

비축대칭 디프 드로잉 제품에서 펀치 및 다이형상반경의 영향

배원락*, 박동환**, 박상봉**, 강성수***

The influence of punch and die shape radius in non-axisymmetric deep drawing products

Won Rak Bae*, Dong Hwan Park**, Sang Bong Park**, Sung Soo 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 the punch and die shape radius of the process variables. Though researches have been performed on the deep drawing of sheet metal forming, like this study, but it is insufficient the actual circumstances that researches for process variables of the non-axisymmetric deep drawing products. In this study, An effect on thickness distribution is grasped as alteration of the punch and die shape radius in the process of non-axisymmetric deep drawing products, and then the optimal punch and die shape radius were presented, they were verified by the numerical analysis method (FEM).

Key Words : Die shape radius (다이형상반경), Punch shape radius (펀치형상반경), Deep drawing (디프 드로잉), Process variables (공정변수)

1. 서론

축대칭 원통형 드로잉이나 사각형 드로잉의 제품에 관한 연구는 드로잉 공정의 기본으로 산업 현장, 연구기관에서 활발히 연구되어 왔다^[1,2]. 그러나, 최근에는 박판성형 제품이 더욱 많은 분야에 이용되고 있어서 복잡한 형상을 지니게 되고 고정밀도의 제품을 요구하고 있으므로 디프 드로잉의 성형에 관련하여 더 많은 연구가 필요하다. 또한 제품의 단납기로 인해 성형예측 및 공정변수들의 영향에 대한 연구가 필수적이다.

그러나, 실험에 적용된 비축대칭 다단계 디프 드로잉 제품의 경우는 연구가 미비한 실정이고, 아직 현장에서는 기존의 지식을 이용하거나 현장 실무자들의 경험에 의존하여 설계하고 있다.

디프 드로잉 공정에서 성형성에 영향을 미치는 인자로는 펀치 및 다이형상반경, 윤활조건, 가공

속도, 플랜지의 주름을 억제하기 위해서 부과하는 블랭크 홀딩 압력(blank holding force)과 마찰력, 클리어런스(clearance) 등 여러 가지 공정변수가 있다. 이들 중 펀치와 다이형상반경이 성형성에 미치는 영향은 매우 크다고 보고되고 있고, 특히 제품의 정밀도 및 파단의 원인이 된다. 원형 디프 드로잉 공정에서는 플랜지(flange)의 원주방향에 대한 압축변형, 측벽부의 원주방향으로 압축, 높이방향으로 인장 등의 응력상태로 인해서 일정한 재료의 유동이 발생된다^[3,4]. 그러나, 적용된 제품은 타원형을 가지는 중간형상공정까지는 원형 드로잉이지만 블랭크의 형상이 비축대칭이어서 원주방향과 축방향의 응력상태가 복잡하게 되고 그로 인해 재료유동이 불균일하게 된다.

또한, 이와 같은 다단계 디프 드로잉의 경우는 첫 번째 드로잉의 두께분포의 양상이 이후의 공정에도 지대한 영향을 미친다.

본 연구에서는 비축대칭 디프 드로잉 제품의 공정에서 펀치 및 다이형상반경이 제품의 두께분

* 부산대학교 대학원

** 동의공업대 금형설계과

*** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

포에 미치는 영향을 파악하여 적정 펀치 및 다이 형상반경을 제시하고 성형해석 결과와 비교·고찰하였다.

2. 실험

본 연구의 실험에 사용된 소재는 전기아연 도금강판(SECE)으로 소재두께(t)는 1.6mm이고 20 μ m의 아연도금이 되어 있는 소재를 사용하였다.

SECE의 기계적 특성을 파악하기 위해 JIS Z 2201 5호 시편으로 압연 방향에 대해 0°, 45°, 90° 방향으로 인장시험을 수행하였고, 그 결과는 Table 1과 같다. 또한 디프 드로잉의 경우 대부분의 성형이 stretching 형태이므로 SECE의 기본적인 성형성 평가를 위해 에릭슨 테스트를 수행하였다. 에릭슨 값은 11.4mm로서 재료의 기계적 물성 측면에서의 성형성은 양호한 것으로 판단된다.

Table 1 Mechanical properties of SECE

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

2.1 실험 장치

실험에 사용된 장비는 300ton 기계식 프레스로 블랭크 홀더 압력을 임의로 조절할 수 있는 die-cushion과 제품 취출을 위한 knock-out장치가 갖추어져 있고, 다단계 디프 드로잉 제품을 생산하기 위하여 트랜스퍼 금형으로 구성되어 있다. 펀치 및 다이는 열처리(HRC60)되어진 합금공구강(STD11)로 제작되었고, 다이세트(die set)는 주물(FC25)로 제작한 후 가공하였다.

2.2 실험 조건

실험에 적용된 제품은 디프 드로잉 공정(6공정)과 트리밍 및 restriking 공정을 포함한 후가공(5공정)으로 이루어져 총 11공정으로 이루어져 있다. Fig. 1은 블랭크의 형상과 디프 드로잉 공정을 보여준다.

Fig. 2는 디프 드로잉 공정을 실험하여 각 공정별로 관찰한 두께분포이다. 이를 바탕으로 현장 설계자들의 조언을 참고하여 1공정의 두께유

지가 이후 공정의 성형성에 큰 영향을 준다고 판단하여 Table 2와 같은 실험조건으로 총 9번의 실험을 수행하였다. 클리어런스(clearance)는 편측으로 소재두께(t)와 대비하여 1.25t를 적용하였다. 윤활제는 수용성 소성가공유로서 일반적인 드로잉유를 사용하였고, 트랜스퍼용 금형을 프레스에 클램핑 하여, 램(ram)의 속도를 8SPM으로 일정하게 유지하면서 실험을 수행하였다. 디프 드로잉 실험을 통하여 얻은 제품을 연삭 절단기로 두 축방향으로 절단하여 point micrometer를 이용하여 각 type별로 장변부와 단변부로 나누어서 제품의 중심부터 3mm 간격으로 플랜지부 끝단까지 측정하였다. 여기서 장변부는 블랭크의 길이가 긴 쪽이고, 단변부는 블랭크의 길이가 짧은 쪽이다.

Table 2 Shape radius of the punch(Rp) and die(Rd)

Process	Rp		Rd	
	Condition	Type	Condition	Type
1st drawing	R6.4 (4t)	A	R9.6 (6t)	1
	R9.6 (6t)	B	R12.8 (8t)	2
	R12.8 (8t)	C	R16 (10t)	3

3. 유한요소해석

FEM해석은 상용해석코드인 MARC에서 실시하였다. 모델링은 Fig. 3와 같이 하였다. 특이점은 블랭크의 형상이 2축 대칭이므로 전체형상의 1/4 모델링 되었고, 경계조건은 MARC의 option인 Symmetric Plane를 이용한 것이다. 블랭크와 펀치, 다이의 contact 문제를 해석하기 위하여 마찰상수는 0.04로 하고, 소재 물성은 실험을 통해 구한 응력-변형률 선도를 이용하였으며, 이방성은 고려하지 않았다.

펀치 및 다이형상반경을 제외한 공정인자들은 동일한 조건으로 해석하였다.

Fig. 4는 increment마다 특정부위의 node가 가지는 두께변화를 나타낸다. 이것은 실험에서 얻기 어려운 공정중의 재료유동을 보여준다.

4. 결과 및 고찰

양호한 두께분포라는 것은 국부적인 두께감소가 없고 전체적인 두께분포가 소재두께에 가까운 것을 의미한다.

Fig. 5는 Rp값을 B type으로 고정하고 Rd값에 따른 장변부의 두께분포를 보여준다. 이것은 Rp가 일정할 때 Rd가 작은 것 보다는 큰 것이 두께 분포가 균일하고 국부적인 두께감소가 적게 나타남을 보여준다. 이러한 현상은 다이형상반경이 크면 드로잉시 재료의 유입이 원활하기 때문이다. 또한, 블랭크가 블랭크홀더와의 접촉면적이 작아 마찰력이 감소하고 재료의 이탈이 빨라 측벽부의 재료구속이 낮아지기 때문이다. 이러한 메카니즘은 Fig. 3의 node380두께분포 양상이 나타낸다. Fig. 6은 B type의 단변부의 두께 분포를 나타낸 것이다. B type의 단변부에서 Rd 9.6인 경우 측벽부 및 플랜지의 두께감소가 다른 경우보다 크고, 장변부와 비교해서 전체적으로 측벽 하단부와 플랜지에서 두께 증가가 나타난다. 또한, 단변부는 펀치 어깨부에서는 장변부보다 큰 두께값을 가지고 전체적으로도 양호한 양상을 보이는데 이것은 블랭크의 형상과 단변부의 재료가 블랭크 홀더를 일찍 벗어나는 효과 때문이라고 판단된다. Fig. 3의 node420을 관찰하게 되면 블랭크 홀더와 접촉하는 동안은 두께가 계속 증가하는 것이 확인된다. Fig 7를 보게되면 장·단변부의 두께분포 양상이 잘 나타나 있다. Fig. 8은 B3, C3 type을 나타내 것이다. 이외 여러 가지 대조를 통하여 두께분포를 고찰한 결과 B3 와 C3 type을 가지는 경우가 다른 두께분포가 가장 양호하게 나타났다. Fig. 9는 실험결과와 유한요소해석결과를 비교한 것이다. 여기서 두께분포가 유한요소해석인 경우 플랜지부에서 두께증가가 매우 심하게 나타나고 장·단변부의 효과가 두드러지는데 이러한 결과는 실제와 똑같은 윤활조건과 같은 Boundary Condition를 완벽하게 구사할 수 없기 때문이라고 사료되고 이러한 판재성형인 경우는 특히 공정변수들이 많으므로 그 영향이 심하게 나타난다고 할 수 있다. 그렇지만 이런 문제점은 두께분포 양상은 매우 근접하게 나타나므로 성형성 예측의 충분한 자료가 될 수 있고, 앞으로의 다단계 디프 드로잉에서 이후 공정의 적용도 충분히 가능 할 것으로 본다.

5. 결론

본 연구에서는 비축대칭 디프 드로잉 제품의 성형성 향상을 위하여 실험용 금형 제작, 디프 드로잉 실험과 CAE에 의한 검증은 통하여 최적 가공조건에 관련된 공정변수를 고찰하여 본 결과

다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 성형된 제품의 두께 변형 분포는 비축대칭 블랭크의 형상 특징에 의해 크게 좌우된다.
- (2) 초드로잉 공정에서는 펀치형상반경이 일정할 때 다이형상반경이 펀치형상반경보다 작거나 같아지는 경우 장변의 측벽부에서 두께가 감소가 나타난다.
- (3) 유한요소해석에 의해서 재료의 유동이 관찰 가능하여 실험결과를 검증 할 수 있었다.

참고문헌

- (1) T. C. Hsu, S. Y. Lee, "On the drawability of sheet metal in noncircular cups", ASME J. of Eng. for Industry, pp.615~619, 1977.
- (2) S. A. Majlessi, D. Lee, "Deep drawing square-shape sheet metal parts, Part 2 : Experimental study", ASME J. of Eng. for industry, Vol. 115, pp. 110~117, 1993.
- (3) 전기찬, "박판금속의 성형", 반도체출판사, pp. 131~177, 1993
- (4) 太田 哲 著, 1972, "プレス絞り加工工程設計", 日刊工業新聞社, pp. 157~167.



Fig. 1 Industrial practice for non-symmetrical deep drawing

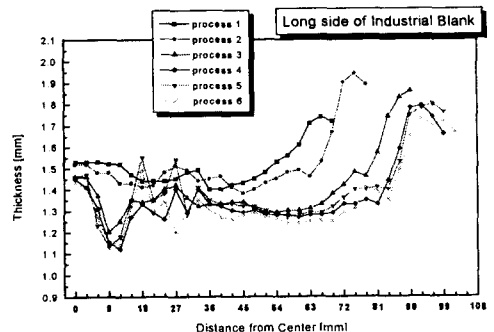


Fig. 2 Thickness distribution of each process

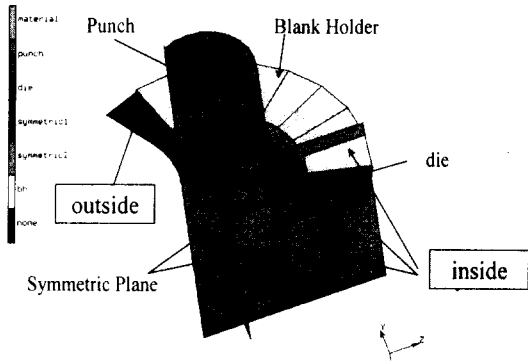


Fig. 3 Modeling of deep drawing process

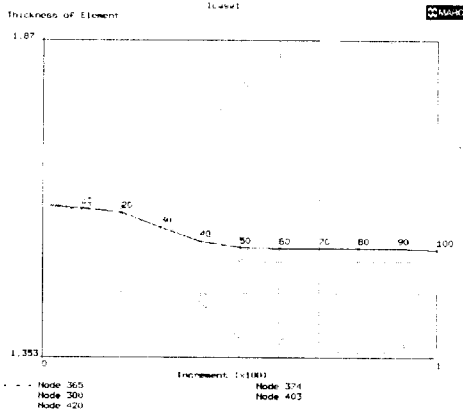


Fig. 4 Thickness distribution of each increment in B3 type

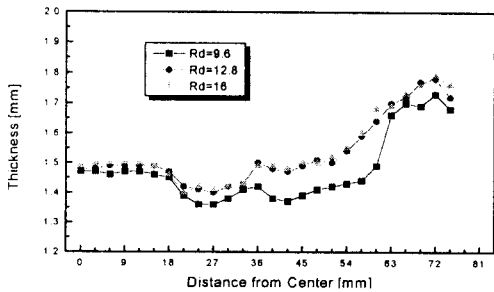


Fig. 5 Thickness distribution for long side in B type

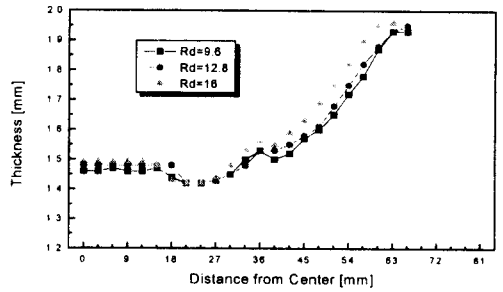


Fig. 6 Thickness distribution for short side in B type

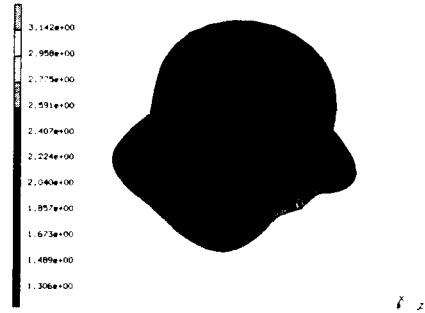


Fig. 7 Contour of thickness in B3 type

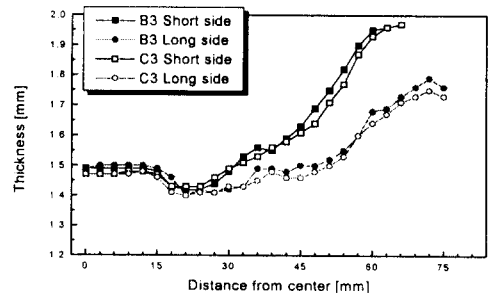


Fig. 8 Thickness distribution for B3 & C3 type in first process

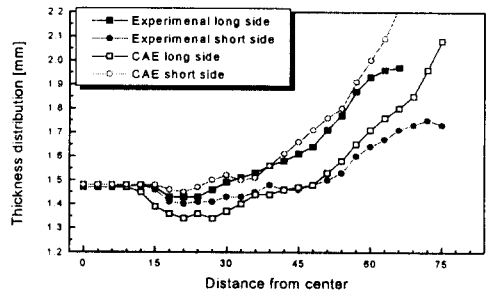


Fig. 9 Comparison with experimental results and CAE values in C3 type