

## U-bending에서의 DP780 강판의 스프링백 거동 연구

최민국<sup>1</sup> · 허 훈<sup>#</sup>

### Investigation of Springback Behavior of DP780 Steel Sheets after the U-bending Process

M. K. Choi, H. Huh

(Received July 5, 2012 / Revised July 25, 2012 / Accepted August 31, 2012)

#### Abstract

Sheet metal forming processes induce residual stress in the final product due to plastic deformation. The residual stress leads to elastic recovery of the formed part called springback, which causes shape errors in the final product. This error is a serious issue, especially for high strength steels, which are widely used in auto-body structures. Therefore, the evaluation of the amount of springback becomes critical for high strength steels. This paper investigates the springback behavior of DP780 steel sheets after the U-bending process using the geometry of the standard U-shape tool from the NUMISHEET'93 benchmark problem. The amounts of springback were measured as a function of the intrusion direction, forming speed and blank holding force.

**Key Words** : Springback, U-bending, DP780 Steel Sheets, Intrusion Direction, Forming Speed, Blank Holding Force

#### 1. 서 론

박판 성형공정은 금속판재를 이용하여 복잡한 형상의 제품을 생산하는 공정으로 금형과 프레스로 블랭크에 소성 변형을 가하여 제품을 생산하는 성형기법이다. 박판 성형공정 시에는 금형 내에서 판재의 변형에 의하여 최종 제품에 잔류 응력이 발생하게 된다. 이때 발생한 잔류 응력의 탄성 복원에 의하여 제품의 형상이 변하게 되는 스프링백 현상이 발생한다. 스프링백은 제품의 형상 변화로 인해 치수정밀도에 영향을 미치기 때문에 성형 제품 간의 조립 공정에서 접합 특성을 저하시키는 주요 원인으로 인식되고 있다. 최근에는 차량 경량화와 충돌 성능 향상의 목적을 동시에 달성하기 위하여 고강도강이 활발히 적용되고 있는 추세이다. 고강도강의 경우, 탄성 복원량의 증가로 인하여

여 스프링백이 크게 발생하기 때문에 다양한 공정 조건에 따른 스프링백의 발생에 관한 정량적 연구가 요구된다.

DP780 강판은 자동차 외판에 쓰이는 780MPa급 고강도강판으로, J. Huh 등[1]의 연구 및 H. Huh 등 [2, 3]의 연구에서 보고된 바에 따르면 Fig. 1[1]과 같이 하중방향에 따른 인장물성의 이방성이 나타나며, 각 하중방향에서 변형률 속도가 증가함에 따라 유동응력이 증가한다. 스프링백은 재료의 경화 거동에 따른 최종 응력 상태에 의하여 결정된다. 따라서 DP780 강판의 스프링백 거동을 분석하기 위해 재료의 이방성과 성형속도에 따른 영향을 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 DP780 강판의 스프링백 거동을 실험적으로 분석하고자 한다. 재료의 이방성 및 성형속도 외에도 공정변수 중 하나인 블랭크 가압

1. 한국과학기술원 기계항공시스템학부  
# 교신저자: 한국과학기술원 기계항공시스템학부,  
E-mail: hhuu@kaist.ac.kr

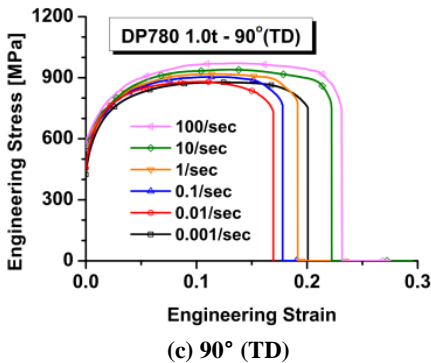
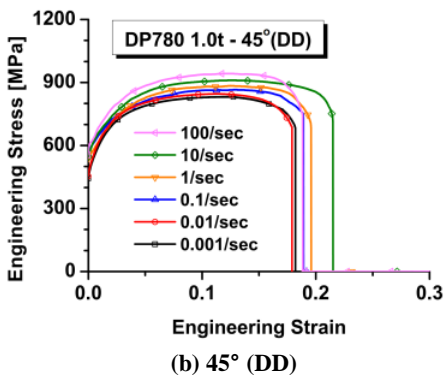
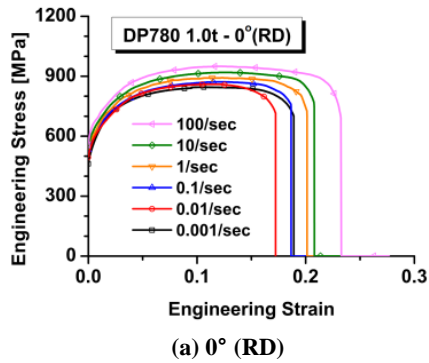


Fig. 1 Engineering stress-strain curves of DP780 at various strain rates[1]

력에 따라서도 재료의 최종 응력 분포가 달라진다고 알려져 있다[4]. 따라서 재료의 이방성, 성형속도 및 블랭크 가압력에 따른 스프링백 거동을 분석해보고자 재료의 유입방향, 성형속도 및 블랭크 가압력을 달리하여 U-bending 시험을 수행하였다. 스프링백 거동을 분석하기 위해 NUMISHEET '93 benchmark problem에서 제안된 U-bending 형상에 따라 시험을 수행하고 스프링백 인자를 측정하여 비교하였다.

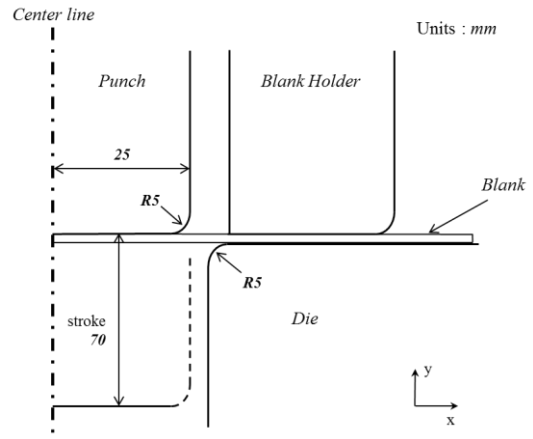


Fig. 2 Geometric description of the tool for the U-bending process

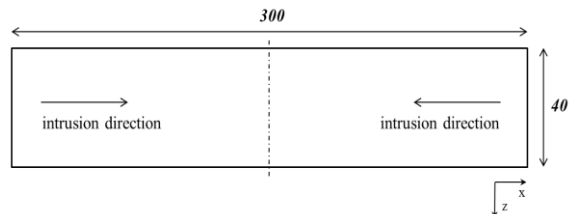


Fig. 3 Blank shape for the U-bending process

## 2. U-bending 시험

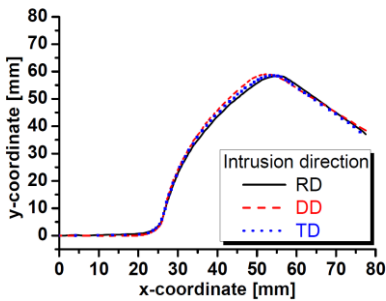
### 2.1 시험장치 및 시험소재

DP780 강판의 U-bending 시험을 위해 Fig. 2와 같은 NUMISHEET '93 benchmark problem에서 제안된 U-bending 형상에 따른 지그와 500kN급 프레스를 이용하여 시험을 수행하였다. 시편으로 사용된 DP780 강판의 변형률두께는 1.0mm, 치수는 Fig. 3와 같으며 시편의 유입방향은 시편의 길이방향으로 정의하였다. 시편의 유입방향 및 성형속도, 블랭크 가압력에 따른 스프링백 특성을 분석해보고자 시험조건을 달리하였다. 시편의 유입방향은 재료의 압연방향과의 각이 0도(RD), 45도(DD), 90도(TD) 방향에 대하여 시험을 실시하였으며, 편치부의 성형속도는 프레스의 사양에 따라 0.67mm/s, 1.67mm/s, 3.83mm/s으로 달리하여 시험하였다. 블랭크 가압력은 30kN, 50kN, 70kN으로 달리하여 시험하였다.

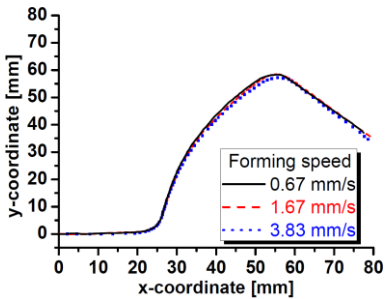
각 시험조건은 Table 1에 나타내었다. 각각의 시험변수에 대한 영향을 알아보기 위해 각 시험변수에 대한 일원배치법을 이용하여 시험조건을 설정

**Table 1 Experiment table for the U-bending process**

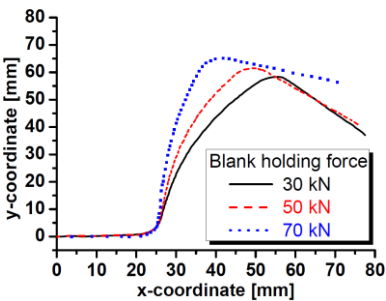
Material	Intrusion direction	Forming speed [mm/sec]	Blank holding force [kN]
DP780 1.0t	RD	1.67	30
	DD	1.67	30
	TD	1.67	30
	RD	0.67	30
	RD	3.83	30
	RD	1.67	50
	RD	1.67	70



(a)



(b)



(c)

**Fig. 4 Specimen profile after the U-bending process with the variation of (a) intrusion angle from RD, (b) forming speed, (c) blank holding force**

하였다. 시편의 유입방향과 재료의 압연방향과의 각 0도(RD), 성형속도 1.67mm/s, 블랭크 가압력 30kN을 통제변수로 설정하고, 각 시험변수의 수준을 달리하여 시험하였다

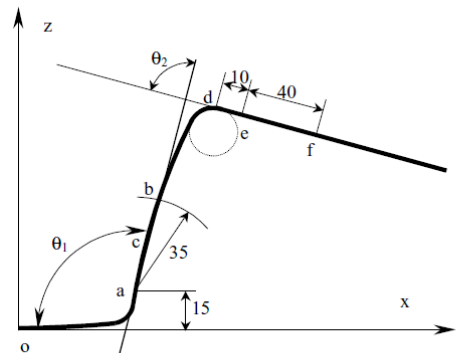
**2.2 시험결과**

각 시험조건에 따른 U-bending 시험을 수행하고 2D 좌표측정기를 이용하여 시편 측면부의 형상을 측정하였다. 재료의 이방성과 성형속도, 블랭크 가압력에 따른 시편 측면부의 형상을 Fig. 4에 도시하였다. 시편의 유입방향에 달리하며 시험한 결과 스프링백이 진행된 정도는 압연방향과의 각이 45도(DD), 90도(TD), 0도(RD) 순이며 성형속도를 달리하며 시험한 결과 성형속도가 증가할수록 스프링백 양이 증가한다. 블랭크 가압력을 달리하며 시험한 결과 블랭크 가압력이 증가할수록 스프링백 양은 감소한다.

**2.3 스프링백 인자 측정**

Fig. 4에 도시한 시편 측면부의 형상에 따른 스프링백 정도를 정량적으로 비교해볼 필요가 있다. 따라서 Fig. 5와 같이 NUMISHEET' 93 benchmark problem에서 정의한 스프링백 인자[5]를 이용하였다.

스프링백 각  $\theta_1$ 은 펀치 코너부의 스프링백 양을 정의한 각으로 Fig. 5의  $\overline{ox}$ 와  $\overline{ab}$ 가 이루는 각이다. 스프링백 각  $\theta_2$ 는 다이 어깨부의 스프링백 양을 정의한 각으로 Fig. 5의  $\overline{ab}$ 와  $\overline{ef}$ 가 이루는 각이며, 시편 벽면부의 곡률반경은 a,b,c 점이 이루는 호의 반지름으로 정의한다. 각 스프링백 인자를 측정하여 각 시험조건에 따른 결과를 Fig. 6~8에 도시하였다.



**Fig. 5 Measurement parameters for springback[5]**

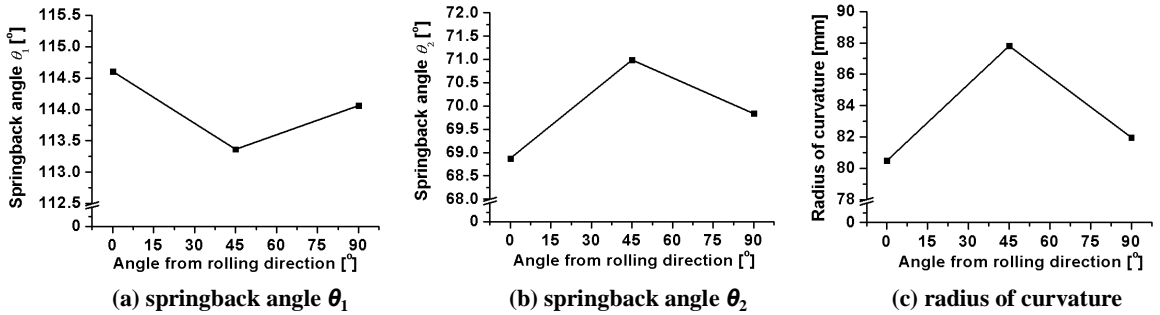


Fig. 6 Springback parameters with the variation of intrusion angle from RD

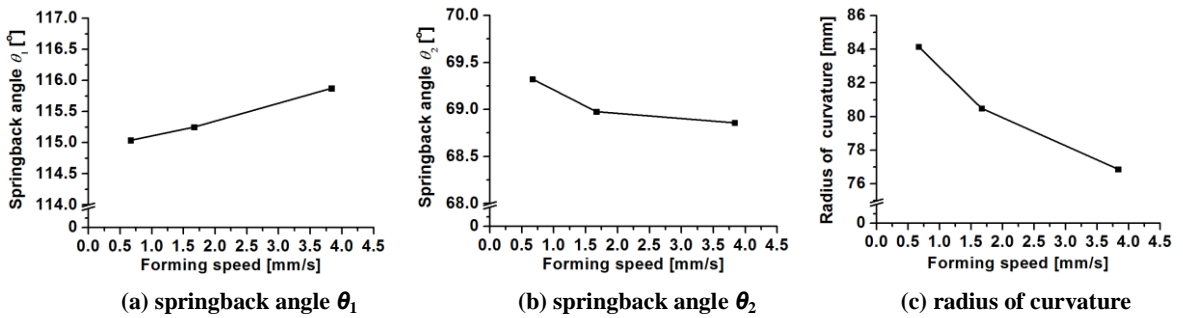


Fig. 7 Springback parameters with the variation of forming speed

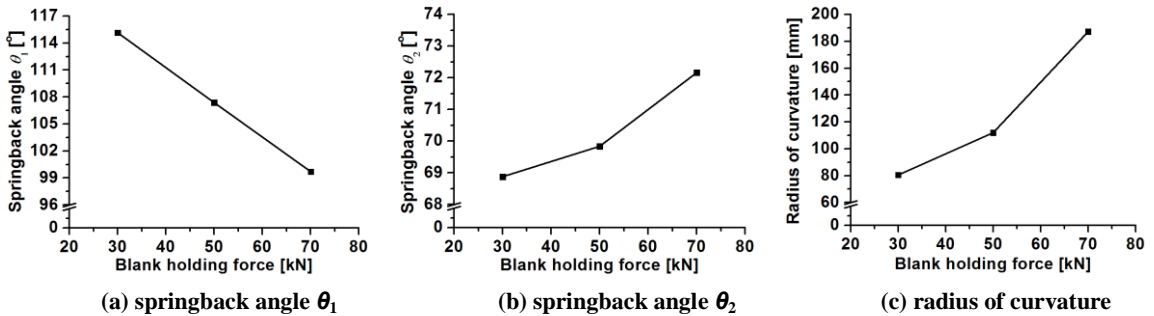


Fig. 8 Springback parameters with the variation of blank holding force

### 3. 스프링백 측정 결과

#### 3.1 이방성의 영향

Fig. 6에서와 같이 스프링백 각  $\theta_1$ 은 시편의 유입 방향과 재료의 압연방향과의 각이 45도(DD) 일 때 최소값, 0도(RD) 일 때 최대값을 나타냈으며 스프링백 각  $\theta_2$ 와 벽면부의 곡률은 시편의 유입방향과 재료의 압연방향과의 각이 0도(RD) 일 때 최소값, 45도(DD) 일 때 최대값을 나타냈다.

일반적으로 스프링백 양은 스프링백 각  $\theta_1$ 이 클수록, 스프링백 각  $\theta_2$ 와 벽면부의 곡률이 작을수록

커진다. 따라서 스프링백 양은 시편의 유입방향과 재료의 압연방향과의 각이 45도(DD), 90도(TD), 0도(RD) 순으로 커진다.

J. Huh 등[1]의 연구 및 Fig. 1에서 변형률 속도 및 하중방향과 압연방향의 각도에 따른 항복응력의 분포는 0.001/s~0.01/s에서 45도(DD), 0도(RD), 90도(TD) 순이며 0.1/s~1/s에서 45도(DD), 90도(TD), 0도(RD) 순이다. U-bending 시험 시 부과된 성형속도는 중변형률 속도 영역에 해당되므로 시편의 유입방향과 재료의 압연방향과의 각도에 따른 스프링백 크기 분포는 0.1/s~1/s에서 하중방향과 압연방향

의 각도에 따른 유동응력의 크기 분포와 같음을 알 수 있다.

### 3.2 성형속도의 영향

Fig. 7에서와 같이 스프링백 각  $\theta_1$ 은 성형속도가 증가함에 따라 증가하고, 스프링백 각  $\theta_2$ 와 벽면부의 곡률은 성형속도가 증가함에 따라 감소한다. 따라서 성형속도가 증가함에 따라 스프링백 양은 증가한다. J. Huh 등[1]의 연구 및 H. Huh 등[2~3]의 연구에 의하면 DP780 강판은 변형률속도가 증가할수록 유동응력이 증가하는 인장 물성을 나타낸다. 스프링백 양은 성형 시 시편의 최종 응력상태에 따라 결정되고, 성형속도가 증가함에 따라 U-bending 시험 시 시편의 잔류응력이 증가하여 스프링백 양이 증가한다는 것을 알 수 있다.

### 3.3 블랭크 가압력의 영향

Fig. 8에서와 같이 스프링백 각  $\theta_1$ 은 블랭크 가압력이 증가함에 따라 감소하고, 스프링백 각  $\theta_2$ 와 벽면부의 곡률은 블랭크 가압력이 증가함에 따라 증가한다. 따라서 블랭크 가압력이 증가함에 따라 스프링백 양은 감소한다. 스프링백 양은 성형 시 시편의 최종 응력상태와 함께 시편의 두께별 응력 편차에 의한 굽힘모멘트 양에 따라 결정이 된다고 알려져 있다[6]. 블랭크 가압력은 성형 시 시편과 지그부 사이의 마찰조건을 변화시키는 요인이 되고, 블랭크 가압력이 증가할수록 U-bending 시험 시 시편과 지그부 사이의 마찰력이 증가하게 된다. 마찰이 증가함에 따라 블랭크 가압부에서는 시편 내 인장 효과가 발생하게 되고 이는 두께별 응력 편차를 감소시키는 요인이 된다. 따라서 블랭크 가압력이 증가함에 따라 스프링백 양이 감소한다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 DP780 강판의 재료의 유입방향과 성형속도, 블랭크 가압력에 따른 스프링백 거동을 분석해보았다. 재료의 유입방향에 따른 스프링백 양은 재료의 이방성에 따른 유동응력의 크기 분포와 같으며 성형속도가 증가함에 따라, 블랭크 가압력이 감소함에 따라 스프링백 양이 증가한다.

위 실험결과를 바탕으로 DP780 강판은 재료의 인장-압축 거동에서 재료의 이방성 및 변형률 속도에 따른 변화가 있다고 판단된다. 따라서 DP780 강판의 인장-압축 거동을 모사할 수 있는 구성방정식의 제안 시 재료의 이방성과 변형률 속도를 고려하여야 한다. 또한 스프링백 해석 시 해석과정에서 재료의 이방성 및 변형률 속도, 공정변수의 변화에 따른 물성 변화를 고려하면 해석의 정확도를 높일 수 있다.

## 후 기

본 연구는 POSCO 철강연구소 지원사업의 일환으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Huh, H. Huh, C. S. Lee, 2011, Effect of Strain Rate on the Anisotropic Deformation Behavior of Advanced High Strength Steel Sheets, Trans. Mater. Process, Vol. 20, No. 8, pp. 595~600.
- [2] H. Huh, S. B. Kim, J. H. Song, J. H. Lim, 2008, Dynamic Tensile Characteristics of TRIP-type and DP-type Steel Sheets for an Auto-Body, Int. J. Mech. Sci., Vol. 50, No. 5, pp. 918~931.
- [3] H. Huh, J. H. Lim, S. H. Park, 2009, High Speed Tensile Test of Steel Sheets for the Stress-strain Curve at the Intermediate Strain Rate, Int. J. Automat. Technol., Vol. 10, No. 2, pp. 195~204.
- [4] H. S. Kim, M. Koc, 2008, Numerical Investigations on Springback Characteristics of Aluminum Sheet Metal Alloys in Warm Forming Conditions, J. Mater. Process. Technol., Vol. 204, No. 1, pp. 370~383.
- [5] C. Gomes, O. Onipede, M. Lovell, 2005, Investigation of Springback in High Strength Anisotropic Steels, J. Mater. Process. Technol., Vol. 159, No. 1, pp. 91~98.
- [6] D. Zhang, Z. Cui, X. Ruan, Y. Li, 2007, An Analytical Model for Predicting Springback and Side Wall Curl of Sheet after U-bending, Int. J. Comput. Mater. Sci., Vol. 38, No. 1, pp. 707~715.