되었음을 감안할 때 계산시간을 더욱 줄이는 것도 가능하다.

4. 결론

SAIT_STAMP 를 이용하여 Front Door Panel 의 성형해석을 수행하였다. 해석과정은 실제의 프레스공정에서 실시되는 트리밍 및 플랜징 공정을

모두 포함한다.

SAIT_STAMP 의 객체지향적 특성을 이용하여 각 공정별 해석을 원활히 수행할 수 있었다. 각각의 공정 데이터를 다른 공정과 무관하게 독립적으로 입력할 수 있으므로 해석이 쉽고 시행착오를 줄일 수 있다.

적응 세분화 기법을 사용하여 크고 복잡한 형상을 가진 판재의 해석을 효율적으로 수행할 수 있었다. 사용된 알고리즘은 삼각형과 사각형 요소에 동시 적용가능하므로 트리밍시 생성된 삼각형 요소에도 적용될 수 있다.

트리밍 알고리즘은 트리밍 경계에서 요소를 배치하거나 생성하는데 요소의 최소크기를 제한할 수 있기 때문에 트리밍 후에도 재성형 해석이 가능하다.

Front door panel 의 성형 해석결과는 아직 실험과 비교되지 않아 해석의 정확도를 평가할 수는 없으나 복잡한 다단계 해석을 성공적으로 수행할 수 있었다.

후기

본 해석에서 사용된 금형의 유한요소모델은 한국과학기술원 양동열 교수님과 대전대학교의 유동진 교수님께서 제공해 주셨으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 정완진, 조진우, 1999, “박판금속 성형공정 해석시스템 개발”, 한국소성가공학회지, 제 8 권, 제 1 호, pp. 29~37
- (2) 정완진, 김충식, 1998, “박판성형을 위한 탄성복원해석의 수치적 모사”, 제 2 회 박판성형 심포지움 논문, 한국소성가공학회, pp. 9~16
- (3) “Forming of a front door panel”, Benchmark A, The Fourth International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Forming Processes (URL: www.numisheet99.univ-fcomte.fr)