

자동차 스텝핑 금형의 드로우비드력 특성에 관한 연구

문성준¹ · 김영탁[#] · R. H. Wagoner²

Study on the Characteristics of Drawbead Forces in Automotive Stamping Dies

S. J. Moon, Y. T. Keum, R. H. Wagoner

(Received May 10, 2007)

Abstract

The drawbeads, which are used for controlling the flow of the sheet into die cavity by imposing the tension and for preventing the forming defects like wrinkling, springback, etc. during the sheet forming process, affect the formability strongly 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 and opening forces is manufactured and the drawing forces of circular, square, and step drawbeads are measured. The drawbead restraining and opening forces of a circular drawbead are increased as its drawbead height is increased. Similarly, those of a square drawbead are increased as its height is increased and shoulder radii decreased. The drawbead forces obtained from the experiment were compared with those calculated in the numerical simulation of stamping process of automotive fender. Good agreement was found so that the experimental measurements can be used in the simulation of auto-body stamping process.

Key Words : Stamping Die, Drawbead, BHF, DBOF, DBRF, Circular Drawbead, Square Drawbead, Step Drawbead

1. 서 론

자동차 시장에서 다양하고 우수한 자동차의 외관은 업계의 생사를 가능할 정도로 중요한 잣대이고 차체의 외관을 구성하는 바디는 드로잉 강판의 스텝핑 금형에 의한 프레스 성형에 의해 만들어지고 있다. 따라서 드로잉 강판의 성형성 향상과 프레스 성형에 대한 연구는 항상 활발하게 이루어져 왔다. 특히 프레스 성형을 위한 스텝핑 금형 설계시 블랭크 홀더면에 있는 드로우비드는 박판의 주름과 파단현상을 제어하고, 탄성복원 방지 및 강성증가를 위한 장력부여등 박판성형 과정에서 가장 큰 영향을 주는 설계인자이다.

실제 금형설계에 있어 드로우비드부의 설계는

가장 복잡하고 시행착오가 반복되는 부분이다. 이는 드로우비드 자체가 가지는 형상과 치수가 다양할 뿐 아니라 이에 따른 성형결과도 확연하게 달라지기 때문이다. 또한, 자동차용 드로잉 강판의 특성상 표면처리된 페라이트 조직의 연질냉간 압연 강판이고 따라서 드로우비드 성형에 의해 재료의 물성치 특성도 크게 변화하기 때문에 정교하고 체계적인 설계시스템 운용을 위해서는 보다 실제적인 드로우비드력 측정실험과 이와 관련된 수학적모델 개발 및 수많은 시뮬레이션을 통한 데이터 수집 작업이 반드시 필요하다.

드로우비드에 관한 연구는 Nine[1], Wang[2], Levy[3], Stoughton[4]에 의한 연구가 대표적이고 물성치 거동에 관한 연구는 Demeri[5], Cao와 Boyce[6],

1. 한양대학교 일반대학원, 자동차공학과
2. Department of Materials Science and Engineering, The Ohio State University, Columbus, Ohio 43210, U.S.A
교신저자 : 한양대학교 기계공학부, ytkeum@hanyang.ac.kr

Prager[7]와 Ziegler[8]가 대표적이다.

본 연구에서는 박판 스탬핑 공정에서 드로우비드력의 특성을 알아보기 위하여 드로우비드 금형의 형상과 치수 그리고 인출각도에 따른 드로우비드력 즉, 드로우비드의 상압력(DBOF)과 인출력(DBRF)을 측정하고, 자동차 팬더 드로우금형에서 이들 측정치들의 적용을 알아본다.

2. 실험

2.1 실험장치 및 실험방법

본 실험에서 Fig. 1의 단동식 프레스에서 다이패이스의 경사면과 드로우비드부를 재인함과 동시에 드로우비드 상압력과 인출력을 동시에 측정하기 위해 Fig. 2와 같이 드로우비드 실험장치를 제작하였다. 드로우비드력 측정실험을 위해서 시편을 실험장치의 고정편에 고정하고 블랭크 홀더를 상승시켜 시편이 드로우비드 금형에 의해 성형되게 한 후, 상압력 측정을 위한 면압측정 볼트를 하강시키고 금형의 다이세트 상단에 있는 gap metal을 제거한다. 그리고 모터를 작동시켜 시편이 고정된 이송바를 통해 정해진 구간을 일정한 속도로 인출되게 하고, 이때 로드셀을 이용하여 상압력과 인출력을 측정한다.

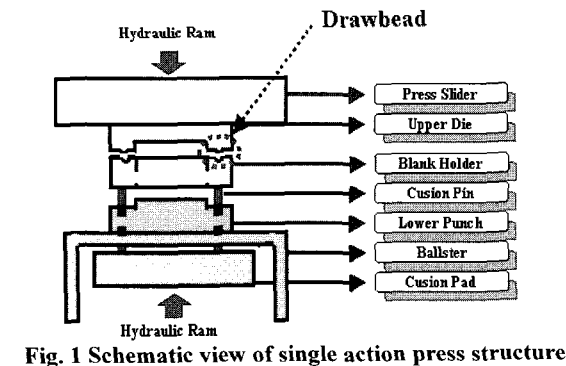


Fig. 1 Schematic view of single action press structure

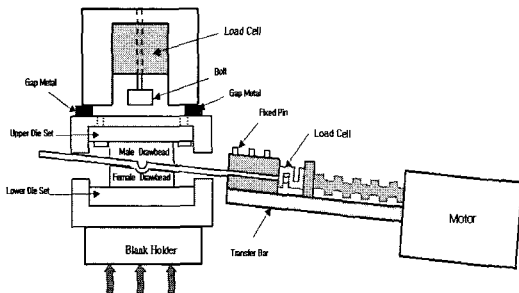


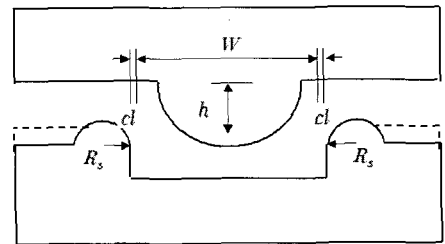
Fig. 2 Schematic view of experimental device for measuring DBRF and DBOF in stamping dies

2.2 실험조건

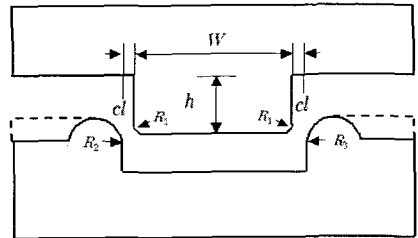
실험에 사용한 드로잉강판 시편은 딥드로잉용 연질냉간압연 강판 SPEN으로 물성치는 Table 1과 같고, 시편의 크기는 길이 1200mm, 폭 40mm이다. 드로우비드 금형은 Fig. 3과 같은 원형비드, 사각비드, 계단비드의 3종을 수평상태와 경사상태로 나누어 제작하였다. 금형의 재질은 FCD300으로 금형다이먼의 특성과 성형조건은 Table 2와 같다. 그리고 사각비드의 경우는 Fig. 4와 같이 2개의 암비드 금형을 사용하여 실험하였다.

Table 1 Material properties of SPEN-0.65t

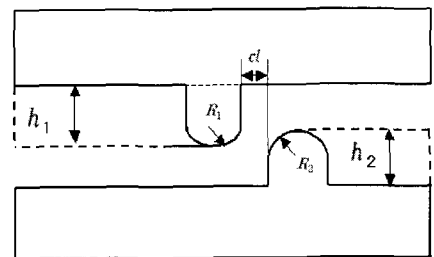
Yield Stress (MPa)	n	K (MPa)	r	E (GPa)	Remarks
165	0.23	530	1.78	69.3	Averaged 0°, 45°, 90° Specimen



(a) Circular drawbead die set



(b) Square drawbead die set



(c) Step drawbead die set

Fig. 3 Drawbead dies used for measuring DBOF and DBRF

Table 2 Drawbead die surface and experimental conditions

Die Material	Die Surface Roughness (μm)	Coefficient of Friction	Sheet Pulling Speed (mm/min)
FCD 300	1.50 ~ 2.50	0.179	300

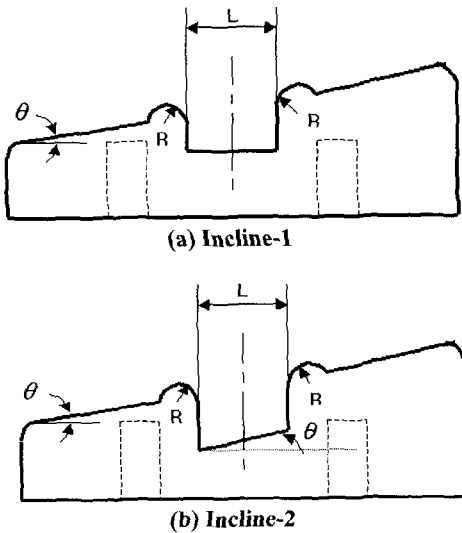


Fig. 4 Inclined female square drawbeads

3. 결과 및 토의

3.1 원형비드

실험에서 측정된 원형비드의 드로우비드 상압력과 인출력은 Fig. 5와 같다. 드로우비드의 높이 h에 비례하여 드로우비드의 상압력과 인출력이 상승하고 수평상태의 드로우비드력보다 경사상태의 드로우비드력이 작고 전체적으로 드로우비드의 인출력보다 상압력이 크게 측정된다.

3.2 사각비드

사각비드는 수평상태에서 드로우비드 곡률반경의 변화에 따른 실험과 경사상태에서 드로우비드 높이에 따른 실험을 수행하여 드로우비드의 상압력과 인출력을 측정하였다. 경사상태의 경우, Fig. 4에서 보는 바와 같이, 라운딩 치수가 대칭인 일반적인 경사 암비드와(Incline-1 참조) 라운딩 치수가 비대칭인 경사암비드에(Incline-2 참조) 대하여 드로우비드력을 측정하였다(Fig. 6, Fig. 7 참조). 수

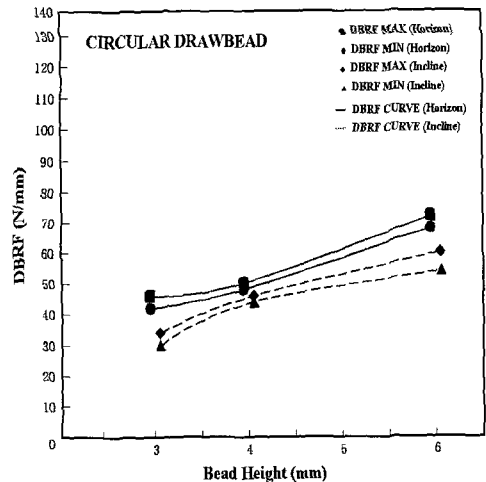
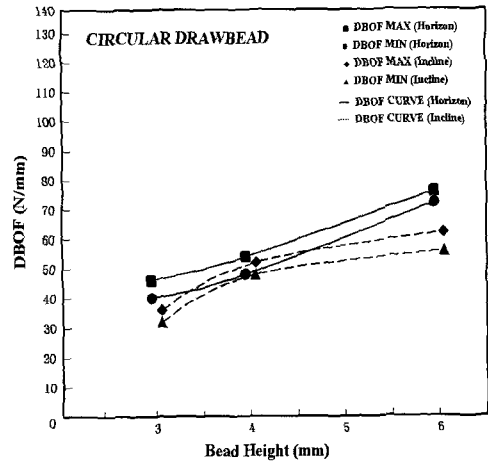


Fig. 5 DBOF and DBRF associated with drawbead heights in circular drawbeads

평상태의 경우는 드로우비드의 높이에 비례하여 드로우비드 상압력과 인출력이 증가한다. 그리고 경사상태의 경우 드로우비드의 상압력과 인출력은 드로우비드 곡률반경에 반비례한다.

3.3 계단비드

실험에서 측정된 계단비드의 상압력과 인출은 Fig. 8와 같고, 계단 드로우비드의 높이 H_1 과 H_2 에 비례하여 드로우비드의 상압력과 인출력은 상승한다. 계단비드의 드로우비드 H_1 과 H_2 의 값이 서로 다른 경우는 같은 경우보다 평균적으로 드로우비드 상압력과 인출력이 낮고, 실험 시편의 인출방향 안쪽의 틈이 넓은 경우가 좁은 경우보다 더 큰 값이 측정되었다. 그리고 경사진 경우가 수평상태보다 더 높은 드로우비드력을 가진다.

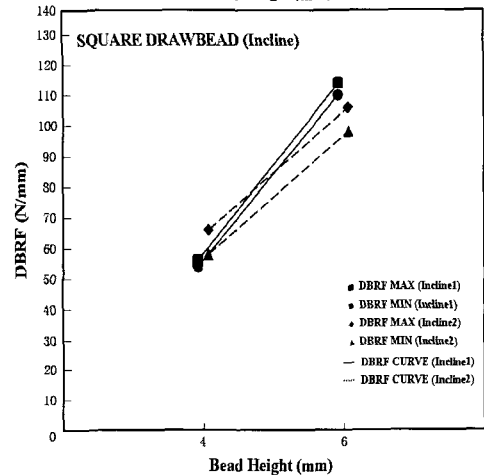
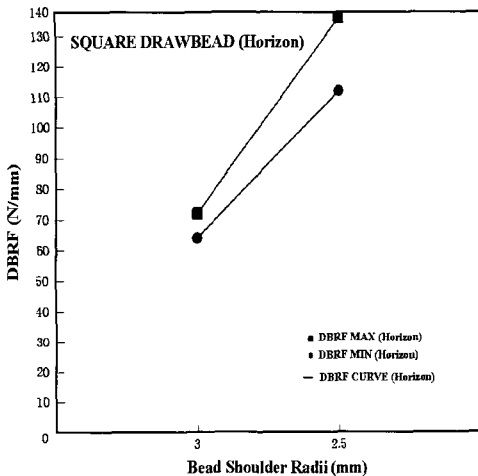
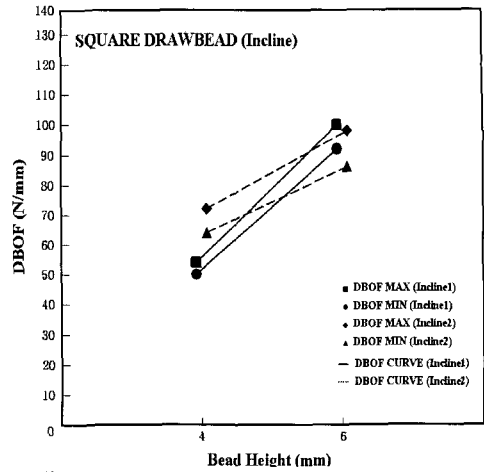
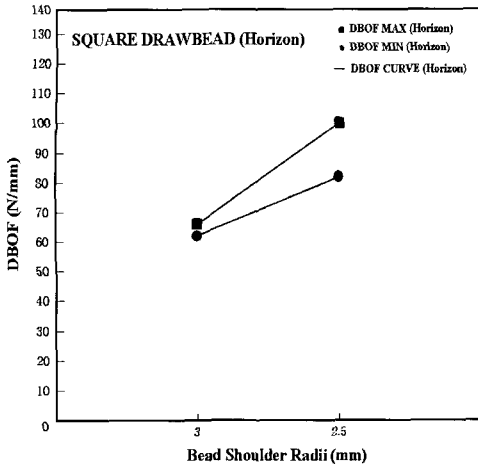


Fig. 6 DBOF and DBRF associated with drawbead shoulder radii of square drawbeads

Fig. 7 DBOF and DBRF associated with drawbead heights of square drawbeads

4. 적용 및 검증

실험을 통해 측정된 드로우비드력의 적용과 검증을 위하여 Keum [9]에 의한 자동차 팬더 스템핑 공정의 전산모사에서 사용된 드로우비드력과 비교하였다. 팬더부와 같이 복잡한 형상의 프레스 성형 제품은 유입되는 판재방향과 드로우비드 수직방향이 일반적으로 일치하지 않고 일정범위의 각도를 가진다. 따라서, Keum 등[10]이 제안한 식 (1)과 같은 인출력계산식에 따라 계산하고 비교치로 사용한다. 유입각도를 ϕ , 유입각도가 수직일 때의 인출력이 $DBRF_n$ 이라면 인출력 DBRF는 다음과 같다.

$$DBRF = DBRF_n \times \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \quad (1)$$

DBOF의 경우, 실제 자동차의 스템핑 공정과 실험에서의 경계조건이 서로 다른 부분은 경사각의 유무와 비드 입출부의 면적에 작용하는 BHF이다. 그러나, 실험결과 경사각의 유무는 DBOF에 영향을 주지 않는다. 따라서 팬더의 DBOF에 입출부의 면적에 가해진 BHF를 빼주면 실험값과 같은 경계조건을 가지게 된다. 이렇게 계산된 비드력(simulation)은 실험에서의 비드력(experiment)과 비교할 수 있고 Fig. 10과 같다. 따라서 팬더의 앞부분과 아래쪽인 'b'와 'b2'의 경우는 DBOF보다 DBRF가 실험 측정값에 더 근사하고, 팬더의 위쪽과 아래쪽인 'b1'과 'b3'는 DBRF보다 DBOF가 실험값에 더 근사하며 전체적으로 DBOF와 DBRF는 모두 실험에서 측정된 데이터 범위에 근접하여 실험치가 성형해석에 사용될 수 있음을 보여준다.

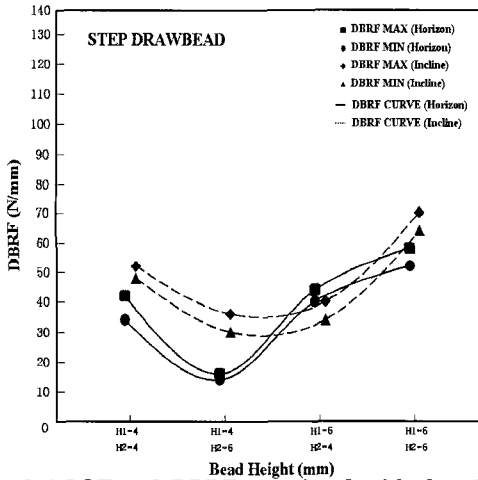
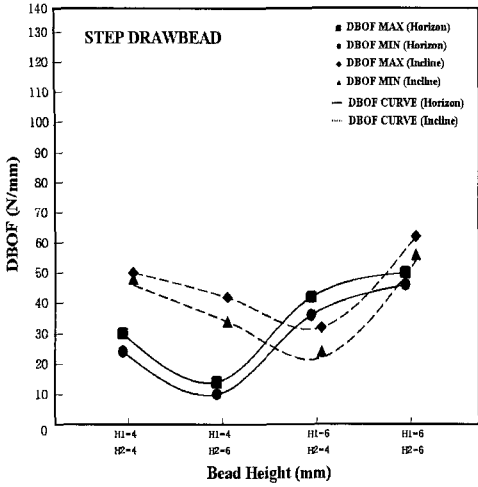


Fig. 8 DBOF and DBRF associated with drawbead heights of step drawbeads

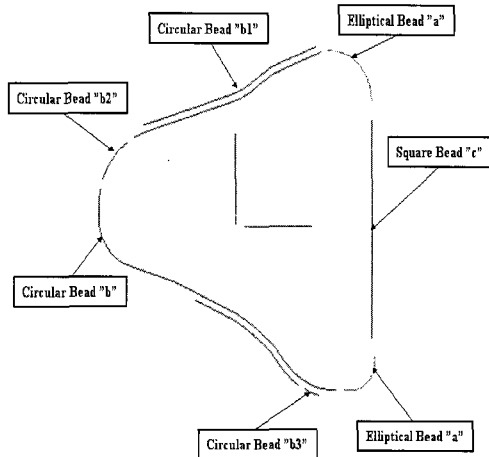


Fig. 9 Drawbeads in the drawing die of automotive fender

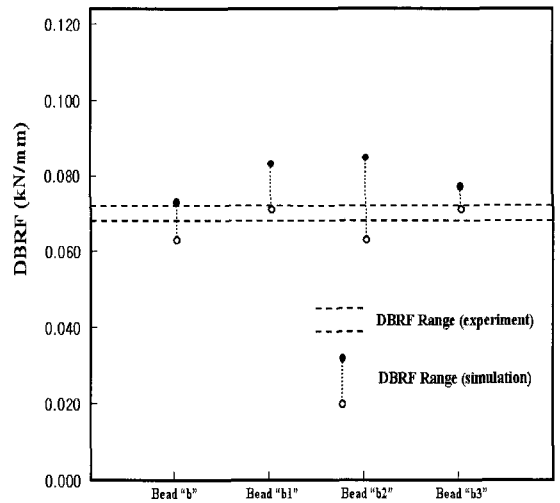
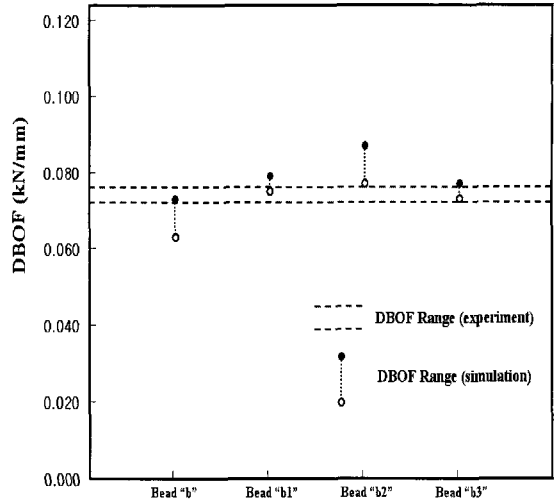


Fig.10 DBOF and DBRF associated with drawbead forces of circular drawbeads in automotive fender draw die

5. 결론

드로우비드 인출실험으로 스텝핑금형의 드로우비드인출력과 상압력을 측정하고 펜더성형 드로우금형의 드로우비드에 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 원형비드의 경우, 드로우비드의 높이가 증가함에 따라 인출력이 증가하고, 상압력이 인출력보다 크다.
- (2) 사각비드의 드로우비드력은 비드 높이에 비례하고 곡률반경에 반비례한다.

(3) 계단비드에서는 비드 높이가 커짐에 따라 드로우비드력이 상승하며, 비드높이의 상대적 차이가 크면 드로우비드력이 증가한다.

(4) 원형비드의 실험결과는 스탬핑 금형의 성형 해석에서 등가드로우비드력으로 직접 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [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] T. B. Stoughton, 1988, Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming, 15th IDDRG, pp. 205~215.
- [5] Demeri, 1993, Drawbeads in Sheet Metal Forming, J. Mater. Engng. Prof. 2, 863.
- [6] J. Cao, M. C. Boyce, 1993, Optimal Forming of Aluminum 2008-T4 Conical Cups Using Force Trajectory Control, SAE930517, Sheet Metal and Stamping Symposium, Detroit, USA.
- [7] W. Prager, 1956, A new method of analyzing stresses and strains in work-hardening plastic, J. Appl. Mech. ASME 65, 671.
- [8] H. Ziegler, 1959, A Modification of Prager's Hardening Rule, Quart. Appl. Math. 17, 55.
- [9] 금영탁, 이승열, 송민재, 2005, 금형 변형을 고려한 자동차용 펜더패널 성형해석, 한국소성가공학회 2005년도 춘계학술대회 논문집, pp. 82~85.
- [10] 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, 38(30-31), pp. 5335~5353.