

타원형 디프 드로잉 공정에서 블랭크 형상 최적화에 관한 실험적 연구

박동환*, 최병근*, 박상봉**, 강성수***

An Experimental Study on Optimization of Blank Shape in Elliptical Deep Drawing Process

Dong Hwan Park*, Byung Keun Choi*, Sang Bong Park**, Sung Soo Kang***

ABSTRACT

Most of researches for deep drawing process have been performed on the formability of axisymmetric blank, but there is an insufficient study on the formability of non-axisymmetric blank. In addition, the conventional blank shape has been determined by the trial-and-error method using industrial experience and post processing test. Therefore only approximated shape of the blank can be presented. In this study, the optimal blank shape and concrete drafting method in deep drawing process with biaxissymmetric elliptical shape is proposed. Through the deep drawing experiment, it is found that the optimal blank shape gives the most uniform thickness of the products in the first process

Key Words : Elliptical Deep Drawing(타원형 디프 드로잉), Blank Shape (블랭크 형상), Thickness Distribution(두께 분포)

1. 서론

금속박판의 디프 드로잉(deep drawing)에서 축대칭 형상의 성형에 대해서는 많은 연구가 이루어졌지만,^(1,2) 비축대칭 형상의 성형에 대해서는 아직 연구가 미미한 수준으로 계속 진행중에 있다.⁽³⁻⁵⁾ 디프 드로잉 공정이라 하면 일반적으로 축대칭 또는 원형의 디프 드로잉이라 하는데 여기에서는 2축대칭을 가지는 타원형 디프 드로잉 공정에서의 최적 블랭크(blank) 형상에 대해서 연구하였다. 비축대칭 형상의 성형일 때는 축대칭의 경우와 달리 성

형 윤곽의 위치에 따라 변형상태가 다르고 재료의 유동이 불균일하다. 그로 인해 펀치 어깨의 하중을 부담하는 부분에서 파단균열이 발생하게 될 때에 인접부분에서 억제작용을 받는 효과가 나타나고, 플랜지부에서는 둘레방향으로 재료의 이동이 발생하여 변형의 완화가 이루어진다. 이와 같은 현상들은 성형성에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.⁽¹⁰⁾

최적 블랭크 형상을 결정하는 데 있어서 관여하는 요인에는 여러 가지 요소가 있다. 소재 자체의 성형성, 펀치 및 다이의 형상반경, 윤활조건, 가공속도, 블랭크 홀더의 압력, 펀치와 다이의 클리어런스(clearance) 등 매우 많은 공정조건들을 고려하여

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

** 동의공업대학 금형설계과

*** 부산대학교 기계공학부

야만 한다. 그 중에서도 특히 블랭크의 형상이 성형성에 큰 영향을 미치는데, 이는 블랭크와 접촉하는 블랭크 홀더, 다이 등과의 접촉면적이 달라지기 때문이다. 블랭크가 다이와 블랭크 홀더 사이의 접촉면적이 증가하면 블랭크 홀더력과 성형하중이 증가한다. 이러한 블랭크 홀더력과 성형하중이 증가하면 블랭크에 있어서 변형저항이 증가하여 성형결함의 원인이 되기도 한다. 이러한 결함을 해결하기 위하여 원형 및 사각형 디프 드로잉 공정에 사용될 블랭크 형상에 관한 연구는 많았다.⁽⁶⁻⁹⁾ 그러나 타원형 디프 드로잉 공정에 대한 최적 블랭크 형상에 대한 연구는 아직 미미한 수준으로 현재는 현장의 경험과 후공정 시험후 블랭크를 시행착오식으로 결정하고 있고, 단지 블랭크의 대략적인 형상을 제시할 뿐이다.

본 연구에서는 타원형 디프 드로잉 공정에서의 최적 블랭크 형상을 제시하고, 구체적인 작도방법을 제시함으로써 시행착오를 줄여 신속한 금형 제작과 대응이 기대된다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험소재

시험에 사용된 소재는 성형성이 좋은 전기아연 도금강판(SECE)으로 두께는 1.6mm이고 20 μ m의 아연도금이 되어 있는 소재를 사용하였다. SECE의 화학적 조성은 Table 1과 같다.

SECE의 물성을 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. 성형성 평가를 위해 에릭슨 테스트를 수행하였으며, 에릭슨 값은 11.4mm이다.

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

2.2 실험장치

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 다공정 트랜스퍼(transfer) 금형으로 구성된 각 공정별 금형 트라이아웃(try-out)을 행하였다. Fig. 1은 타원형 디프 드로잉 제품에 대한 기하학적인 형상을 나타낸 것이다. 제품에 대한 공정순서는 (a)초드로잉(first drawing) (b)재드로잉(redrawing) (c)타원형 드로잉(elliptical drawing) (d)제1차 탑 드로잉(1st top drawing) (e)제2차 탑 드로잉(2nd top drawing) (f)제3차 탑 드로잉(3rd top drawing)의 총 6공정의 다공정 디프 드로잉으로 구성되어 있다.

펀치 및 다이는 합금 공구강(STD11)을 사용하여 열처리(HRC60) 하였고, 다이 세트(die set)는 상·하홀더를 주물(FC25)로 제작한 후 가공하였다. 펀치와 다이의 형상반경 및 클리어런스는 Table 3과 같다. 여기서 Rp는 펀치 형상반경, Rd는 다이 형상반경, 클리어런스는 편측이며 소재두께(t)를 대비하여 나타낸 것이다.

Table 3 Radius, clearance between punch and die

Process	Shape radius	Clearance
(a)first drawing	Rp=15, Rd=10	1.25t
(b)redrawing	Rp=12, Rd=8	1.25t
(c)elliptical drawing	Rp=8, Rd=5	long side 0.94t, short side 0.87t

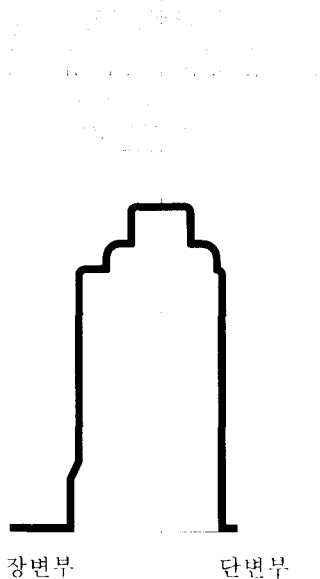


Fig. 1 Geometry of elliptical deep drawn product

2.3 실험방법

트랜스퍼 금형을 프레스에 클램핑(clamping) 하였으며, 램(ram)의 속도를 8SPM으로 일정하게 유지하였다. 블랭크 홀더력은 각 공정별로 다이쿠션에 걸리는 압력을 초드로잉 공정이 3kgf/mm², 나머지 공정이 2kgf/mm²로 하였다. 윤활제는 수용성 소성가공유로서 일반적인 드로잉유를 사용하였고 펀치 및 다이 형상반경은 변화시키지 않았으며, 소재를 드로잉 다이에 삽입할 때는 블랭크 중심을 다이 중심에 정확히 일치시킨 후 설계된 블랭크별로 드로잉 시험을 하였다.

3. 블랭크 형상설계

3.1 기존방식 블랭크

여기서 최종 제품은 장변에는 원호, 단변에는 직선으로 구성된 타원 형상이다. 기존방식의 블랭크 형상은 수작업으로 완제품의 표면적을 대략적으로 계산하여 블랭크를 간이로 제작해서 후공정 드로잉 시험후에 블랭크를 수정하고 또 다시 반복하여 3번의 시험후에 블랭크의 크기를 최종 결정하였다. Fig. 2는 기존방식의 세부적인 블랭크 형상을

나타낸 것이다. Fig. 3은 기존방식의 블랭크 형상(B type)과 변경 블랭크 형상(A, C type)을 나타내고 있다.

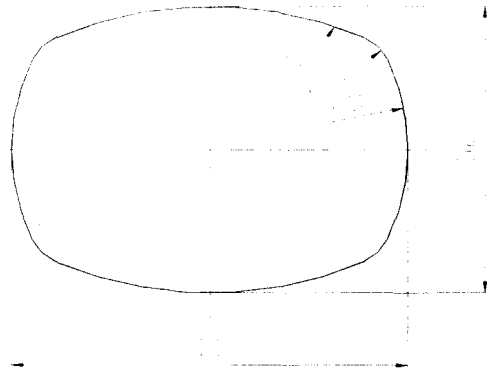
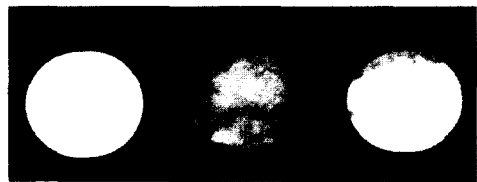


Fig. 2 Blank used in industry



A type B type C type
Fig. 3 Blank shapes of three types

3.2 변경 블랭크

3.2.1 사각통을 기본으로 한 블랭크

Fig. 4는 사각통 드로잉을 기본으로 한 블랭크 형상에 대하여 나타내고 있다. 이것의 기본은 타원형 니프 드로잉 제품의 몸통부를 단면적에 의한 사각통으로 등가하고 사각통으로부터 블랭크를 전개한다. 단변부 길이 D_z 와 장변부 길이 L 는 다음 식으로 구했다.

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

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

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

블랭크가 장공 형상으로 전개되어 Fig. 3의 A 형상과 같다.

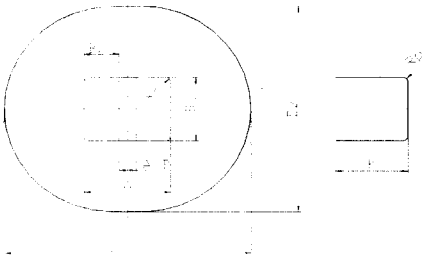


Fig. 4 Design of blank shape based on rectangular cross section (A type)

3.2.2 타원형을 기본으로 한 블랭크

Fig. 5는 타원형 드로잉을 기본으로 한 블랭크 형상에 대하여 나타내고 있다. 타원형 디프 드로잉 제품의 몸통부를 단면적에 의한 가상 타원 형상으로 등가하고 블랭크를 전개한다. 장변부 직경 R1과 단변부 직경 R2는 다음 식으로 구했다.

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

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

블랭크가 타원 형상으로 전개되어 Fig. 3의 C 형상과 같다.

Fig. 6은 블랭크의 가장자리 부분의 기하학적인 형상을 나타낸다.

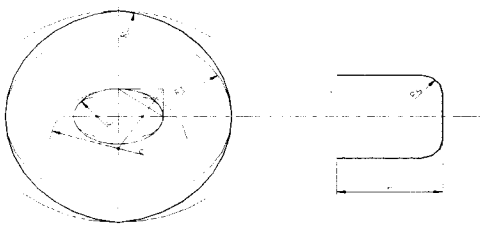


Fig. 5 Design of blank shape based on elliptical cross section (C type)

4. 실험결과 및 고찰

실험을 통하여 얻은 제품을 연삭 절단기로 절단하였다. 포인트 마이크로미터(point micrometer)를 사용하여 각공정별로 장변부와 단변부로 나누어서

제품의 중심부터 3mm 간격으로 플랜지(flange)부 끝단까지 측정하였다. 여기서 장변부는 원호로 이루어진 곡면이고, 단변부는 직선으로 이루어진 직변부이다. Fig. 7은 3가지 형상(type)의 각 공정별 제품을 보여주며, Fig. 8은 최종 타원형 디프 드로잉의 제품 사진이다. 초기의 블랭크 소재 두께가 1.6mm인 소재를 3가지의 블랭크 형상으로 디프 드로잉 실험을 하여 장변부와 단변부로 나누어서 두께 변형량을 측정하여 고찰하였다.

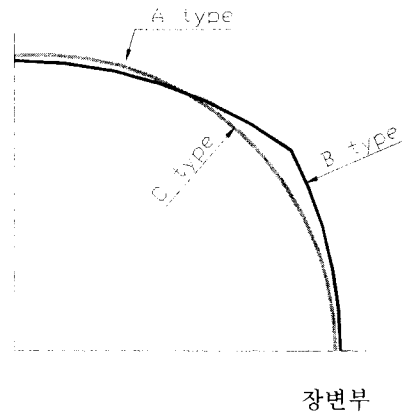


Fig. 6 Geometry of blank shapes

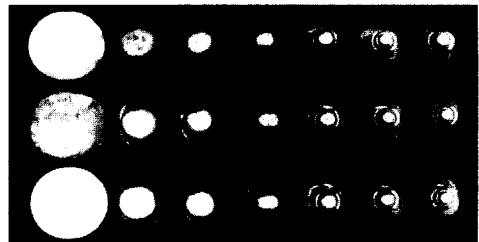
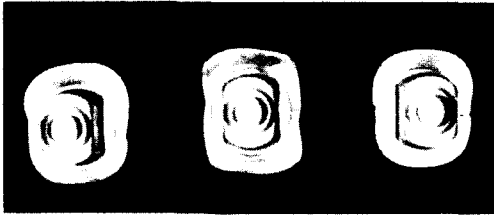


Fig. 7 Process sequence of three types (upper : A type, center : B type, lower : C type)

4.1 제품 두께 비교 및 고찰

총 6공정으로 구성된 디프 드로잉 실험에서 초드로잉, 재드로잉 공정은 원통형 디프 드로잉이고 타원형 드로잉은 프리폼(preform) 공정으로 타원형상으로 디프 드로잉이 되고 제1차 탐 드로잉, 제2차 탐 드로잉, 그리고 제3차 탐 드로잉 공정은 편치머리부를 가공하는 탐 드로잉 가공이다.



A type B type C type

Fig. 8 Final deep drawn products of three types

Fig. 9, 10의 초드로잉 공정의 장·단변부에서 측정된 결과를 보면 플랜지는 대체적으로 두께증가가 두드러지는 것을 알 수 있고, 편치 머리부나 측벽부에서는 1.4~1.6mm 사이의 두께로 두께 감소가 대략 0.1~0.2mm 정도 있고, 특히 장변부의 두께 감소가 단변부보다 0.1mm 정도 크게 나타난다. 그 이유는 장변부와 단변부의 클리어런스는 같으나, 블랭크 형상이 단변부에서는 직선이므로 굽힘(bending) 가공을 하고 장변부에서는 드로잉 가공을 함으로 인하여 두께 감소가 단변부보다 크게 나타난다.

3가지의 블랭크 형상에서 A 형상은 장변부에서 두께 변화가 비슷하나 플랜지에서 단지 다른 형상보다 두께 증가가 나타나고, 단변부에서 다른 형상보다 두께 감소가 나타난다. B, C 형상은 두께 변화가 비슷하다. 이것은 Fig. 6의 장변부에서의 블랭크 길이는 3가지 형상 모두 비슷하나 단변부에서의 블랭크 길이는 A 형상이 가장 크므로 A 형상의 단변부 재료 유동은 다른 형상보다 원활하지 못하다. 그러므로 차후 두께 분포의 균일화가 요구될 경우 단변부의 블랭크 형상을 조정할 필요가 있다고 사료된다.

Fig. 11, 12의 재드로잉 공정에서는 A 형상에서 장·단변부 모두 두께 감소가 두드러진다. 특히 편치 머리부 및 측벽부에서의 두께가 1.2~1.4mm로 두께 감소가 나타나고 플랜지에서도 다른 형상보다 두께 감소가 나타난다. 그 이유는 초드로잉 공정의 단변부에서 심한 두께 감소에 의한 집중응력이 발생하여 재드로잉 공정에서 두께 감소가 더욱 더 가속화되기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 13, 14의 타원형 드로잉 공정에서는 세 번째 공정으로 지금까지 원통 드로잉에서 타원형 드로잉을 하는 공정으

로 부분부의 장·단변부가 뚜렷이 나누어진다. A, B, C 형상의 장·단변부 모두 편치 머리부의 두께 감소가 두드러진다. 특히 장변부에서 최소 두께가 0.99mm로서 두께감소율이 38%로 극부적으로 관의 두께가 감소되는 것을 알 수 있다.

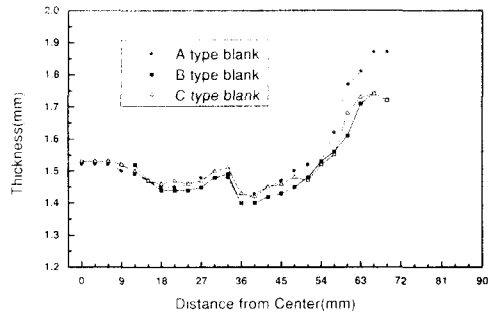


Fig. 9 Thickness distribution of long side in first process

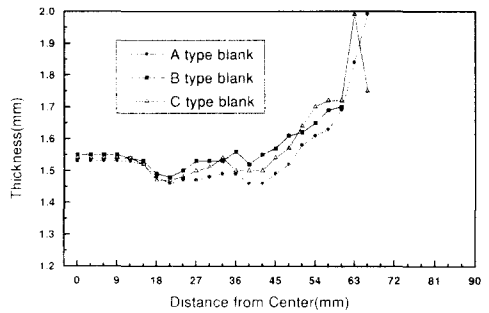


Fig. 10 Thickness distribution of short side in first process

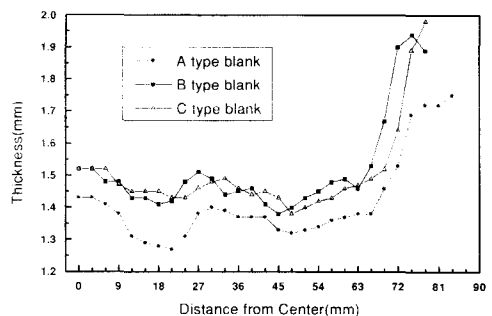


Fig. 11 Thickness distribution of long side in second process

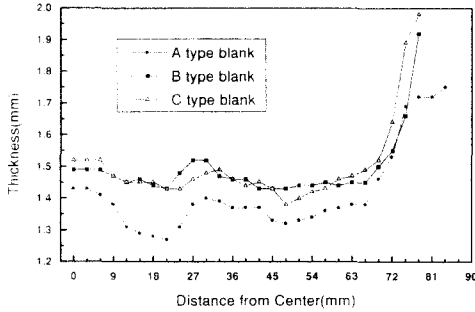


Fig. 12 Thickness distribution of short side in second process

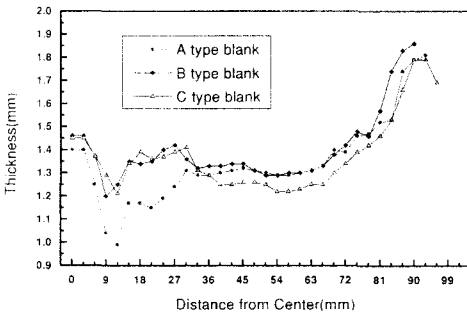


Fig. 13 Thickness distribution of long side in third process

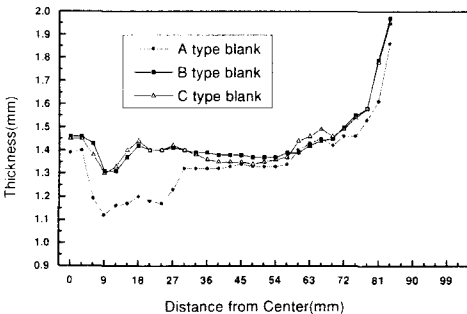


Fig. 14 Thickness distribution of short side in third process

탑 드로잉 공정은 3공정으로 구성되어 있으며 편치 머리부의 제품 형상이 3단으로 성형되어 최종 공정이 제3차 탑 드로잉 공정이다.

Fig. 15, 16의 제1차 탑 드로잉 공정에서는 네 번째 공정으로 장변부의 편치 어깨부에서 A 형상이 국부적으로 두께 감소가 나타나고, 단변부에서는 Fig. 16과 같이 A, C 형상이 편치 어깨부에서 국부적인 두께 감소가 나타나고 있다. 특히 A 형상은 편치 측벽부에서 플랜지까지 두께 감소가 심하게 나타난다.

Fig. 17, 18의 제2차 탑 드로잉 공정에서는 다섯 번째 공정으로서 A 형상 블랭크에서 장·단변부의 두께 감소가 국부적으로 나타나고 있다.

Fig. 19, 20의 제2차 탑 드로잉 공정에서는 여섯 번째 최종 드로잉 공정으로서 A 형상 블랭크가 장·단변부 모두 다른 형상보다 두께 감소가 편치 어깨부에서부터 플랜지까지 심하게 나타난다.

3가지형상 블랭크에서 A 형상이 초드로잉 공정에서 다른 형상보다 두께 감소가 심하게 나타나고, 그 영향으로 후공정에서 계속해서 두께 감소가 심하게 나타난다. 이것은 앞의 공정에서 두께 감소 대책을 세우지 않으면 뒤의 공정들은 계속해서 두께 감소가 진행되어 결국 파단에 이르게 된다는 것을 알 수 있다.

4.2 플랜지 형상 비교 및 고찰

A 형상 블랭크는 공정이 진행됨에 따라 양호한 플랜지 형상을 나타내고 있으나 위에서 살펴본 바와 같이 국부적인 두께 감소가 발생하였다. 즉 외관상으로 양호한 플랜지 형상을 가진 제품을 얻을 수 있었으나 제품 두께의 불균일로 적용은 어렵다고 사료된다.

B 형상 블랭크는 단변부가 완만한 곡선으로 구성되어 있어 플랜지에서 원주방향의 압축력이 걸리는 동안 재료의 흐름이 원만하나 Fig. 8의 B 형상과 같이 코너부에 불연속 오목부가 발생되었다.

C 형상 블랭크는 단변부를 구성하고 있는 직변이 원주방향으로의 재료의 흐름이 불연속하게 되어 Fig. 8의 C 형상과 같이 단변부 중심에서 재료가 겹쳐지게 되어 노치가 발생되었다.

위의 결과에서 기존방식의 블랭크(B type)와 타원형을 기본으로 한 블랭크(C type)가 매우 양호한 제품의 플랜지 형상을 얻을 수는 없었지만, 제품 두께의 변화가 비교적 균일하고 국부적인 두께 감소가 작으므로 최적의 블랭크 형상으로 적용이 가능하리라 사료된다.

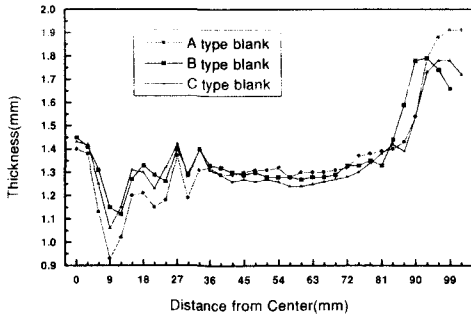


Fig. 15 Thickness distribution of long side in fourth process

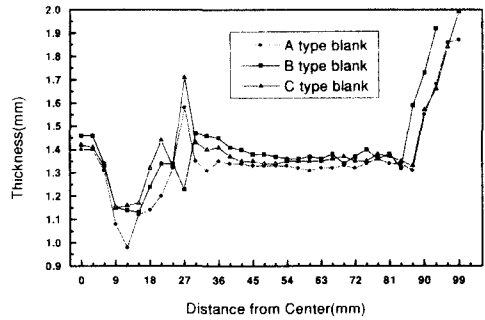


Fig. 18 Thickness distribution of short side in fifth process

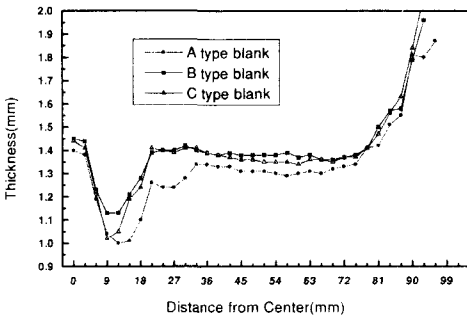


Fig. 16 Thickness distribution of short side in fourth process

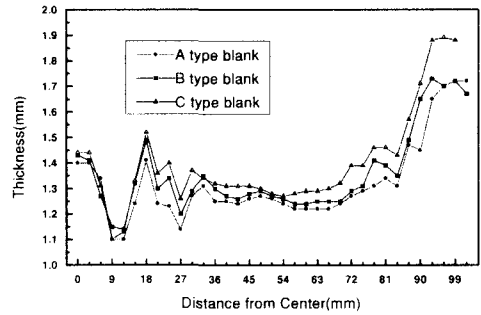


Fig. 19 Thickness distribution of long side in final process

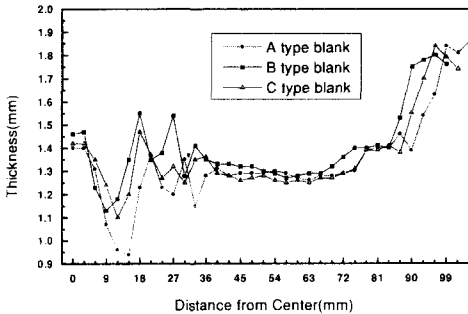


Fig. 17 Thickness distribution of long side in fifth process

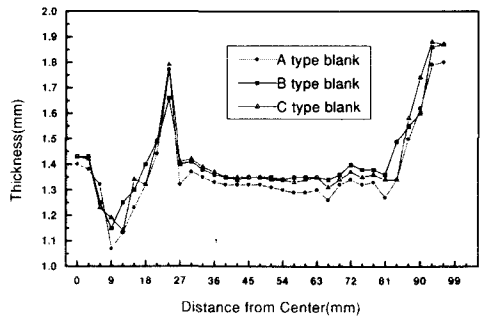


Fig. 20 Thickness distribution of short side in final process

5. 결론

본 연구에서는 타원형 디프 드로잉 금형에 사용

되는 전기아연 도금강판의 성형성 향상을 위한 최적 블랭크 형상을 얻기 위하여 실험용 금형제작과 디프 드로잉 실험을 통하여 최적 가공조건에 관련된 공정변수를 고찰하였고, 각 블랭크별, 공정별 두께 등을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 편치와 다이 사이의 클리어런스는 초드로잉 공정에서는 클리어런스가 클수록 성형에 유리하였고, 공정 드로잉이 진행됨에 따라 클리어런스의 량을 줄어 나가는 것이 유리하였다.

(2) 성형된 제품의 두께 변형 분포를 보면 공정이 진행됨에 따라 두께 감소가 나타났고, 장변부와 단변부의 두께는 탑 드로잉 가공을 하는 편치 머리부에서 변화량이 크게 나타났다.

(3) 다공정의 타원형 디프 드로잉 제품을 최적으로 블랭크 설계할 수 있었으며, 실험 결과 우수한 제품을 얻을 수 있었다.

(4) 개선된 블랭크 형상에서 타원형을 기본으로 한 블랭크(C type)가 디프 드로잉 실험결과 제품 두께 변화가 비교적 균일하고 국부적인 두께 감소가 작으므로 성형성에서 우수하였고, 기존방식의 블랭크(B type)도 비슷한 양상을 보였다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터(ERC/NSDM)의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 金世煥, 韓允熙, 李承熙, "프레스 金型設計資料集," 大光書林, pp. 248-345, 1988.
2. 橋本 明 著, "프레스絞り加工," 日刊工業新聞社, pp. 118-139, 1974.
3. 太田 哲 著, "프레스絞り加工 工程設計," 日刊工業新聞社, pp. 157-167, 1972.
4. 전기찬, "박판금속의 성형," 반도체출판사, pp. 131-177, 1993.
5. Donald F. Eary, Edward A. Reed, "Techniques of pressworking sheet metal," Prentice-Hall, New Jersey, pp. 100-185, 1974.
6. 김두환, "원통형 닥드로잉 용기의 벽 두께 감소

최소화에 관한 실험적 연구," 한국소성가공학회지, 제7권, 제4호, pp. 393-399, 1998.

7. 배원병, 허병우, 김효운, 이영식, "사각 컵드로잉 공정에서의 최적 블랭크 형상 결정," 한국정밀공학회지, 제15권, 제12호, pp. 68-71, 1998.
8. 김진주, 유호영, "코너각이 용기의 성형에 미치는 영향에 관한 연구," 한국소성가공학회지, 제8권, 제1호, pp. 14-21, 1999.
9. 김창호, 박동환, 강성수, "금형의 국부적인 가열에 의한 사각통의 온간 디프드로잉 성형성에 미치는 온도의 효과," 한국정밀공학회지, 제13권, 제5호, pp. 53-59, 1996.
10. 박동환, 최병근, 박상봉, 강성수, "타원형 디프드로잉 공정의 최적 블랭크 형상에 관한 연구," 한국정밀공학회 '99년도 춘계학술대회 논문집, pp. 998-1001.