

등가 드로우비드 이론 모델 검증

문성준¹, 금영탁[#]

Verification of Theoretical Model for Equivalent Drawbead

S. J. Moon, Y. T. Keum

Abstract

A theoretical model of equivalent drawbead for sheet metal forming analysis is experimentally verified in this paper. After the theoretical drawbead models improved a material description for the accurate calculation of drawbead forces are briefly introduced, they are verified by showing the good agreement of their drawbead forces with experimental measurements. Furthermore, the excellence of theoretical models is demonstrated by the comparison with those of commercial codes.

Key Words: Drawbead(드로우비드), DBRF(드로우비드 저항력), DBOF(드로우비드 상압력), Circular Drawbead(원형 비드), Square Drawbead(사각 비드), Step Drawbead(계단 비드), Drawbead Forces(드로우비드력), Equivalent Drawbead(등가 드로우비드)

1. 서론

유한요소법을 이용한 박판성형 해석은 프레스 성형의 트라이아웃 과정에서 발생하는 여러가지 문제를 사전에 파악할 수 있도록 하여 금형 설계와 개발에 소요되는 비용과 시간을 현저히 줄여 준다. 그러나 스탬핑 공정에서 사용하는 드로우비드는 박판성형시 주름, 파단, 스프링백 등의 결함을 방지하는 가장 중요한 설계인자 임에도 명확하게 규정되어 있지 않다. 특히, 등가 드로우비드 모델의 경우 각 관련업체와 소프트웨어마다 서로 다른 드로우비드력을 제시하고 있어 보다 명확한 이론 모델과 이의 검증이 필요하다.

드로우비드에 관한 연구는 Nine에[1,2] 의해 드로우비드 실험이 시작된 후, Wang이[3] 원형비드의 수학적 모델을 제시하였고, Levy는[4] 저항력을 예측하기 위한 가상일의 원리를 도입하였다. 또한, Stoughton은[5] 프레스 성형에서 여러가지 인자를 고려한 드로우비드의 수학적 모델을 제시하였고,

Carleer등은[6] 2차원 유한요소 해석을 이용한 등가 드로우비드 모델을 제안하였으며, Lee등은[7] 혼합 등방-이동경화 식을 통해 드로우비드력 산출을 하였고, Keum등은[8,9,10] 유한요소 해석을 위한 등가 드로우비드 모델과 드로우비드력의 결정을 위한 실험을 제안하였다.

본 연구에서는 등가 드로우비드의 이론모델을 간단히 소개하고, 여기서 산출된 드로우비드력을 실험을 통해 측정된 값과 비교함으로써 이론모델의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 이론모델

2.1 드로우비드 저항력

드로우비드 저항력(Drawbead Restraining Force: DBRF)은 프레스 공정의 스탬핑 공정에서 박판이 금형의 홀더 부에서 펀치 부로 인출되는 과정에 상형다이와 하형홀더 사이에 있는 드로우비드에 의해 발생하는 수평방향의 저항력이다[1, 2].

1. 한양대학교 일반대학원, 자동차 공학과
교신저자: 한양대학교 기계공학부, ytkeum@hanyang.ac.kr

이때 박판은 드로우비드의 형상과 치수에 의해 각 구간에서 굽힘력, 되굽힘력을 반복적으로 받으며 모양과 물성이 변화되는데 이러한 힘들의 수평성분의 합이 드로우비드 저항력이고 이 힘이 너무 크면 시편은 인출되지 않거나 파단이 발생하게 된다. 따라서 드로우비드 저항력은 드로우비드가 가지는 형상과 치수를 수학적으로 표현한 기하학 모델과 재료의 물성 변화를 나타내는 경화 모델이 필요하다. 본 연구에서 결정한 드로우비드의 기하학 모델은 Wang이[3] 제안하고 Stoughton이[5] 검증한 원형 드로우비드의 수학적 모델에서 드로우비드와 박판의 접선 방정식을 개선하여 접촉각을 구하였으며, 이를 사각 드로우비드와 계단 드로우비드의 기하학 모델에도 응용하였다[8]. 그리고 경화 모델은 Lee등이[7] 제안한 것으로 드로우비드 부에서 박판이 평면변형 모드를 가진다고 가정하고, 반복적인 굽힘과 되굽힘에 의한 Bauschinger 효과와 transient 거동을 나타내기 위하여 Chaboche 단표면 모델에 기초한 혼합 등방-이동경화 식을 이용하였으며, 드로우비드 입구에서 탈출구까지 주어진 시간증분 동안 드로우비드 형상에 의한 요소의 변형경로를 변형증분 이론에 기초한 구성방정식의 적분을 통해 구하였다.

2.2 드로우비드 상압력

드로우비드 상압력(Drawbead Opening Force: DBOF)은 드로우비드 저항력과 같은 조건에서 드로우비드에 의해 박판이 상형다이를 들어올림으로써 다이세트가 열리는 힘이다[1,2]. 이때 박판은 드로우비드의 굽힘력, 되굽힘력에 의해 변형되면서 수직력과 탄성복원력을 드로우비드에 가하게 되는데 이러한 힘의 수직성분의 합이 드로우비드 상압력으로 이 힘이 너무 크면 상형다이가 들어올려져서 박판을 성형할 수 없게 된다. 본 연구에서는 드로우비드 상압력을 구하기 위하여 스탬핑 공정에서 드로우비드 부의 박판 거동을 성형공정과 인출공정으로 구분하여 구하였다. 먼저 성형공정에서 프레스의 다이와 홀더가 맞닿아 박판이 성형될 때, 박판에 생기는 변형의 수직방향 변위와 드로우비드의 굽힘 면압의 곱이 수직력으로 Stoughton이[5] 제안하였다. 그리고 인출공정에서 프레스의 다이와 편치에 의한 스탬핑으로 박판이 드로우비드 부를 따라 인출되며 발생하는 복원력으로 Stoughton이 제안한 이론을 일반적인 굽힘에 대한 탄성복원력으로 개선하여 구하였다[8].

3. 검증

이론 모델의 검증을 위해 Keum등이[9] 제안한 드로우비드 실험을 수행하였고, 실험값을 이론 모델을 통해 산출한 값과 두 개의 상용 소프트웨어 회사에서 제안하는 값을 함께 비교하였다.

3.1 원형 드로우비드

원형 드로우비드력의 실험값과 이론 값을 비교한 결과는 Fig. 1과 같다. 실험에 사용한 원형 드로우비드의 실험금형은 Keum등이[10] 제안한 것으로 치수는 Fig. 1의 표와 같다.

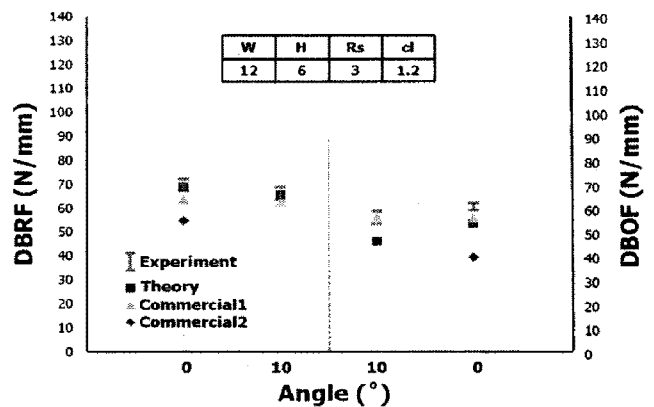


Fig. 1 Comparison of drawbead forces between experiment and theoretical model in circular drawbead

3.2 사각 드로우비드

사각 드로우비드력의 실험값과 이론 값을 비교한 결과는 Fig. 2와 같다. 실험에 사용한 사각 드로우비드의 실험금형은 Keum등이[10] 제안한 것으로 치수는 Fig. 2의 표와 같다.

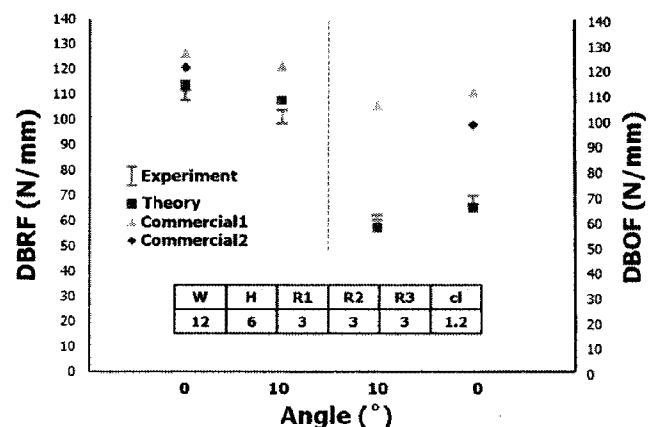


Fig. 2 Comparison of drawbead forces between experiment and theoretical model in square drawbead

3.3 계단 드로우비드

계단 드로우비드력의 실험값과 이론 값을 비교한 결과는 Fig. 3와 같다. 실험에 사용한 계단 드로우비드의 실험금형은 Keum등이[10] 제안한 것으로 치수는 Fig. 3의 표와 같다.

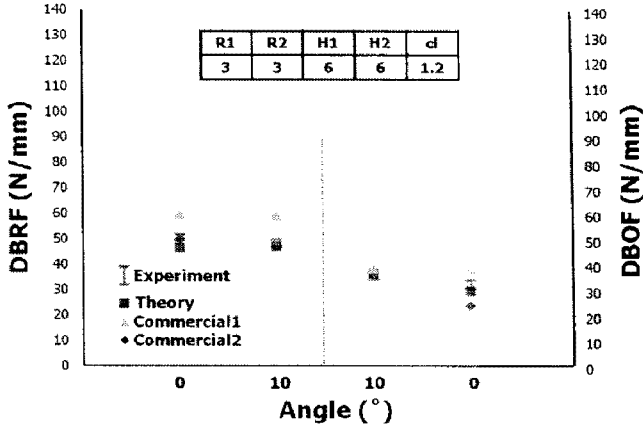


Fig. 2 Comparison of drawbead forces between experiment and theoretical model in step drawbead

4. 결론

박판성형 해석에서 등가 드로우비드 모델의 드로우비드력을 산출해 주는 개선된 이론모델을 소개하고, 이론모델에서 산출한 값과 두 개의 상용 소프트웨어에서 제시한 값을 실험을 통해 측정된 값과 함께 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 원형 드로우비드의 실험값과 비교한 결과 다른 상용 소프트웨어의 드로우비드력은 10~20%내외의 오차를 보인 반면, 이론모델의 드로우비드력은 상압력 12%, 인출력 1% 정도의 오차를 보였다.
- (2) 사각 드로우비드의 실험값과 비교한 결과 다른 상용 소프트웨어의 드로우비드력은 10~40%내외의 오차를 보인 반면, 이론모델의 드로우비드력은 4%정도의 오차를 보였다.
- (3) 계단 드로우비드의 실험값과 비교한 결과 다른 상용 소프트웨어의 드로우비드력은 20% 내외의 오차를 보인 반면, 이론모델의 드로우비드력은 8%정도의 오차를 보였다.

후 기

본 연구결과를 위해 협조해 주신 (주) 지엠대우

자동차 공기팀(GMDAT)의 최오영 부장님을 비롯한 관계자 여러분들께 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] H. D. Nine, 1978, Drawbead Forces in Sheet Metal Forming, Mechanics of Sheet Metal Forming, pp. 179~211.
- [2] H. D. Nine, 1982, New Drawbead Concepts for sheet Metal Forming, American Society for Metals, Vol. 2, No. 3, pp. 185~192.
- [3] N. M. Wang, 1982, A Mathematical Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming, J. of Applied Metal Working, Vol. 2, No. 3, pp. 193~199.
- [4] B. S. Levy, 1982, Development of a Predictive Model for Draw Bead Restraining Force Utilizing Work of Nine and Wang, J. Applied Metal Working, Vol. 3, No. 1, pp. 38-44
- [5] T. B. Stoughton, 1988, Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming, 15th IDDRG, pp. 205~215.
- [6] B. D. Carleer, T. Meinders, and H. Huetink, 1996, Equivalent Drawbead Model in Finite Element Simulations, Numerical Simulations of 3-D Sheet Metal Forming Processes (NUMISHEET'96), pp. 25-31
- [7] M. G. Lee, K. Chung, R. H. Wagoner, Y. T. Keum, 2008, A numerical method for rapid estimation of drawbead restraining force based on non-linear, anisotropic constitutive equations, International Journal of Solids and Structures, Vol. 45, No. 11-12, pp. 3375~3391
- [8] Y. T. Keum, J. H. Kim, B. Y. Ghoo, 2001, "Expert Drawbead Models for Finite Element Analysis of Sheet Metal Forming Processes", International Journal of Solids and Structures, Vol. 38, No.30-31, pp. 5335~5353
- [9] 문성준, 금영탁, R. H. Wagoner, 2007, 자동차 스탬핑 금형의 드로우비드력 특성에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제16권, 제6호, pp. 457~462
- [10] 문성준, 이명규, 금영탁, 2008, 드로우비드력결정을 위한 실험모델, 2008 한국소성가공학회 춘계학술대회, pp. 217~219