

굽힘과 드로잉에서 성형인자가 탄성복원에 미치는 영향

한영호* · 송운준** · 김형진** · 정영혁**

Effect of Forming Factor on Springback in U-bended and Drawn Channel

Y. H. Hahn, Y. J. Song, H. J. Kim and Y. H. Jung

Abstract

Assuring required dimensional tolerance after springback becomes the main concern of sheet-forming die designers when formability is secured through previous tryout. As a part to build a guideline to control springback in automobile frame forming, experiments are carried out to show the effects of process parameters, such as holding force, blank size, and lubrication, on corner angles of channels formed by U-bending or by square-cup drawing and trimming. The results are presented in the viewpoint of evaluating parameters.

Key words : Springback, U-bending, Drawing

1. 서 론

판재성형 제품 개발의 초기 단계인 트라이아웃 과정에서의 주된 관심은 제품을 올바르게 성형하기 위한 성형성 확보이다. 그리고, 어느 정도 성형성이 확보된 이후에는 제품의 품질 측면에서 사용자가 원하는 오차 범위를 만족시킬 수 있도록 탄성복원을 억제하는데 많은 시간과 숙련된 기술자의 노하우가 필요하게 된다. 그러나 숙련된 기술자라 하더라도 제품에 따라 성형 공정과 금형 수정에 경험적인 차이를 갖게 되는데, 이는 제품에 따른 탄성복원에 대한 데이터가 제대로 확보되어 있지 못하기 때문이다. 또한 제품별 데이터라 하더라도 현장의 다양한 제품들에 대하여 정확한 경향을 파악하기는 더욱 쉽지 않다. 최근엔 성형 해석을 통해 품질 향상과 제작 시간 단축을 도모하고 있지만, 아직까지 탄성복원에 대한

성형 해석은 현장에서 거의 활용되고 있지 못한 것이 현실이다. 이는 성형 해석의 문제 이전에 실험을 통해 탄성 복원과 관련된 성형 변수들이 제품에 미치는 영향에 대한 연구가 미진하기 때문이기도 하다. 탄성복원에 의해 금형 제작상 많은 어려움을 겪고있는 제품 중에 프레임류가 있다. 이들은 비교적 간단한 제품 형상에 비해 탄성복원에 의한 단면 전체의 비틀림과 굽힘부의 탄성복원이 복합적으로 나타나므로 형상을 제어하기가 까다롭다. 프레임류와 같은 채널 형상에서 성형성이 확보된 이후에 가장 문제가 되는 것은 제품의 조립면인 플랜지이다. 펀치 어깨를 감싼 초기 굽힘부와 다이 모서리를 두른 최종 굽힘부의 탄성복원의 정도가 최종적으로 플랜지면의 정밀도를 향상시키는 관건이 된다. 비틀림은 형상 단면 내에서 탄성복원의 정도와 방향이 일정치 못할수록 더 커지므로 탄성복원에 대한 정확한 이해는 비틀림을

* 건국대학교 기계항공공학부

** 건국대학교 대학원

제어하는데도 도움이 된다.

채널 형상의 프레임 단면에서 펀치쪽 모서리와 다이쪽 모서리의 탄성복원은 여러 가지 성형 변수들에 의해서 영향을 받는다. 일반적으로 소재가 두꺼울수록, 굽힘 반경이 작을수록 탄성복원량은 줄어들게 되는데, 이 정도의 가이드만으로는 현장에서 생기는 문제들을 해결할 수 없다. 특히 굽힘부에서 생기는 탄성복원의 경향은 형상 개선을 위한 금형 수정작업의 방향을 결정하는데 큰 영향을 미친다. 따라서 작업자가 원하는 방향으로 제품의 형상을 수정할 수 있도록 수정의 방향을 제시해 줄 수 있다면, 작업의 효율을 크게 높일 수 있을 것이다.

제품 굽힘부의 탄성복원 정도에 관계하는 성형요인에는 제품 형상, 블랭크 홀딩력, 마찰, 그 외에 블랭크 크기와 형상, 클리어런스, 펀치와 다이의 어깨반경 등을 들 수 있다. 이 연구에서는 여러 성형 요인들 중 형상 변수인 플렌지의 길이, 성형 조건에 해당하는 블랭크 홀딩력, 그리고 마찰이 U-벤딩에 의한 채널성형과, 사각 용기 드로잉 후 트리밍을 통한 채널형상의 성형에서 어느 정도로 탄성복원에 영향을 미치는지를 실험을 통하여 비교하여 보았다.

2. 실험 방법

실험에 사용된 금형 형상은 표1에 나타내었다. 성형소재로는 탄성계수 $E=206\text{Gpa}$, 강도계수 $K=507\text{MPa}$, 가공경화지수 $n=0.18$, 이방성 계수는 $r_0=1.15$, $r_{45}=0.74$, $r_{90}=1.48$ 를 나타내는 두께 0.8mm인 일반 냉간압연강판 SPC1을 사용하였다.

Table 1 Die dimensions (unit : mm)

punch	size	120 × 80
	shoulder radius	6.5
	corner radius	15.5
die	hole size	122 × 82
	shoulder radius	4.5

앞에서 선택한 성형 인자가 탄성복원에 미치는 영향을 알아보기 위해 먼저 U-벤딩 실험을 하였다. 또한 현장 상황에 보다 근접시키기 위하여 코너부에 의한 소재의 유동을 포함시키는 드로잉으로 성형한 후 가형상부로 설정한 양쪽 코너부를 절단하여 채널 형상의 제품을 얻었

다.

U-벤딩용 소재 크기는 190×80 mm, 210×80 mm로 하였고, 사각 컵 드로잉에는 220×190 mm, 240×210 mm의 2가지로 선정하였다. 드로우 성형 후에 U벤딩 성형품과 같은 폭 80mm로 절단을 하였다. 윤활제로는 두께 0.1mm의 테프론 시트를 사용하였다.

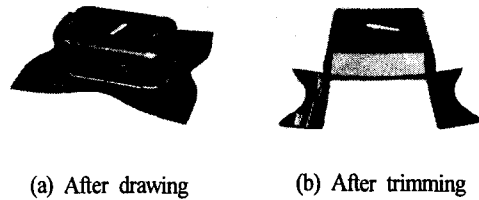
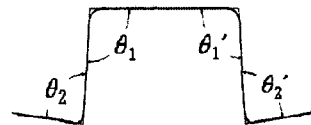


Fig. 1 Shape after drawing and trimming

그림1은 드로잉 후와 트리밍 후 제품의 모습을 보여준다. 성형 후 탄성복원이 발생한 제품들의 굽힘각을 측정하였다. 얻어진 제품들의 굽힘 각도가 다이페이스 및 홀더의 표면 가공 정도와 어깨반경 가공 오차에 의해 정확히 대칭을 이루고 있지 않아 양쪽 각도의 평균으로 잡았다. 그림2는 펀치와 다이쪽 모서리의 굽힘각이다.

Fig. 2 Measurement of corner angle



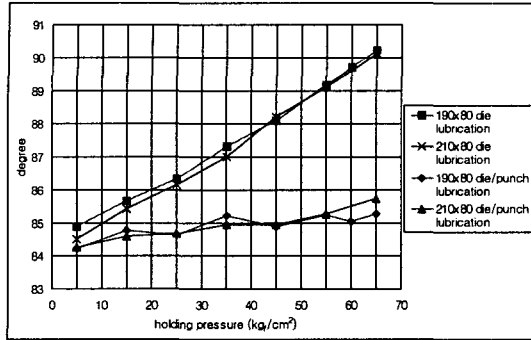
3. 실험 결과

3.1 U벤딩

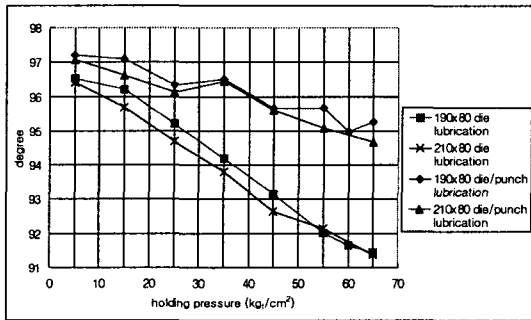
U-벤딩에서 홀딩력과 윤활조건이 굽힘각에 미치는 영향을 알아보았다. 그림3은 2종류의 소재를 대상으로 성형시 다이쪽만 윤활한 경우, 펀치쪽만 윤활한 경우, 다이와 펀치쪽 동시 윤활한 경우로 분리하여 블랭크 홀딩력을 바꾸어가며 실험한 후, 굽힘각의 변화를 나타낸 그래프이다.

일반적으로 알려진 경향과 같이 다이쪽 모서리나 펀치쪽 모서리 모두에서 홀딩력이 커질수록 금형 형상의 각도인 90°에 가까워지고 있는 것을 볼 수 있다. 다이쪽 모서리는 홀딩력이 작을 때는 90°보다 작은 굽힘 각도

를 보이다가 홀딩력이 증가할수록 90°에 가까워지는 경향을 나타내고 있으며, 펀치쪽 모서리는 90°보다 큰 굽힘 각도부터 홀딩압력이 증가하면서 90°에 가까워지는 양상을 보이고 있다.



(a) Die-side corner angle



(b) Punch-side corner angle

Fig. 3 U-bended corner angle after springback

윤활의 영향이 제품의 모서리각에 나타내는 변화를 살펴보면, 다이쪽 모서리와 펀치쪽 모서리 무윤활, 펀치쪽 윤활, 다이쪽 윤활, 양쪽 윤활의 순서로 탄성 복원의 정도가 줄어들었다.

성형 과정동안 소재가 지속적으로 유입되는 다이쪽 모서리에서는, 소재가 유입되면서 다이 어깨와 마찰이 커지는 무윤활과 펀치쪽에만 윤활한 경우에서 보이는 바와 같이 다이 어깨부 마찰이 클수록 탄성 복원량이 적어짐을 볼 수 있다. 그러나 성형 한계를 높일 목적으로 양쪽 윤활을 시킨 경우에는 탄성복원의 정도가 더 커지게 된다. 따라서 소재가 유입되는 다이쪽만을 윤활한 경우가 결과적으로 탄성복원이 적게 되며, 성형 한계도 증가되었다.

마찰 정도에 따른 각도 변화를 넓은 범위에서 비교하기 위해 다이쪽 윤활과 양쪽윤활을 비교하였다. 다이쪽만 윤활한 경우에 홀딩력 증가에 의한 탄성복원 억제 효과가 다이 쪽 모서리와 펀치 쪽 모서리 모두에서 더 커

지고 있음을 그래프의 기울기 차이를 통해 알 수 있다.

블랭크 크기에 따른 홀딩력의 영향을 살펴보면, 홀딩력이 낮은 초기에는 적은 차이이지만, 다이쪽 모서리의 경우 플렌지 길이가 긴 210×80mm일 때, 그리고 펀치쪽 모서리는 플렌지 길이가 짧은 190×80mm일 때가 탄성복원이 더 크게 나타나는 경향을 확인할 수 있다. 그러나 일정이상의 홀딩력에서 소재 크기에 따른 굽힘각의 변화는 별다른 차이를 보이지 않고 있다.

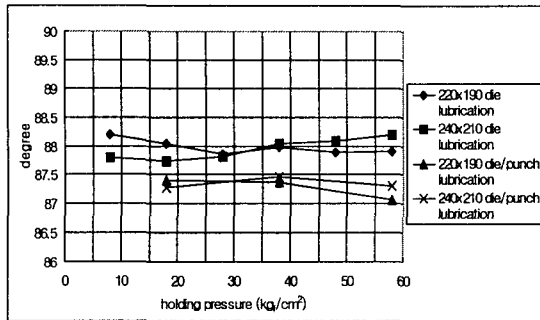
U-벤딩에서 윤활 부위에 따른 영향을 정리해 보면, 다이쪽면의 마찰이 작은 경우가 성형성 범위확대와 소재 크기에 따른 영향이 일관성이 있게 나타나므로, 탄성복원에 의한 제품의 품질 저하를 막기 위하여 금형면을 매끄럽게 할 때 펀치 어깨부와 블랭크 홀더면을 더 손질하는 것이 유리함을 보이고 있다.

3.2 드로잉

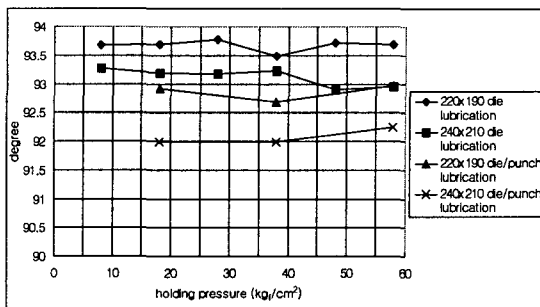
U-벤딩에서 나타나는 성형인자들의 영향을 산업 현장에서 보다 널리 행해지고 있는 드로잉 성형의 경우와 비교해 보기 위해 동일한 변수들이 드로잉 후 트리밍을 한 단면의 모서리 각도에 미치는 영향을 측정하여 보았다. 무윤활과 펀치쪽만 윤활한 경우는 소재 유동에 의해 제품 코너에 터짐이 발생하였다. 아날로그 형태로 홀딩력을 조절하는 유압 프레스로 좁은 성형 범위에서 홀딩력에 따른 탄성복원의 정도를 정밀하게 나타내기 어려워 이 두 경우는 생략하고 다이쪽 윤활과 양쪽 윤활만을 대상으로 실험하였다.

그림4는 드로잉 후 제품을 U-벤딩한 형상과 같은 폭으로 절단한 후 나타나는 모서리각의 변화를 나타낸 그래프이다. U-벤딩 형상에 비해 드로잉에서는 윤활 부위에 따른 모서리각의 변화 범위가 적어졌음을 볼 수 있다. 또한 성형의 범위 안에서 홀딩력이 모서리각 변화에 미치는 영향이 적게 나타나는데, 이는 드로잉에서 탄성복원의 정도는 홀딩력의 증감에 의한 요인보다는 제품 형상 코너부에 의한 소재 유동의 영향이 더 크게 작용하고 있기 때문인 것으로 볼 수 있다.

윤활 부위가 탄성복원에 미치는 영향을 비교하기 위하여 먼저 펀치쪽 모서리의 각도 변화를 살펴보면, 다이쪽만 윤활한 경우가 양쪽을 윤활한 경우보다 탄성복원량이 더 크게 나타나고 있다. 이는 U-벤딩에서 나타내는 경향과 반대이다. 따라서 펀치쪽 모서리에서는 펀치 쪽만 윤활한 것 보다 양쪽 윤활인 경우가 다이 형상인 90°에 더 가까워 탄성복원 억제에 도움을 주고 있는 것으로 나타났다. 이 같은 경향은 크기에 관계없이 나타나고 있다. 윤활 부위에 따른 다이쪽 모서리에서의 각도 변화를 살



(a) Die-side corner angle



(b) Punch-side corner angle

Fig. 4 Drawn corner angle after springback

해보면, 다이쪽만 윤활한 경우가 양쪽 윤활한 경우보다 탄성복원 각도가 적어 90°에 더 가깝게 나타나고 있다. 펀치쪽 모서리에서와는 다르게 U-벤딩에서 나타나는 경향과 동일하게 양쪽윤활 보다, 다이쪽 윤활인 경우가 탄성 복원 억제에 도움을 주고 있다.

펀치쪽 모서리에서 나타나는 각도 변화 범위에 비해, 다이쪽 모서리의 각도 차이는 적게 나타나지만, 윤활 부위에 따른 경향은 확실하게 나타나고 있다.

소재 크기의 관점에서 보면, 펀치쪽 모서리에서, 소재 크기에 따른 모서리각의 차이가 확연히 구별된다. U-벤딩에서 나타나는 경향과 마찬가지로, 성형 후 남은 플렌지 길이가 길수록 탄성복원의 정도가 작아지고 있음을 볼 수 있다. 다이쪽 모서리에서도 각도차가 크진 않지만 그 경향을 확인할 수 있다. 동일한 홀딩압에서 홀딩력 증감에 의한 각도 변화는 크지 않지만, 각각의 홀딩력에서는 절단되어 제거되는 부분의 소재가 성형과정 동안 수직 방향으로 유입되는 소재의 인장력에 차이를 주고 있기 때문에 생각할 수 있다.

U-벤딩과 드로잉 성형의 실험 결과를 비교해 보면, 다음과 같은 차이가 있다. U-벤딩에서는 일정 홀딩력 이상에서, 다이쪽 윤활을 통해 다이와 펀치 어깨각의 탄성 복원을 억제하는 일관성을 보이고 있으나, 드로잉에

서는 다이쪽 윤활과 양쪽 윤활이 다이와 펀치 어깨의 탄성복원에 미치는 영향이 서로 반대의 결과로 나타났다. 따라서 U-벤딩 형태의 실험을 통해 드로잉 형태의 탄성 복원의 경향을 추정하면 오류를 범할 가능성이 커질 수 있다.

4. 결 론

U-벤딩과 드로잉에서 윤활 조건과 홀딩력, 소재 크기가 제품 모서리각에 미치는 영향을 실험을 통하여 알아본 결과는 다음과 같다.

U-벤딩 :

(1) 다이쪽 모서리와 펀치쪽 모서리 모두에서 무윤활, 펀치쪽 윤활, 다이쪽 윤활, 양쪽 윤활의 순서로 탄성복원이 적게 나타났다.

(2) 소재 크기에 있어서 일정이상의 홀딩력에서는 모서리부 변형 정도가 일치하는 경향을 나타내었다.

(3) 다이쪽 만 윤활한 경우가 다이쪽 모서리와 펀치쪽 모서리 모두에서 탄성복원이 적게 발생하며, 성형성 범위 확대와 소재 크기에 따른 영향이 일관성이 있게 나타나, 탄성복원에 의한 제품의 품질 저하를 막기 위한 금형 수정의 방향을 잡는데 유리함을 보일 수 있다.

드로잉 성형 :

(1) 펀치 모서리부 각도 변화를 보면, 소재 크기에 있어서는 플렌지가 클수록 탄성복원 정도가 작아지는 경향이 U-벤딩과 비교하여 명확히 나타났다.

(2) 다이쪽 윤활과 양쪽 윤활이 다이와 펀치 모서리의 탄성 복원에 미치는 영향이 서로 반대의 결과로 나타나 U-벤딩과 다른 양상을 보였다.

참 고 문 헌

- (1) 김성환 외, 2001, "차체 성형용 판재의 U-벤딩시의 스프링백에 관한 연구", 한국소성가공학회 2001년도 추계학술대회 논문집, pp.66~70.
- (2) 프레스가공 노우하우 편집위원회, 1995, "프레스가공 노우하우 100선", 기전연구사, pp.124~138.
- (3) Schuler GmbH, 1998, Metal forming handbook, Springer, pp.179~184.
- (4) J.M. Lanzon, M.J. Cardew-Hall, P.D. Hodgson, 1998, "Characterising frictional behavior in sheet metal forming", J. of Materials Processing Technology, Vol. 80-81, pp.251~256.