

드로우비드 상압력과 인출력 측정에 관한 연구

문성준¹, 김영탁²

Study on the Measurement of Restraining and Opening Forces in Drawbeads

S. J. Moon and Y. T. Keum

Abstract

The drawbeads, which is used for controlling the flow of the sheet by imposing the tension and for preventing the springback in the sheet metal forming process, affects a lot the formability because of the differences in the restraint and opening forces according to the drawbead shapes and dimensions. In this study, the experimental device enabling to measure the drawbead restraining forces and the drawbead opening forces associated with various drawbead shapes and dimensions and their theoretical evaluation are introduced and verified through the experimental measurement of those of a circular drawbead.

Key Words : Drawbead (드로우비드), Drawbead Restraint Force (드로우비드 인출력), Drawbead Opening Force (드로우비드 상압력), Circular Drawbead (원형비드)

1. 서론

자동차 차체에서 사용되는 복잡한 형상의 박판은 얇은 드로잉 강판이 프레스에 의해 성형된 것이다. 이러한 성형과정에서 가장 고려되어야 할 부분은 드로잉 강판의 주름과 파단현상이고 이 현상의 방지를 위해 재료의 흐름을 제어하고, 탄성복원 방지와 강성 증가를 위한 장력을 주는 것이 박판 성형의 기본이다. 프레스 금형의 블랭크 홀더 면에 있는 드로우비드가 이러한 역할을 하고 그 형상과 치수의 변화에 따라 인출 결과와 성형에 미치는 영향도 다르게 나타난다.

실제 설계단계에서 스탬핑 금형의 제작시 설계자의 경험과 핸드북을 통해 드로우비드를 선정하지만 수많은 시행착오가 불가피하고 제품개발 기간 단축에도 악영향을 끼치게 된다. 따라서 보

다 체계적인 설계시 스태밍의 운용과 신뢰할만한 컴퓨터 시뮬레이션을 위해서는 드로우비드력에 영향을 줄 수 있는 인자들을 세분화해서 측정할 수 있는 실험이 반드시 필요하다.

드로우비드에 관한 본격적인 연구는 Nine[1]에 의해 시작되어 구미와 일본에서 1980 년대에 본격화되었고 Wang[2], Levy[3], Weinmann[4], Stoughton[5]등이 대표적이다. 요즘은 박판성형 해석 프로그램의 해석 신뢰도 향상을 위하여 드로우비드에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

본 연구는 박판성형시 스태밍 공정에서 중요한 역할을 하는 드로우비드의 실험에 관한 연구로서 드로우비드의 인출력과 상압력을 형상과 치수의 변화에 따라 측정할수 있는 방안을 연구하였고 이를 원형비드의 실험을 통해 이론식에서 얻어지는 값과 비교하여 검증하였다.

1. 한양대학교 일반대학원, 메카트로닉스 시스템 공학과
2. 한양대학교 기계공학부, ytkeum@hanyang.ac.kr

2. 드로우비드 모델

2.1 인출력

유한요소법을 이용한 스탬핑 공정의 성형 해석에서 드로우비드 부는 경계조건이 되며, 성형 해석에 필요한 정보는 드로우비드 인출력과 상압력이다. 드로잉 강판이 드로우비드 부를 통과할 때 받는 저항력은 굽힘변형과 마찰에 기인하고 본 연구에서는 Stoughton[5]이 제안한 이론을 바탕으로 하여 현장에서 적용할 수 있는 기존의 드로우비드 모델 식[6][7]을 이용하였다.

원형 비드에 의해 시편이 변형된 모양은 Fig. 2.1 과 같고 드로우비드 인출력은 비드부의 여러 부분에서 시편이 받는 굽힘력, 마찰력, 되굽힘력을 극복하기 위해 외부에서 주어야 할 힘으로 드로우비드 인출시 소재가 받는 힘들을 순서대로 고려하여 구할 수 있다.

먼저, Fig.2.1 의 플랜지부인 0~1, 6~7 구간에서는 마찰력 F_{c1} 이 작용하고 1 지점에서 시편에 작용하는 굽힘력은 F_1 이다. 1~2 부분에서 유효곡률만큼 굽혀진 후 시편은 F_2 의 힘을 받으며 미끄러진다. 3 지점에서 시편은 굽힘력 F_3 을 받게 되며, 탄성 복원력에 의한 마찰력 $\mu F_e / 2$ 도 작용한다. 이후 재료는 드로우비드 곡률을 타고 미끄러지기 전의 힘에 $e^{\mu\theta}$ 를 곱함으로써 얻게된다. 소재는 4 지점에서 되굽힘력(F_4), 지점 4~5 에서 두번의 탄성복원력에 의한 마찰력(μF_e), 5 지점에서 굽힘력(F_5), 지점 5~6 사이에서 미끄러짐에 의한 마찰 ($e^{\mu\theta}$), 6 지점에서 되굽힘력 (F_6)을 받게 되므로 최종적인 드로우비드 저항력 (DBRF, Draw-bead Restraining Force)는 식(2.1)과 같다. 여기서 F_i 는 i 지점에서의 굽힘력 혹은 되 굽힘력이다.

$$DBRF = [\{ (F_{c1} + F_1)e^{\mu\theta} + F_4 + \mu F_e + F_5 \} e^{\mu\theta} + F_6 + F_{c2}] \quad (2.1)$$

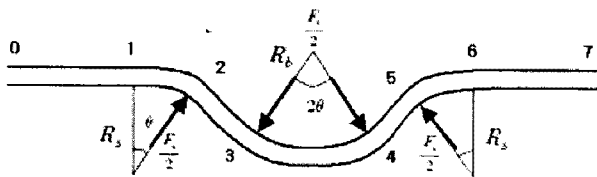


Fig. 2.2 Detail description of the sheet formed by a single circular bead

2.3 상압력

소재가 인출될 때 상형비드를 들어올리는 힘이 발생하게 된다. 이 드로우비드 상압력은 소재에 의해 드로우비드 표면에 작용하는 압력에 의한 것이며, 만일 외부에서 가해지는 블랭크 가압력이 드로우비드 상압력보다 작으면 상형비드와 하형 비드 사이에 틈이 생겨 드로우비드 저항력이 급격히 감소하게 된다.

원형 비드에서 소재가 인출될 때 상형비드의 자유 물체도는 Fig. 2.2과 같다. 비드에 탄성 복원력과 소재에 의한 압력이 작용하며 드로우비드 상압력 (DBOF, Drawbead Opening Force) F_R 은 이 힘들의 수직성분의 합인 식(2.2)와 같다.

$$F_R = \{ F_e \cos \theta + (F_1 e^{\mu\theta} + \mu F_e + F_2 + F_3) G(\mu, \theta) \} / \{ 1 + 2\mu G(\mu, \theta) e^{\mu\theta} l_1 / (l_1 + l_2) \} \quad (2.2)$$

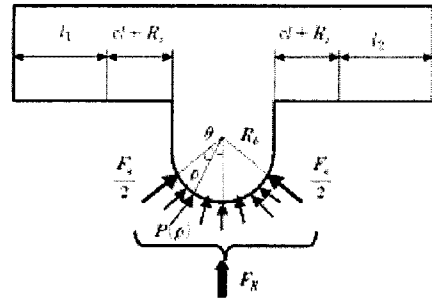


Fig. 2.2 Free body diagram for calculating the opening force in a single circular bead

3. 실험

3.1 실험장치

드로우비드의 인출력 측정을 위하여 블랭크홀더 면에 있는 드로우비드 금형을 재현한 전문 모델은 앞서 개발한적이 있었다.[6][7] 프레스의 스탬핑 금형과 같은 FCD300 재질을 주물일체형으로 제작하였고 치수는 GM 대우에서 실제 스탬핑에 적용하는 드로우비드 치수를 사용하였다. 그리고 시편을 올려놓았을때 안정성 확보를 위하여 기존과 같이 드로우비드 형상을 가지는 부위인 수비드는 상형에 부착하고 암비드는 하형에 부착하였다. 한편 드로우비드 설계에서 중요한 인자중 하나인 단면의 형상에 따른 드

로우비드력을 구하기 위하여 기존의 인출력 측정기를 위한 전문모델의 R_s 부분을 Fig. 3.1 과 같이 반원으로 만들고 하형비드 금형의 l_1 과 l_2 부분의 맞닿는 면적을 없앴으로써 블랭크 홀딩력에 의해 시편이 성형되었을 경우 드로우비드의 형상에 의해서 모양을 가지는 부분만 맞게 하였다.

본 연구에서의 실험장치는 실제 프레스의 블랭크홀더 부분에 의해 성형되는 드로우비드 부분을 재현하기 위하여 Fig. 3.2 와 같이 제작되었다. 드로잉 강판은 프레스는 블랭크홀더에 의해 홀딩된 후 프레스의 종류에 따라 펀치의 하강이나 다이의 하강으로 인해 드로잉 강판이 원하는 모양으로 성형되는 스탬핑 과정을 거치게 된다. 이때 블랭크 홀더의 드로우비드 부분에 있는 시편은 Fig.3.2 의 (a)에서 (b)로 드로우비드 형상에 의한 장력을 받으며 미끄러지며 빠져나가게 되고 실험에서 이러한 경제조건의 재현을 위해 드로우비드 금형에 의해 성형되는 시편의 한쪽을 모터부와 연결된 이송대에 고정핀을 사용하여 고정시켰다. 이로써 모터의 동작시 시편은 인장을 받음과 동시에 드로우비드 금형단면 부분에 의해 굽힘과 미끄러짐, 되굽힘 과정을 거치며 인출되어진다. 그리고 드로우비드 인출력의 측정을 위해 시편의 고정핀 부분에 로드셀을 장착하였다.

한편, 드로우비드에 따른 상압력 측정을 위하여 Fig.3.2 와 같이 상형비드 금형의 상단에 로드셀을 장착시켰으며 로드셀의 측정을 위한 면압볼트는 금형에 닿지 않은 상태로 두었다가 드로우비드 금형이 시편을 성형한 후 드로우비드 금형과 로드셀 사이에 간극을 주는 금속의 제거와 함께 면압볼트를 금형에 닿게하여 모터의 동작에 의해 시편이 미끄러져 나가는 동안의 상압력만을 측정할 수 있게 하였다.

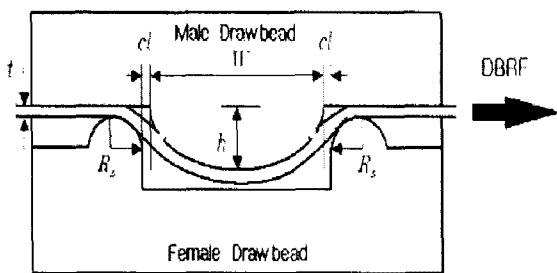
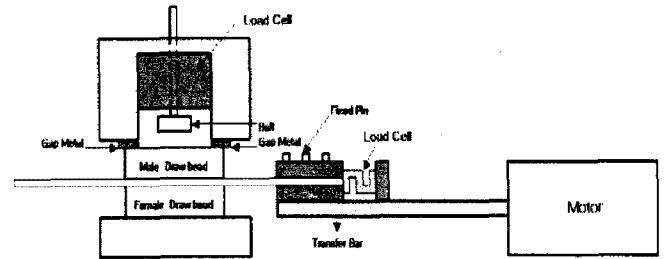
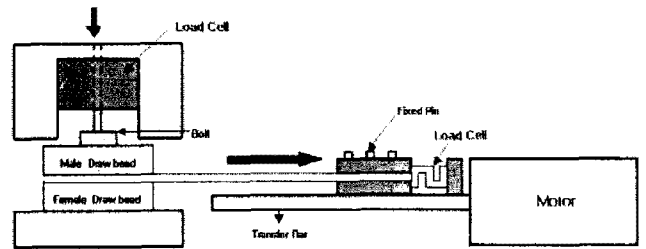


Fig. 3.1 Drawbead die for measuring DBRF and DBOF



(a)



(b)

Fig. 3.2 Experiment device for measurement of DBRF and DBOF

3.2 실험방법 및 조건

실험에서 사용한 금형과 시편의 물성치는 Table. 3.1, 3.2 와 같다. 시편은 GM 대우에서 사용하는 드로잉 강판을 실험을 위해 폭 4cm, 길이 120cm로 자른 후 한쪽에 3 개의 홀을 만들어 고정핀에 끼워 이송대와 함께 고정시켰다. 실험전 시편의 버는 완전히 제거하고 기름으로 닦은후 말린 상태로 진행하였다.

박판성형기의 작동에 의해 블랭크 홀딩력이 가해지며 드로우비드 금형에 의해 시편은 드로우비드의 형상에 따라 성형된다. 다음으로 상압력 측정을 위하여 로드셀의 면압볼트를 금형에 닿게 한후 상형비드 금형의 상단에 일정한 간극을 주는 금속을 제거함으로써 형상에 따른 상압력의 변화만을 측정하였다. 한편 실험장치의 모터를 일정한 속도로 작동시킴으로써 시편은 드로우비드 단면을 미끄러지며 20cm 지점까지 통과하게 되며 상압력과 인출력은 각각의 로드셀에 연결되어 있는 인디케이트를 통해 확인할 수 있다. 상압력과 인출력은 초마다 측정 되어지는 값을 사용하였다.

Table. 3.1 Experimental conditions

Bead Shape	Die Material	Surface Roughness	BHF (kg)	Pulling Speed (mm/min)
Circular Bead	FCD 300	1.50	500	300

Table. 3.2 Material Property of SPCEEN-0.65t

Specimen Direction (degree)	Yield Stress (MPa)	n	K (MPa)	r	E (GPa)
Average	165	0.23	530	1.78	69.3

3.3 실험결과

실험을 수행하여 측정된 값과 드로우비드 모델식을 통해 나온 이론값을 비교할 수 있다. Fig. 3.3 은 모터에 의해 이송대가 일정한 속도로 움직일때 드로우비드 인출력 (N/mm)을 매초마다 측정된 값과 드로우비드 인출력식에서 나온 이론값을 비교하여 그래프로 나타낸것이다. Fig. 3.4는 시편이 인출됨과 동시에 나타난 상압력의 변화를 측정된 값과 이론값을 그래프로 나타낸 것이다.

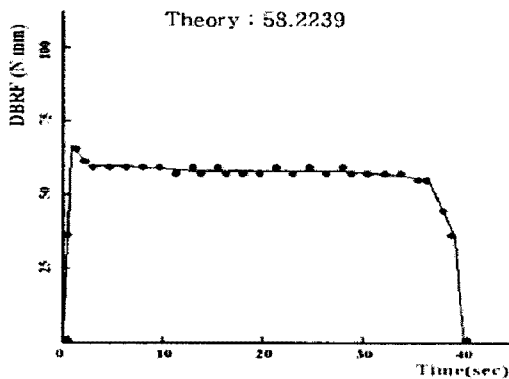


Fig. 3.3 Drawbead Restraint Force

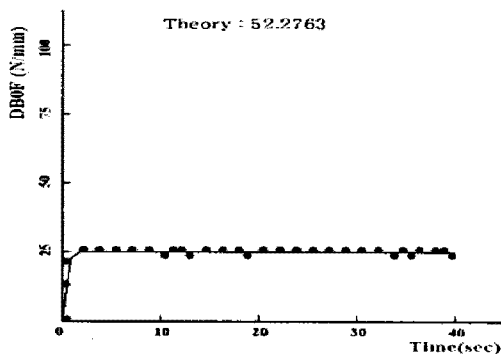


Fig. 3.3 Drawbead Opening Force

4. 결론

본 연구는 박판성형시 중요한 역할을 하는 드로우비드를 규명하는 실험으로 드로우비드에 의해 발생하는 인출력과 상압력의 변화를 동시에 측정하는 실험장치를 구현하여 이들을 측정하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 형상에 따른 인출력과 상압력의 변화를 보다 정밀하게 측정하기 위하여 기존의 드로우비드 모델을 바탕으로 한 새로운 드로우비드 금형과 측정장치를 개발하였다.

(2) 개발된 실험장치로 드로우비드를 구현함으로써 형상에 의한 상압력의 변화를 실험을 통해 측정할 수 있었고 이론값과의 비교를 통해 실험의 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] H. D. Nine, 1978, "Drawbead Forces in Sheet Metal Forming", Mechanics of Sheet Metal Forming, pp. 179 ~ 211.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] L. R. Sanchez and K. J. Weinmann, 1988, " A General Computer Model for Plane Strain Sheet Flow and its Application to Flow between Circular Drawbeads ", 15th IDDRG, pp. 217-226.
- [5] T. B. Stoughton, 1988, "Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming", 15th IDDRG, pp. 205 ~ 215.
- [6] 김영탁, 이재우, "박판성형공정의 유한요소해석을 위한 드로우비드 전문모델 개발(1부:실험)", 한국소성가공학회지, 7(1), 3-11 (1998).
- [7] 김영탁, 이재우, "박판성형공정의 유한요소해석을 위한 드로우비드 전문모델 개발 (2 부: 모델링)", 한국소성가공학회지, 7(1), 12-22 (1998).