

고강도 강판 성형 공정의 스프링백 제어

양우열* · 이승열** · 김영탁*** · 황진영**** · 윤치상**** · 신철수**** · 조원석****

(2003년 8월 20일 접수)

Springback Control in the Forming Processes for High-Strength Steel Sheets

W. Y. Yang, S. Y. Lee, Y. T. Keum, J. Y. Hwang, C. S. Yoon, C. S. Shin and W. S. Cho

Abstract

In order to develop springback control technology for high-strength steel sheets, several studies have been conducted: dome stretching test, stepped s-rail forming and springback measurement, and optimally shaped initial blank design. First, to find out the formability of TRIP60, dome stretching test was performed. Next, the stepped s-rail die, which was designed to form a channel type panel with large twist and wall curl, was manufactured and used to evaluate the effect of controlling forming variables, such as blank holding force and flange amount on the springback. Furthermore, new measurement method of the springback was introduced to define wall curl and twist in geometrically complex panels. Finally, the optimally shaped initial blank was employed to verify one of the best ways to control the springback in channel type, high-strength sheet panels.

Key Words : Springback, Twist, Wall Curl, Initial Blank, High-Strength, Steel Sheets

1. 서론

최근 자동차 업체에서는 환경문제 자동차의 경량화 승객의 안전성 확보 같은 소비자 요구에 대처하기 위해 고강도 강판을 적용하려는 시도가 활발하게 진행되고 있다. 그러나, 강판의 강도가 높아질수록 성형성이 저하되고 특히 벽젓힘 및 비틀림으로 인한 스프링백 양 증가로 치수 정밀도의 제어가 어려워 복잡한 형상 및 정밀성형이 요구되는 부품에 적용하기에는 한계가 있다.⁽¹⁾ 스프링백 현상은 다양한 형태로 발생하며 여러 인자들에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 이전 연구⁽²⁻⁴⁾에 의하면, 스프링백 현상에 영향을 주

는 인자로서 블랭크 홀딩력, 펀치 속도, 소재의 두께, 재료의 물성치 그리고 금형 형상 등이 있으며 그밖에도 마찰이나 윤활 상태와 같은 여러 인자들이 복합되어 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 그러나 스프링백 현상에 대한 정량적이고 체계화된 데이터베이스가 구축되어 있지 않은 상태이며 현장에서도 시행착오 법이나 금형 설계자의 경험에 의존하고 있는 실정이다. 따라서, 스프링백으로 인한 치수정밀도가 특히 문제가 되는 고강도 강판을 자동차 차체에 적용하기 위해서는 스프링백 현상의 체계적 분류와 그 발생 요인 및 저감 기술을 개발하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 승용차 사이드 멤버의 축소금형

* 한양대학교 대학원

** 한양대학교 CPRC (현근무처:피에프텍)

*** 한양대학교 기계공학부 (한양대학교 CPRC)

**** 현대자동차 금속재료연구팀

(stepped s-rail)을 제작하고, 성형성이 낮으며 스프링백 현상이 심한 고강도 강판을 대상으로 성형 실험과 컴퓨터해석을 수행한 후 스프링백 저감 방안을 제시한다.

2. 고강도 강판의 실험

2.1 인장물성 및 성형한계

본 연구에서 사용 소재인 TRIP(Transformation Induced Plasticity) 강판의 기초물성과 성형한계를 구하고, 기존에 많이 사용되고 있는 고장력 강판과의 성형특성 비교를 목적으로 TRIP60(60kg/mm² 급) 및 SPRC35(35kg/mm² 급) 강판을 대상으로 단축인장 및 돔장출 시험을 수행하였다. 사용된 소재들의 시험 결과인 인장물성은 Fig. 1, 성형한계는 Fig. 2에 각각 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 TRIP60 강판은 전연신이 작으나 균일연신이 비교적 크기 때문에 강도대비 성형성이 우수한 편이나 일반 고장력 강판(SPRC35)에 비해 약 10% 정도 낮은 성형한계를 나타내었다. 이 데이터는 성형해석 결과의 평가와 스프링백 저감을 위한 공정설계 및 적정 작업조건 도출에 사용된다.

2.2 Stepped S-Rail의 스프링백 실험

고강도강판의 스프링백 현상을 규명하고 저감 기술을 개발하기 위하여 스프링백 현상이 잘 나타나는 stepped s-rail 금형을 Fig. 3과 같이 설계하고 제작하였다. 제작된 stepped s-rail 금형은 벽젓힘

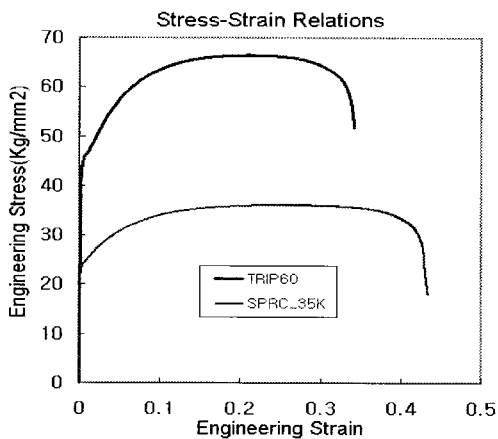


Fig. 1 Measured mechanical properties

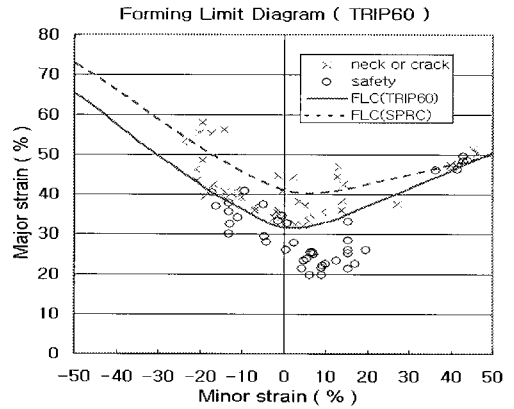


Fig. 2 Measured forming limit curves

의 주요 인자인 벽부와 플랜지부의 곡률 R과 상하의 단차는 그대로 유지하고 전체 치수만 실물로부터 축소 설계되었다.

성형 및 스프링백 실험을 위하여 4 종류의 블랭크를 사용하였다. 플랜지량 변화에 따른 스프링백 실험과 BHF(Blank Holding Force) 변화에 따른 스프링백 실험을 위하여 플랜지량이 다른 블랭크 A와 블랭크 B를 사용하였다.(Fig. 4 참조)

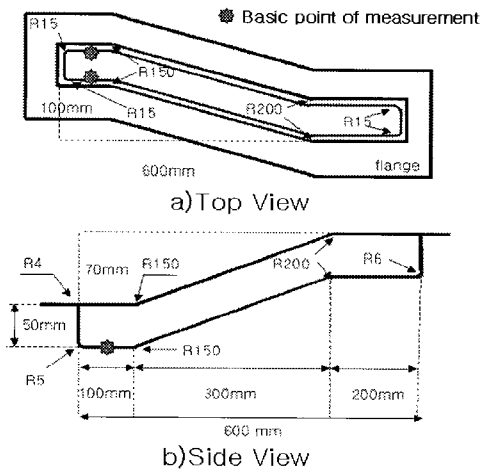


Fig. 3 Schematic drawing of the stepped s-rail

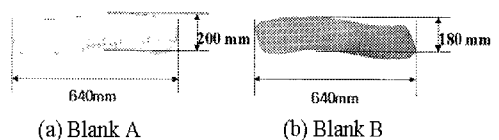


Fig. 4 Initial blanks for springback test

또한, 스프링백 저감 효과를 얻기 위해 기존의 스크랩 최소화 관점에서 접근된 연구들⁽⁵⁻¹⁴⁾ 중에서 롤백(rollback) 법을⁽¹³⁾ 원용하여 산출한 최적형상 블랭크와 고강도 강판에 적용할 목적으로 드로우비드 효과를 고려한 최적형상 블랭크를⁽¹⁵⁻¹⁶⁾ 도출하여 본 연구에 사용하였다.(Fig. 5 참조)

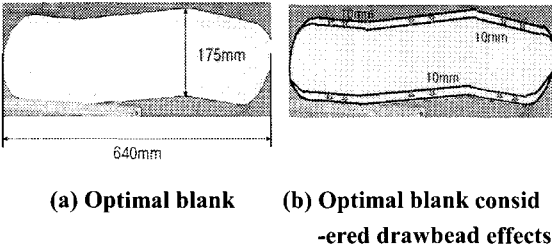


Fig. 5 Optimal blank and optimal blank considered drawbead effects

상기에서 선정된 블랭크들을 Fig. 6 과 같이 다리와 블랭크 홀더 사이에 안착시키고 성형 및 스프링백 실험을 수행하였다.

stepped s-rail 을 성형한 후 스프링백을 측정하기 위하여 다음과 같이 스프링백을 정의하였다. 벽젓힘량은 다른 여러 단면에서 일어나지만 벽젓힘이 가장 크게 일어나는 Fig. 7 에서 보는 바와 같이 섹션 A-A 부분을 측정하여 스프링백 전, 후의

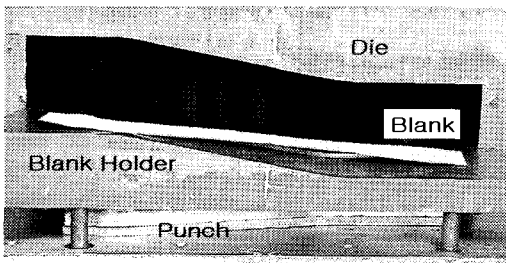


Fig. 6 Layout of testing tool sets

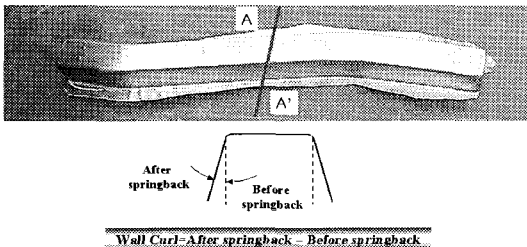


Fig. 7 Definition of wall cut

형상이 이루는 각도(degree)의 차이로 정의하였다.

비틀림량은 전체적인 비틀림을 보기 위해서 step-ped s-rail 의 시작부분과 끝부분을 서로 비교하여 비틀림량을 측정하는 것이 좋으나, 측정의 어려움 때문에 Fig. 8 에서 보는 바와 같이 시작부분과 끝부분에서 각각 약 40mm 떨어진 단면 A 와 단면 B 를 측정하여 그 단면이 이루는 수직벡터를 만들고, 이 두 수직벡터가 이루는 각도(degree)로 정의하였다.

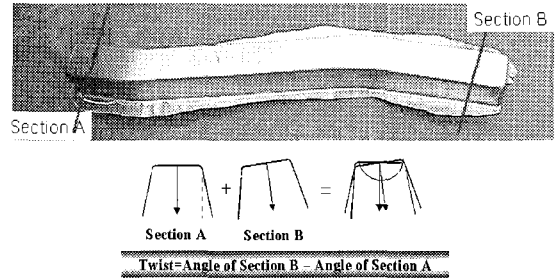


Fig. 8 Definition of twist

3. 스프링백 제어요소 검토

3.1 BHF 에 따른 스프링백 제어

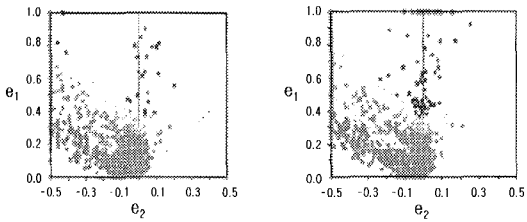
BHF 에 따른 스프링백의 저감현상을 알아보기 위하여 초기블랭크 A 로 stepped s-rail 을 성형하고 스프링백량인 벽젓힘량과 비틀림량을 측정하였다. Table 1 에서 보는 바와 같이 BHF 가 증가하면 stepped s-rail 의 벽젓힘과 비틀림이 동시에 저감되지만 저감량은 미소함을 알 수 있다.

Table 1 Measured twist and wall curl associated with various BHF

BHF(kg/mm ²)	2.5	3.0
Wall Curl	2.6°	2.5°
Twist	2.0°	1.7°

한편, Fig. 9 는 BHF 변화에 따른 성형해석 결과를 나타낸 것이다. BHF 가 증가하면서 그림에서 보는 바와 같이 stepped s-rail 의 많은 절점들이 측정된 성형한계곡선을 벗어나고 성형 실패에 노출되어 있음을 알 수 있다. 고강도 강판의 성형시

BHF의 제어는 소재의 낮은 성형성 때문에 제어 용이성이 까다로움을 확인하였다.



(a) BHF = 2.5kg/mm² (b) BHF = 3.0kg/mm²

Fig. 9 Strain distributions of the initial blank A in BHF=2.5 kg/mm² and BHF=3.0 kg/mm²

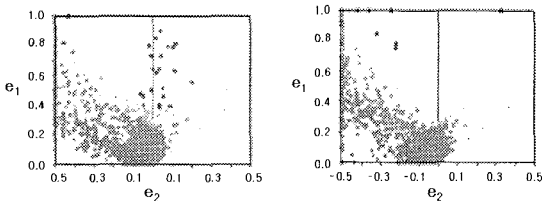
3.2 플랜지량에 따른 스프링백 제어

공정변수 중 하나인 플랜지량이 스프링백에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 Fig. 4에 나타낸 블랭크 A와 블랭크 B를 대상으로 성형실험을 수행하고 스프링백 현상을 검토하였다. Table 2에서 알 수 있듯이 stepped s-rail의 비틀림량은 감소하나 벽젓힘량은 오히려 증가하는 현상이 발생하였다.

Table 2 Measured twist and wall curl associated with flange amounts

Blank Type	Blank A	Blank B
Wall Curl	2.6°	3.0°
Twist	2.0°	1.0°

한편, 플랜지량 변화에 따른 성형해석 결과인 Fig. 10에서 보는 바와 같이 블랭크 A는 해석상 과대평가된 부분이 있지만 성형 실패에 노출되어 있음을 알 수 있으며, 실험에 있어서도 성형 실패로 귀착되진 않았지만 양쪽 끝단에서 주름 및 약간의 파단현상이 관측되었고, 고강도 강판에서는 BHF의 제어가 어려움을 확인할 수 있었다



(a) Blank A (b) Blank B

Fig. 10 Formability of blank A and blank B in BHF=2.5kg/mm²

3.3 최적형상 블랭크의 스프링백 제어

초기블랭크의 형상이 스프링백에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Fig. 5에서 보여주고 있는 최적형상 블랭크와 드로우비드 효과를 고려한 최적형상 블랭크로 성형 실험 및 해석을 수행하였다. 최적형상 초기블랭크로 성형 실험할 때 성형조건은 초기블랭크 A와 초기블랭크 B의 실험조건에 따랐다. Table 3은 최적형상 초기블랭크로 성형한 후 얻어진 stepped s-rail의 비틀림량과 벽젓힘량을 보여주고 있다.

Table 3 Measured twist and wall curl of optimize blank associated with various BHF

BHF(kg/mm ²)	1.0	3.0	5.0
Twist	1.2°	0.7°	0.7°
Wall Curl	2.8°	2.9°	2.9°

Table 3에서 보는 바와 같이, 비틀림량은 블랭크 A와 블랭크 B로 성형한 것 보다 많이 좋아졌으나 벽젓힘량은 BHF가 증가하면서 거의 변화가 없었다. 그래서 다이 부분에 적절한 드로우비드의 설계로 벽젓힘량을 제어하는 아이디어를 도출하여 최적형상 블랭크의 폭(10mm 정도)을 일정하게 늘려주어 드로우비드 효과가 있는 최적형상 블랭크를 설계하였다.(Fig. 5 참조)

드로우비드를 적용하기 위한 최적형상 블랭크의 성형조건을 찾기 위해 본 연구에서는 BHF=1.0 kg/mm²에서 BHF=6.0kg/mm²까지 BHF를 변화시키면서 해석하여 성형성과 스프링백량을 검토하였다. 성형성과 스프링백의 상관관계를 종합적으로 검토한 결과, BHF=4.0kg/mm²일때 성형성과 스프링백이 동시에 양호함을 알 수 있었다. Fig. 11은 BHF=4.0kg/mm² 조건으로 최적형상 블랭크를 성형한 결과이다. 결과에서 보는 바와 같이 블랭크를 최적화시킴으로써 BHF를 일정수준 증가시켜도 해석결과가 과대평가됨을 고려할 때 안전하게 작업됨을 알 수 있다.

한편, Table 4는 최적형상 블랭크와 드로우비드 효과를 갖는 최적형상 블랭크를 BHF=4.0kg/mm²에서 성형하여 얻은 벽젓힘량과 비틀림량을 보여주고 있다. 드로우비드 효과를 갖는 최적형상 블랭크는 비틀림량뿐만 아니라 벽젓힘에 있어서도 스프링백 현상을 제어하는 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결론

고강도 강판의 스프링백 제어기술을 개발할 목적으로 TRIP60 강판을 대상으로 성형실험 및 공정해석을 수행하였다. 사용된 고강도 강판의 성형특성 평가 및 작업조건 선정을 위해 인장 및 돌장출 시험을 수행하고, 스프링백 평가를 위해 stepped s-rail 금형을 제작하여 성형실험을 수행하였다. 스프링백을 저감시킬 수 있는 성형조건들을 실험결과로부터 검토하고 고강도 강판의 스프링백 제어에 유용한 성형조건을 도출하였다.

(1) 본 연구에서 사용된 TRIP60 강판은 균일연신이 비교적 크기 때문에 강도대비 성형성이 우수한 편이나 35Kg 급 고장력 강판에 비해 성형한계가 약 10% 정도 낮게 나타난다.

(2) 고강도 강판인 TRIP60 은 성형성이 낮기 때문에 BHF의 제어범위가 적고, 스프링백의 제어효과도 매우 낮은 수준이다.

(3) 기존연구 및 산업현장에서 적용되고 있는 스크랩 최소화 관점의 초기블랭크 설계는 비틀림 제어에 효과적이거나 벽젓힘은 오히려 증가시키는 경향을 보인다.

(4) 드로우비드 효과를 고려한 최적형상의 초기 블랭크 설계는 비틀림뿐만 아니라 벽젓힘에 있어서도 스프링백 제어효과가 우수함을 확인하였다.

후기

본 연구는 과학기술부 중점국가연구개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) Yoshihiro Tomita and Takeshi Iwamoto, 1995, "Constitutive modeling of trip steel and its application to the improvement of mechanical properties", Int. J. Mech. Sci. Vol. 37, No. 12, pp. 1295~1305.
- (2) He, N. and Wagoner, R. H., 1996, "Springback simulation in sheet metal forming", NUMISHEET '96, pp. 308~315.
- (3) Leu, Daw-Kwei, 1997, "A simplified approach for evaluation bendability and springback in plastic bending of anisotropic sheet metals", Journal of Materials Processing Technology. Vol. 66, pp. 9~177.
- (4) Samuel, M., 2000, "Experimental and numerical prediction of springback and side wall curl in U-bendings of isotropic sheet metals", Journal of Materials Processing Technology. Vol. 1.5, pp. 382~393.
- (5) Hazek, V. V. and Lange, K., 1990, "Use of Slip Line Field Method in Deep Drawing of Large Irregular Shaped Components", Proc. of 7th NAMRC, Ann Arbor, Michigan, pp. 65~71.
- (6) Chu, J. Y. and Dou, A. P., 1990, "A Software System for Designing Reasonable Blank for Box-shaped Deep-drawn Articles", Proc. of ICTP, Vol.3, pp. 1319~1324.
- (7) 이진희, 강범수, 김병민, 1995, "강-소성 유효요



Bottom

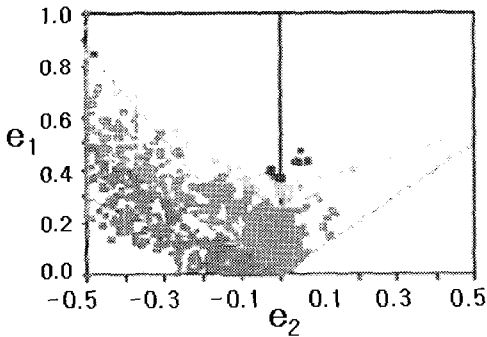


Fig. 11 Formed shape and formability of the optimized blank with drawbead effects

Table 4 Comparison of Springback amounts

Blank Type	Optimized Blank	Optimized Blank with Drawbead Effect
Twist	1.0°	1.0°
Wall Curl	2.9°	2.5°

- 소 해석에서의 3 차원 역추적 기법에 관한 연구", 한국소성가공학회지, 제 4 권, 제 3 호.
- (8) Barlat, F., Chung, K. and Richmond, O., 1994, "Anisotropic Plastic Potentials for Polycrystals and Application to the Design of Optimum Blank Shapes in Sheet Forming", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol.25A, pp. 1209~1216.
- (9) 김세호, 허 훈, 2002, "직접미분 설계민감도 해석을 이용한 박판금속성형 공정변수 최적화 - 설계민감도 해석", 대한기계학회 논문집 A, Vol. 26, No. 11, pp. 2245~2252.
- (10) 김세호, 허 훈, 2002, "직접미분 설계민감도 해석을 이용한 박판금속성형 공정변수 최적화 - 공전변수 최적화", 대한기계학회 논문집 A, Vol. 26, No. 11, pp. 2262~2269.
- (11) Lee, C. H. and Huh, H., 1997, "Blank Design and Strain Prediction of Automobiles Stamping Parts by an Inverse Finite Element Approach", J. Mat. Proc. Tech. Vol. 63, pp. 645~650.
- (12) Iseki, H. and Sowerby, R., 1995, "Determination of the Optimum Blank Shape when Deep Drawing Non-axisymmetric Cups Using a Finite Element Method", JSME International Journal. Series A, Vol. 38, No 4, pp. 125~135.
- (13) Kim, J. Y., Kim, N. S. and Huh, M. S., 1998, "Optimum Blank Design of Automobile Sub-Frame", Korean Society for Technology of Plasticity Spring Annual Meeting. pp. 185~195.
- (14) 심현보, 손기찬, 황현태, 2000, "민감도법을 이용한 최적블랭크 설계법의 일반적인 모양의 금형에서 적용", 한국소성가공학회지, 제 9 권, 제 3 호.
- (15) 양우열, 이승열, 금영탁, 2002, "스프링백 저감을 위한 초기블랭크 설계", 한국자동차공학회지, 추계학술대회 초록집, p. 509.
- (16) 양우열, 이승열, 금영탁, 2003, "스프링백 저감을 위한 초기블랭크 설계", 한국소성가공학회지, 제 12 권, 제 3 호, pp. 208~213.