

차체 성형용 판재의 U 벤딩시의 스프링백에 관한 연구

김성환* · 신장모* · 장성호* · 서대교**

Investigation of Springback for the U-bending of Steel Sheets for Automotive body panels

S. H. Kim, J. M. Shin, and S. H. Chang, and D. G. Seo

Abstract

The purpose of this paper is to investigate the characteristics of springback for the U-bending of steel sheets for automotive body panels. This study presents the experimental and analytical approach for the two kind of steel sheets, namely SCP1 and TRIP(Transformation-induced plasticity), the newly developed high strength steel. The adopted thicknesses are 0.8, 1.2 and 1.6 mm for SCP1, and 1.0 mm for TRIP. The punch profile radii are designed in 3, 6, 9, 12, and 15 mm. As results, the springgo aspect could be observed experimently in the small punch profile radius. The degree of springback for TRIP sheets was more than the SCP1 sheets.

Key Words : Springback, Springgo, U-bending, Tranformation-induced Plasticity(TRIP)

1. 서 론

굽힘이란 판재의 끝 부분에 하중이 작용하였을 때 직선 길이가 곡선 길이로 변형이 되는 것으로 실제적으로 모든 판재 성형 공정시 부분이 변형되는 것을 말하며 이 과정에서 필연적으로 발생하는 스프링백(springback)은 성형 공정에서 가공이 완료된 후 금형에서 제거될 때 잔류 응력에 의해 영구변형을 일으키는 현상으로서 성형 후 하중을 이완시켰을 때 성형 제품의 구속이 제거됨으로써 재료에 남아 있는 잔류 응력에 의해 발생하는 변형량으로 나타낸다. 이러한 변형량은 제품의 정밀도에 큰 영향을 미치는 경우가 많고 이에 의해 발생하는 치수 오차가 부가적인 수정 공정을 요구하는 경우가 많기 때문

에 금형을 제작하고 성형함에 있어 숙련자의 경험에 의해 해결하는 경향이 두드러진다. 이에 따라, 스프링백에 대한 심도 있는 연구와 정확한 고찰이 요구되고 있다.

최근 환경문제로 인해 자동차용 재료의 경량화, 박물화가 요구되어지고 있는 한편, 충돌안전에 관한 사회적 규제는 매년 강화되고 있으며 충돌 시를 상정한 자동차용 재료의 고속변형거동에 관한 연구의 필요성이 점점 강화되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 고장력강판의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 그 중 TRIP 강판이 개발되어 차체의 Front side member, Side sill, Pillar 등에 적용되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 차량 성형용 판재인 냉연강판(SCP1)과 새로이 개발된 TRIP강판을 가지

* 성균관대학교 기계공학부 대학원

** 성균관대학교 기계공학부, 책임저자

고 U-벤딩 실험을 통하여 성형인자에 따른 스프링백 양과 특성을 고찰함과 동시에 그 결과를 상용 FEM code인 PAM-STAMP를 이용한 해석 결과와 비교, 고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험 장치

본 연구에서 수행한 U 벤딩 실험 장치 개략도가 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 실험에 사용된 시편은 0.8 mm, 1.2 mm 와 1.6 mm 두께의 SCP1종과 1.0 mm 두께의 TRIP 강판을 각각 250 mm × 30 mm의 크기로 준비하였다.

U 벤딩 실험장치는 UTM(Universal Test Machine)에 장착되어 실험을 수행하였으며, 세부적으로는 다이, 펀치, 레일 및 펀치 형상 반경을 변경할 수 있도록 3 mm, 6 mm, 9 mm, 12 mm, 15 mm의 별도 인서트를 제작, 설치하였다. 레일은 펀치와 다이 사이의 간격(Clearance)를 변화시킬 수 있도록 제작되었다.

2.1 실험 방법

Table 1에서는 실험을 위한 세부 조건들을 나타내고 있다. 다이의 어깨 반경은 5 mm로 고정하였으며 성형 깊이는 70 mm, 클리어런스는 시편 두께의 1.5배로 하여 실험을 수행하였다.

실험 후 스프링백의 양을 측정하기 위해, Fig. 3에서와 같이 스프링백 전의 각(θ_1)은 다이와 블랭크, 펀치와의 기하학적 형상에 의해 구했으며, 스프링백 이후의 각(θ_2)은 성형 후 스프링백이 발생한 시편의 바닥면과 시편 벽면의 각을 측정하였는데 보다 정확한 측정을 위해 양 벽면의 각을 측정하여 평균값으로 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험 결과

Fig. 4 에서는 펀치의 형상 반경이 3 mm인 경우에 4 종류의 시편들의 스프링백 후에 시편 형상들을 나타낸 그림이다. 이 경우에 모든 종류의 시편들이 스프링백이 아닌 스프링고 현상이 발생하였으며, 그 정도는 SCP1종의 경우 시편의 두께가 두꺼워질수록 컸으며, TRIP 강판은 SCP1종보다 더 변형을 하였다.

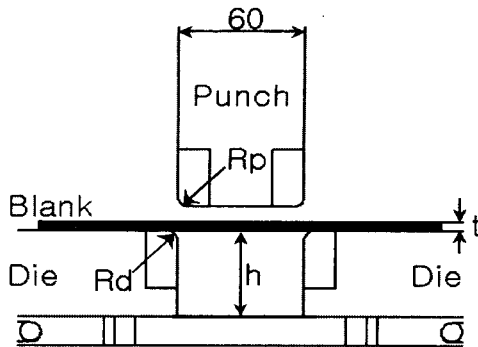


Fig. 1 Schematic diagram of U-bending

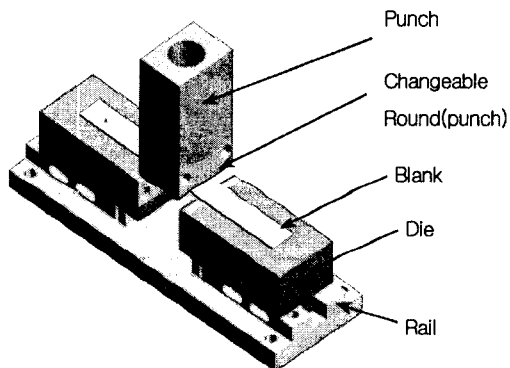


Fig. 2 Experimental apparatus for U-bending

Table 1 Experimental condition

재료	SCP1			TRIP
	0.8 mm	1.2 mm	1.6 mm	1.0 mm
조건				
Clearance	1.2 mm	1.8 mm	2.4 mm	1.5 mm
Punch radius	3 mm, 6 mm, 9 mm, 12 mm, 15 mm,			
Die profile radius	5 mm			
Forming depth	70 mm			
Punch velocity	35 mm/min			

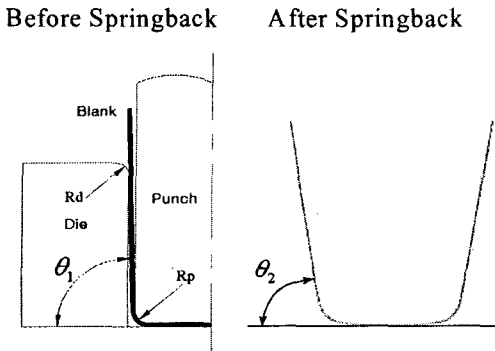


Fig. 3 Measurement of springback angle before unloading and after unloading

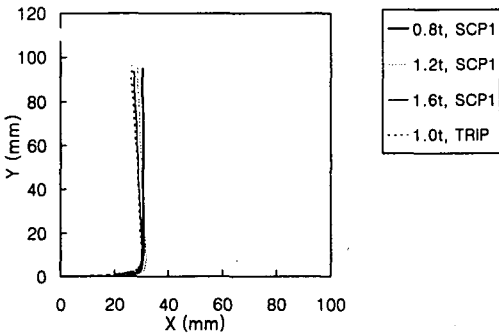


Fig. 4 The deformed shapes after springback for various sheets ($R_p=3$ mm)

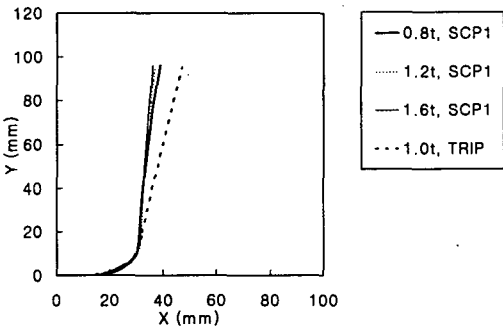


Fig. 5 The deformed shapes after springback for various sheets ($R_p=15$ mm)

Fig. 5 에서는 펀치 형상 반경이 15 mm 인 경우로서 여기에서는 앞선 펀치 형상 반경 3 mm의 경우와는 달리 스프링백이 발생하였으며, SCP 1종의 경우, 판재의 두께가 두꺼워질수록 스프링백에 의한 변형이 감소하였지만, TRIP강판은 스프링백 량도 크게 발생하였다.

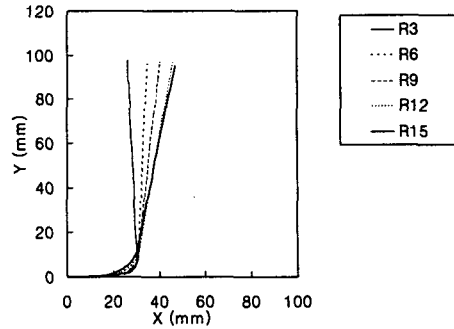


Fig. 6 The deformed shapes after springback for various punch profile radii (TRIP 1.0 mm)

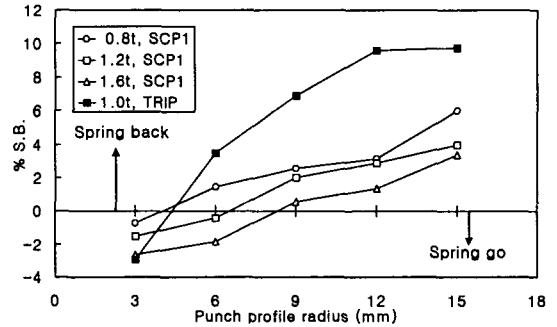


Fig. 7 %S.B. versus Punch profile radius for various sheets.

Fig. 6은 펀치의 형상 반경에 따른 TRIP 강판의 스프링백에 의한 형상을 나타낸 그림이다. 펀치의 형상 반경이 증가할수록 스프링백도 증가함을 알 수 있다. Fig. 7에서는 실험에 사용된 4 종류의 시편에 대해 펀치 형상 반경에 따른 %S.B.을 나타내고 있다. 펀치 형상 반경이 증가할수록 %S.B.이 증가하는 경향을 보여주고 있다. %S.B.은 $(\theta_1 - \theta_2) / \theta_1 \times 100$ 으로 계산하였으며 양의 값은 스프링백이, 음의 값은 스프링고 발생하였음을 나타낸다. Fig. 8은 SCP 1종의 경우, 두께에 따른 %S.B.을 펀치의 형상 반경별로 나타내고 있다. 판재의 두께가 증가할수록 %S.B.는 감소하는 것을 알 수 있다. Fig. 9는 펀치 스트로크에 대한 성형 하중을 나타낸 그림으로서 펀치의 형상 반경이 15 mm인 경우에 대해 SCP1종 0.8t와 TRIP 1.0t를 비교하여 나타내었다. 펀치 스트로크가 20 mm 부근에서 상승하는 것은 굽힘에 소요된 하중을 나타낸 것이고 스트로크 70 mm 부근에서 급격히 증가하는 하중은 바닥면 성형하는 소요된 하중을 나타내고 있다. 굽힘에 소요되는 하중 역시 TRIP 강판이 SCP1종에 비해 크게 나타나고 있다.

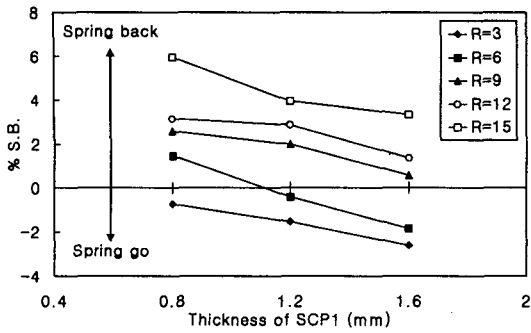


Fig. 8 %S.B. versus Thickness of SCP1 for various punch profile radii

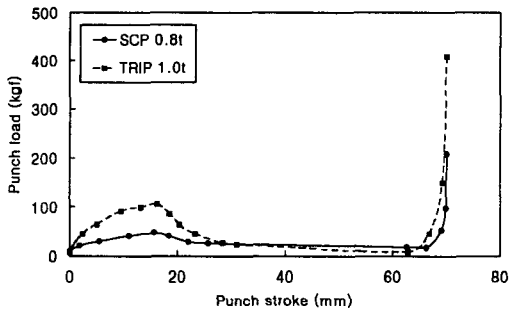


Fig. 9 Punch load versus punch stroke ($R_p = 15$ mm)

4. 해석 결과 및 비교

해석한 결과를 실험 결과와 비교하여 Fig. 10에 나타내었다. 이 그래프는 펀치 형상 반경이 3 mm인 경우에 0.8t의 SCP 1종과 1.0t의 TRIP 강판의 실험 결과와 해석결과를 비교하여 나타낸 것이다. 실험에서 스프링고 발생하였는데 해석 결과에서는 모두 스프링백이 발생한 것으로 나타났다. 이에 대한 보다 심도 있는 해석상 연구가 요구되어진다. Fig. 11은 스프링백이 발생한 TRIP 강판의 대해 실험과 해석 결과를 비교한 그래프인데, 여기에서는 스프링고와 달리 아주 근사한 결과를 얻을 수 있었다.

5. 결론

지금까지의 실험과 해석을 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

(1) 펀치 형상 반경 3 mm 와 6 mm에서 스프링백이

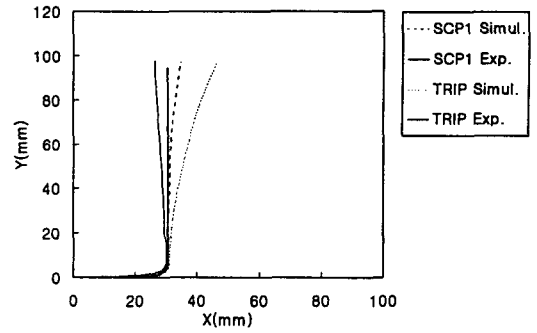


Fig. 10 Comparisons of deformed shapes between experiment and simulation for 0.8t of SCP 1 and 1.0t of TRIP ($R_p = 3$ mm)

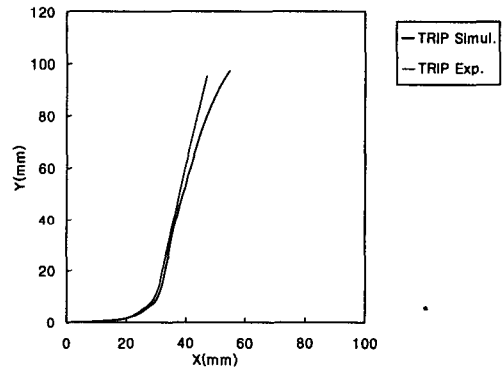


Fig. 11 Comparison of deformed shapes between experiment and simulation for TRIP ($R_p = 15$ mm)

아닌 스프링고 현상이 관찰되었는데, 이는 판두께(t)에 대한 상대적인 굽힘 반경(R)이 작을 경우에 나타나는 현상으로 본 연구에서는 R/t의 값이 대략 5보다 작을 경우에 스프링고 현상이 나타났고, 그보다 큰 경우에 스프링백 현상이 나타났다.

(2) 스프링백은 경우 두께가 두꺼워질수록 굽힘 반경이 작을수록 적게 나타났으며, 스프링고의 경우에는 두께가 두꺼워질수록 크게 나타났고, 인장강도가 높은 TRIP강판의 경우에는 스프링백과 스프링고 모두 SCP 1종에 비해 크게 나타났다.

(3) 실험에서 스프링고가 나타난 조건에 대한 해석을 수행한 결과, 해석에서는 스프링백이 나타나는 것으로 보이고 있어, 이에 대한 보다 심도 있는 연구가 요구되어진다. 반면, 스프링백이 나타난 조건에 대한 해석 결과는 실험 결과와 아주 근사한 값을 구할 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) R. L. Rolf and E. P. Patrik, 1978, "Bending and Springback of Aluminum Alloy Sheet and Plate", *ASTM and Materials*, pp. 65-85.
- (2) W. Wing-Leung 1987, "Mechanics of bending and springback of Sheet Metal", *McMaster UNIV.* pp. 1-175.
- (3) M. J. Finn, P. C. Galbraith, L. Wu, J. O. Hallquist, L. Lum and T. L. Lin, 1995, "Use of a coupled explicit-implicit solver for calculating springback in automotive body panels", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 50, pp. 395-409.
- (4) L. C. Zhang, Z. Lin, 1997, "An analytical solution to springback of sheet metals stamped by a rigid punch and an elastic die", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 63, pp. 49-54.
- (5) Y.M. Huang and D. Kwei Leu, 1998, "Effects of process variables on V-die bending process of steel sheet", *International Journal of Mechanical sciences*, Vol. 40, No. 7, pp. 631-650.
- (6) D. W. Park, J. J. Kang, J. P. Hong, and S. I. Oh, 1999, "Springback Simulation by Combination Method of Explicit and Implicit FEM", *Proceedings of the 4th International Conference and Workshop on Numerical*, pp. 35-40.
- (7) 기전연구사 편집부 編著, 1989, "프레스 금형", 기전연구사, pp. 236-259.
- (8) 김세환 編著, 1996, "프레스 가공의 불량과 대책" 대광서림, pp. 98-109.