[논문] 한국소성가공학회지(2001), 제10권 제3호
Transactions of Materials Processing **Vol. 10, No. 3, (2001)**

타원용기 성형에서 블랭크 형상에 따른 펀치하중 변화에 관한 연구

박동환* · 허영민** · 강성수***

(2001년 2월 27일 접수)

A Study on Punch Load According to Blank Shape in Elliptical Cup Forming

D. H. Park, Y. M. Huh and S. S. Kang

Abstract

Deep drawing process, one of sheet metal forming methods, is very useful in the industrial field because of its efficiency. The deep drawing is affected by many process variables, such as blank shapes, shape radii of the punch and die, formability of materials and so on. Especially, blank shape is very important formability factor. In this study, in order to investigate the effects of blank shape, we suggested three kinds of blank shapes and examined friction test about three conditions. We measured punch load distribution according to punch stroke under the conditions of each punch and die shape radii and observed punch load of elliptical cup forming.

Key Words : Deep Drawing, Punch Shape Radius, Die Shape Radius, Elliptical Cup, Punch Load

1. 서 론

박판금속의 인장성을 이용하여 펀치와 다이를 이용해 원하는 형상을 만드는 가공법을 드로잉이라고 한다. 음료수 캔이나 자동차 차체등의 제품을 절단가공 없이 단시간에 대량생산할 수 있다는 점에서 현장에서 많이 쓰이고있다. 특히 드로잉 가공중에서 가공물의 길이가 직경보다 큰 경우를 디프 드로잉(deep drawing)이라고 한다. 디프 드로잉 가공시 펀치가 블랭크를 가압하면서 원주방향으로 압축 변형이 일어나며 다이 반경부에서 굽힘, 측벽부에서 펴짐과 인장 등의 복잡한 재료거동이 나타나게 된다.

최적의 디프 드로잉 제품을 만들기 위해 블랭크 형상, 소재자체의 성형성, 펀치 및 다이의 형상반경, 윤활조건, 가공속도 등을 고려해야 하는데[1~5] 그 중 블랭크 형상과 펀치 및 다이의 형상반경은 성형성[6]에 영향을 주는 큰 요인 중의 하나이다. 적절한 펀치 및 다이 형상반경을 택하므로써 소재에 무리한 힘을 줄일 수 있으며,

* 부산대학교 기계기술연구소
** 부산대학교 일반대학원 정밀기계공학과
*** 부산대학교 기계공학부

또한 적절한 소재형상을 택하므로써 공정을 단순화시킬 수 있고, 성형성을 증대시킬 수 있어, 가공 후 다듬질의 공정과 시간을 크게 줄일 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 펀치 및 다이 형사상반경과 블랭크 형상[7]이 성형성에 미치는 영향을 파악하기 위해 블랭크 형상 3가지와, 펀치 및 다이 형상반경(Rd)에 따른 펀치하중[8,10] 분포를 1공정과 2, 3 공정별로 비교 분석하였다.

2. 디프 드로잉 실험

2.1 인장시험

실험에는 20 μm의 아연도금이된 두께 1.6mm의 전기아연 도금강판(SECD)을 소재로 사용하였다.
SECD의 물성을 파악하기 위해 KS시험편으로 인장시험을 하였으며 인장시험결과와 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1 Mechanical properties of SECD

Direction	Young's modulus [Gpa]	Yield strength [Mpa]	Tensile strength [MPpa]	Elongation [%]
0°	50.9	182	426	48.4
45°	54.5	200	433	41.4
90°	58.5	205	412	48.2
Average	54.6	195.7	423.7	46.0

2.3 실험장치 및 방법

아래 Fig. 1과 같이 본 실험에 사용된 장비는 100ton 유압식 프레스이다. 이 시험기는 블랭크 홀더력을 임의로 조절할 수 있는 다이쿠션(die-cushion)과 상형 램의 공정별 행정(stroke)을 제어할 수 있는 위치 검출 장치(limit S/W)를 갖추고 있다. 이 시험기에 성형을 할 때 펀치하중(punch load)과 펀치행정(punch stroke)을 측정할 수 있도록 LVDT(linear variable differential transformer)가 장착된 컴퓨터를 연결하여 실험하였다.

펀치 형상반경(Rp)은 6.4로 고정하였고, 다이 형상반경(Rd)은 11.2, 16의 2종류로 제작하여 실험하였다. Table 2에서 보여주듯이 각 블랭크 형상(A, B, C)에 대해 Rp는 6.4로 고정하고, 각 공정별로 Rd는 11.2와 16을 8가지의 경우로 하여 총 24가지 실험을 하였다. 펀치행정은 1공정에서 46mm이고 2공정일 때 62mm이며 3공정은 74mm로 하였다. 블랭크 홀더력(BHF)은 1kgf/㎟으로 최종 결정하여 실험을 수행하였다.

Table 2 The experimental condition for punch (Rp) and die shape radii (Rd)

	First drawing Rd1(mm)	Second drawing Rd2(mm)	Third drawing Rd3(mm)	Remark
Blank type (A, B, C)	11.2	11.2	11.2	Rp=6.4
			16	
		16	11.2	
			16	
	16	11.2	11.2	
			16	
		16	11.2	
			16	

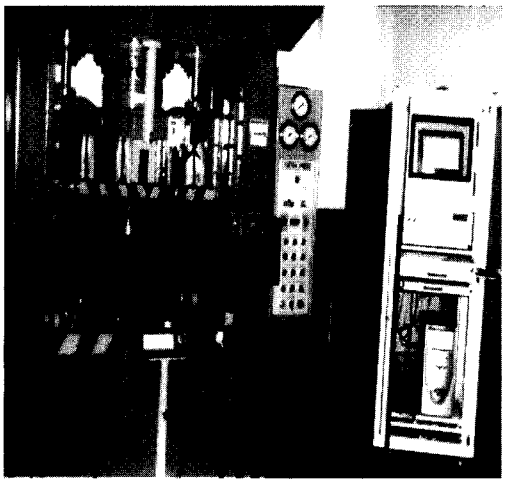


Fig. 1 Experimental equipment for deep drawing

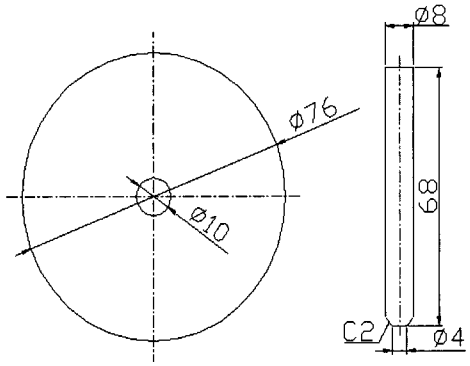
3. 마찰 실험

3.1 시편준비

다이와 소재사이의 마찰계수 측정을 하기 위해 Fig. 2와 같은 시편을 제작하여 마찰 실험을 하였다.

실험에 사용된 디스크(disk)는 직경 76㎜이고 두께는 1.6㎜이다. 디스크 고정판(disk holder)에 고정을 하기 위해 디스크 중앙부에 직경 10㎜의 구멍(hole)을 뚫은 후 볼트로 고정하였다. 핀(pin)은 직경 8㎜, 높이 68㎜, 머리 부분을 펀치, 블랭크 홀더, 다이와 같은 조건으로 하기 위해 열처리(H_RC60)된 내마모 불변형용 합금공구강(STD11)으

로 제작하였다. 또한 시험에 사용된 핀의 표면 조도를 높이기 위해 핀의 앞 부분은 2㎜로 모따기 한 후 직경 4㎜의 표면을 샌드페이퍼(sand paper)로 경면 사상 하였다.



(a) Disk (t=1.6) (b) Pin (STD11 : HRC60)

Fig. 2 Dimensions of pin-on-disk for measure friction coefficient

3.2 실험장치 및 방법

Fig. 3은 실험장치의 개략도를 나타내다. 디스크와 핀 사이의 수직력과 마찰력은 내장된 로드셀(load cell)에 의해 측정되고, 수신된 신호는 컨트롤러를 통해 PC로 전송되게 하였다. 이 때 측정된 하중 및 마찰계수는 PC에서 자동 연산하여 저장되도록 구성하였다. 여기서 압축 공기 실린더(pneumatic cylinder)는 압축 공기가 갖는 에너지를 기계적인 왕복 직선운동으로 변환하는 장치이다. 마찰 실험을 위한 시험기의 제원은 Table 3과 같다.

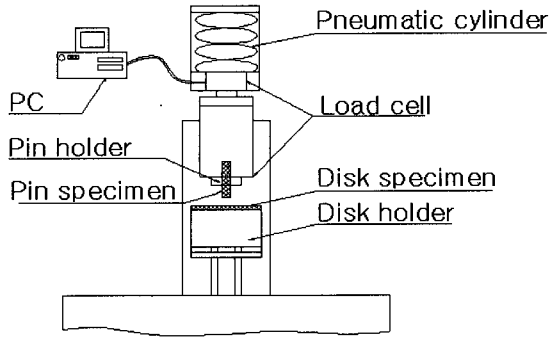


Fig. 3 Experimental equipment of pin-on-disk type

Table 3 Specification of experimental setup

Specification	Dimension
Rotational speed	30～1000 rpm
Motor power	2.3kW
Radius of test track	0～40mm
Pin load	Pneumatic loading : 50～1000N
	Dead weight loading : 5～100N
Friction force	Low load : 0～40N
	High load : 0～800N

3.3 평균마찰계수

시험은 평균마찰계수(μ)를 얻기 위해 여러 조건으로 설정하였다. 디스크의 회전속도는 실제 디프 드로잉 프레스 성형 속도와 유사한 60rpm으로 하였고, 성형하중(Pin load)은 150N, 200N, 250N의 3가지 조건으로 하였다. 마찰 상태는 윤활유를 사용하지 않은 건 마찰(non lubrication friction), 충분한 윤활유를 사용하여 실험한 윤활 마찰(full lubrication friction), 윤활유의 막을 생성시킨 경계마찰(film lubrication friction)의 세 가지 조건에서 마찰계수를 측정하였다[13].

마찰계수는 하중 작용과 동시에 측정을 시작하여 성형하중이 설정된 조건에 도달해서 그 상태를 일정시간 유지한 시점까지 측정하였다. 평균마찰계수는 성형하중에 근접하여 측정된 마찰계수들의 평균을 내어 산출하였다. Table 4는 각 실험에서 구한 평균마찰계수를 나타낸다. Fig. 4는 마찰시험에 사용한 장치이다. Fig. 5와 6은 마찰시험 전 후의 상태를 나타낸다.

Table 4 Mean friction coefficient value of each test

Type	150N	200N	250N	Mean value
Non lubrication	0.24	0.26	-	0.25
Full lubrication	0.08	0.15	-	0.12
Film lubrication	0.09	0.07	0.08	0.08

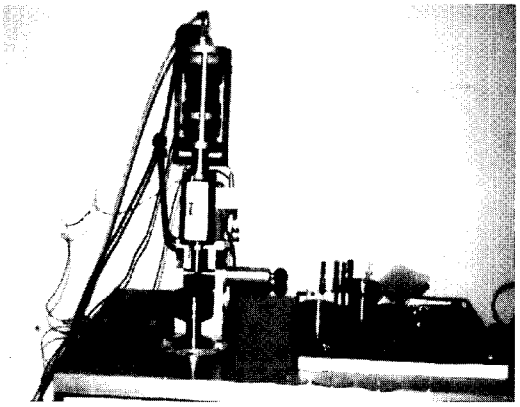


Fig. 4 Experimental equipment for measuring friction coefficient

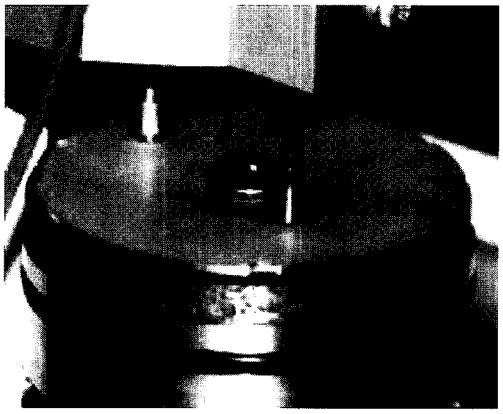


Fig. 5 State before test for measuring friction coefficient

4. 블랭크 형상설계

기존의 블랭크는 시행착오법(trial and error)에 의해 설계되어 시간 및 인력 낭비가 심하였다. 그러므로 본 논문에서는 타원용기 제품의 표면적을 구하기 위하여 최종제품에 대해 3차원(3D) 모델링하였다. 모델링된 제품의 표면적과 등가한 면적을 가지는 블랭크 형상 3가지를 설계[9] 제작하여 실험하였다. Fig. 7은 3가지 블랭크 형상의 1/4을 기하학적으로 비교한 것으로 A type의 블랭크는 외형이 타 블랭크에 비해 크다. B type은 단변부의 길이가 C type보다 짧으며, 장변부의 길이는 C type과 거의 일치하는 특징을 가진다. 최종 제품 공정은 총 10공정이고 다단계 디프 드로잉[11,12]이 완성되는 공정은 7공정이다. 여기서는 중간공정 (preform) 이전의 1, 2, 3공정까지의 펀치하중 실험을 하였다. Fig. 8은 타원용기의 최종 제품을 AutoCAD 환경에서 3차원 모델링한 형상을 나타낸다. Fig. 9는 타원용기의 공정순서를 나타낸다. Fig. 10은 블랭크 형상별로 각 공정의 제품 사진을 나타낸다.

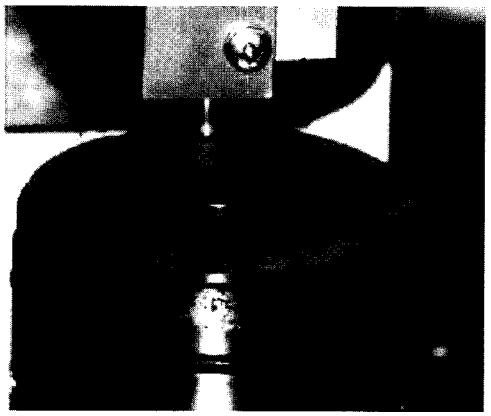


Fig. 6 State after test for measuring friction coefficient

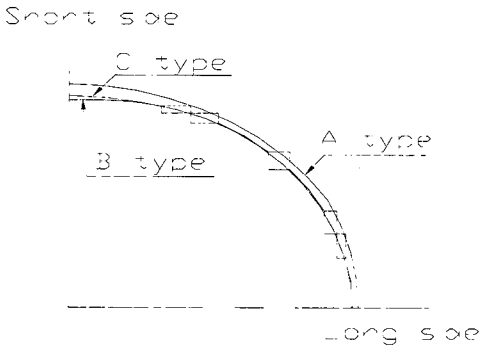


Fig. 7 Geometry of blank shapes

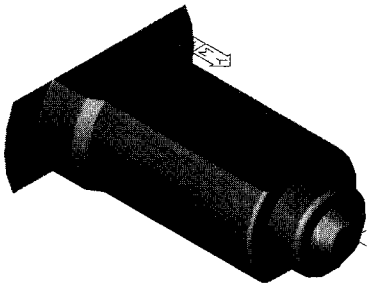


Fig. 8 Final shape of product

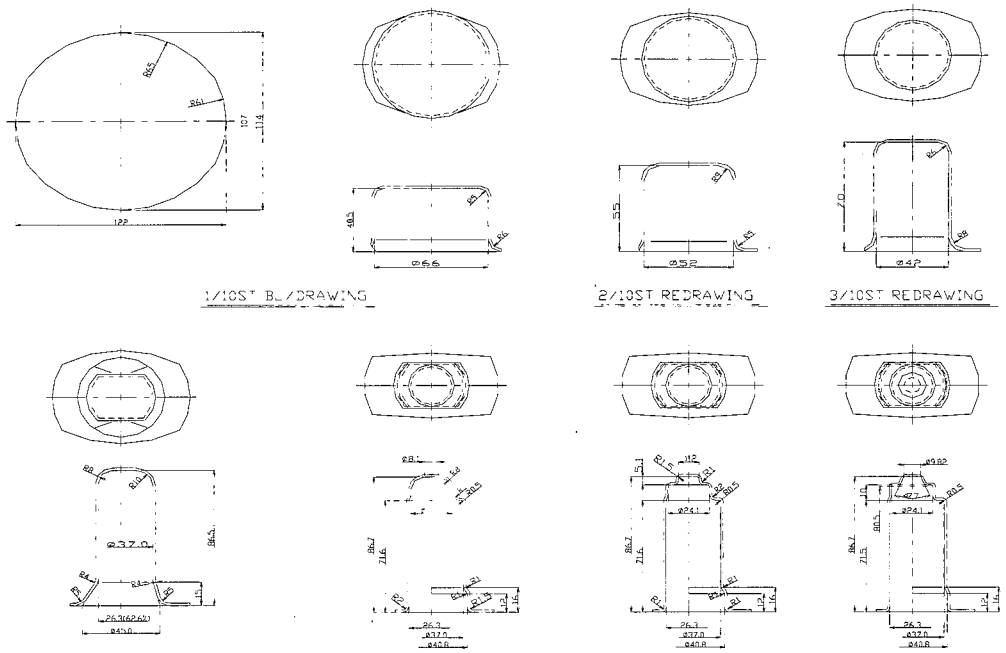


Fig. 9 Process sequence of elliptical cup drawing product

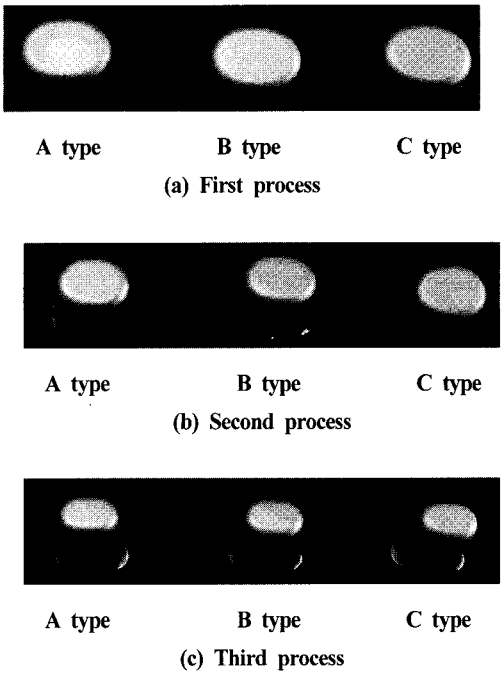


Fig. 10 Product shape of each blank type according to process

4.1 타원형 블랭크 (A type)

Fig. 11은 본 연구에서 제안된 타원형 블랭크의 형상이다. 이러한 블랭크는 산업현장에서 시행착오법에 의한 여러번의 실험결과 최종 결정된 것이다.

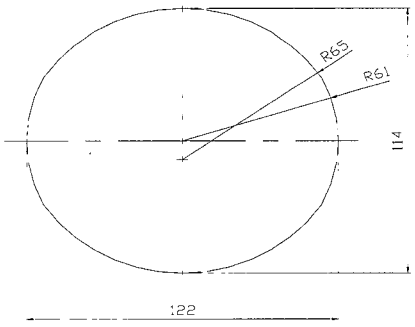


Fig. 11 The shape of A type blank

4.2 장공형 블랭크 (B type)

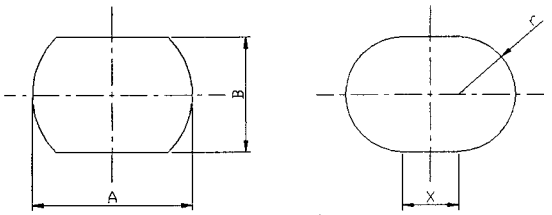
장공형 블랭크는 표면적일정이라는 규칙에 근거하여 다음과 같이 설계하였다. Fig. 12에서와 같이 장변의 호와 단변의 직선을 가지는 최종제품 단면 형상 (a)의 면적과 동일한 단면적(CA)을 가지는 장공형상 (b)를 (1) 식으로

구하였다. 이 때 (b)의 단변 길이를 (a)의 B에 일치시켰고, (2) 식에서 장공형 블랭크의 단변 길이 K를 구하였다. 여기서 H는 최종제품의 표면적과 동일한 원통의 높이를 나타내고, R_b는 원통의 곡률반경이다. 그러므로 AutoCAD의 환경에서 트리밍 여유를 고려하여 최종제품과 표면적이 같은 장공형 블랭크를 설계하였다. Fig. 13은 장공형 블랭크 단변길이 K와 형상을 나타낸다.

$$CA = \pi r^2 + (2r) \cdot X \qquad (1)$$

$$X = (CA - \pi r^2)/2r \ , \ r = \frac{1}{2}B$$

$$K = 2 \cdot (r + H - 0.43R_b) \qquad (2)$$



(a) Cross shape of final product　　(b) Cross shape of rectangular

Fig. 12 Final product cross shape and rectangular cross shape

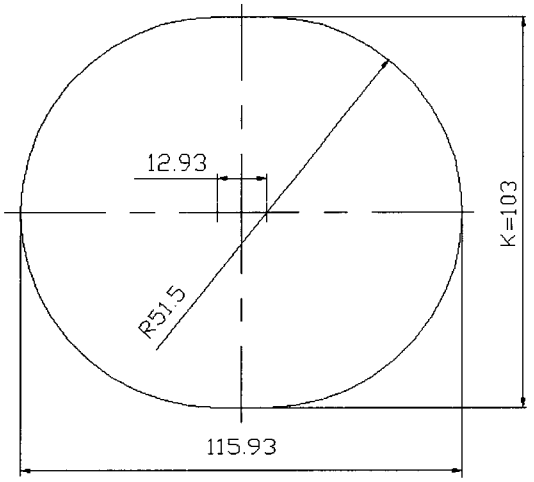


Fig. 13 The shape of B type blank

4.3 변형타원형 블랭크 (C type)

Fig. 14는 디프 드로잉 실험을 하기 위한 변형타원형 블랭크의 치수를 나타내고 있다.

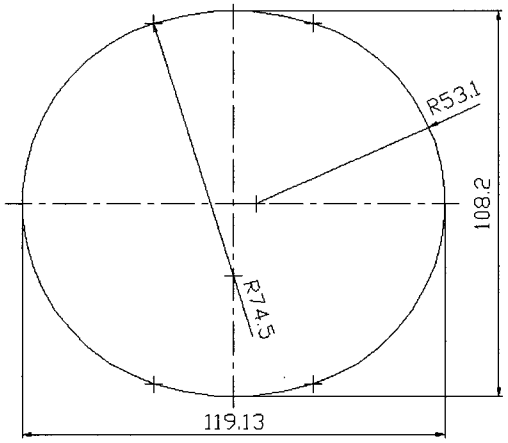


Fig. 14 The shape of C type blank

이 블랭크는 장공형 블랭크 단변의 직선이 디프 드로잉 될 때 불연속 구간이 되기 쉽다. 그러므로 가능한 불연속 구간이 없도록 직선 부분을 원호(arc)로 수정하여 설계하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 다이 형상반경(Rd)에 따른 펀치하중 비교

Fig. 15는 1공정에서 블랭크 형상별로 펀치행정에 대한 펀치하중을 나타낸 그래프이다. 여기서 Rp는 6.4로 고정하였고 Rd1은 11.2와 16의 2가지 조건으로 실험하였다. 초기에 펀치하중은 소재가 다이 공(die cavity)속으로 유입됨에 따라 원형과 달리 장 · 단변부의 유입저항으로 인해 급격히 증가하여 펀치행정의 50~60 %에서 최대펀치하중이 발생하였으며, 최대펀치하중 이후부터 펀치행정의 하사점에 도달할 때까지 감소되면서 성형이 완료됨을 알 수 있다. 이것은 펀치가 하사점에 도달함에 따라 변형량이 증가하고 그에 따라 소재의 가공경화가 일어나기 때문인 것으로 사료된다. Table 5는 1공정에서 블랭크 형상별로 최대펀치하중을 나타낸다. Rd1이 16일 때 최대펀치하중은 A type에서 11.2ton, B type이 9.8ton, C type은 9.9ton으로 11.2일 때 보다 작게 나타남을 알 수 있다. 이것은 다이 형상반경이 작은 값보다는 큰 값일 때, 재료가 다이 내부로 유입되면서 완만한 굽힘으로 인한 원활한 유동 때문에 펀치하중이 작게 나타남을 알 수 있다. 즉 다이의 모서리

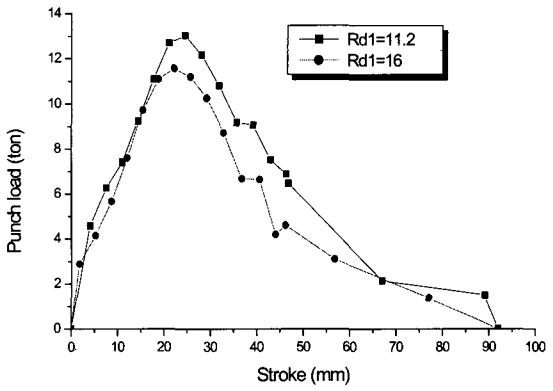
부분에서 블랭크가 받는 굽힘반경이 크게 되어 굽힘력이 작게 작용된 것으로 판단된다.

Fig. 15의 (a)는 1공정에서 블랭크 A type의 펀치하중을 비교하였다. Rd1이 16일 때 초기 펀치하중은 펀치행정의 44%까지 11.2와 유사하게 증가를 하였고, 그 후부터 펀치하중은 Rd1이 11.2일 때보다 감소되었다. (b)와 (c)는 Rd1이 16일 때 펀치하중은 11.2와 비교해서 펀치행정의 80% 이하에서는 약간의 차이를 보이면서 작게 나타나고, 그 이후에는 11.2와 비슷하게 나타났다. 이것은 다이 형상반경이 16인 경우 펀치행정의 80%까지 블랭크를 잡아주는 면적이 11.2일 때보다 작아 블랭크 홀더력이 작게 작용함에 기인한다.

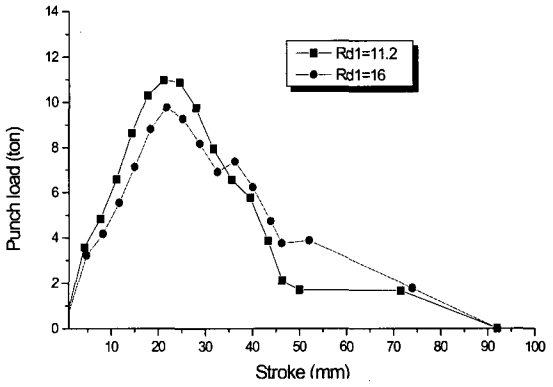
Fig. 16은 2공정에서 블랭크 형상별로 펀치행정에 대한 펀치하중을 나타낸 그래프이다. 여기서 Rp는 6.4, Rd1은 16, Rd2를 11.2, 16의 2가지 조건으로 실험하였다. 2공정에서는 펀치행정이 진행됨에 따라 하중이 급격히 증가하고 펀치행정의 50~80%까지 완만한 펀치하중 증가가 나타난다. 그 후, 하사점에 도달할 때까지 감소되면서 성형이 완료됨을 알 수 있다. 여기서 최대펀치하중은 Rd2가 16일 때 A type에서 8.6ton, B type이 8.7ton, C type은 8.8ton으로 11.2일 때보다 0.5~1.2ton의 차이를 보이면서 작게 나타난다. (a)는 2공정에서 블랭크 A type의 펀치하중을 나타낸다. Rd2가 16일 때 펀치하중은 펀치행정의 90%까지 11.2일 때보다 낮은 값이 나타나고, 그 후부터 펀치하중은 펀치행정이 진행됨에 따라 11.2일 때와 거의 동일하게 감소하는 것을 알 수 있다. (b)와 (c)에서도 약간의 차이가 있지만 (a)와 비슷한 형태가 나타나는 것을 알 수 있다. 2공정에서 A, B, C type의 펀치하중은 1공정과 비교해서 모두 낮게 나타났다. 이것은 1공정에서 2공정으로 진행될 때 드로잉률이 높게 정형되므로, 타원용기의 성형에서 드로잉길이는 작아진다. 그 결과 펀치하중은 2공정에서 1공정보다 낮게 나타난다.

Table 5 Max. punch load of blank shapes along die shape radii in first drawing (Rp=6.4mm)

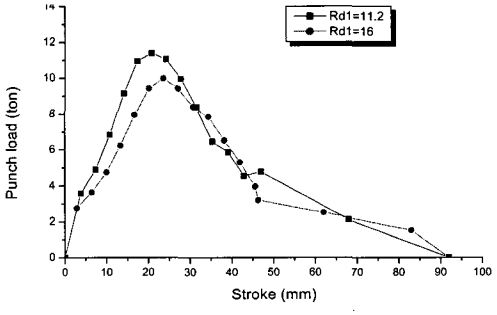
	A type	B type	C type
Max. punch load (ton)	Rd1=11.2 : 13.1	Rd1=11.2 : 10.9	Rd1=11.2 : 11.4
	Rd1=16 : 11.2	Rd1=16 : 9.8	Rd1=16 : 9.9



(a) Punch load-stroke curve at A type

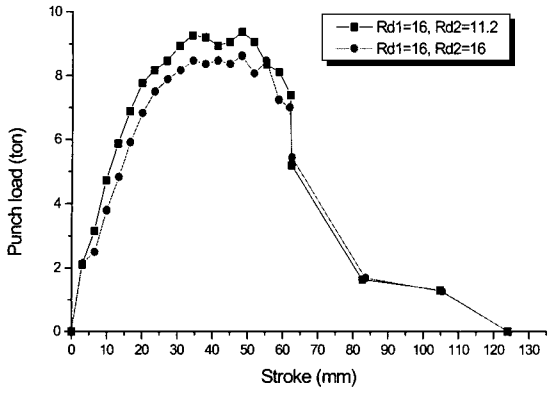


(b) Punch load-stroke curve at B type

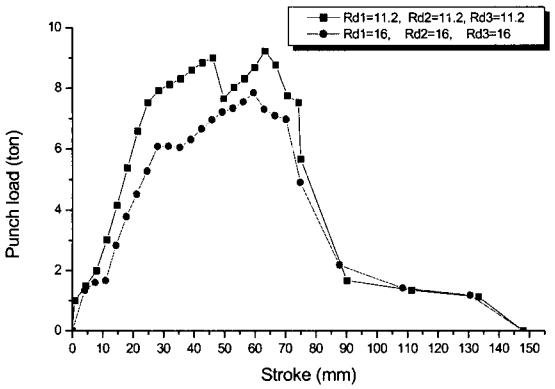


(c) Punch load-stroke curve at C type

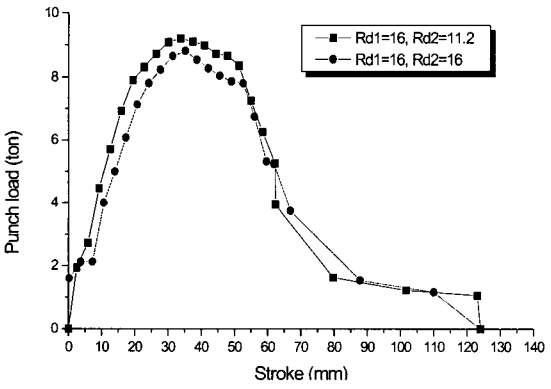
Fig. 15 Comparison of punch load along die shape radii at first drawing (Rp=6.4mm)



(a) Punch load-stroke curve of A type



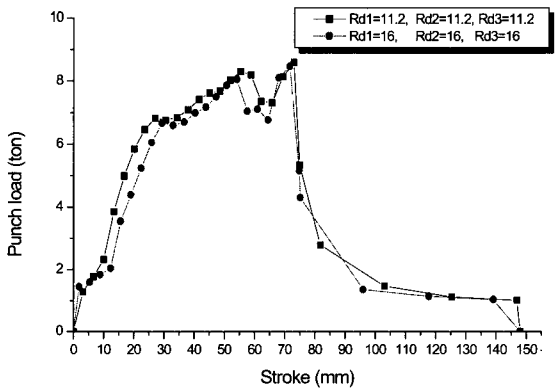
(b) Punch load-stroke curve of B type



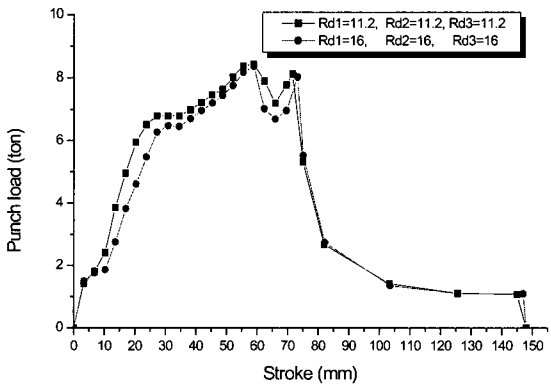
(c) Punch load-stroke curve of C type

Fig. 16 Comparison of punch load along die shape radii at second drawing (Rp=6.4mm)

(a) Punch load-stroke curve at A type



(b) Punch load-stroke curve at B type



(c) Punch load-stroke curve at C type

Fig. 17 Comparison of punch load along die shape radii at third drawing (Rp=6.4mm)

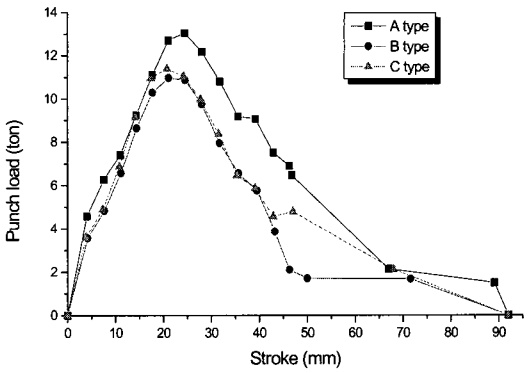
Fig. 17은 3공정에서 블랭크 형상별로 Rp를 6.4로 고정하고 Rd가 11.2와 16일 때의 펀치행정에 대한 펀치하중을 나타낸다. 3공정에서 펀치하중은 펀치행정이 진행됨에 따라 급격히 증가하고, 펀치행정의 40~80%까지 완만한 증가를 보인다. 블랭크 형상별로 Rd가 11.2일 때보다 16일 때 최대펀치하중이 작게 나타남을 알 수 있다. 최대펀치하중은 A type에서 7.8ton, B type이 8.5 ton, C type은 8.4ton으로 A type이 가장 작게 나타났다. (b), (c)의 펀치하중 선도를 보면 하사점 부근에서 펀치하중의 기복이 1.5~2ton으로 나타난다. 이것은 펀치가 다이 속으로 유입될 때 소재와 펀치사이의 순간적인 진공상태가 되고, 펀치가 하사점에 도달될 때 펀치와 다이의 일시적인 충격에 의한 펀치하중 변화가 발생된 것으로 생각된다.

이상의 결과에서 펀치하중은 다이 형상반경이 클 수록 감소됨을 알 수 있다. 이는 다이 형상반경이 큰 경우에 작은 경우보다 블랭크 홀더의 접촉면적이 작아 유입저항이 낮아지므로 펀치하중이 낮게 나타난다. 따라서 다이 형상반경이 클수록 최대펀치하중이 낮아지고, 이로 인해 소재에 큰 힘이 필요하지 않으므로 경제적인 가공과 수명 향상이 기대된다.

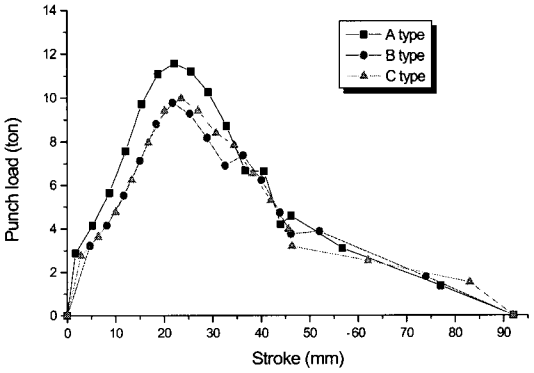
5.2 블랭크 형상에 따른 펀치하중 비교

Fig. 18은 1공정에서 블랭크 형상별로 펀치행정에 대한 펀치하중을 나타낸다. 여기서 Rp는 6.4로 고정하였고, Rd1은 11.2, 16으로 실험하였다. (a)와 (b)에서 A type의 펀치하중은 B, C type보다 상대적으로 크게 나타나고, B와 C type의 펀치하중은 유사하게 나타난다. 이것은 Fig. 7에서와 같이 A type의 형상이 B, C type 보다 전체적으로 크다. 따라서 A type은 블랭크 홀더와의 접촉 면적이 크므로 블랭크 홀더력을 크게 받게 되어 최대펀치하중은 A type이 타 블랭크보다 가장 높게 나타난다고 사료된다.

Fig. 19는 2공정에서 블랭크 형상별로 펀치행정에 대한 펀치하중을 나타낸다. 여기서 Rp는 6.4, Rd1이 16일 때 Rd2가 11.2, 16으로 실험하였다. (a)와 (b)를 보면 최대펀치하중은 A와 B type의 경우 펀치행정의 약 80%에서 나타나고, C type은 약 60%에서 나타남을 알 수 있다. 2공정에서 펀치하중은 1공정과 비교하여 낮게 나타났고, 3가지 블랭크 모두 비슷한 펀치하중을 보였다. 이것은 1공정에서 2공정으로 드로잉될 때 드로잉 길이의 감소로 인해 펀치하중이 낮게 나타났으며, 2공정에서는 블랭크 형상별로 드로잉 길이가 비슷하여 펀치하중이 유사하게 나타난 것으로 판단된다.

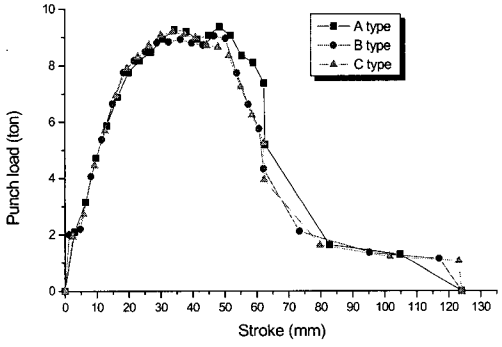


(a) Punch load-stroke curve of each blank type (Rd1=11.2)

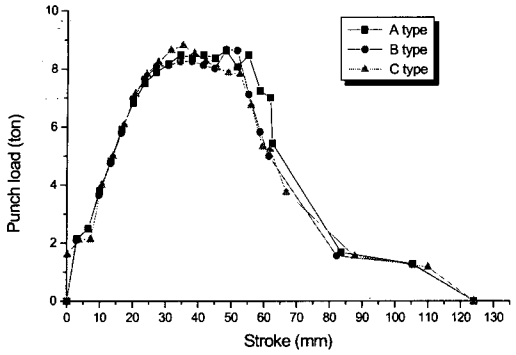


(b) Punch load-stroke curve of each blank type (Rd1=16)

Fig. 18 Comparison of punch load along die shape radii at first drawing (Rp=6.4mm)

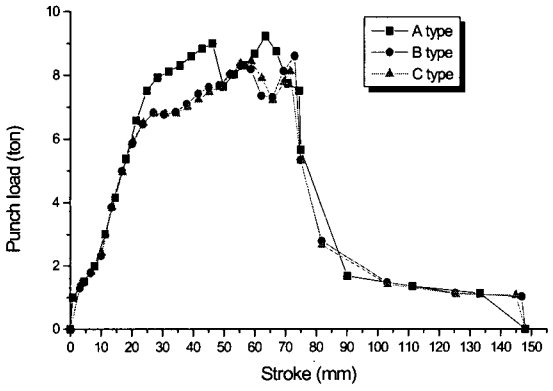


(a) Punch load-stroke curve of each blank type (Rd1=16, Rd2=11.2)

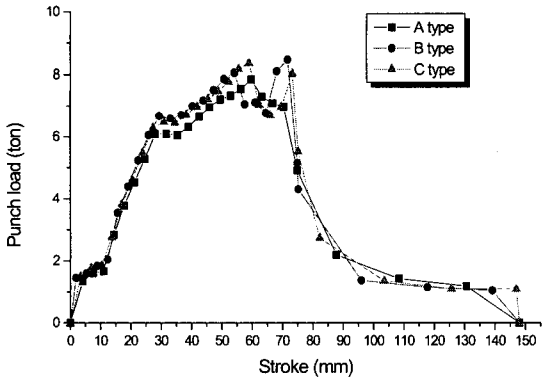


(b) Punch load-stroke curve of each blank type (Rd1=16, Rd2=16)

Fig. 19 Comparison of punch load along die shape radii at second drawing (Rp=6.4mm)



(a) Punch load-stroke curv of each blank type (Rd1=11.2, Rd2=11.2, Rd3=11.2)



(b) Punch load-stroke curv of each blank type (Rd1=16, Rd2=16, Rd3=16)

Fig. 20 Comparison of punch load along die shape radii at third drawing (Rp=6.4mm)

Fig. 20은 3공정에서 블랭크 형상별로 Rp를 6.4로 고정하고 Rd가 11.2와 16일 때의 펀치행정에 대한 펀치하중을 나타낸다. 대체적으로 Rd가 16일 때 11.2일 때보다 최대펀치하중은 낮게 나타났다. (a)에서 Rd가 11.2인 경우 A type은 펀치행정이 진행됨에 따라 B, C type에 비해 상대적으로 높은 펀치하중이 나타남을 알 수 있다. (b)에서 Rd가 16인 경우 블랭크별로 큰 차이없이 유사한 펀치하중을 나타내고 있다. Fig. 18, 19, 20에서 하사점 이후의 펀치하중은 다이 형상반경 및 블랭크 형상에 따라 약간의 차이는 있지만, 펀치와 소재사이의 마찰로 인한 하중임을 알 수 있다.

최대펀치하중은 타원용기 성형중에 소재가 전단되는 파단력보다 크면 성형중에 파단을 일으키게 된다. 용기가 파단되는 파단하중 P_F는 다음과 같이 계산한다.

$$P_F = Lt\sigma_b = 210(L)\times 1.6(t)\times 43.2(\sigma_b)$$

실험에 사용된 블랭크의 드로잉 길이(L)를 적용하여 계산해 보면 P_F는 14.5ton이다. 따라서 실제 실험에서 측정된 최대펀치하중은 13.1ton으로 타원용기가 파단 한계에 도달하지 않고 성형이 가능함을 알 수 있다.

이상의 결과에서 제시된 3가지 블랭크 중에 A type은 다른 블랭크보다 전체적인 면적이 크고, 블랭크 홀더와의 접촉면적이 크므로 블랭크 홀더력은 증가되어 공정마다 펀치하중은 높게 나타난다. 그러나, B와 C type은 A type에 비해 전체적인 면적이 작고, 블랭크 홀더와의 접촉면적이 작으므로 블랭크 홀더력은 감소되어 공정마다 펀치하중은 낮게 나타난다. 여기서 C type은 B type과 비교하여 단변부가 직변이 아니라 원호로 연결되어 있어서 소재가 원만하게 유동되고 펀치하중은 유사하지만, 공정별 제품은 블연속구간이 없이 양호하게 나타난다. 따라서 향후 C type 블랭크의 산업현장에 적용이 기대된다.

6. 결 론

본 연구는 타원용기의 성형성에 영향을 미치는 소재에 대해 인장시험과 마찰에 대한 실험을 하였다. 타원형 디프 드로잉 제품을 제작할 때, 다이 형상반경과 블랭크 형상에 따른 펀치하중의 변화를 실험하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 건 마찰, 윤활 마찰, 경계 마찰의 3가지 조건에서 마찰 실험한 결과 평균마찰계수는 경계 마찰일 경우 가장 낮은 0.08임을 알 수 있었다. 여기서 타원용기 제품에 경계마찰을 적용한 결과 윤활 마찰보다 양호한 결과가 나타났다.

(2) 다이 형상반경에 따른 펀치하중을 비교에서 공정이 진행됨에 따라 최대펀치하중은 다이 형상반경이 큰 값일 때 작은 값보다 낮게 나타남을 알 수 있었다.

(3) 1공정, 2공정, 3공정의 공정이 진행됨에 따라 최대펀치하중은 점차적으로 감소됨을 알 수 있었다.

(4) 블랭크에 따른 최대펀치하중은 공정이 진행됨에 따라 A type에서 다른 블랭크보다 전체적으로 높게 나타나고, C type에서는 B type과 비교하여 펀치하중은 유사하지만, 블연속구간이 없는 양호한 제품을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

(1) 김두환, 1998, "원통형 딥드로잉 용기의 벽 두께 감소 최소화에 관한 실험적 연구", 한국소성가공학회지, 제 7권 제4호, pp. 393~399.

(2) 최영, 이규호, 외3인, 1998, "성형한계를 고려한 디프드로잉 공정설계에 대한 유한요소 해석", 한국소성학회지, 제7권 제6호, pp. 562~569.

(3) 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.

(4) S. A. Majlessi, D. Lee, 1993, "Deep drawing square-shape sheet metal parts, part : Finite Element Analysis", ASME J. of Eng. for Industry, Vol. 115, pp. 102~109.

(5) 정동원, 양동열, 1995, "딥드로잉에서 박판두께를 고려한 블랭크홀딩력을 가하는 개선된 방법", 한국자동차공학회 춘계학술대회, pp. 89~96.

(6) 김두환, 1999, "원통형 용기의 다단계 디프드로잉에 대한 다이 곡률반경 및 틈새의 영향", 한국소성가공학회지, 제8권 제3호, pp. 262~268.

(7) 박동환, 최병근, 박상봉, 강성수, 2000, "타원형 디프드로잉 공정에서 블랭크 형상 최적화에 관한 실험적 연구", 한국정밀공학회지, 제16권 제10호, pp. 101~108.

(8) 최석순, 1985, "사각통 디이프 드로잉의 펀치 하중 예측과 성형인자에 관한 연구", 부산대학교 석사학위논문.

(9) 박동환, 최병근, 박상봉, 강성수, 2000, "디프 드로잉 제품의 블랭크 설계를 위한 표면적 계산 시스템의 적용", 한국정밀공학회지, 제17권 제4호, pp. 97~105.

(10) 이종재, 김용한, 1999, "최신금형설계", 한국이공학사, pp. 249~257.

(11) 박민호, 김상진, 서대교, 1996, "다단계 딥드로잉 가공에 대한 실험적 연구", 한국소성가공학회지, 제5권 제4호, pp. 288~296.

(12) Li Shunping, 1993, "A study on the determination of blank shapes for deep-drawn parts", Advanced Tech. of Plasticity, pp. 1567~1572.

(13) Ernest rabinowicz, 1995, "Friction and wear of materials", John Wiley & Sons. Inc, 2nd ed. pp. 254~261.