

타원형 디프 드로잉 공정의 성형성 향상에 관한 실험적 연구

박동환* · 박상봉** · 강성수***

(1999년 7월 1일 접수)

An Experimental Study on Improvement of Formability for Elliptical Deep Drawing Process

D.H. Park, S.B. Park and S.S. Kang

Abstract

Recently, most of researches for sheet metal deep drawing process have been performed on the formability of axisymmetric shape, but there are not any concrete reports on the formability of non-axisymmetric shape. In addition, the conventional shape radius of the punch and die has been determined by trial-and-error using industrial experience and post processing test, and only approximate shape radius of the punch and die has been presented. In this study, the optimal shape radius of the punch and die in deep drawing process with biaxially symmetric blank shape is proposed. Through the deep drawing experiment, especially it is found that in order to obtain the optimal products, an improvement of formability can be researched by selection of such punch and die shape radius that gives an adequate thickness distribution in all processes.

Key Words : Deep Drawing, Punch Shape Radius, Die Shape Radius

1. 서론

현재까지 원통형 디프 드로잉 제품은 디프 드로잉 공정의 기본으로 연구되어 왔다. 그래서 많은 응용 형상들이 이를 근거로 하여 제작되고 있다. 일반적으로 금속 박판의 축대칭 블랭크(blank)의 성형에 대해서는 많은 연구가 이루어졌지만,⁽¹⁾ 타원형 블랭크의 성형을 비롯한 특수한 형상의 경우에는 연구 사례가 많지 않은 실정이

다.^(2~4) 그 중에서도 단 공정만으로 디프 드로잉 하는 연구가 많지만, 다단계 공정의 디프 드로잉에 관한 연구는 찾아보기 어렵다. 디프 드로잉 공정에서 성형성을 향상시키기 위한 방안은 다각도로 제안되고 있다.

펀치 및 다이의 형상반경(shape radius), 윤활조건, 가공 속도, 플랜지 면의 주름을 억제하기 위해서 부과하는 블랭크 홀딩력(blank holding force)과 마찰력, 클리어런스(clearance) 등이 성형하중과 유동특성에 큰 영향을 미친

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

** 동의공업대학 금형설계과

*** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

다.⁽⁵⁻⁸⁾ 특히 재료를 성형하기 위한 펀치와 다이의 형상반경이 성형성에 미치는 영향은 매우 크다. 판재의 디프 드로잉 공정에서 플랜지(flange)의 원주방향에는 압축변형으로 주름이 생기면서 판두께가 두꺼워지는 경향이 나타나며, 다이 형상반경에서는 굽힘(bending)이 나타나며, 측벽부에서는 펴짐(unbending)과 인장(tension) 등의 복잡한 성형 메커니즘으로 말미암아 판재 두께의 감소 현상이 발생한다.⁽⁹⁻¹¹⁾ 가공 소재로 사용되는 박판은 두께가 길수록 또는 폭에 비하여 치수가 훨씬 작기 때문에 압축력에 취약한 특성이 있어 주름현상(wrinkling) 등의 가능성이 높기 때문에 압축응력을 수반하는 디프 드로잉 공정은 여타의 공정에 비하여 결함 발생의 가능성이 높다. 더욱이 타원형 블랭크의 디프 드로잉 공정의 경우에 더욱 복잡한 성형 메커니즘이 된다.

따라서, 본 연구에서는 타원형 블랭크의 디프 드로잉 성형성을 향상시키기 위한 방안으로 펀치 및 다이의 형상반경이 성형성에 미치는 영향을 다각적으로 연구하였다.

2. 재료 시험

실험에 사용된 소재는 실제로 자동차 부품의 생산에서 사용빈도가 높은 전기아연 도금강판(SECE)으로 두께는 1.6mm이고, 20 μ m의 아연도금이 되어 있는 소재를 사용하였다. SECE의 화학적 조성은 Table 1과 같다.

SECE의 기계적 성질을 파악하기 위해 KS B 0801 5호 시험편으로 압연 방향에 대해 0°, 45°, 90° 방향으로 인장시험을 수행하였다. 시험편의 표점거리는 50mm로 하였으며, 인장시험은 U.T.M에서 크로스헤드(crosshead)를 10mm/min로 유지시킨 후 파단에 이르기까지 인장하였다. 인장시험을 통하여 얻은 SECE의 기계적 성질은 Table 2와 같다. 블랭크 소재 시험시 와이어 방전가공기로 절단하여 사용하였다. SECE의 성형성 평가를 위해 에릭슨 테스트를 수행하였으며, 에릭슨 값은 11.4mm로 성형성이 좋았다. Fig. 1은 에릭슨 시험결과 사진을 나타낸다.

Table 1 Chemical composition of SECE (%)

C	Si	Mn	P	S	Al
0.05	0.011	0.19	0.012	0.011	0.044

Table 2 Mechanical properties of SECE

Direction	Yield Strength [MPa]	Tensile Strength [MPa]	Elongation [%]
0°	210	311	46
45°	226	323	43
90°	222	307	45

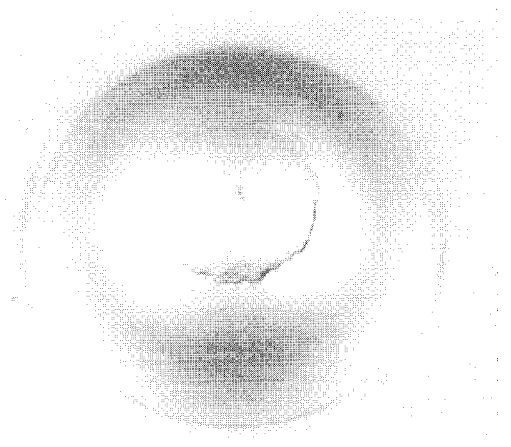


Fig.1 Erichsen tested specimen

3. 디프 드로잉 실험

3.1 실험 장치

실험에 사용된 장비는 300Ton 기계식 프레스로 블랭크 홀더 압력을 임의로 조절할 수 있는 다이쿠션(die cushion)과 제품 취출을 위한 녹아웃(knock out) 장치가 갖추어져 있다. 타원형 디프 드로잉 제품을 생산하기 위하여 트랜스퍼 (transfer) 금형으로 구성된 각 공정별 금형 트라이 아웃(try-out)을 행하였다. 제품에 대한 공정 순서는 (a)초드로잉(first drawing), (b)재드로잉(redrawing), 그리고 (c)타원형 드로잉(elliptical drawing)의 총 3공정의 다단계 타원형 디프 드로잉으로 구성되어 있다. 펀치 및 다이는 합금 공구강(STD11)을 사용하여 열처리(HrC 60) 하였고, 펀치 형상반경(Rp)과 다이 형상반경(Rd)은 Table 3과 같이 초드로잉 공정에서 각각 3가지 경우로 가공하여 총 9가지의 실험을 하였다. 다이 세트(die set)는 상·하홀더를 주물(FC25)로 제작한 후 가공하였다. 클리어런스는 편측으로 소재두께(t) 대비하

여 초드로잉과 재드로잉 공정에서 2.0mm(1.25t)를 적용하였다.

Table 3 Shape radius of the punch and die

Process	Rp	Rd
First drawing	R6.4 (4t) R9.6 (6t) R12.8 (8t)	R9.6 (6t) R12.8 (8t) R16 (10t)
Redrawing	R12	R8
Elliptical drawing	R8	R5 (long side) R8 (short side)

3.2 실험 방법

트랜스퍼 금형을 프레스에 클램핑(clamping) 하였으며, 램(ram)의 속도를 8SPM으로 일정하게 유지하였다. 블랭크 홀더력은 각 공정별로 최적의 제품을 성형하기 위해 몇 번의 실험을 통하여 다이쿠션에 걸리는 압력을 초드로잉 공정에서는 3kgf/mm², 재드로잉과 타원형 드로잉 공정에서는 2kgf/mm²로 선정하였다. 윤활제는 수용성 소성가공유로서 일반적인 드로잉유를 사용하였고 소재를 드로잉 다이에 삽입할 때는 블랭크 중심을 다이 중심에 정확히 일치시킨 후 드로잉 하였다. Table 4는 초드로잉 공정에서 각 타입(type)별 시험조건을 나타낸다.

Table 4 Test conditions in first drawing

Type	Rp [mm]	Rd [mm]	Clearance [mm]
A1	6.4 (4t)	9.6	
A2	6.4	12.8	
A3	6.4	16.0 (10t)	
B1	9.6 (6t)	9.6	
B2	9.6	12.8	
B3	9.6	16.0	
C1	12.8 (8t)	9.6	
C2	12.8	12.8	
C3	12.8	16.0	

3.3 성형 공정

Fig. 2는 타원형 디프 드로잉 공정의 블랭크 크기를 나타낸다. 여기서 타원형 블랭크는 장변의 길이가 116.1mm이고, 단변의 길이가 103.1mm로 몇 번의 시행착오를 통하여 최적의 블랭크 형상을 결정하였다. Fig. 3은 타원형 디프 드로잉 제품에서 초드로잉 공정을 나타낸 것이다. 여기서 중심선 왼쪽은 장변부를 나타내고, 오른쪽은 단변부를 나타낸다. Fig. 4는 재드로잉 공정을 나타낸 것이다. 초드로잉 및 재드로잉 공정에서 원형으로 디프 드로잉 된다. Fig. 5는 타원형 드로잉 공정을 나타낸다. 이 공정은 타원형으로 디프 드로잉 되는데 장변부는 원호로 이루어져 길이가 단변부보다 길고, 단변부는 직변으로 이루어져 있다. Fig. 6에서 (a)타원형 블랭크 (b)초드로잉 공정 (c)재드로잉 공정을 나타내고, Fig. 7은 타원형 디프 드로잉의 제품 사진을 나타낸다.

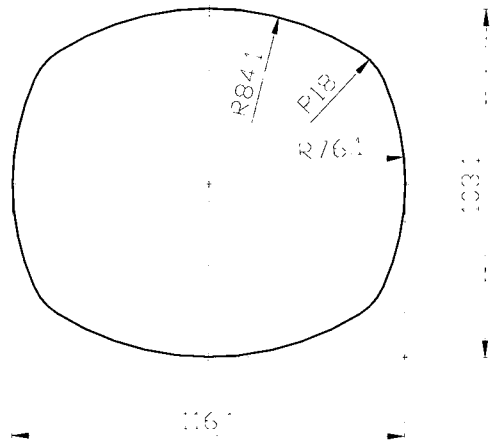


Fig. 2 Geometry of blank for elliptical deep drawing

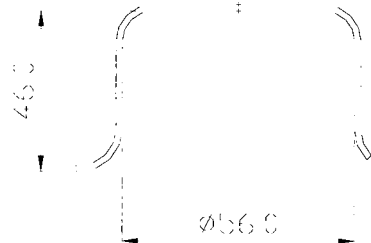


Fig. 3 Geometry of first drawing process

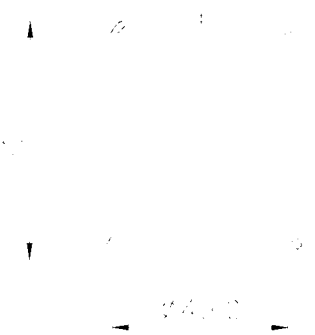
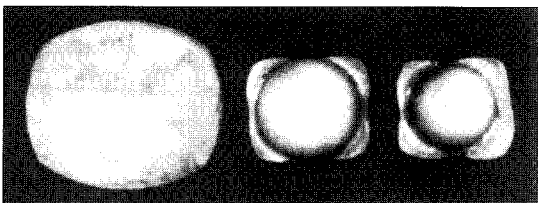


Fig. 4 Geometry of redrawing process



Fig. 5 Geometry of elliptical drawing process



(a) (b) (c)
Fig. 6 Experimental results for each process

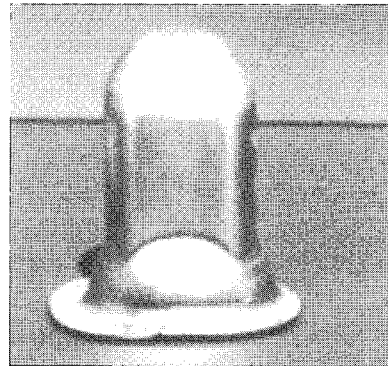


Fig. 7 Elliptical deep drawn product

4. 실험 결과 및 고찰

디프 드로잉 실험으로 얻은 제품을 연속 절단기로 절단하였다. 두께 분포는 포인트 마이크로미터(point micrometer)를 사용하여 각 공정별 장변부와 단변부로 나누어서 제품의 중심에서 3mm 간격으로 플렌지 끝단까지 측정하였다. 여기서 장변부는 블랭크의 길이가 긴 쪽이고, 단변부는 블랭크의 길이가 짧은 쪽이다. 디프 드로잉 실험후 장변부와 단변부로 나누어서 측정한 결과를 고찰하였다.

4.1 형상반경에 따른 두께 비교 및 고찰

Fig. 8은 R_p 가 6.4일 때 장변부의 두께 분포를 나타낸다. 장변부에서 다이 형상반경을 3가지로 시험한 결과 R_d 가 9.6인 경우에 펀치 어깨부에서 여타의 경우보다 두께감소가 나타난다. 이것은 R_d 가 작은 것보다는 큰 것이 두께 분포에서 유리하다는 사실을 알 수 있다. Fig. 9는 R_p 가 6.4일 때 단변부의 두께 분포를 나타낸다. 단변부에서 R_d 가 9.6인 경우에 측벽부에서 플렌지까지의 두께가 여타의 경우보다 작게 나타난다. 또한, R_d 가 16인 경우에는 장·단변부 모두 가장 크게 나타난다. 즉 R_p 를 6.4로 하고 R_d 를 변화시켜 나가면, 두께 감소는 R_d 가 가장 큰 쪽이 작게 나타났다. 그 이유는 다이 형상반경이 커지면 재료가 다이 내부로 유입될 때 완만한 굽힘으로 인한 원활한 유동 때문에 두께 감소가 작게 나타난다고 사료된다.

Fig. 10은 R_p 가 9.6일 때 장변부의 두께 분포를 나타낸다. R_d 가 9.6에서 두께는 1.35mm 정도로 가장 작게 나타나고, R_d 가 12.8, 16에서는 거의 비슷하게 나타남을

알 수 있다. Fig. 11은 Rp가 9.6일 때 단변부의 두께 분포를 나타낸 것이다. Rd가 16에서 두께는 펀치 머리부에서 플랜지까지 가장 크게 나타나고, Rd가 9.6, 12.8에서는 거의 비슷하게 나타남을 알 수 있다. Fig. 12는 Rp가 12.8일 때 장변부의 두께 분포를 나타낸 것이다. Rp가 9.6에서 두께는 펀치 머리부 및 측벽부에서 여타의 경우보다 작게 나타나고, Rd가 12.8, 16에서는 거의 비슷하게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 13은 Rp가 12.8일 때 단변부의 두께 분포를 나타낸 것이다. Rp가 9.6에서는 펀치 머리부에서 여타의 경우보다 두께 감소가 나타나고, Rd가 12.8, 16에서는 거의 비슷하게 나타남을 알 수 있다. 위의 실험결과에서 두께 감소는 Rp를 고정하고 Rd를 변화시켜 나가면, Rd가 가장 큰 쪽이 작게 나타났다. 즉, 두께 분포 측면에서 Rd가 가장 큰 쪽이 유리하였다.

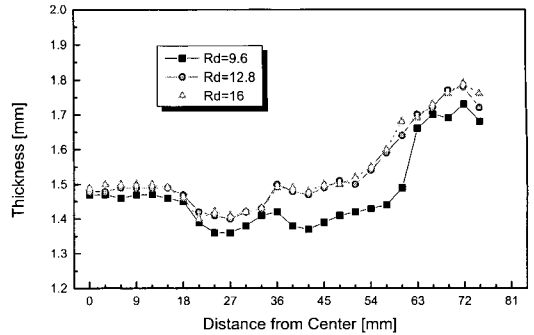


Fig. 10 Thickness distribution for long side in Rp=9.6mm

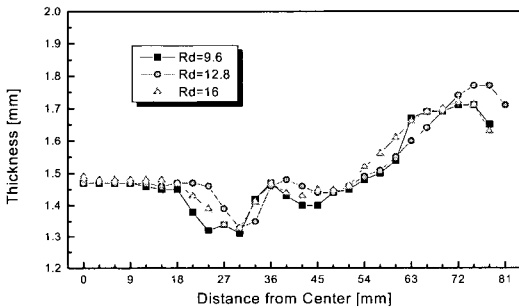


Fig. 8 Thickness distribution for long side in Rp=6.4mm

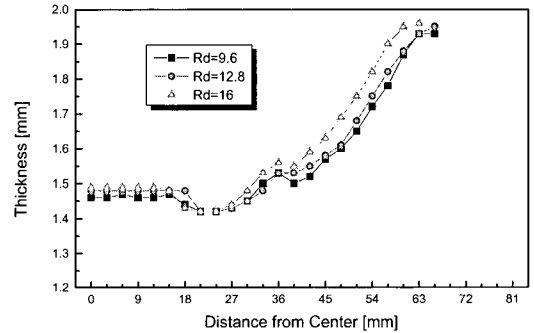


Fig. 11 Thickness distribution for short side in Rp=9.6mm

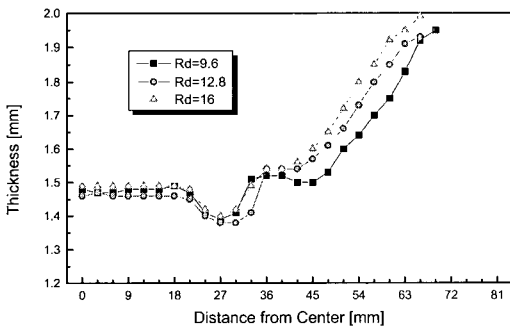


Fig. 9 Thickness distribution for short side in Rp=6.4mm

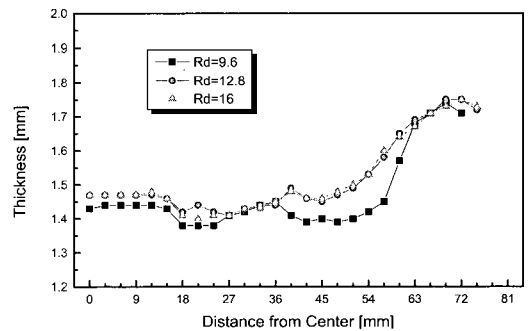


Fig. 12 Thickness distribution for long side in Rp=12.8mm

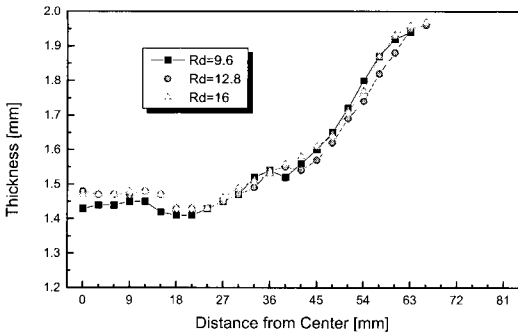


Fig. 13 Thickness distribution for short side in Rp=12.8mm

4.2 장 · 단변부의 두께 비교 및 고찰

Fig. 14는 Rp가 6.4, Rd가 9.6인 경우에 장 · 단변부의 두께를 나타낸다. 장변부의 두께는 단변부보다 펀치 어깨부에서 플랜지 끝단까지 작게 나타난다. 특히, 펀치 어깨부에서 1.3mm 정도로 국부적으로 두께 감소가 나타난다. 이것은 펀치 어깨부의 재료가 반경방향으로 굽힘이 생기고, 축방향으로 인장되어 굽힘과 인장을 동시에 받으므로 국부적인 두께 감소가 나타난다고 사료된다.

Fig. 15는 Rp가 6.4, Rd가 12.8인 경우에 장 · 단변부의 두께를 나타내고, Fig. 16은 Rp가 6.4, Rd가 16인 경우에 장 · 단변부의 두께를 나타낸다. 장변부의 두께는 단변부보다 펀치 어깨부에서 플랜지 끝단까지 작게 나타난다. Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16에서 Rd를 크게 할 수록 펀치 어깨부에서 플랜지 끝단까지 장 · 단변부의 두께 차이가 크게 벌어짐을 알 수 있다.

Fig. 17, Fig. 18, Fig. 19는 Rp가 9.6이고, Rd가 각각 9.6, 12.8, 16으로 했을 때 장 · 단변부의 두께 분포를 나타낸 것이다. 여기서 Rd가 16일 때 두께는 펀치 머리부에서 플랜지까지 장 · 단변부 모두 가장 크게 나타난다. 이것은 Rp를 9.6으로 두고 Rd를 가장 큰 16으로 했을 때 두께 분포에서 유리하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 20, Fig. 21, Fig. 22는 Rp가 12.8이고, Rd가 각각 9.6, 12.8, 16으로 했을 때 장 · 단변부의 두께 분포를 나타낸 것이다. 여기서도 마찬가지로 장변부의 두께가 단변부보다 펀치 어깨부에서 플랜지 끝단까지 작게 나타난다. 그 이유는 Fig. 2의 블랭크 길이가 장변부에서 크므로 다이 및 블랭크 홀더와의 접촉면적이 많아 장변부의 재료 유동은 단변부보다 원활하지 못하여 장변부의 두께가 낮게 나타난다.

Fig. 23은 Rd가 16이고, Rp가 3가지로 변화될 때 장변

부의 두께 분포를 나타낸 것이다. A3 타입 경우에 펀치 어깨부에서 국부적인 두께 감소가 나타나고, B3 타입 경우에는 여타의 타입보다 두께 감소가 가장 작게 나타난다. C3 타입은 B3 타입보다는 약간 불리하지만 두께 분포가 양호하게 나타났다.

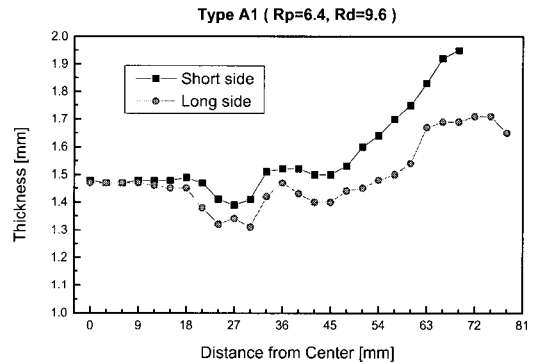


Fig. 14 Thickness Distribution for A1 type

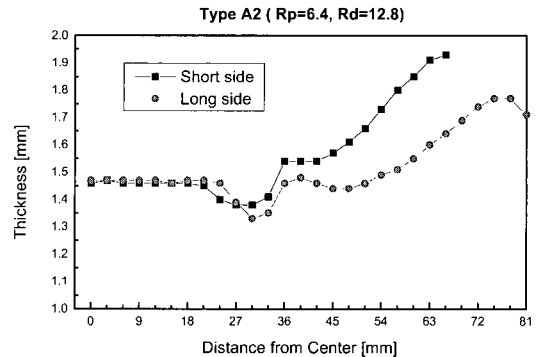


Fig. 15 Thickness Distribution for A2 type

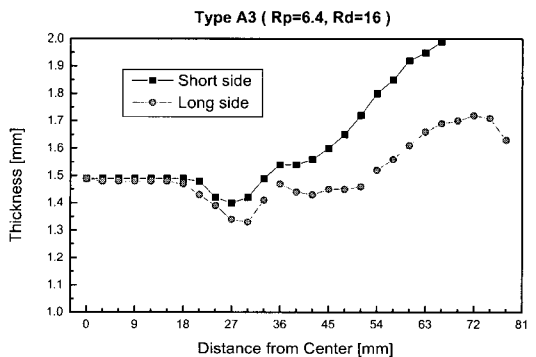


Fig. 16 Thickness Distribution for A3 type

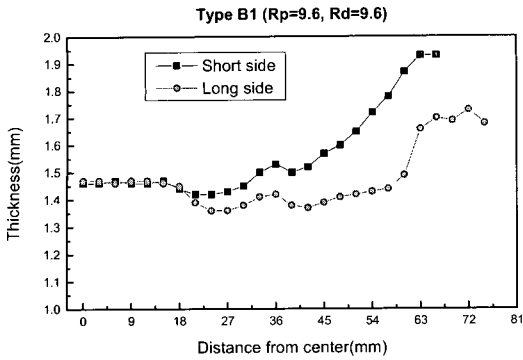


Fig. 17 Thickness Distribution for B1 type

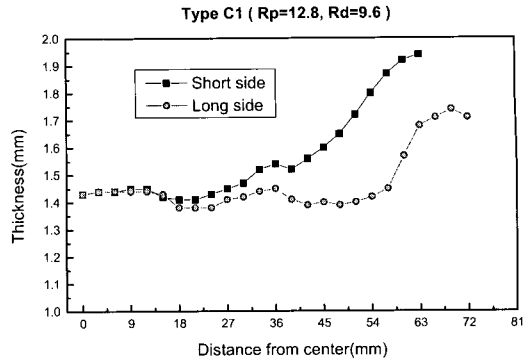


Fig. 20 Thickness Distribution for C1 type

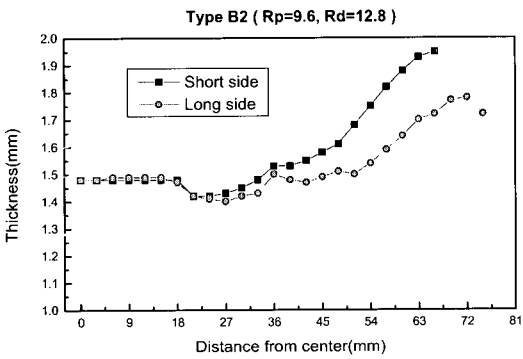


Fig. 18 Thickness Distribution for B2 type

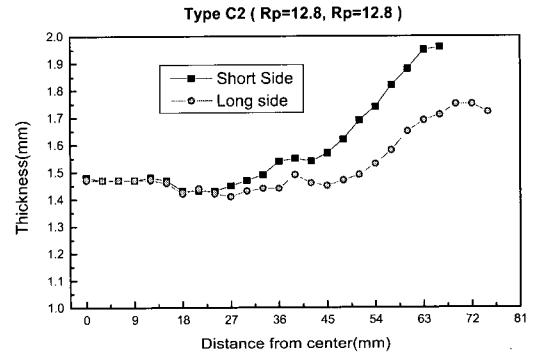


Fig. 21 Thickness Distribution for C2 type

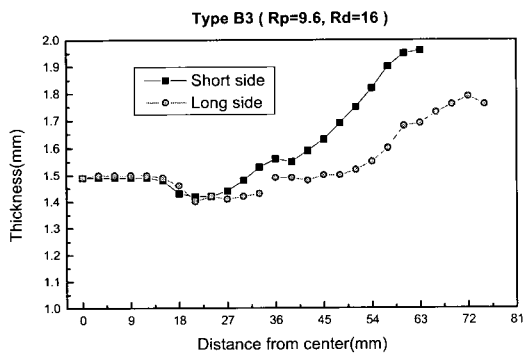


Fig. 19 Thickness Distribution for B3 type

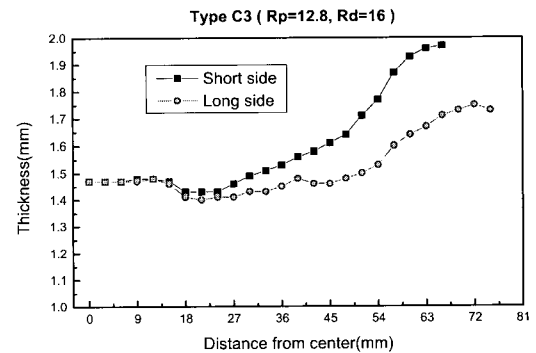


Fig. 22 Thickness Distribution for C3 type

Fig. 24는 Rd가 16이고, Rp가 3가지로 변화될 때 단변부의 두께 분포를 나타낸 것이다. 단변부에서는 3가지 타입 모두 펀치 어깨부에서 두께 감소가 나타나고, 전

부위에 비슷한 두께 분포를 나타내고 있다. 이상의 실험 결과에서 B3 타입 경우 즉, 펀치 형상반경이 9.6(6t)이고, 다이 형상반경이 16(10t)인 경우에 두께 분포가 가장 양

호하였다. 따라서 펀치 형상반경은 너무 크거나 작아도 안되며, 다이 형상반경은 가능한 큰 쪽이 두께 분포에서 유리함을 알 수 있었다.

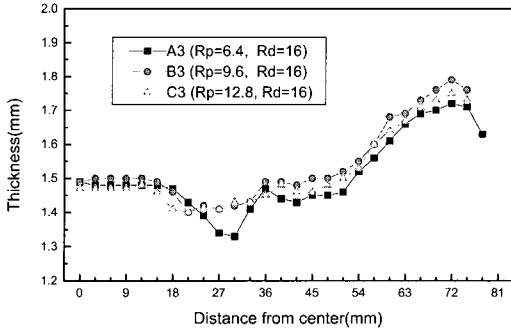


Fig. 23 Thickness Distribution for long side (A3, B3, C3 type)

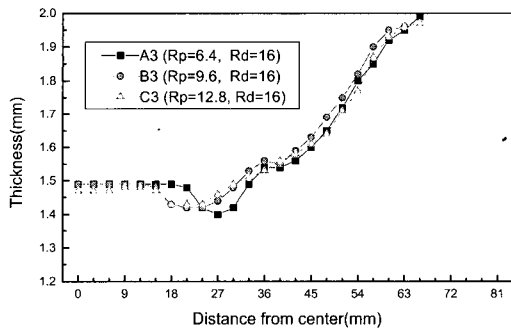


Fig. 24 Thickness Distribution for short side (A3, B3, C3 type)

4. 결론

본 연구에서는 타원형 디프 드로잉 금형에 사용되는 전기아연도금강판의 성형성 향상을 위하여 실험용 금형 제작과 디프 드로잉 실험을 통하여 최적 가공조건에 관련된 공정변수를 고찰하였으며 두께 변화량 등을 측정, 비교해 본 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 타원형 디프 드로잉 공정에서 성형성의 향상을 얻을 수 있는 최적의 펀치 및 다이 형상반경을 제안하였다.

(2) 제안된 형상반경은 펀치 형상반경이 6t이고, 다이 형상반경이 10t인 경우에 장·단변부 모두 두께 감소가 가장 작게 나타나고 두께 분포에 있어서 가장 양호하였다.

(3) 성형된 제품의 두께 변형 분포에서 타원형 블랭크의 형상 특징과 연계하여 장변부보다 단변부의 두께가 높게 나타났다.

(4) 다이 형상반경이 펀치 형상반경보다 작거나 같아지는 경우에 겹 벽 부분의 두께가 더욱 작아지는 현상이 나타났다. 이러한 현상은 장변부에서 두드러짐을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부와 부산대학교 정밀정형 및 금형 가공 연구센터(ERC/NSDM)를 통한 한국과학재단 우수 연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- (1) 김두환, 1998, "원통형 딥드로잉 용기의 벽두께 감소 최소화에 관한 실험적 연구", 한국소성가공학회지, 제7권, 제4호, pp. 393-399.
- (2) 김진무, 유호영, 1999, "코너각이 용기의 성형에 미치는 영향에 관한 연구", 한국소성가공학회지, 제8권, 제1호, pp. 14-21.
- (3) 박민호, 김상진, 서대교, 1996, "오목형 단면 딥 드로잉에서의 성형성", 한국소성가공학회지, 제5권, 제2호, pp. 138-144.
- (4) D.K. Leu, T.C. Chen, Y.M. Huang, 1999, "Influence of punch shapes on the collar drawing process of sheet steel", J. Mat. Pro. Tech. Vol. 88, pp. 134-146.
- (5) 金世煥, 韓允熙, 李承熙, 1988, "프레스 金型設計 資料集", 大光書林, pp. 248-345.
- (6) 橋本 明, 1974, "프레스絞り加工", 日刊工業新聞社, pp. 118-139.
- (7) Edward M. Mielnik, 1991, "Metalworking science and engineering", McGraw-Hill, New York, pp. 779-871.
- (8) 太田 哲, 1972, "프레스絞り加工 工程設計", 日刊工業新聞社, pp. 157-167.
- (9) 金世煥 編著, 1988, "프레스加工의 不良과 對策", 大光書林, pp. 159-278.
- (10) 趙雄植, 1994, "프레스 金型設計技術", 機電研究社, pp. 217-290.
- (11) BETZALEL AVITZUR, 1983, "Handbook of Metal-Forming Process", John Wiley&Sons, pp. 527-577.