

유한요소법을 이용한 자동차 판넬의 성형 해석

이종길*, 오수익
서울대학교 기계설계학과

Simulation of Stamping of an Automotive Panel using a Finite Element Method

Jong-Kil Lee*, Soo-Ik Oh
Dept. of Mech. Design and Production Engrg., Seoul National University

Abstract

In this study, an elasto-plastic finite element code, ESFORM, was developed to analyze sheet stamping processes. A formulation of 4-node degenerated shell element was implemented in the code. Workpiece materials were assumed to have planar anisotropy, and governed by associated flow rule. Explicit time integration method was employed to save computation time and reduce the required computer memory. Penalty method was used to describe interface behavior between workpiece and rigid die.

Deep drawing of square cup and front fender stamping processes were simulated by ESFORM.

1. 서론

판재성형법은 자동차·항공기 등의 부품은 물론 가전제품 및 일반소비재의 생산에도 널리 쓰이는 가공방법이다. 판재성형 시 판재의 변형은 매우 복잡하고, 주름, 파단, 탄성회복에 의한 치수오차, 과도한 두께불균일 등 여러 가지 결함이 발생할 수 있다. 이러한 결함은 소재의 부적절한 선정에 의해서도 나타나지만, 잘못된 금형의 설계에 의해서도 나타난다. 이제까지 금형의 설계는 숙련된 기술자의 경험과 시행착오적인 방법에 의해 이루어져 왔다. 그러나 이러한 금형설계 방식은 시간과 비용이라는 측면에서 매우 비효율적이다.

이러한 비효율성의 극복을 위해 컴퓨터를 이용하여 제품의 성형 해석을 수행하고, 여기서 얻은 정보를 다시 금형의 설계 및 공정조건의 설정에 반영하여 실제품 생산시 발생할 수 있는 문제점을 최소화 하려는 연구가 활발하게 진행되어 왔고, PAM-STAMP, LS-DYNA3D, ABAQUS 등과 같은 범용 프로그램들도 개발되었다. 그러나 이들 범용 프로그램들로 산업현장에서의 다양한 요구에 발빠르게 대응하는데

는 다소 미흡한 면이 있다.

본 연구에서는 이러한 현상의 요구를 충족시키는 것을 목적으로 판재성형 해석 전용 프로그램인 ESFORM(Elasto-Plastic Sheet Forming)을 개발하고, 실제 자동차 부품인 프론트 팬더(front fender)의 성형 공정을 해석하여 프로그램의 유용성을 보였다.

2. 이 론

본 연구에서는 Belytschko 등[1][2]이 제안한 방법에 기초해서 셀 요소의 정식화를 수행하였다. 그러나 이 요소는 기본적으로 편평한 요소를 가정함으로 인해 뒤틀린 요소(warped element)에 대하여는 문제점을 드러내는 것으로 알려져 있다. 이러한 문제점의 해결을 위해 Belytschko 등[3]은 적분점에서의 화이버(fiber)의 일차미분량을 변형을 속도식에 첨가한 바 있고, 본 연구에서도 이 방법을 이용하였다. 이러한 셀 요소의 속도장(\mathbf{v})은 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{v} = \mathbf{N} \mathbf{v}^m - \frac{\zeta}{2} h \mathbf{N} \dot{\mathbf{x}}^{fib} \quad (1)$$

단, \mathbf{v}^m : 셀의 중간면에서의 속도벡터, $\dot{\mathbf{x}}^{fib}$: 화이버 벡터의 시간에 따른 변화율
 \mathbf{N} : 형상함수, h : 셀 요소의 두께, $-1 \leq \zeta \leq 1$

계산시간과 컴퓨터 기억용량의 절감을 위해 익스플리시트 방법(explicit method)를 이용하여 정식화[4][5]를 수행하였으며, 이 방법은 식(2)와 같은 운동방정식에서 직접 가속도벡터를 구하고, 이를 이용하여 속도벡터, 변위벡터를 순차적으로 구해나가는 방법이다.

$$\mathbf{M} \mathbf{a} = \mathbf{F}^{ext} - \mathbf{F}^{int} \quad (2)$$

단, \mathbf{M} : 질량행렬, \mathbf{a} : 가속도 벡터, \mathbf{F}^{ext} : 외력벡터, \mathbf{F}^{int} : 내력벡터

강체로 가정된 다이와 소재의 접촉부의 정식화는 벌칙함수법(penalty method)를 이용하여 수행하였다.

3. 사각형 컵의 덮 드로잉 해석

개발된 프로그램의 검증을 위해 NUMISHEET'93[6]의 사각형 컵의 덮 드로잉 문제를 해석하였다. 소재의 물성치와 성형 조건은 모두 NUMISHEET'93에 주어진 조건을 그대로 사용하였다. 소재는 1/4 모델만 해석하였고, 수직이방성만 고려하였고, 요소는 900개를 사용하였다. 펀치속도는 10m/s로 하였다. 그림.1,그림.2에는 0° 방향과 45° 방향으로의 컵의 바깥면의 두께 스트레인 분포를 보였다. 그림.3에 펀치진행거리가 40mm일 때의 소재형상과 컵의 중간면에서의 두께용력 분포를 보였다. 소재의 유입량은 표.1에 나타내었다.

4. 프론트 팬더의 성형 해석

개발된 프로그램인 ESFORM을 이용하여, NUMISHEET'93의 프론트 팬더 모델의 성형 해석을 수행하였다. 성형조건은 NUMISHEET'93에 주어진 것을 그대로 사용하였다. 드로오비드부는 등가의 드로오비드 모델을 이용하여 처리하였고, 블랭크 가압력이 충분하다는 가정하에 비드부의 수직항력은 고려하지 않았다. 표.2에 각각의 비드부 수평항력 계산을 위한 해석 결과를 보였다. 소재의 요소수는 20000개를 사용하였다. 그림.4, 그림.5에 펀치진행 50mm, 130mm에서의 소재의 형상과 두께스트레인 분포를 보였다.

5. 결 론

셀 요소의 정식화와 익스플리시트 시간적분법을 이용해서 판재성형 해석 프로그램인 ESFORM을 개발하였다. 사각형 컵의 뒹드로잉 시뮬레이션을 통해 프로그램의 검증을 수행하였고, NUMISHEET'93의 프론트 팬더의 성형 시뮬레이션을 수행하여 프로그램의 복잡한 형상의 성형 능력이 있음을 확인하였고, 실제 문제의 해석에 이용될 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] T. Belytschko, C.S.Tsay and W.K.Liu, " Explicit algorithms for the nonlinear dynamics of shells", Comput.Meths.Appl.Mech.Engrg., Vol.42, pp 225-251, (1984)
- [2] T. Belytschko, C.S.Tsay, " A stabilization procedure for the quadrilateral plate element with one-point quadrature", Int.J.Numer.Meths.Engrg., Vol.19, pp 405-419, (1983)
- [3] T. Belytschko, B.L.Wong and H.Y.Chiang, " Advances in one-point quadrature shell elements", Comput.Meths.Appl.Mech.Engrg., Vol.96, pp 93-107, (1992)
- [4] T. Belytschko, Nonlinear FEA: Explicit Methods and Crashworthiness, IBM (1990)
- [5] J.O.Hallquist, LS-DYNA3D Theoretical Manual, Livermore Software Technology Corperation, (1991)
- [6] A.Makinouchi et al, Proceedings of The 2nd International Conference NUMISHEET '93, Japan ,(1993)

표.1 소재유입량 (mm)

방향	0° 방향	45° 방향	90° 방향
실험	27.96	15.36	27.95
해석	27.95	16.20	27.95

표.2 비드부에서의 수평방향 저항력(kN)

비드	A	B1	B2	B3	C
비드력	0.045	0.06	0.07	0.09	0.065

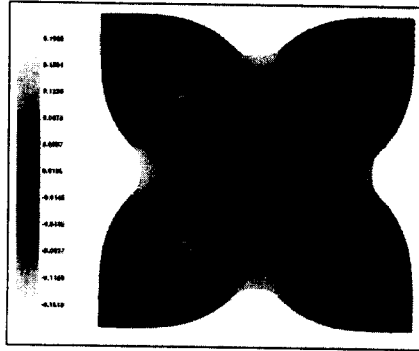


그림.3 사각형 컵의 성형 형상 및 두께스트레인 분포

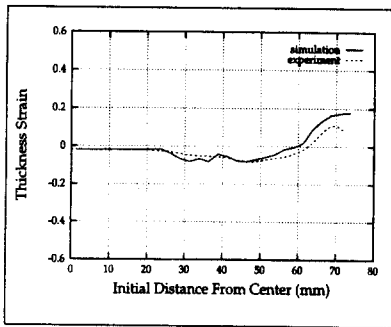


그림.1 0° 방향 두께스트레인 (사각형 컵)

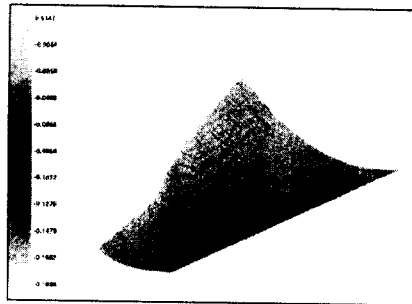


그림.4 프론트 팬더 형상 및 두께스트레인 (편치진행 50mm)

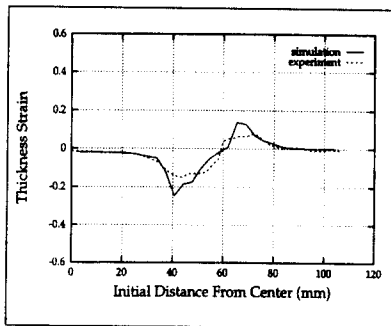


그림.2 45° 방향 두께스트레인 (사각형 컵)

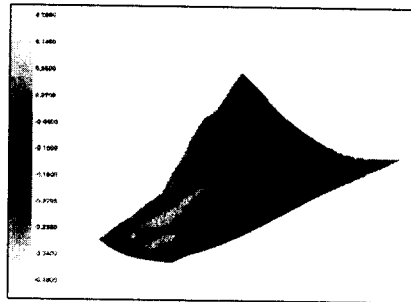


그림.5 프론트 팬더 형상 및 두께스트레인 분포 (편치진행 130mm)