

타원형 디프 드로잉 공정에서 블랭크의 기하학적 형상에 관한 연구

배원락* · 박동환* · 박상봉** · 강성수***

A Study on the Geometrical shape of Blank in Elliptical Deep Drawing

W.R. Bae, D.H. Park, S.B. Park and S.S. Kang

Abstract

There are a lot of process variables, exerted influence on the formability of products, in deep drawing process. Particularly, it is important that blank shape of the process variables. A paper to be connected with process variables of elliptical deep drawing products is insufficient the actual circumstances, enough though researches have been performed on the deep drawing of sheet metal forming. In this study, The effects on thickness distribution and movement of sheet are grasped as alteration of blank shapes in the process of elliptical deep drawing product, and then the optimal blank shape was presented. They were verified by the finite element analysis (FEA) and experiment.

Key Words : Elliptical Deep Drawing, Process Variables, Blank Shape, Finite Element Analysis, Thickness Distribution and Strain, Movement of Sheet

1. 서 론

축대칭 원통형 드로잉이나 사각형 드로잉의 제품에 관한 연구는 드로잉 공정의 기본으로 산업현장, 연구기관에서 활발히 연구되어 왔다.

그러나, 적용된 타원형 다단계 디프 드로잉 제품의 경우는 그 연구가 미비한 실정이고, 아직 현장에서는 축대칭 제품에 관한 기존의 지식을 이용하거나 현장실무자들

의 경험에 의존하여 설계하고 있다.

디프 드로잉 제품을 설계하는데 있어서 관여하는 요인에는 여러 가지 요소가 있다. 그 중에서도 특히 블랭크 형상이 성형성에 미치는 영향은 매우 높다. 이는 블랭크 형상이 타원형을 가지게 될 때 블랭크와 접촉하는 블랭크 홀더 및 다이와의 접촉면적 크기를 좌우하고 응력분포에도 큰 영향을 미친다. 블랭크가 다이와 블랭크 홀더 사이의 접촉면적이 증가하면 블랭크 홀더력과 성형하중

* 부산대학교 일반대학원 정밀기계공학과

** 동의공업대학 금형실제과

*** 부산대학교 기계공학부

이 증가한다. 이 현상은 블랭크에 있어서 변형저항이 증가하여 성형결함의 원인이 되기도 한다.

적용된 제품은 1, 2공정이 원형으로 드로잉 되고, 이후 공정은 타원형으로 드로잉 된다. 비록 1, 2공정의 펀치 형상이 원형이지만 블랭크 형상이 비축대칭이라서 원주 방향과 축방향의 응력상태가 매우 복잡하다. 이로 인해 적용된 제품의 경우 소재이동(movement of sheet)이 매우 불균일하게 된다. 이와 같은 이유로 비축대칭 형상 특징을 가지는 제품은 성형예측 및 공정설계가 매우 어렵다. 본 연구에서는 타원형 다단계 디프 드로잉 제품의 공정에서 블랭크 형상이 성형성에 미치는 영향을 파악하기 위해 제안된 3가지의 블랭크의 형상에 따라 실험과 유한요소해석을 통해 성형 후의 두께분포, 소재이동 등을 비교·고찰하여 실제 현장에서 사용 가능한 데이터 구축에 그 목적이 있다.

2. 블랭크 형상설계

다음과 같이 3가지 종류의 블랭크 형상을 정의하여 해석과 실험을 실시하였다.

(1) 시행착오(trial-error)로 완제품 표면적을 대략적으로 계산하여 블랭크를 간이로 제작해서 후공정 시험 후에 수정하고 또 다시 반복하여 블랭크의 크기를 결정하였다. (A type)

(2) 사각통 드로잉을 기본으로 한 블랭크는 타원형 디프 드로잉 제품의 몸통부를 단면적이 같은 사각통으로 등가하고, 그 이후 블랭크를 전개하였다. 아래의 식과 Fig. 1은 구체적인 작도방법을 보여준다. (B type)

$$D_z = 1.13\sqrt{B^2 + 4(h - 0.43Rc)(B - 2Rc) + 2.38R^2}$$

$$R^2 = Rc^2 + 2hRc - 0.86Rp(Rc + 0.16Rp)$$

$$L = D_z + (A - B)$$

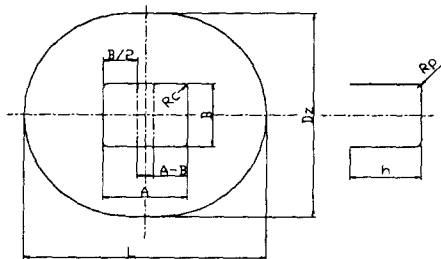


Fig. 1 Design of blank shape based on rectangular cross section (B type)

(3) 타원형 드로잉을 기본으로 한 블랭크는 타원형 디프 드로잉 제품의 몸통부를 단면적이 같은 가상 타원형상으로 등가하고 블랭크를 전개하였다. 아래의 식과 Fig. 2는 구체적인 작도방법을 보여준다. (C type)

$$R_1 = \sqrt{(d - Rs)^2 + Rs(d - Rs) + 2Rs^2 + 2d(h - Rs)}$$

$$R_2 = \sqrt{(c - Rs)^2 + Rs(c - Rs) + 2Rs^2 + 2c(h - Rs)}$$

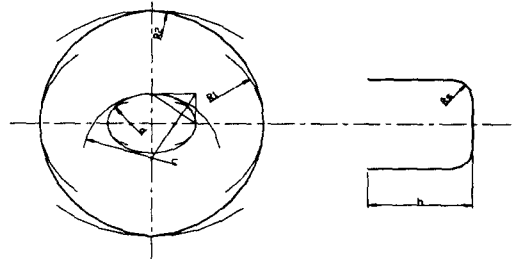


Fig. 2 Design of blank shape based on elliptical cross section (C type)

Fig. 3은 앞의 3가지 방법에 의해 설계되어 제작한 실물 사진이다. Fig. 5는 3가지 블랭크의 1/4을 기하학적으로 비교한 것으로 A type의 블랭크는 모서리부가 타 블랭크에 비해 크다. B type은 단변부의 길이가 길고 직변으로 이루어졌고, C type은 단변부에서 불연속 구간을 지니는 특징을 가진다.

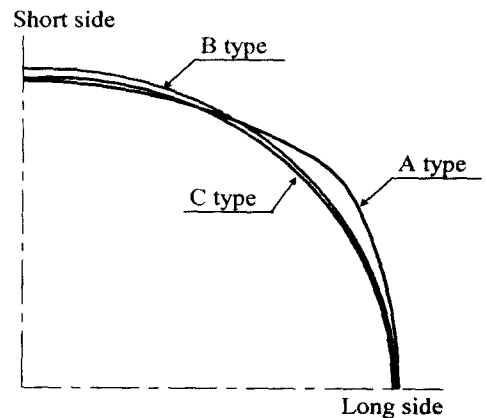


Fig. 3 Geometrical shape of blanks

3. 실험 및 유한요소해석

3.1 실험방법 및 장치

본 연구의 실험에 사용된 소재는 전기아연 도금강판

(SECE)으로 소재두께(t)는 1.6mm이고 20 μ m의 아연도금이 되어 있는 소재를 사용하였다. 실험에 적용된 제품은 디프 드로잉 공정(6공정)과 트리밍(trimming) 및 리스트라이킹(restriking)공정을 포함한 후가공(5공정)으로 이루어져 총 11공정으로 이루어져 있다.

실험에 사용된 장비는 300ton 기계식 프레스로 블랭크 홀더력을 임의로 조절할 수 있는 다이 쿠션(die-cushion)과 제품 추출을 위한 녹아웃(knock-out)장치가 갖추어져 있고, 단단계 디프 드로잉 제품을 생산하기 위하여 트랜스퍼 금형으로 구성되어 있다. 윤활은 수용성 소성가공유로서 일반적인 드로잉유를 사용하였고, 램(ram)의 속도를 8SPM으로 일정하게 유지하면서 실험을 수행하였고, 공정별 실험조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Conditions of Process variables

Process	Punch diameter	Profile radius	Clearance
(a)First drawing	56	R _p = 15 R _d = 10	2.0(1.25t)
(b)Redrawing	43	R _p = 12 R _d = 8	2.0(1.25t)

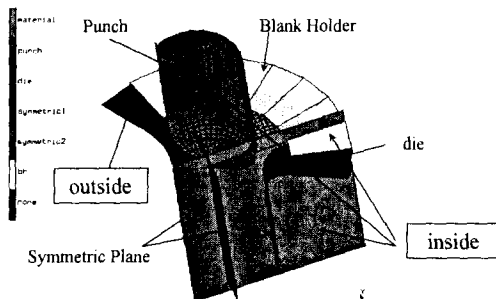


Fig. 4 Modeling of deep drawing process

3.2 유한요소해석

유한요소해석은 상용해석코드인 MARC를 이용하였다. Fig. 4는 모델링 된 형상으로 블랭크를 제외한 나머지 요소들은 변형이 없는 강체(rigid body)로 설정하였다.

변형체(deformable body)부분인 블랭크는 4-노드 쉘 요소(4-node shell element)를 이용하여 메쉬 생성(mesh generation)을 했다. 마찰상수(μ)는 윤활상태를 고려하여 $\mu=0.04$ 로 하고, 소재물성은 인장실험을 통해 구한 응력-변형률 선도를 이용하였으며, 이방성은 고려하지 않았다. 특이할 점은 블랭크의 형상이 2축 대칭이므로 전체형상의 1/4 모델링 되었고, 경계조건은 MARC의 조건(option)인 축평면(Symmetric Plane)를 이용하여 단변부에 z방향, 장변부에 y방향으로 구속하였다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 5는 블랭크에 따른 1공정 장변의 두께분포를 나타낸다. 여기에서는 B type의 두께감소가 측벽부에서 다른 블랭크보다 심하게 나타난다. 이러한 형상은 B type의 기하학적인 특징에서 기인한다고 사료된다. 공정별로 두께분포를 측정된 결과 1공정에서의 두께감소 최소화가 공정설계에서 중요함을 알 수 있고, 실험에 의해 측정된 두께분포 측면에서 블랭크에 따른 영향을 고찰해 보면 B type보다 A, C type이 우수하게 나타난다.

Fig. 6~8은 블랭크 형상의 영향을 성형 중에 알아보기 위해 실험에서 얻기 어려운 공정 중의 데이터를 유한요소해석을 통해 나타내었다.

A type인 경우는 단변부 주위에서 많은 부분이 블랭크 홀더를 벗어나 소재유입이 원활하지만 모서리부위에서 블랭크가 이탈하지 못하고 이로 인해 장변부의 두께감소가 나타나는 원인이 된다. B type인 경우는 성형깊이($h=34.5$ mm)가 완전성형의 3/4이 되었을 때에도 단변부가 블랭크 홀더를 벗어나지 못하였다. 이것은 B type의 형상 특징에 기인한다고 사료된다. 이로 인해 단변부에서 유입저항이 커지고 그 만큼 소재이동도 원활하지 못하게 된다. 이것이 B type의 두께감소 원인이 된다.

C type에서 블랭크 홀더 주위에서의 플랜지의 형상을 다른 블랭크와 비교해 보면 재료의 유입이 다른 블랭크보다 원활한 것을 알 수 있다. 이런 이유로 인해 C type이 다른 블랭크보다 두께분포가 양호하게 나타난다.

세 가지 블랭크를 비교해 보면 초기 성형이 진행이 될 때에는 재료유입이 미미하다. 이것은 성형 메커니즘이 초기에는 펀치력이 드로잉에 쓰여지지 않고 다이 형상반경(profile radius)에서 발생하는 굽힘 작용에 사용되고 있기 때문이라고 사료된다. 성형높이가 $h=11.5$ mm이상부터 소재이동이 증가하고 있음을 보여주고, 단변부에서는 재료유입 양상이 블랭크 홀더를 떠난 이후 달라지게 되는데, 이것은 블랭크 홀더에 의한 압축력이 없어지고 성형하중에만 의해서 변화되기 때문이라고 사료된다.

이러한 결과들로부터 블랭크의 형상에 따라서 유입저항이 변화가 나타나므로 소재이동이 달라지고 두께분포가 달라짐을 확인하였고, 타원형 디프 드로잉에서 최적의 블랭크 형상을 제시할 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 비축대칭 디프 드로잉 제품에서 타원형상의 블랭크가 성형성에 미치는 영향을 파악하기 위해 실험과 유한요소해석을 한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- (1) 타원형을 기본으로 한 블랭크(C type)는 다른 블랭크보다 제품의 두께 변화가 비교적 균일하고, 국부적인 두께 감소가 작으므로 성형성에서 우수하였다.
- (2) 블랭크 외곽형상의 기하학적인 특성이 불연속적인 경우에는 성형초기의 유입저항을 높여 제품의 성형성에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.
- (3) 유한요소해석에 의해서 성형깊이에 따른 소재이동과 플랜지 형상변화가 관찰 가능하여 실험결과를 검증 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) T. C. Hsu, S. Y. Lee, 1977, "On the drawability of sheet metal in noncircular cups", ASME J. of Eng. for Industry, pp. 615~619.
- (2) S. A. Majlessi, D. Lee, 1993, "Deep drawing square-shape sheet metal parts, Part 1 : Finite Element Analysis", ASME J. of Eng. for Industry, Vol. 115, pp. 102~109.
- (3) S. A. Majlessi, D. Lee, 1993, "Deep drawing square-shape sheet metal parts, Part 2 : Experimental study", ASME J. of Eng. for Industry, Vol. 115, pp. 110~117.
- (4) 김두환, 1998, "원통형 용기의 다단계 딥드로잉 공정 설계에 관한 연구", 한국소성가공학회지, 제7권, 제3호, pp. 225~232.
- (5) 최영, 이규호, 외 3인, 1998, "성형한계를 고려한 디프 드로잉 공정설계에 대한 유한 요소 해석", 한국소성가공학회지, 제7권, 제6호, pp. 562~569.
- (6) 전기찬, 1993, "박판금속의 성형", 반도체출판사, pp. 131~177.
- (7) 太田 哲 著, 1972, "프레스絞り加工工程設計", 日刊工業新聞社, pp. 157~167.
- (8) S. H. Park, J. W. Yoon, D. Y. Yang, Y. H. Kim, 1999, "Optimum blank design in sheet metal forming by the deformation path iteration method", Int. J. of Mech. Sci., Vol 41, pp. 1217~1232.

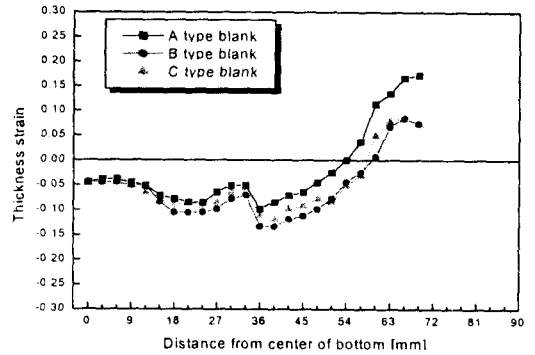


Fig. 5 Thickness distributions of long side in first process

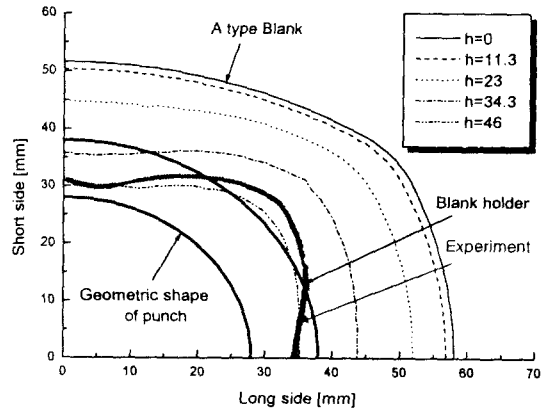


Fig. 6 Flange contour-line by deformed-height ; A type

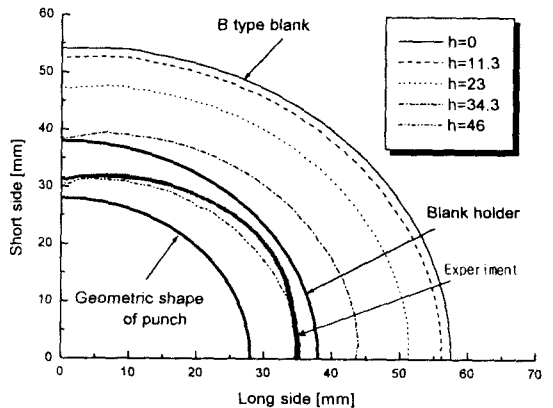


Fig. 7 Flange contour-line by deformed-height ; B type

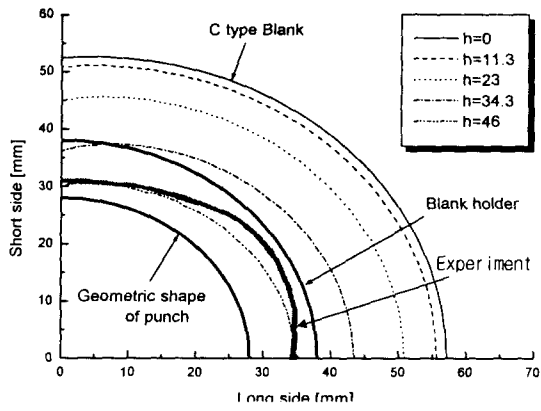


Fig. 8 Flange contour-line by deformed-height ; C type