

사각 컵 드로잉 공정에서의 최적 블랭크 형상 결정

배원병*, 허병우**, 김호윤***, 이영석***

Experimental Determination of the Optimum Blank Shape in Rectangular Cup Drawing

W. B. Bae*, B. W. Heo**, H. Y. Kim***, Y. S. Lee***

ABSTRACT

Rectangular deep drawing process is widely used in sheet metal forming. But there are various defects such as earring, wrinkling, tearing, etc. In order to avoid the defects, an optimum blank shape is required. But it has not been generalized to determine the optimum blank shape because deep drawing processes are involved in complex process parameters. So, it is very necessary to do research systematically about determining the optimum blank shape of deep drawing process. In this study, a rectangular cup drawing test has been carried out to determine the optimum blank shape for various stainless steel sheets. From the test, a new blank model, which has no earring, is proposed.

Key Words : Deep Drawing(딥드로잉), Stainless Steel(스테인레스 강), Blank Shape(블랭크 형상), Earring(귀발생)

1. 서론

사각형 딥드로잉(deep drawing) 공정에서의 최대 성형깊이에 관여하는 요인에는 여러 가지 요소가 있다. 소재 자체의 성형성, 펀치 및 다이의 윤곽반경, 윤활조건, 가공속도, 블랭크 홀더력의 가압방법, 금형틈새(clearance) 등 매우 많은 공정조건을 고려하여야 한다⁽¹⁾. 그 중에서도 특히 블랭크의 형상이 크게 영향을 끼치는데, 이는 블랭크와 접촉하는 블랭크 홀더, 다이 등과의 접촉면적을 결정하기 때문이다. 블랭크와 다이, 블랭크 홀더 사이의 접촉면적이 증가하면 블랭크 홀더력과 성형하중이 증가한다. 그리고 사각형 컵드로잉(cup drawing)에

서 최대 문제점으로 제시되는 트리밍에 의한 재료손실을 일으킨다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 사각형 컵드로잉 공정에 사용될 블랭크 형상에 관한 많은 연구가 있었다. 이러한 일련의 연구는 최근 막막이론(membrane theory)에 근거한 유한요소법을 이용하여 최적 블랭크 형상을 개발⁽²⁻⁴⁾하기까지 이르렀다.

그러나 이러한 이론적 연구를 통한 블랭크 형상의 결정으로는 실제 블랭크 제작에 필요한 기하학적인 기준을 제시하지 못하고, 단지 블랭크의 대략적인 형상을 제시할 뿐이었다. 그리고, 이전에 수행된 실험적 연구 역시 일부 조건에만 한정되어 있을 뿐이다. 따라서 본 연구의 목적

* 부산대학교 기계공학부
 ** LG전자 생산기술연구소
 *** 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

은 실험을 통하여 최적 블랭크 형상을 제시하고, 구체적인 작도 방법 등을 제시함으로써, 실제 블랭크 제작에 필요한 자료를 얻는 것이다.

2. 실험

2.1. 실험소재

본 연구에서 사용된 스테인레스 강(stainless steel)은 일반적으로 가전 또는 주방용 기기에 사용되는 것으로 5종을 선정하였다. Table 1에 선정된 다섯 가지의 스테인레스 강의 종류 및 물성치를 나타내었다. 최적 블랭크 형상을 결정할 때는 STS304BB(0.5mm)를 사용하고, 나머지 4종류의 소재는 결정된 최적 블랭크 형상이 재질, 두께나 물성치가 다른 스테인레스 강에의 적용 가능 여부를 살펴보도록 한다.

Table 1 Stainless steel sheets used in the experiment

	Thickness (mm)	Yield Strength (kgf/mm ²)		
		0	45	90
STS304BA	0.5	28.21	28.74	27.54
STS304BB	0.5			
STS430BA	0.7	35.82	37.53	28.71
STS434BB	1.2	35.08	25.93	36.04
STS434J1L	1.2	29.61	30.48	31.25

2.2 실험장치 및 방법

실험은 50ton 유압프레스에 금형을 설치하고, 질소가스스프링 4개를 이용하여 블랭크 홀더력을 가압하였다. 또한, 로드셀(최대 용량 20ton)과 변위측정기(최대측정길이 100mm)를 설치하여 성형하중과 성형깊이를 측정하였다. 실험에 사용된 금형의 개략도는 Fig. 1과 같다.

2.3 실험조건

딥드로잉 공정에 사용된 조건은 Table 2와 같다. 금형 재질, 금형틈새(Clearance), 블랭크 홀더력(Blank Holding Force)는 저자들의 실험을 통해 최적화된 조건을 선정하였고, 제품의 형상은 Kobayashi 등⁽²⁾의 연구결과를 참고하여 선정하였다. 또한 윤활조건은 소재에 비닐이 없는 상태에서 WD40을 사용하였다.

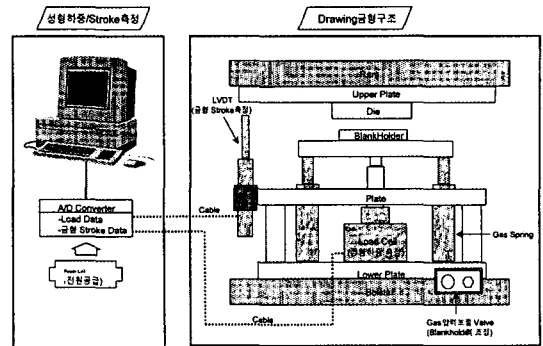


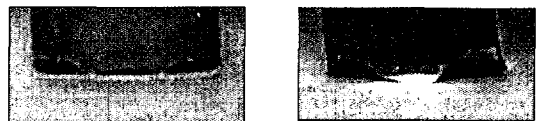
Fig. 1 Schematic diagram of the deep drawing setup

Table 2 Experimental conditions

Tool Material	STD11(TD coating)
Clearance	20% of sheet thickness
Product Size	40*40*(height)
Die Radius(linear)	6mm
Die Radius(corner)	6mm
Punch Radius	6mm
Blank Holding Force	1000kgf
Lubricant	WD40

2.4 최적 블랭크 형상의 결정

최적블랭크를 구하는 방법은 이미 실험적으로 많이 알려져 있다. 하지만 기존에 제안된 블랭크 형상을 이용하면, Fig. 2에서 보는 바와 같이 드로잉율이 낮을 때는 이어링(earring)의 발생이 거의 없으나, 높을 때는 이어링이 매우 크게 나타난다. 따라서, 높은 드로잉율에서도 이



(a) Low Drawing Ratio (b) High Drawing Ratio

Fig. 2 The results using the previous proposed blank shape

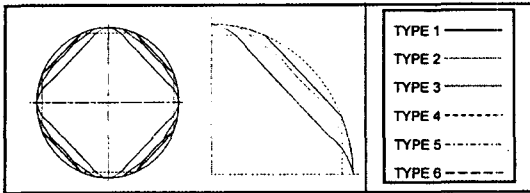


Fig. 3 Various blank shapes used in the experiment

어링이 발생하지 않는 블랭크 형상이 필요하다. 그리고, 유한요소법 등을 통하여 이론적으로 제시된 최적 블랭크 형상은 대략적인 형상만 제시 할 뿐, 실제로 적용할 수 있는 기하학적 계산법을 제시하지 못하고 있다.

본 연구에서 최적의 블랭크 형상은 Kobayashi⁽²⁾를 참고하여, 원형과 팔각형 블랭크 형상을 기준으로 하여, 실험적인 시행착오를 통해 결정하였다. 실험에 사용된 여러 가지 블랭크 형상은 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에 제시된 6가지 블랭크의 작도법은 아래와 같다.

- a) Type 1 : 실험적으로 제시되어 있는 블랭크⁽⁵⁾
- b) Type 2 : 원형의 블랭크
- c) Type 3 : Type 2에 내접하는 정팔각형의 블랭크
- d) Type 4 : Type 3의 서로 이웃하지 않는 네 모서리를 밖으로 볼록한 원호를 그린 블랭크(원호의 반경은 기준반경-Type 2의 반경-을 사용)
- e) Type 5 : Type 4에서, 나머지 네 모서리를 안으로 볼록한 원호를 그린 블랭크(원호의 반경은 기준반경-Type 2의 반경-을 사용)
- f) Type 6 : Type 5의 안팎으로 볼록한 곳의 4지점을 직선으로 연결한 블랭크

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 3에서 제시된 각 형상에 대한 실험을 수행한 결과, 각 블랭크에 대한 하중-변위 선도는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서 알 수 있듯이, Type 4와 Type 5는 주름의 발생으로 인한 급격한 하중증가가 나타나고 있음을 알 수 있다. 나머지 세 종류의 블랭크 형상 중에서 이어링이 발생하지 않으면서 가장 큰 성형깊이를 나타내는 것은 Type 6인 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 5의 각 블랭크 형상에 대한 최종 제품의 형상에서도 나타난다.

Type 1은 모서리 방향의 소재가 부족하고, Type 2와 Type 3는 이어링 현상이 발생하였으며, Type 4와 Type 5는 주름발생으로 인해 심한 아이어닝 현상이 발생하고,

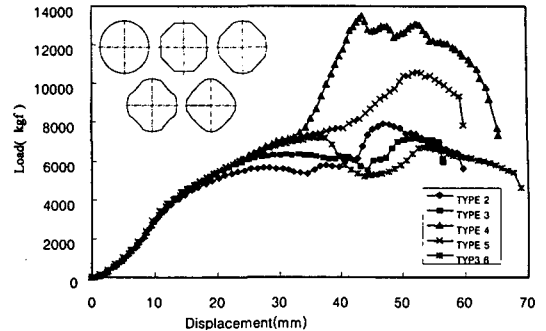


Fig. 4 Load-displacement curves for various blank shapes

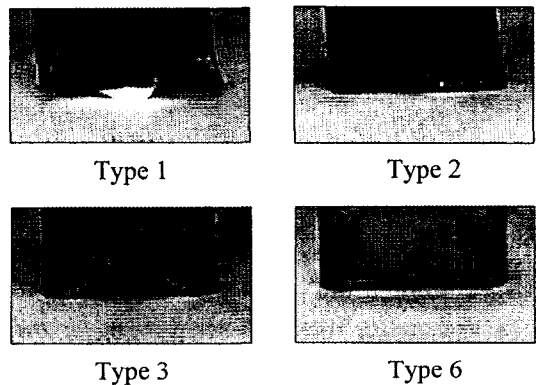


Fig. 5 Variation of earring shape according to blank shape

그 결과 파단이 일어났다. Fig. 4와 Fig. 5에서 알 수 있듯이, 최대성형하중이나 최대성형깊이, 이어링의 크기를 고려해 볼 때 블랭크 Type 6가 최적 블랭크 형상임을 알 수 있다.

Fig. 6에서는 실험에서 결정된 최적 블랭크 형상(□)을 기준에 사용중인 블랭크 형상(△)⁽⁵⁾, Kobayashi 등⁽²⁾이 제안한 블랭크 형상(○), Kuwabara 등⁽⁴⁾이 제안한 블랭크 형상(x)을 서로 비교하였다.

Kobayashi 등이 제안한 블랭크 형상이외의 세 가지 블랭크 형상은 모두 제품의 코너부분에 해당하는 블랭크의 부분이 안으로 볼록하다. 이전의 실험을 통해 결정된 블랭크 형상(Type 1)을 사용한 경우에는 Fig. 2에서 나타난 것처럼 모서리 부분의 소재가 부족하였다. Kobayashi 등이 제안한 블랭크 형상은 제품의 코너방향의 소재가 더 많다는 것을 알 수 있다. 이러한 블랭크는 이어링이 다소 발생하게 된다⁽²⁾. Kuwabara 등이 제안한 블랭크 형상만이 실험결과와 잘 일치하고 있음을 알 수

4. 결 론

본 실험에서는 이어링이 발생하지 않는 블랭크 형상을 최적 블랭크 형상이라 하고, 스테인레스 강에 적용 가능한 최적 블랭크 형상을 결정하기 위한 사각 컵드로잉 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기존에 사용되는 블랭크의 형상은 깊은 성형에서는 실험과 일치하지 않는다.

2) 실험에서 결정된 최적 블랭크 형상은 제품의 직선부분에서는 밖으로 볼록하고, 제품의 코너부분에서는 안으로 오목한 형상을 가진다.

3) 이론적으로 결정된 최적 블랭크 형상과 비교하여 좋은 결과를 얻었다.

4) 최적 블랭크 형상을 결정함으로써, 트리밍(trimming)으로 인한 소재손실을 최소화할 수 있고, 성형하중의 감소 및 최대성형한계의 증가를 꾀하였다.

참 고 문 헌

1. 전기찬, 박판금속의 성형, 반도출판사, 1993.
2. C.H. Toh and Shiro Kobayashi, "Deformation analysis and blank design in square cup drawing," Int. J. Mach. Tool Design & Res., Vol 26, No. 1, pp. 15~32, 1985.
3. N.S. Kim, S. Kobayashi, "Blank design in rectangular cup drawing by an approximate method," Int. J. Mach. Tool Design & Res., vol. 26, No. 2, 1986.
4. Toshihiko Kuwabara and Wen-Hua Si, "PC-based blank design system for deep-drawing irregularly shaped prismatic shells with arbitrarily shaped flange," J. Mech. Prop. Tech., pp. 89~94.
5. 김세환, 한윤희, 이승희, 프레스 금형설계 자료집, 대광서림, 1997.

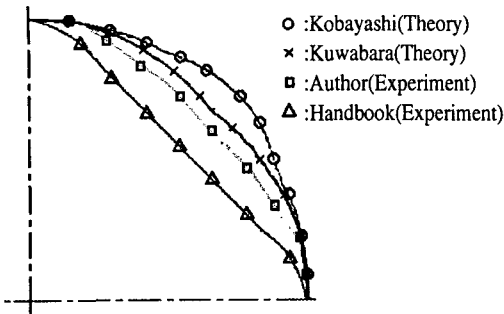


Fig. 6 Comparison of proposed blank shape

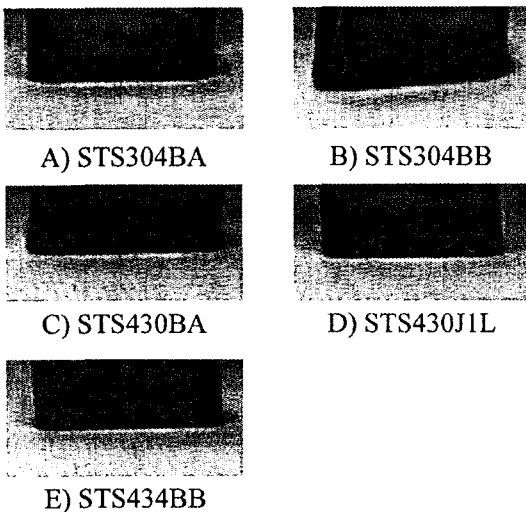


Fig. 7 Earring shapes for various stainless steel sheets

있다.

또한, 물성치와 두께가 다른 스테인레스 강에 대하여, 실험에서 결정된 최적 블랭크 형상을 적용한 결과가 Fig. 7에 나타나 있다. 종류, 두께, 물성치 등이 다른 스테인레스 강에 적용하였을 때에도 이어링 현상이 매우 작게 나타나고 있다. 따라서 스테인레스 강에 대한 최적 블랭크 형상은 Type 6이라는 것을 알 수 있다.