

## 스프링백 모드분류를 통한 박판 S-rail 성형공정의 형상정밀도 고찰

정대근<sup>1</sup> · 김세호<sup>#</sup> · 김민석<sup>2</sup> · 이태길<sup>3</sup> · 김흥규<sup>4</sup>

### Investigation of Shape Accuracy in the Forming of a Thin-walled S-rail with Classification of Springback Modes

D. G. Jung, S. H. Kim, M. S. Kim, T. G. Lee, H. K. Kim

(Received July 30, 2013 / Revised October 23, 2013 / Accepted November 4, 2013)

#### Abstract

This paper aims to evaluate quantitatively the springback characteristics that evolve in the sheet metal forming of an S-rail in order to understand the reasons of shape inaccuracy and to find a remedy. The geometrical springback is classified into six modes: angle change of punch and die shoulders, wall curl, ridge curl, section twist, and axial twist. The measuring method for each springback mode is suggested and quantitative measurements were made to determine the tendency towards shape accuracy. Forming experiments were conducted with four types of steel sheets that have different tensile strengths, which were 340MPa, 440MPa, 590MPa and 780MPa, in order to evaluate the effect of the tensile strength and the bead shape on the springback behavior. Springback tendencies show that they are greatly affected by the tensile strength of the sheet and the shape of the tools. Almost all springback modes except the section twist and the axial twist show a linearly increasing trend as the tensile strength of the sheet increases. The results can be used as basic data for design and for compensation of the press die geometry when forming high strength steels which exhibit large amounts of springback.

**Key Words** : S-rail, UTS(Ultimate tensile strength), Springback Mode, Shape Accuracy, High Strength Steel Sheet

## 1. 서 론

최근 차량설계 시 연비향상의 필요성과 환경오염 저감을 위한 배기가스 규제 강화로 인해 차체 경량화가 주요 이슈로 대두되고 있다. 경량화를 위한 하나의 방안으로서 고강도 강판을 적용하는 사례가 점점 증가하고 있는 추세이다. 고강도 강판을 사용할 경우 성형성의 열화 및 과도한 양의 스프링백에 의한 형상불량의 문제가 대두되고 있어 성형공정 설계 시에 이러한 문제의 해결을 위한 방안이 필요

하다.

고강도 강판을 사용한 프레스성형 부품에서 발생하는 스프링백 거동에 대해서는 많은 연구가 수행되어 왔다. Kim 등[1]은 스프링백 특성평가를 위해 자동차용 일반 냉연강판 2 종의 재료를 사용하여 NUMISHEET'96[2]에 제시된 S-rail 금형을 제작하고 성형시험과 유한요소해석의 스프링백 특성을 비교하였으며, NUMISHEET2008[3]의 벤치마크 문제에서는 S-rail 성형 시의 소재, 드로우비드 형상 이 스프링백에 미치는 영향을 고찰하였다.

1. ㈜동희산업 기술연구소

2. ㈜트리니티 엔지니어링

3. 대구대학교 대학원 기계공학과

4. 국민대학교 자동차공학과

# Corresponding Author : School of Mechanical and Automotive Engineering, Daegu University, E-mail: mvksh@daegu.ac.kr

판재의 프레스성형 부품에서 나타나는 스프링백 거동은 그 형상 특성에 따라 기하학적 모드로 분류할 수 있다. 이에 관한 연구로서 Takamura 등[4]은 초고강도강판을 사용한 U-드로우 굽힘 시험 및 유한요소해석을 수행하고 단면 비틀림모드(section twist mode)를 분석하였고, Guler 등[5]과 Chen 등[6]은 U-드로우 굽힘해석을 수행하고 스프링백, 벽휨(wall curl) 모드에 대한 분석을 하였다.

본 논문에서는 다양한 인장강도를 갖는 차체용 강판을 대상으로 S-rail 성형품에서 발생하는 스프링백 특성에 대해 정량화를 수행하였다[7]. S-rail 성형을 위한 제품 및 금형은 NUMISHEET2008 BM2 에서 제시된 설계에 따라 제작되었다. 소재강도, 드로우비드, 형상특성에 따른 스프링백 발생경향을 정량적으로 분석하여 양산부품 성형시 발생 예상되는 형상불량 문제에 체계적으로 대응할 수 있도록 하였다.

## 2. S-rail 금형 및 성형시험

본 논문의 대상인 S-rail 부품은 대략적으로 Fig. 1에 도시한 치수로 제작되며, 이를 성형하기 위해 NUMISHEET2008-BM2[3]의 조건을 참조하여 금형을 설계하고 제작하였다. 제품을 제작하기 위한 S-rail 금형 형상 및 치수는 Fig. 2와 같다. 성형성을 고려하여 초기 블랭크는 와이어 절단가공으로 S 형태로 제작하였고, 블랭크의 폭방향이 소재의 압연방향과 일치하도록 하였다. 드로우 굽힘 변형만을 하게 되는 벤치마크 예제와는 달리 제품 길이방향의 블랭크를 길게 전단하여 성형 후 벽부에 소재가 남도록 하는 반개형(semi-open type) 성형을 수행하였다. 양산부품의 성형과 유사하게 길이방향 유입 저항력 발생으로 드로우 굽힘공정보다 다양한 모드의 스프링백 현상을 얻을 수 있다.

제작된 S-rail 성형용 금형세트를 Fig. 3와 같이 300톤 유압식 프레스에 설치하여 S-rail 성형시험을 수행하였다. 성형시험에서 상형의 하강속도는 5mm/min으로 하였으며, 펀치행정이 40mm가 될 때까지 성형을 수행하였다. 블랭크 홀딩력은 모든 강판에 대하여 동일한 값인 90kN을 부과하였으며, 금형과 강판 사이에 윤활을 실시하지 않았다.

드로우비드가 스프링백에 미치는 영향을 파악하기 위하여 드로우비드 2종을 탈부착식으로 제작하였으며, 드로우비드 형상 및 주요치수는 Fig. 4와 Table 1과 같다.

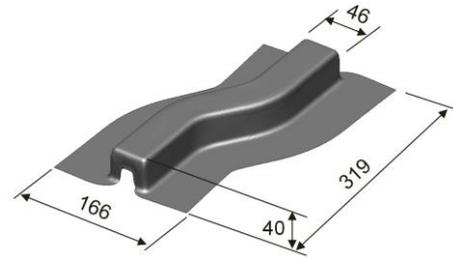
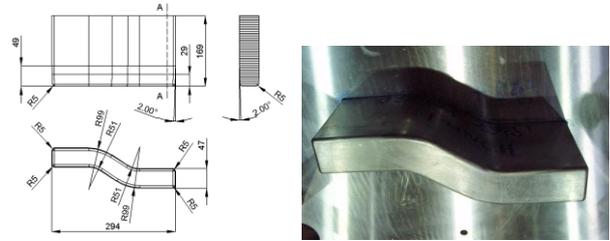
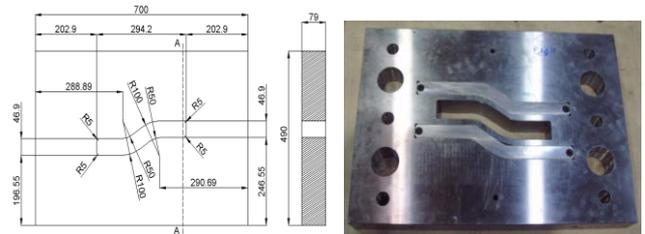


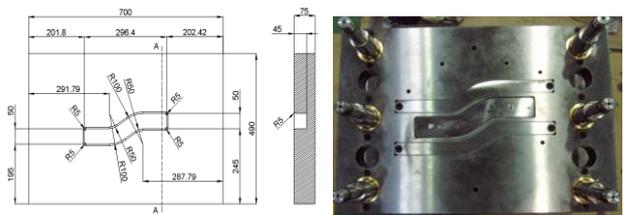
Fig. 1 Shape and dimension of the S-rail



(a) punch



(b) blank holder

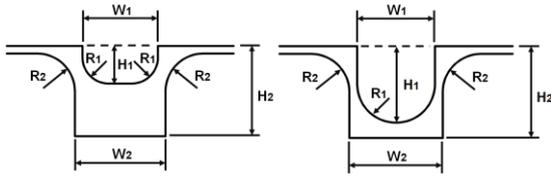


(c) die

Fig. 2 Dimension and shape of the tools used for forming the S-rail



Fig. 3 Tool setup in the hydraulic press for forming the S-rail



(a) rectangular bead (b) circular bead

Fig. 4 Shape of the draw-beads used for forming the S-rail

Table 1 Dimensions of the used draw-beads

No	Bead type	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
1	Rectangular	10	12	5	12	3.5	5
2	Circular	10	12	10	12	5	5

Table 2 Mechanical properties of the steel sheets used for the forming process of the S-rail

	Unit	SGARC 340	SGARC 440	SGAFC 590DP	SPFC 780DP
YS	MPa	234	239	442	533
UTS	MPa	353	472	632	816
R <sub>avg</sub>	-	1.616	0.934	0.697	0.610
E <sub>f</sub>	%	31.4	24.2	17.6	16.0
FLD <sub>0</sub>	-	0.277	0.256	0.191	0.166

소재강도가 스프링백에 미치는 영향을 파악하기 위하여 인장강도가 상이한 SGARC340, SGARC440, SGAFC590DP, SPFC780DP 4종의 강판을 사용하였다.

두께는 1mm로 모두 동일하였다. 강판의 기계적 물성은 인장시험 및 성형성 시험을 통해 구하였으며 그 값을 Table 2에 나타내었다.

### 3. S-rail 성형시험 결과 분석

#### 3.1 스프링백 모드 분류

본 논문에서는 3 차원적으로 발생하는 스프링백 거동을 정량적으로 파악하기 위하여 Fig. 5 에 도시한 바와 같이 스프링백을 기하학적 형상에 따라 대표적인 6 개 모드로 분류하고 각 모드에 대하여 정량적인 측정을 실시하였다. 스프링백 모드는 펀치부 각변화(angle change of the punch shoulder,  $\theta_1$ ), 플랜지부 각변화(angle change of the die shoulder,  $\theta_2$ ), 벽휨(wall curl,  $\rho$ ), 상부처짐(ridge curl,  $\delta$ ), 단면비틀림(section twist,  $\theta_s$ ), 축비틀림(axial twist,  $\theta_a$ )으로 분류하였다.

#### 3.2 스프링백 모드 측정법

시험에서 얻은 S-rail 의 형상을 측정하기 위하여 Fig. 6 에 도시한 바와 같이 고정구(checking fixture)를 설계 및 제작하여 형상정밀도 측정을 위한 제품 고정점을 지지하도록 하였다. Fig. 7 에 도시한 것과 같이 고정구에 장착된 S-rail 제품의 형상 데이터를 광학식 3 차원 스캐너를 이용하여 측정하였다. 측정결과를 이용하여 Fig. 8 에 도시한 9 개 단면에서 스프링백 특성을 정량화하였다.

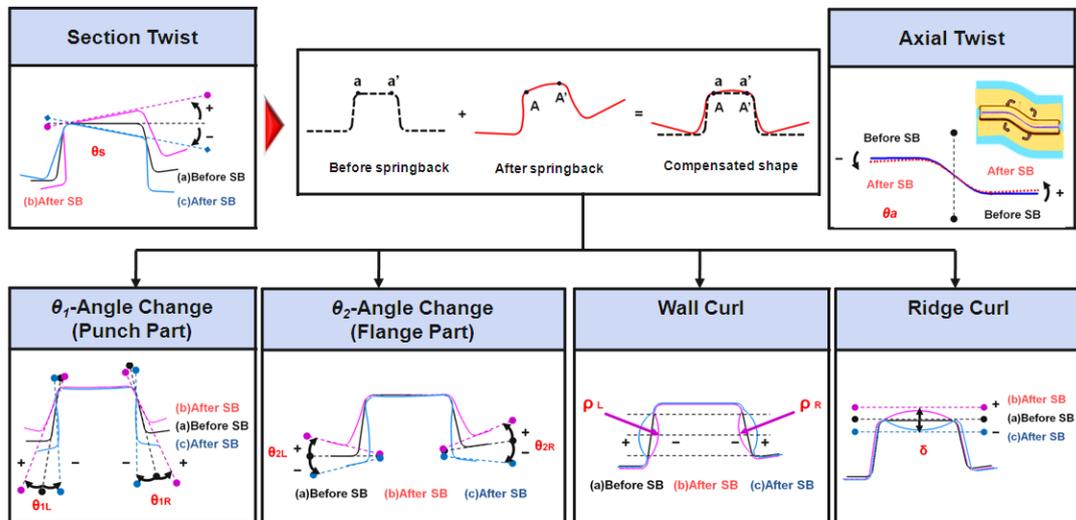
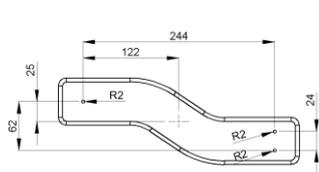


Fig. 5 Classification of typical springback modes in the hat type product



(a) shape of the checking fixture



(b) location of fixing holes



(c) fixed prototype

Fig. 6 Shape of the checking fixture used to measure 3D shape of the S-rail



Fig. 7 Measurement of the 3-dimensional shape of the S-rail with 3D optical scanner

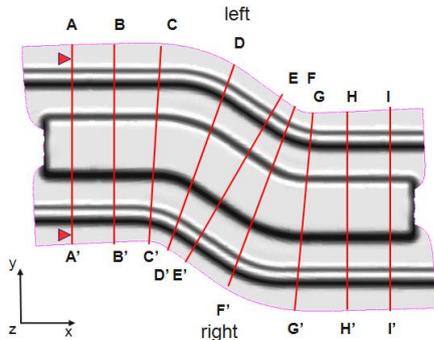
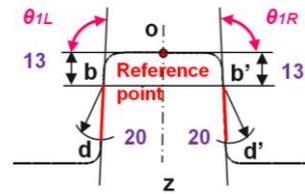
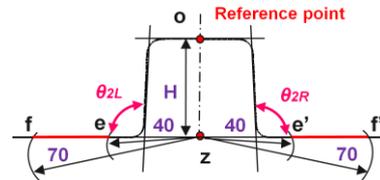


Fig. 8 Measuring sections for the springback amount of the S-rail

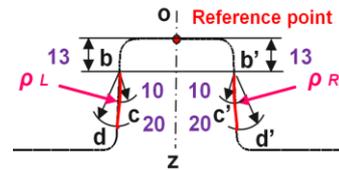
본 논문에서는 기존 U-드로우 굽힘공정에서 사용되고 있는 스프링백 평가기준을 참조하여 모자형상(hat type) 부품의 3차원 스프링백 측정 방법을 Fig. 9와 같이 제안하였으며, 측정된 스프링백 양을 정량적으로 비교하였다.



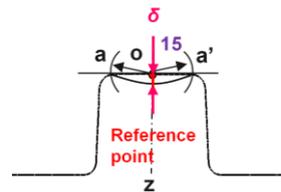
(a) angle change of the punch shoulder:  $\theta_{1L}$  and  $\theta_{1R}$



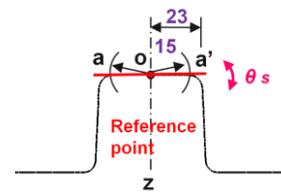
(b) angle change of the die shoulder:  $\theta_{2L}$  and  $\theta_{2R}$



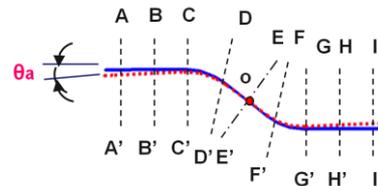
(c) wall curl:  $\rho_L$  and  $\rho_R$



(d) ridge curl:  $\delta$



(e) section twist:  $\theta_s$



(f) axial twist:  $\theta_a$

Fig. 9 Measuring methods with geometric information for each springback mode of the S-rail

### 3.3 스프링백 모드 결과 분석

성형시험에 의해 얻어진 S-rail 성형품을 Fig. 10 에 나타내었으며, SPFC780DP 강판에 원형 비드를 적용한 경우 벽면에서 파단이 발생한 것을 제외하면 나머지 경우에는 불량 없이 성형이 가능하였다. 파단이 발생한 경우는 비드 높이가 사각 비드에 비해 5mm 이상 높으며, 과도한 비드 높이에 의하여 소재의 유입이 원활하지 않아 파단이 발생한 것으로 보인다. 4종의 강판에 대해 스프링백 모드별로 각 단면마다 측정하였으며, 비드가 없는 경우와 사각 및 원형 비드를 적용한 경우의 결과를 각각 Fig. 11~Fig. 13에 나타내었다. 스프링백 모드 전체에서 소재강도가 증가할 때 스프링백의 크기가 증가함을 알 수 있으며, 드로우 비드 저항력이 큰 원형 비드를 적용한 경우가 스프링백이 가장 작게 발생한 것을 확인할 수 있다.

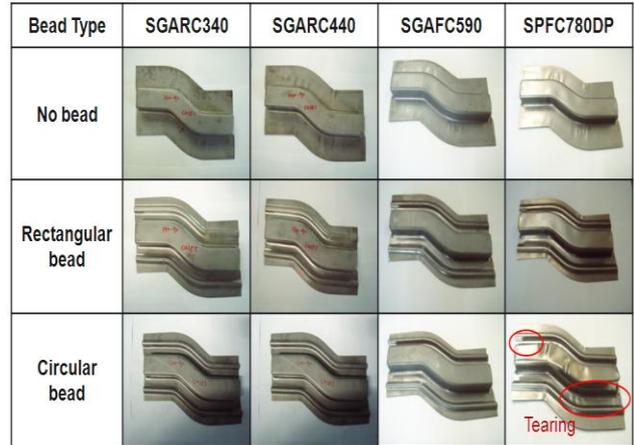


Fig.10 Deformed shape of the blank in the forming with four types of steel sheet and three types of draw-beads

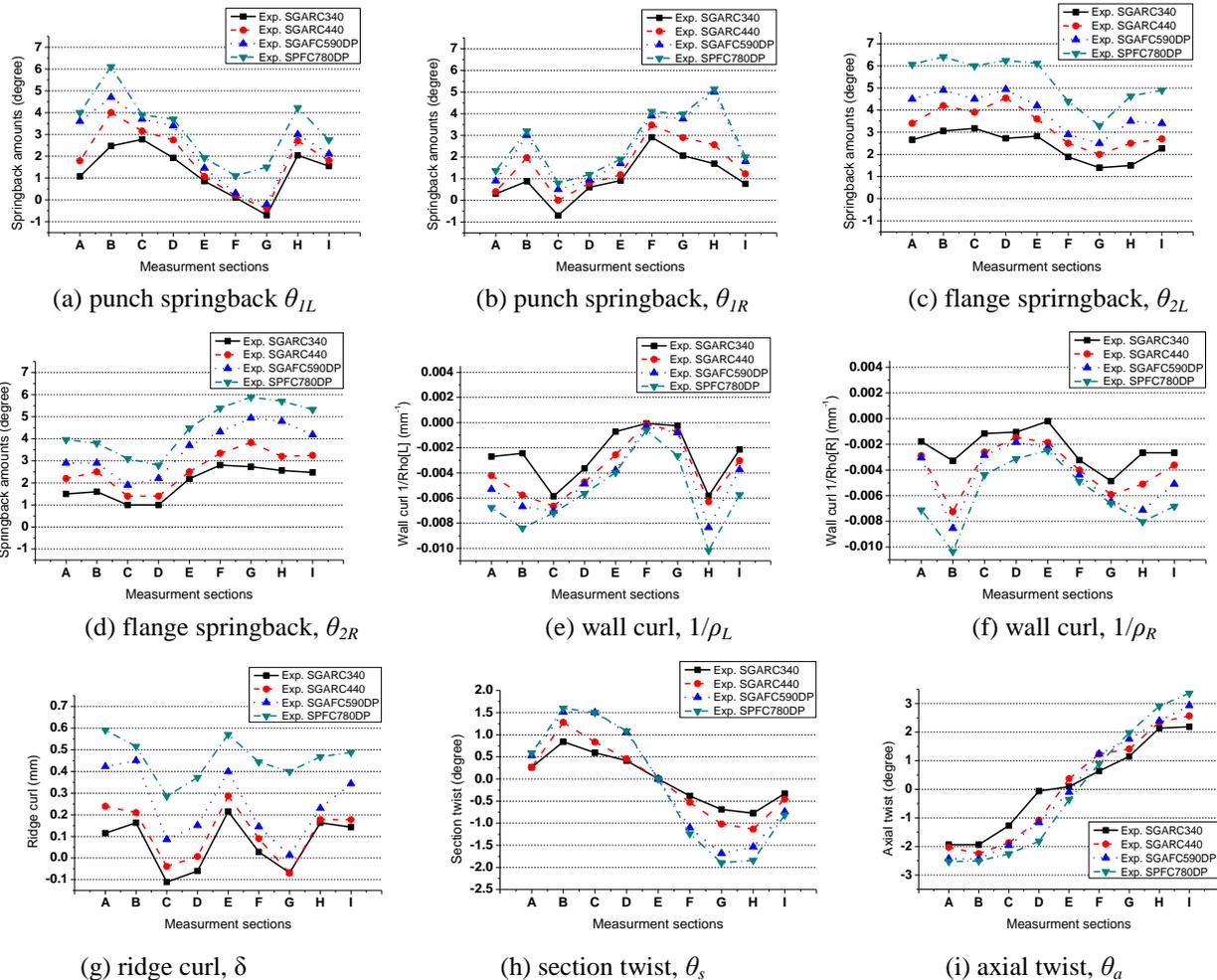
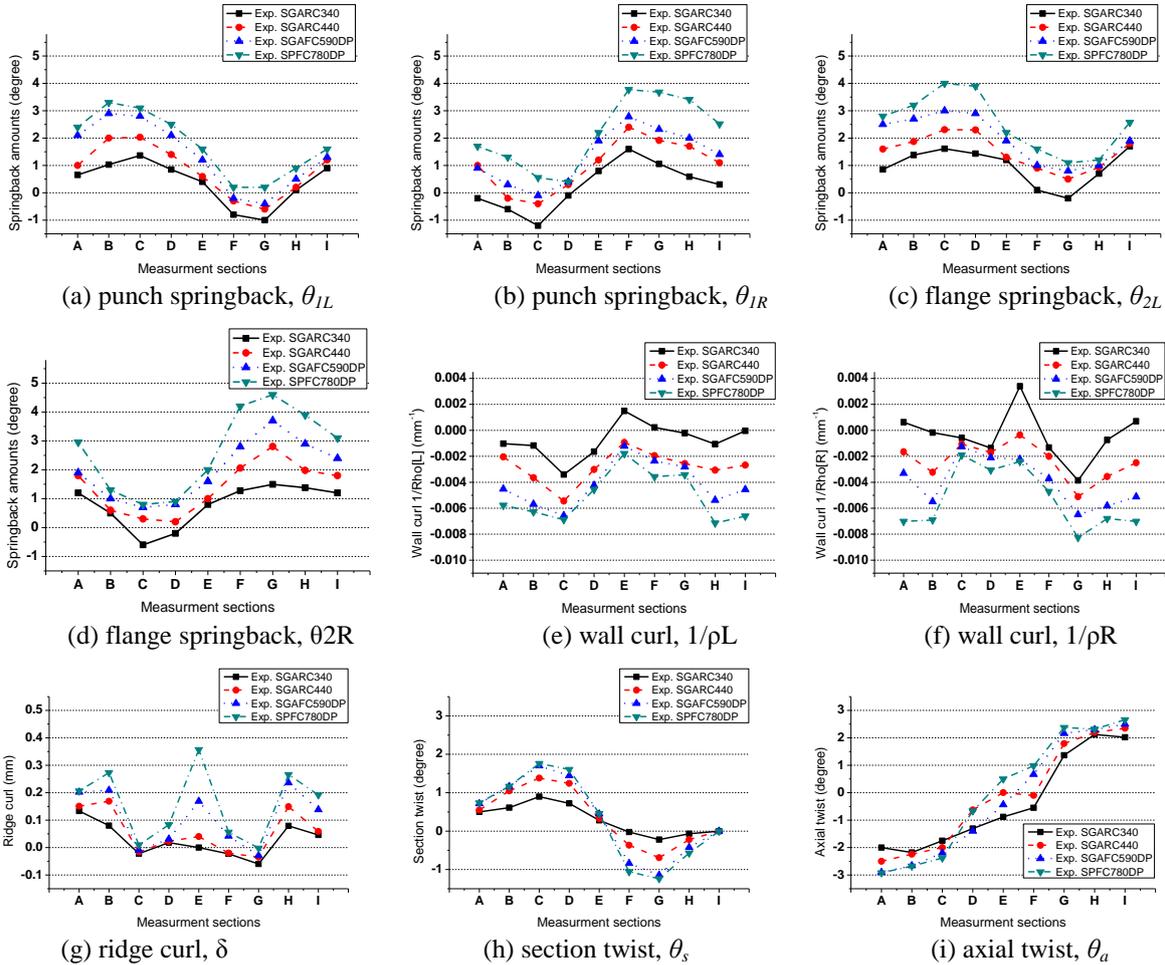


Fig.11 Quantitative amounts of springback modes with respect to UTS of steel sheets obtained from the experiment without draw-bead



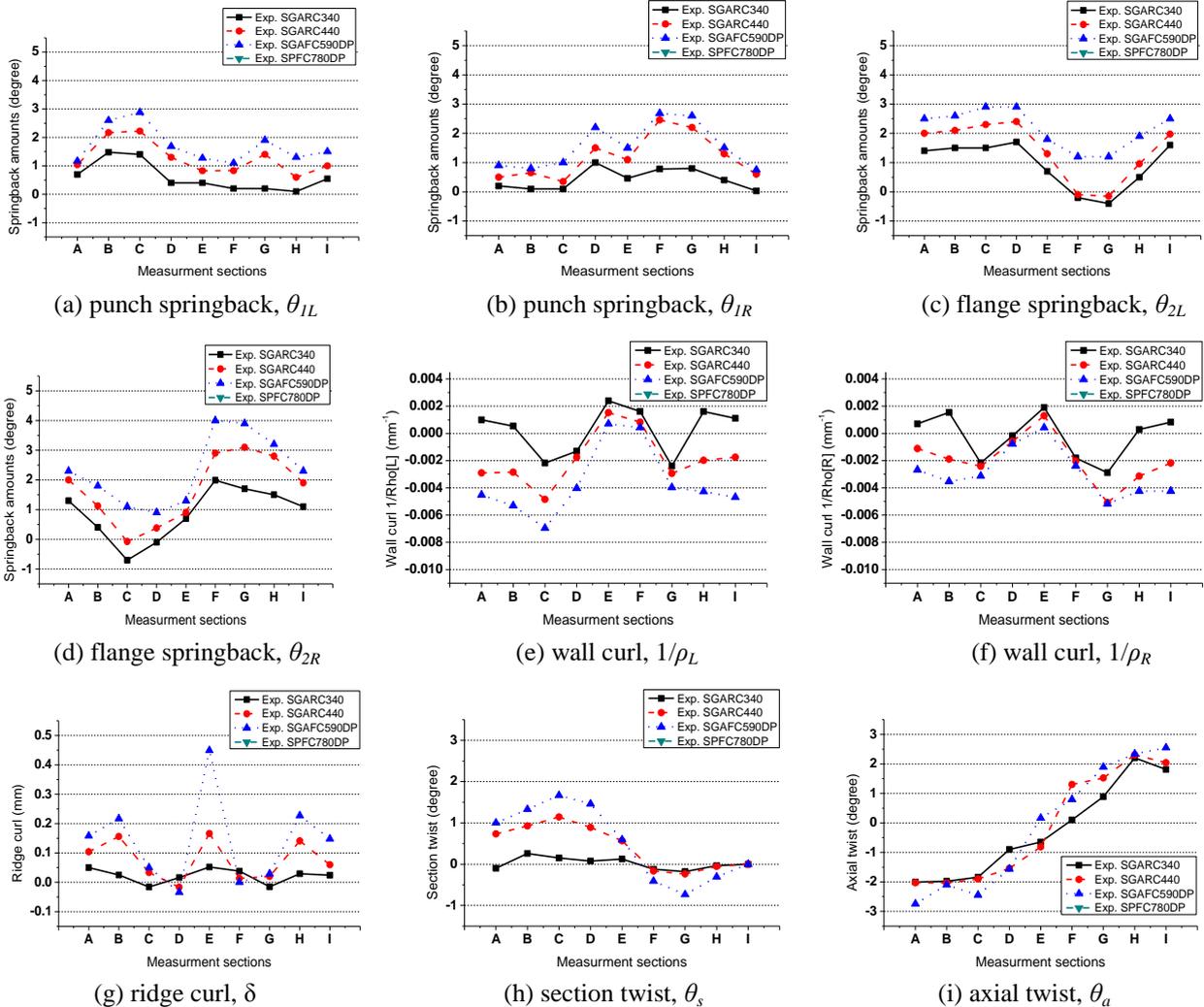
**Fig.12 Quantitative amounts of springback modes with respect to UTS of steel sheets obtained from the experiment with the rectangular draw-bead**

Fig. 11(a)에 도시한 좌측 편치부 스프링백 결과를 살펴보면, 단면 B-B'에서의 스프링백이 가장 큰 경향을 나타내었으며, 최대값은 SPFC780DP 소재의 경우 약 6.1°였다. B-B'에서의 스프링백이 상대적으로 큰 것은 S-rail 형상에서 부가변형이 작은 직벽구간이며, 종방향 인장력을 받는 단면 A-A' 측과 곡선의 플랜지 구간에 인접한 단면 C-C'보다 작은 인장력을 받기 때문이다. 단면 G-G'에서 스프링백양이 최소값을 보이는데, 이는 큰 인장력을 받는 신장 플랜지부의 영향인 것으로 보인다. Fig. 11(b)에는 우측 편치부 스프링백 측정 결과를 비교하였다. 전체적으로 좌측 편치부와 반대의 경향을 보였으며, 단면 H-H'에서 5.1°의 최대값을 가진다. Fig. 11(c)와 (d)에는 플랜지부 스프링백 측정 결과를 나타내었다. 좌측과 우측의 플랜지부 스프링백 양은 SPFC780DP 소재의 경

우 각각 6.4°와 5.9°로 나타났다.

Fig. 11(e)와 (f)는 좌우측 편치부 벽힘을 비교하였다. 단면 B-B'와 H-H'에서 벽힘이 크게 나타나며, 제품의 양끝부분과 중앙부에서 벽힘 양이 감소하였다. 최대 벽힘 양은 SPFC780DP 소재의 경우 -0.01 mm<sup>-1</sup>로 측정되었으며, 부가적인 인장력을 받지 못하고 굽힘과 퍼짐이 반복된 직벽구간인 단면 B-B'와 H-H' 부근에서 발생하였다.

Fig. 11(g)에 편치 상부처짐의 결과를 도시하였다. 단면 A-A', E-E', H-H'에서 최대 0.6mm의 들림 현상이 발생하였으며, 단면 C-C'와 G-G' 곡물부에서 약간의 상부처짐이 발생하였다. 길이 방향 끝부분의 플랜지가 직벽부에 남아 두꺼워지며 압축변형되고, 인장력에 의한 퍼짐이 발생하지 못하게 되며 블랭크가 편치에 접촉하지 못하는 부위가 발생하게 되어



**Fig.13 Quantitative amounts of springback modes with respect to UTS of steel sheets obtained from the experiment with the circular draw-bead**

여육 발생에 의한 상부 들림이 발생하게 된 것으로 판단된다. 단면 C-C'와 G-G'에서는 과도한 블랭크 유입이 생기면서 펀치 라운드 부의 상부처짐이 발생한 것으로 평가된다.

Fig. 11(h)에 단면 E-E'의 비틀림량을 0°로 보정후의 단면 비틀림의 결과를 도시하였다. 단면 비틀림은 단면 C-C'에서 최대 1.5°가 발생하였으며, 단면 G-G'에서 -1.9°가 발생하였다. 단면 비틀림의 경향은 평면방향 곡률부에서 인장 및 압축으로 인하여 증가하게 되는 것으로 이는 기하학적인 형상에 영향을 받은 것으로 평가된다. Fig. 11(i)는 축 비틀림의 결과를 비교하였다. 단면 E-E'를 중심으로 소재강도가 증가할수록 단면 A-A'와 I-I'에서 비틀림량이 미소하

게 증가하고 있다. 축 비틀림의 경우 소재강도와 드로우비드 형상에 큰 영향을 받지 않는 것으로 평가되며 축 비틀림 또한 단면 비틀림과 마찬가지로 기하학적 형상의 영향으로 인하여 발생한 것으로 판단된다.

Fig. 12와 Fig. 13에 도시한 바와 같이 드로우비드를 추가한 경우 유입저항의 증가에 의하여 전체적으로 스프링백 양이 감소함을 확인할 수 있다. 원형비드의 경우가 사각형 비드의 스프링백 양보다 작게 측정되었으며, 이는 원형 비드 깊이가 더 깊어 더 큰 유입저항을 부과하였기 때문이다. 단, 축 비틀림량은 비드 추가에 따른 영향이 매우 작게 나타났다.

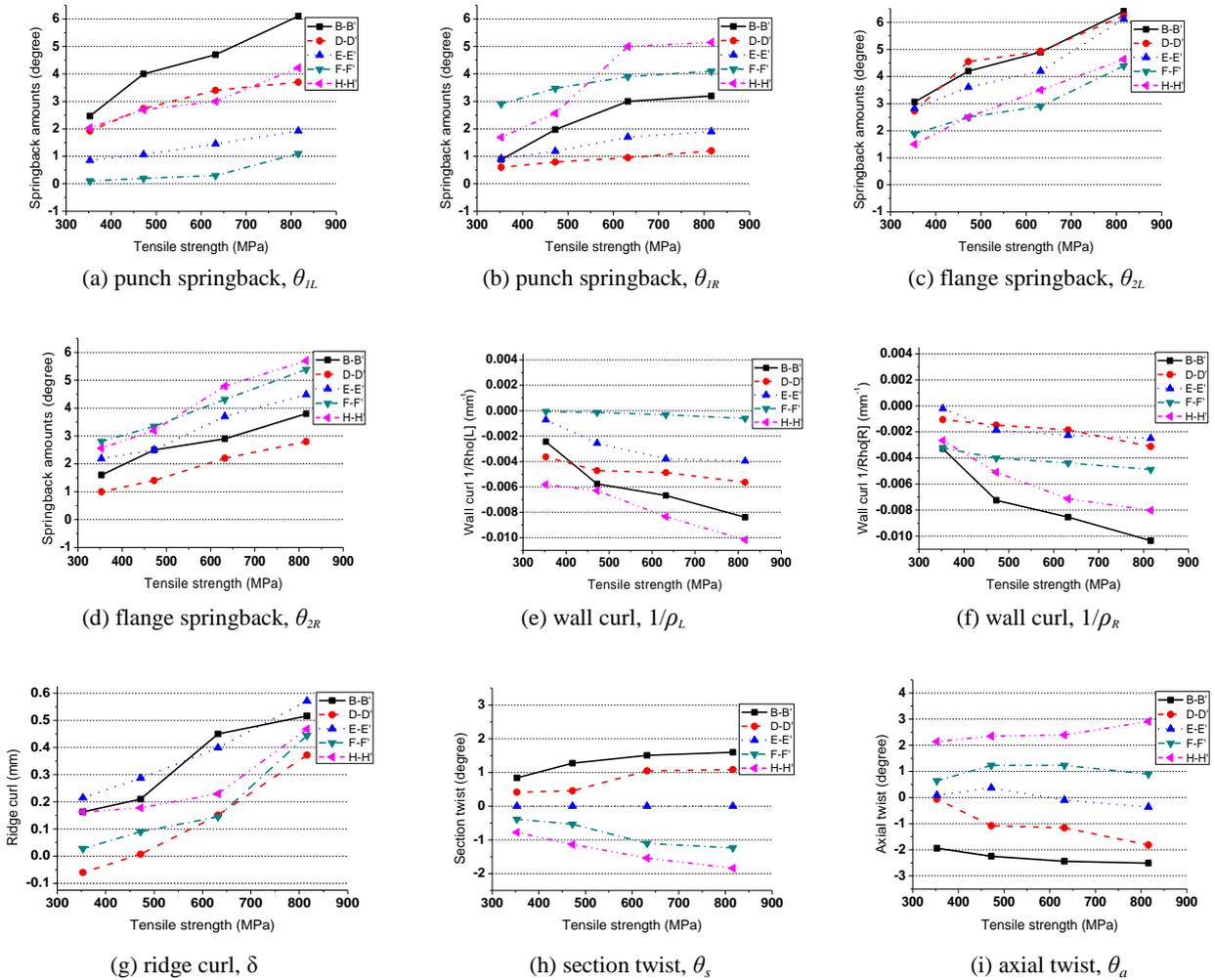


Fig.14 Variation of springback amounts with respect to UTS of steel sheets for the S-rail without draw-bead

### 3.4 소재강도 영향의 정량비교

소재강도가 스프링백 양에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 드로우비드가 없는 경우에 대하여 3.3 절에서 비교한 단면에서 스프링백 정량값의 모드 변화를 비교하였다.

Fig. 14(a)~(d)에는 펀치부와 플랜지부의 스프링백량을 비교하였으며, 대부분의 경우 소재강도에 따라 스프링백 양은 증가하고 있다. Fig. 10(e)와 (f)에 좌우측 벽힘을 비교하였고, 소재강도에 따라 낮은 기울기로 벽힘량의 증가를 보이고 있다. 직선부인 단면 B-B'와 H-H'에서 벽힘량이 가장 크게 나타나고 있으며 소재강도에 대한 경향도 뚜렷하게 나타나고 있다. 평면방향 곡률이 존재하지 않는 직선부의 경우 인장력이 크게 부과되지 않는 U-굽힘 변형을 하게 되며, 다이 어깨부를 통과하는 블랭크가

굽힘과 펴짐을 반복하기 때문에 발생하는 현상으로 판단된다.

Fig. 14(g)에 소재강도에 따른 상부처짐량을 비교하였으며, 상부처짐량 역시 소재강도에 선형적으로 비례하여 증가하고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 14(h)에는 단면 비틀림의 결과를 비교하였다. 소재강도에 따라 선형적인 관계를 가지고 있음을 파악할 수 있다. Fig. 14(i)에 측 비틀림량 변화를 비교하였으며 소재강도 증가와 큰 연관관계가 없음을 확인하였다. 측 비틀림을 결정하는 주요인자는 제품의 기하학적 형상이라는 것을 유추할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 NUMISHEET2008 BM-02 모델로 제

시된 내용을 토대로 S-rail 성형용 금형 세트를 제작하고 성형시험을 통하여 소재강도와 형상에 따른 스프링백 경향 및 발생 요인을 분석하였으며, 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 3 차원 형상에서 발생하는 스프링백 문제를 정량적으로 파악하기 위하여 스프링백의 기하학적 형상에 따라 대표적인 6 가지 모드를 제안하였다. 스프링백 평가의 표준부품인 S-rail 을 대상으로 소재강도, 금형형상에 따라 성형시험을 수행한 이후 제안된 스프링백 측정기법에 따라 측정하였다.

(2) 소재강도, 드로우비드 등 금형형상에 따라 성형시험에서 얻은 스프링백을 정량적으로 비교하였으며, 제품 형상이 스프링백에 미치는 영향을 분석하였다. 펀치부, 플랜지부 스프링백, 벽힘은 소재강도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보인 반면 비틀림 등은 소재강도에 덜 민감한 경향을 보였다.

(3) 멤버류 성형부품에서 발생하는 표준 변형모드를 재현할 수 있는 S-rail 성형시험을 통하여 박판부품의 스프링백 경향을 정량화하였으며, 추후 양산부품 금형설계에 표준적으로 적용할 수 있는 형상정밀도 데이터를 구축할 수 있음을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부 산업원천기술개발사업의 “자동차 핵심부품 생산기반공정 플랫폼 기술” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- [1] H. J. Kim, I. J. Kwon, J. K. Rim, 2001, Evaluation of the Springback Characteristics for Automotive Steel Sheets by the S-rail Forming Test, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 21, pp. 287~294.
- [2] J. F. Duarte, A. B. Rocha, 1996, Proc. NUMISHEET 1996(editor: J. K. Lee, G. L. Kenzel, R. H. Wagoner), Ohio State University, USA, p. 336.
- [3] K. Roll, K. Wiegand, P. Hora, 2008, Proc. NUMISHEET2008, Part B(P. Hora, W. Wolk, K. Roll, B. Griesbach, L. Kessler, W. Hotz), Institute of Virtual Manufacturing, ETH, Zurich, pp. 45~111.
- [4] M. Takamura, A. Fukui, T. Hama, Y. Miyoshi, M. Sakata, H. Sunaga, A. Makinouchi, M. Asakawa, 2010, Twisting in Curved Hat Channel Products made of High Strength Steel Sheet, *Steel Research Int.*, Vol. 81, pp. 821~824.
- [5] M. A. Guler, F. Ozer, M. Yenice, M. Kaya, 2010, Springback Prediction of DP600 Steels for Various Material Models, *Steel Research Int.*, Vol. 81, pp. 801~804.
- [6] K. Chen, J. Lin, L. Wang, 2010, Influence of Mechanical Properties of AHSS on Springback in Sheet Forming, *Steel Research Int.*, Vol. 81, pp. 813~816.
- [7] D. G. Jeong, 2011, Analysis of Springback Mechanisms for the Improvement of the Shape Accuracy in the Stamping Process, M. S. Thesis, Daegu University, Gyongbuk, Korea.