

유한요소해석을 통한 드로우비드 저항력의 예측 및 평가

배기현¹ · 송정한¹ · 허훈[#] · 김세호² · 김동진³

Prediction and Evaluation of Drawbead Restraining Force with Finite Element Analysis

G. H. Bae, J. H. Song, H. Huh, S. H. Kim, D. J. Kim

Abstract

The drawbead is used to control the material flow into the die and increase the forming quality during the binder wrap process and the stamping process in the sheet metal forming. Drawbead restraining force (DBRF) is controlled by geometrical parameters and influenced by process parameters such as friction coefficient and blank thickness. In order to inspect the effect of process parameters, parameter studies are performed with the variation of parameters using finite element model of drawbead which is utilized reliably for the calculation of the drawbead restraining force. Drawbead analysis is carried out with 2-D plane-strain element and 3-D shell element. After the verification of the accuracy of the drawbead model with 3-D shell element, it is utilized to the prediction and the investigation of the effect of process parameters. The result of parameter studies can be utilized to the die design in the tryout stage.

Key Words : Drawbead Restraining Force (드로우비드 저항력), Parameter study (인자 분석), Finite Element Analysis (유한요소해석), Sheet Metal Forming (박판금속 성형)

1. 서 론

성형공정에 있어서 드로우비드는 박판에 적당한 장력을 부가하여 금형 내부에서 재료의 흐름을 제어하며 성형성 향상과 주름방지 등을 목적으로 사용된다. 하지만 설계된 드로우비드 저항력은 비드 형상, 재료 물성 및 성형 조건 등의 다양한 공정 변수에 의한 복합적인 영향을 받는다. 따라서 공정변수의 영향을 고려하여 드로우비드의 인출 특성을 예측함으로써 성형공정 설계의 효율성을 높일 수 있다.

수치해석기법과 컴퓨터의 발전으로 유한요소해석은 박판 성형공정 및 드로우비드의 인출 특성 예측에 유용하게 활용된다. 성형공정 해석 시에 실제 모델링을 통한 드로우비드의 적용은 많은

해석 시간을 요구한다. 따라서 드로우비드의 인출 특성을 고려한 등가 경계조건을 부가하여 성형해석을 수행하는 것이 일반적이다. 등가 경계조건을 적용하기 위한 드로우비드의 유한요소해석은 대부분 3차원의 형상을 2차원 평면변형률 상태로 가정하여 수행한다. 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 2차원 평면변형률요소가 아닌 3차원 쉘요소를 통하여 드로우비드 해석이 수행되었다. 해석 시간과 예측값의 비교를 통하여 쉘요소를 통한 드로우비드 저항력 예측의 타당성을 검증하였다. 유한요소해석을 통한 드로우비드 저항력의 예측과 평가에 관한 연구로 Convoisier 등[1]은 드로우비드에 대한 해석 모델을 제안하였으며 이를 통하여 저항력을 평가하였다. Yang 등[2]은 드로우비드의 깊이에 따른 저항력을 분석하였으며,

1. 한국과학기술원 기계공학과

2. 대구대학교 자동차·산업·기계공학과

3. POSCO 기술연구소

교신저자: 한국과학기술원 기계공학과, hhuh@kaist.ac.kr

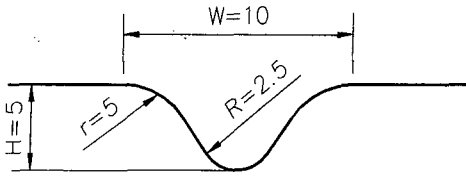


Fig. 1 Geometry of a circular drawbead

Table 1 Mechanical properties of TRIP60

Material	TRIP60
Yield strain (ϵ_{yp})	0.009
Plastic coefficient (K)	1205.3 MPa
Hardening exponent (n)	0.250
Sheet thickness	1.6 mm
Friction coefficient	1.5

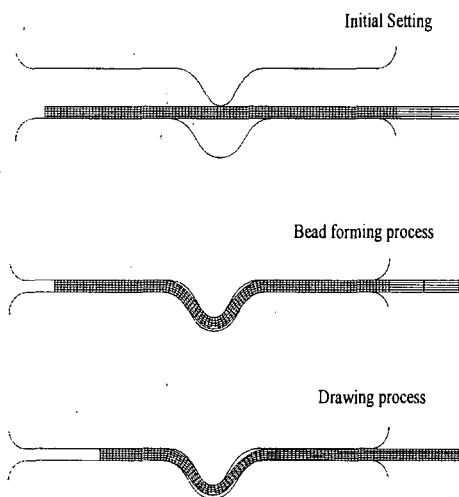
Choi와 Huh[3]는 2차원 탄소성 유한요소법을 통하여 판재 크기에 따른 드로우비드 저항력을 평가하였다. Cao 등[4]과 Huetink 등[5]은 스템핑 공정에서 드로우비드 저항력을 경계조건으로 적용하였다.

본 논문에서는 유한요소해석을 통하여 드로우비드 저항력을 예측하고 공정 변수에 따른 영향을 평가하였다. 드로우비드 인출 특성 예측을 위한 유한요소해석은 3차원 쉘요소를 사용하여 수

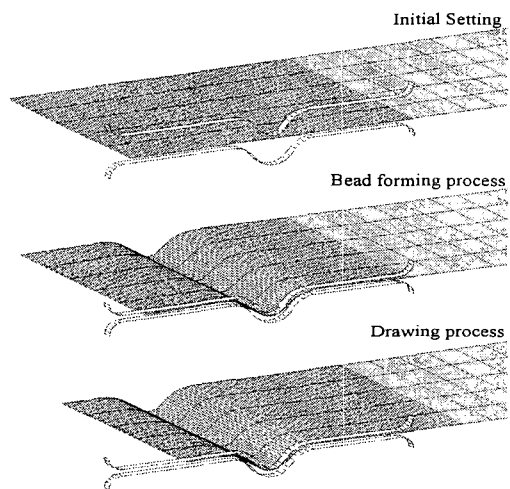
행하였으며 유한요소해석의 타당성을 검증하였다. 드로우비드 저항력에 주로 영향을 미치는 공정 변수로 마찰계수와 박판의 두께를 선택하였으며 각 인자에 따른 영향을 고찰하였다.

2. 드로우비드 인출 특성 분석

등가 경계조건을 적용을 위한 드로우비드 인출 특성의 평가를 위해 판재 성형공정에서 일반적으로 사용되는 원형 비드를 선정하였으며 실험치 [6]와의 비교를 통하여 평가하였다. 사용된 원형 비드의 형상은 Fig. 1에 도시하였다. 드로우비드는 2차원 평면변형률요소와 3차원 쉘요소를 사용하여 모델링하였다. 쉘요소를 통하여 모델링한 경우 판재의 폭은 50 mm로 가정하였다. 해석은 상용해석 프로그램인 ABAQUS/Standard를 사용하여 수행하였으며 IBM p690에서 2CPU를 사용하여 이루어졌다. 2차원 평면변형률요소를 사용한 경우 두께 방향으로 5개의 요소로 분할하였으며 감차적분법을 사용하였다. 3차원 쉘요소를 사용한 경우 두께 방향으로 5개의 적분점을 부가하여 두 모델 간에 두께 방향 적분점의 수를 동일하게 하였다. 해석에 사용된 재료는 TRIP60이며 Table 1에 기계적 물성을 도시하였다. Fig. 2는 평면변형률요소와 쉘요소를 사용한 경우 인출 공정에 따른 변형형상을 도시한 것이다. 드로우비드 인출



(a) Analysis with plane strain element



(b) Analysis with shell element

Fig. 2 Deformed shape of blank in the bead formation and drawing process

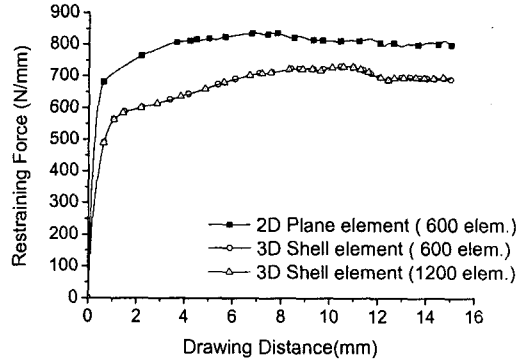
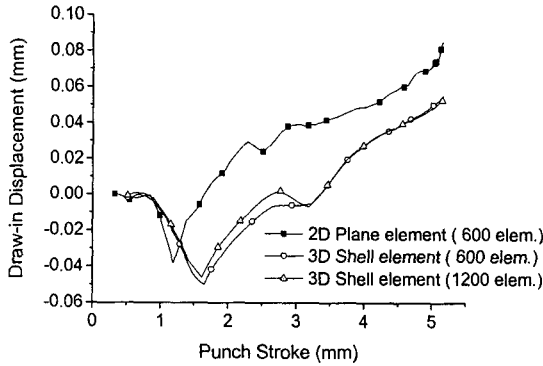


Fig. 3 Draw-in displacement and restraining force

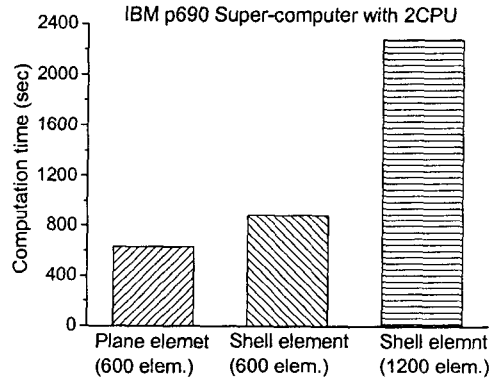
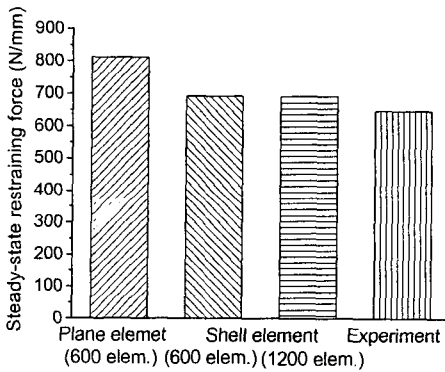


Fig. 4 Steady-state restraining force and computation time

공정은 바인더가 판재를 구속하면서 비드가 형성되는 과정과 판재가 인출되는 과정으로 구분된다. 인출 공정 시 드로우비드 저항력은 드로우비드에 의한 굽힘력과 판재와 금형 사이의 마찰력에 의해 결정된다. 바인더가 판재를 구속하는 공정에서 판재는 드로우비드에 의해 금형 내부로 유입되며 이에 따른 예비 변형 상태가 발생한다. 또한 스탬핑 공정에서는 드로우비드 저항력에 의해 재료의 유입이 제어된다. 따라서 성형해석 시에는 예비 변형 상태와 드로우비드 저항력을 등가 경계조건으로 고려한다. 금형 내부로 유입되는 거리는 금형 끝단에 위치하는 판재의 절점에서 측정하였으며 드로우비드 저항력은 변위 경계조건을 부가하는 판재의 끝단에서 측정하였다. 측정된 유입량과 드로우비드 저항력은 Fig. 3에 도시하였다. 바인더 랩 공정에서 초기에는 판재가 상승하면서 유입량이 음의 값을 갖지만 비드가 진행하면서 금형 내부로 판재의 유입이 발생하게 되어 인장 성

형이 수행된다. 드로우비드 저항력은 초기 증가하는 경향을 보인 후 외부 인출력과 평형의 상태를 유지하면서 정적 영역을 갖는다.

요소에 따른 드로우비드 저항력을 실험값과 비교하여 Fig. 4에 도시하였다. 평면변형률 요소를 사용한 경우 실험값보다 큰 저항력을 예측하고 있으며 쉘요소를 사용한 경우 실험값과 유사한 값을 예측하고 있다. 쉘요소의 경우 요소의 수가 많은 경우에도 결과에 차이가 없었다. 같은 요소의 수를 사용한 경우 쉘요소는 해석시간 면에서도 평면변형률 요소에 비해 큰 단점을 보이지 않는다. 따라서 적절한 수의 쉘요소를 통한 3차원 유한요소해석은 시간효율을 고려한 드로우비드 저항력 예측에 효과적으로 사용될 수 있다.

3. 공정 변수의 영향 분석

드로우비드 저항력은 비드 형상, 재료 물성 및

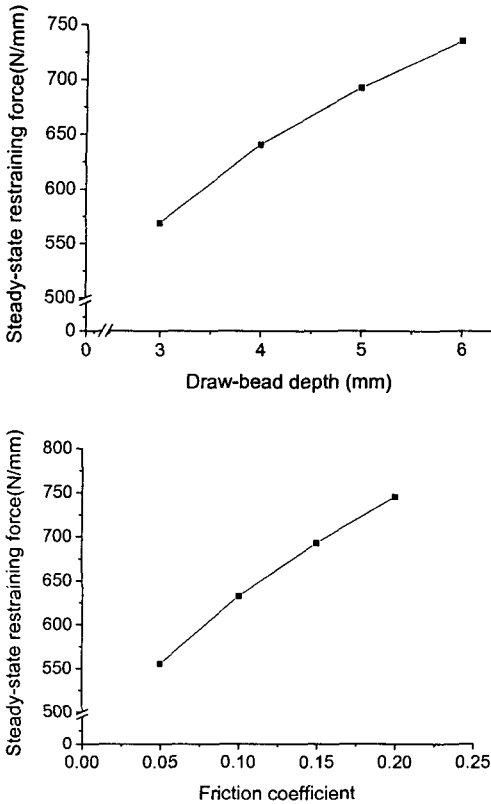


Fig. 5 Variation of drawbead restraining force with respect to process parameters

성형 조건 등 다양한 공정 변수에 의해 복합적인 영향을 받는다. 따라서 박판 성형 시에 공정 변수의 영향을 고려한 드로우비드 저항력의 예측은 금형 설계의 트라이아웃 단계에서 시행착오에 의한 설계 기간을 단축할 수 있게 한다.

본 논문에서는 비드의 깊이, 판재의 두께 및 마찰계수의 변화에 따른 드로우비드 저항력의 변화 양상을 고찰하였으며 결과를 Fig. 5에 도시하였다. 비드의 깊이가 깊어질수록 판재에 작용하는 굽힘력과 접촉각이 증가하므로 드로우비드 저항력은 증가한다. 판재와 비드 사이에 접촉이 발생할 때 마찰에 의한 영향이 발생하므로 마찰 계수가 증가할수록 드로우비드 저항력이 증가하는 경향을 보인다. 또한 판재의 두께는 굽힘력에 직접적인 영향으로 인하여 드로우비드 저항력의 큰 변화를 가져온다. 이와 같은 공정 변수에 의한 영향을 고려한 금형의 설계는 트라이아웃 단계에서 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

4. 결론

본 논문에서는 유한요소해석을 통한 드로우비드의 인출 특성을 파악하고 공정 변수에 따른 저항력의 변화를 고찰하였다. 드로우비드 인출의 유한요소해석을 위해서 3차원 셀요소를 통한 모델링이 도입되었다. 3차원 셀요소를 통한 모델링은 2차원 평면변형률요소에 의한 결과보다 실험값을 정확히 예측한다. 이를 통하여 셀요소를 통한 유한요소해석의 신뢰성을 검증하였다. 셀요소를 통한 드로우비드 유한요소해석을 통하여 공정변수에 따른 저항력의 변화를 고찰하였다. 굽힘력과 마찰력에 대한 공정 변수의 영향으로 비드의 깊이가 깊어질수록, 마찰계수가 증가할수록, 판재의 두께가 두꺼워질수록 드로우비드 저항력이 증가하는 경향을 보였다. 공정 변수에 대한 드로우비드 저항력의 고찰은 금형 설계의 트라이아웃 단계에서 시행착오에 의해 증가하는 설계 기간을 단축하여 보다 효율적인 금형 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Courvoisier, L., Martiny, M. and Ferron, G.: Analytical Modeling of Drawbeads in Sheet Metal Forming, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 133, (2003), 359-370.
- [2] Yang, Y.Y., Jin, Z.H. Wang, R.F. and Wang, Y.Z.: 2-D Elasto-Plastic FE Simulation of Drawbead Drawing Process, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 120, (2002), 17-20.
- [3] Choi, T.H., Huh, H., Chun, B.K. and Lee, J.H.: Drawbead Simulation by an Elasto-Plastic Finite Element Method with Directional Reduced Integration", *J. Mater. Process. Technol.* Vol. (1997), 666-671.
- [4] Cao, J. and Boyce, M.C.: Drawbead Penetration as a Control Element of Material Flow, SAE 930517, (1993), 145-153
- [5] Meinders, T., Geijselers, H.J.M. and Huetink, J.: Equivalent Drawbead Performance in Deep Drawing Simulations, NUMISHEET '99, (1999), 243-248.
- [6] Restraining Force of Draw-bead, Hyundai Motors Private Reports