

# 자동차 초고강도 강판 패널의 스프링백 저감에 관한 연구

김병규<sup>1</sup> · 이인석<sup>2</sup> · 김영탁<sup>#</sup>

## Study on the Springback Reduction of Automotive Advanced High Strength Steel Panel

B. G. Kim, I. S. Lee, Y. T. Keum

(Received July 1, 2009 / Revised August 25, 2009 / Accepted August 27, 2009)

### Abstract

The very big springback of advanced high strength steel(AHSS) sheets invokes undesired shape defects, which can be generally eliminated by die correction or process parameter control. The springback reduction by controlling the forming process parameters is easy for the application, but limited for the bulky achievement. In this study, the effective die correction method, which obtains the modification of tool shape from the relationship between die design variable and springback, is introduced and is applied to the TWB tool of automotive side rail to show the validity and usefulness. Among the die correction trials repeatedly performed, the first trial is carried out by correcting the tool shape to the opposite direction to the springbacks of several tool sections. Next trials are done by extrapolating the springbacks of among the original tool uncorrected and the tools corrected negative amounts of the springback and by finding tool shapes without springbacks. After the angle of side wall and radius of curvature of horizontal bottom floor are chosen as design variables in the tool design of side rail, the tool shape is corrected 3 times. The accuracy of final shape within the assembly limit of 1mm and the springback reduction of 75.8% compared to the uncorrected tool are achieved.

**Key Words** : Springback, Springback Reduction, Sheet Metal Forming, Springback Analysis, Side Rail, Die Correction

### 1. 서 론

최근 자동차 차체는 안정성 확보와 연비향상 및 엄격해지는 환경규제의 만족을 위해 초고강도 강판(Advanced High Strength Steel)을 사용한 경량화가 확대되고 있다. 하지만 초고강도 강판은 항복 응력이 크고 연신율이 작은 재료이기 때문에 성형성이 좋지 않고, 과대한 스프링백(Springback) 현상이 나타난다. 이러한 낮은 성형성으로 인해 높은 성형성이 요구되는 복잡한 형상의 부품 제조의 어려움과 과대한 스프링백 현상으로 치수 정밀도 불량률의 주요 원인이 되어 조립불량을 발생

시켜 초고강도강의 적용은 극히 제한적이다.

이러한 스프링백의 저감을 위한 방법으로는 블랭크 홀더력, 드로우비드 등의 공정 변수를 조절하는 방법과 금형을 보정하는 방법 등이 있다 [1~2]. 스프링백 저감을 위한 공정 변수의 조절은 쉽게 적용 할 수 있는 장점이 있으나 과대한 초고강도강판의 스프링백을 저감시키는 데에는 한계가 있다. 따라서 스프링백 해석으로 스프링백량을 예측하고 스프링백량 정도에 따라 금형 보정 상용프로그램을 이용한 금형 보정으로 스프링백량을 최소화하는 방법 등이 제안되고 있다[3]. 금형 보정값 결정을 위한 방법으로는 Karagillis &

1. 한양대학교 일반대학원, 자동차공학과

2. GM DAEWOO Die & Press

# 교신저자: 한양대학교 기계공학부, ytkeum@hanyang.ac.kr

Boyce등[4]은 Springforward를 제안하였고, Wagoner 등[5]은 변위조정법을 제안하였다.

본 연구에서는 초고강도 강판의 스프링백 저감을 위해 금형 설계 변수의 보정값과 스프링백과의 관계로부터 보정값을 도출하는 금형 보정 방법을 사이드 레일 TWB(Tailor Welded Blank) 후공정 금형에 적용하여 금형보정 방법의 타당성과 유용성을 스프링백의 저감량을 통해 검증하고자 한다.

## 2. 금형 보정

초고강도강판의 스프링백 저감을 위해 금형 보정 방법을 도입하였다. 금형 보정 절차는 Fig. 1과 같다. 우선 기존 금형의 스프링백 해석을 수행하고 금형보정의 용이성과 해석시간을 고려하여 여러 단면으로 나눈 금형 단면에서 2-D 보정값을 결정한다. 이 2-D 보정값을 기초로 금형 단면을 보정하고, 보정된 모든 금형 단면에서 스프링백 해석을 수행하며, 음의 스프링백량을 적용하여 금형 보정값을 결정한다. 보정값을 적용한 보정금형의 스프링백 해석으로 스프링백량을 확인하고, 스프링백량이 조립 허용 공차를 벗어나면 다시 보정값을 결정한다. 이런 반복 과정으로 스프링백량이 조립 허용공차 이내가 되는 최종 금형 형상을 찾는다.

금형 보정을 위한 금형 설계 변수 보정값의 결정 방법은 다음과 같다. 금형 단면의 2-D 보정값( $\alpha'_1$ )은 기존 금형의 스프링백 해석으로부터 얻은 단면에서의 스프링백량( $u'_0$ )의 음의 값이다. 또한 금형의 1차 보정값( $\alpha_1$ )은 Fig. 2에서 보는 바와 같이, 2-D 보정값( $\alpha'_1$ )을 적용한 금형 단면의 스프링백량( $u'_1$ )과 기존 금형의 스프링백량( $u_0$ )을 보간하여 얻어지는 스프링백량이 없는( $u=0$ ) 금형 설계 변수 값이다.

1차 금형보정 이후의 금형 보정값 결정 방법은 Fig. 3과 같다. 단면 스프링백 해석으로 구한 1차 보정값( $\alpha_1$ )을 적용한 금형의 스프링백 해석을 통해 스프링백량( $u_1$ )을 구하고, 1차 보정값( $\alpha_1$ ) 결정 방법과 같이, 기존 금형의 스프링백량( $u_0$ )과 선형보간하여 금형 설계 변수의 2차 보정값( $\alpha_2$ )을 결정한다. 2차 보정값을 적용한 보정 금형의 스프링백량( $u_2$ )이 조립 허용 공차를 벗어나면 기존 금형의 스프링백량( $u_0$ ), 1차 보정 금형의 스프링백량( $u_1$ ), 2차 보정 금형의 스프링백량( $u_2$ )을 최소사승법으로 보간하여 스프링백이 없는 3차 보정값( $\alpha_3$ )을 구한다. 이와 같이 보정값들을 금형 설계 변수 보정에 따른 스프

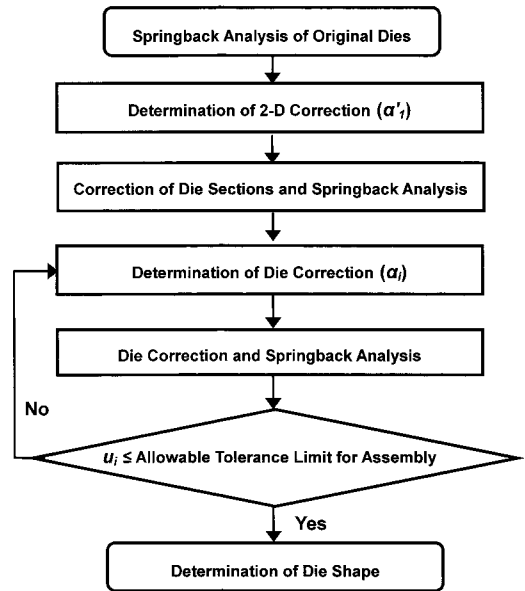


Fig. 1 Flow chart showing die correction procedure

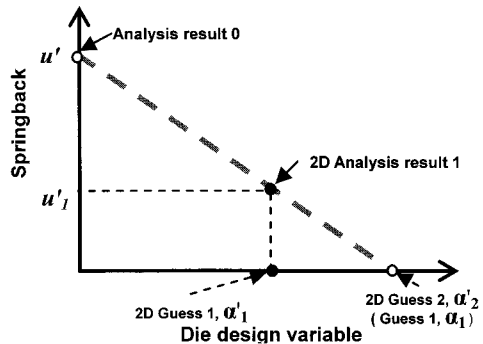


Fig. 2 Schematic view showing how to determine the first die design variable correction

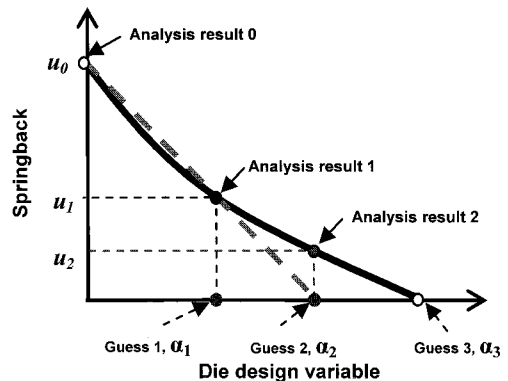


Fig. 3 Schematic view for determining die design variable without springback

링백량들의 보간을 통해 결정한다.

따라서 (i+1)번째 보정 금형 형상 ( $U'_{i+1}$ )은 기존 금형 형상 ( $U'$ )과 (i+1)번째 보정값 ( $\alpha_{i+1}$ )으로부터 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$U'_{i+1} = U' + \alpha_{i+1} \quad (1)$$

여기서 (i+1)번째 보정값 ( $\alpha_{i+1}$ )은 식(2)와 같다.

$$\alpha_{i+1} = \bar{\alpha} - \frac{\bar{u}}{\beta_{i+1}} \quad (2)$$

식(2)에서  $\bar{\alpha}$ 는 i 번째까지의 보정값 평균을 나타내고,  $\bar{u}$ 는 i 번째까지의 스프링백량의 평균치이다.  $\beta_{i+1}$ 는 식(3)과 같이 구할 수 있고, 보정값 ( $\alpha_{i+1}$ ) 계산을 위한 (i+1)번째까지 설계 변수 보정값과 스프링백량의 최소 자승 직선의 추정 기울기이다.

$$\beta_{i+1} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i u_i - n \bar{\alpha} \bar{u}}{\sum_{i=1}^n \alpha_i^2 - n \bar{\alpha}^2} \quad (3)$$

### 3. 적용

Fig. 4와 같이 사이드 레일의 드로우 공정(OP10), 트림·피어싱 공정(OP20), 플랜지업 공정(OP30), 캠 트림·피어싱 공정(OP40)의 프레스 성형에 대하여 각 공정별 연계된 전공정 해석을 수행하여 성형성 판단과 스프링백량을 확인하였다. 이를 기초로 앞서 제시한 금형 보정 방법을 사이드 레일 TWB 금형에 적용하여 스프링백의 저감을 확인하였다.

#### 3.1 성형 해석

성형해석 및 스프링백 해석을 위해 박판은 4 점 선형 셀 요소로 모델링하여 Table 1에 나타난 기계적 성질을 적용하였고, 박판 용접부의 기계적 성질은 고려하지 않았다. Table 2는 성형해석에 사용된 성형 조건을 나타낸다.

성형해석 결과 드로우 공정에서 두께 변형률의 최대값이 CR340에서 23.2%로 나타났다. 또한 주 변형률과 부 변형률 분포가 FLC의 안전영역 내에 위치하여 성형 안정성을 확인하였다.

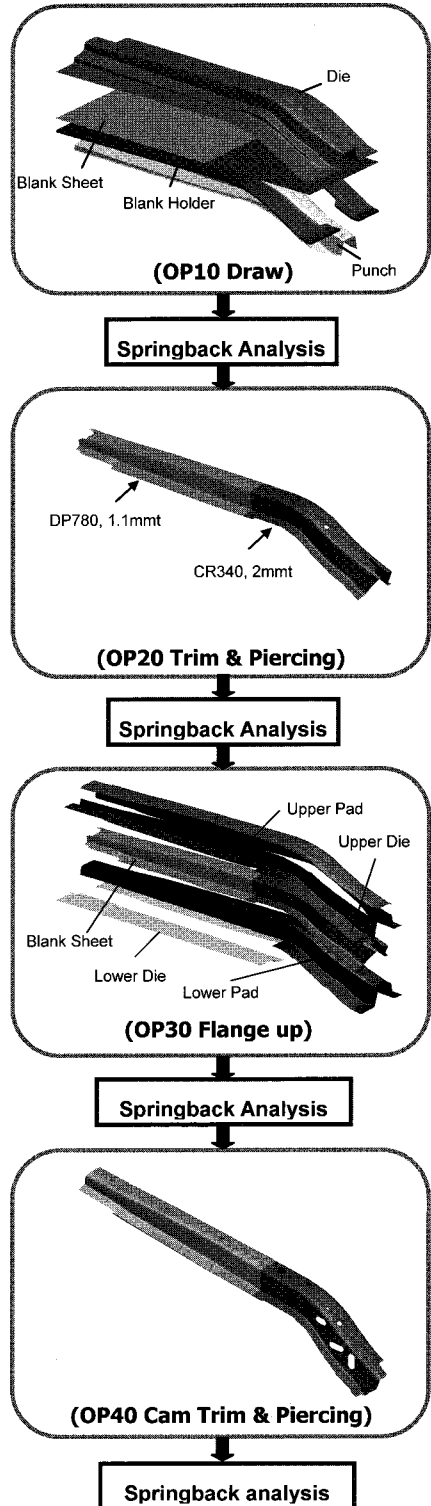


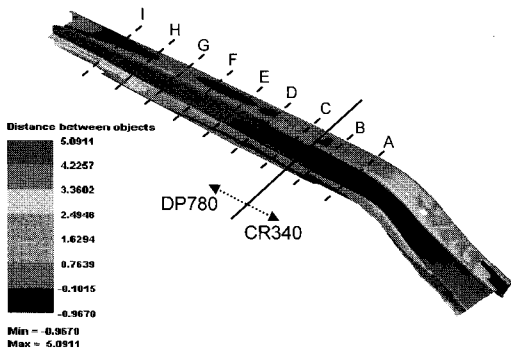
Fig. 4 Forming and springback analysis procedure

**Table 1 Mechanical properties of AHSS sheets**

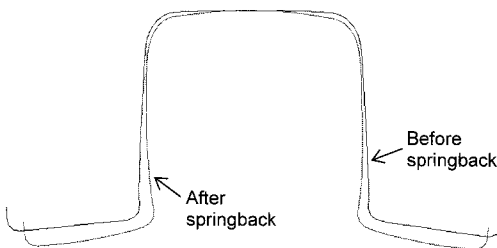
Material	DP780	CR340
Thickness (mm)	1.1	2
Yield stress (MPa)	587	380
Tensile strength (MPa)	783	495
Stiffness coefficient (MPa)	1229	782
Work hardening exponent	0.126	0.170

**Table 2 Forming parameters used in FE-analysis**

Friction coefficient	0.12
Blank holding force (OP10)	60ton
Flanging holding force (OP30)	35ton
Binding Velocity	2m/s
Forming Velocity	5m/s



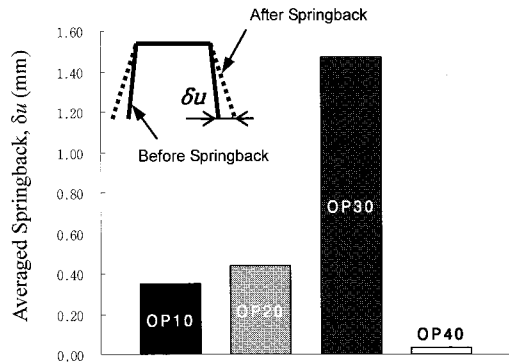
**Fig. 5 Springsbacks in OP30 operation**



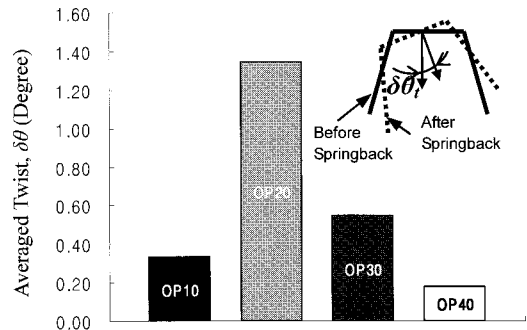
**Fig. 6 Comparison of deformed shape of section H before and after springback in OP30 operation**

### 3.2 스프링백 해석

각 공정별 성형해석 결과를 이용하여 스프링백 해석한 결과 드로우 공정에서는 플랜지의 들림 현상이 주로 발생하고, 트림·피어싱 공정에서는 비틀



**Fig. 7 Averaged springback in each operation**



**Fig. 8 Averaged twist in each operation**

림이 주로 발생하였다. 또한 플랜지업 공정에서는 Fig. 5 와 같이 CR340 은 최대 조립 허용 오차인 1mm 이내의 스프링백만이 발생하였고, 항복강도가 높은 DP780 의 스프링백이 크게 발생하였다. Fig. 6 에 나타난 단면 H 의 스프링백 전·후 형상과 같이 스프링백에 의해 측벽부가 안쪽으로 짓혀짐을 알 수 있었다. 캠프림·피어싱 공정에서는 작은 트림량과 피어싱량에 따라 미세한 스프링백만 발생하였다.

스프링백 전·후 측벽부 y 방향의 거리를 벽젓힘량( $\delta u$ )이라 하고, 스프링백 전·후 단면의 하면이 만드는 두 수직백터가 이루는 각도를 비틀림량( $\delta\theta$ )이라 정의하여 이들을 정량적으로 검토하였다. 그 결과 드로우 공정 이후의 공정에서 스프링백이 더 크게 발생함을 확인할 수 있었다. 각 공정별 평균 벽젓힘량의 절대값과 비틀림량은 플랜지 업에 의해 플랜지업 공정의 평균 벽젓힘량이 1.47mm 로 가장 크고, 많은 트림량에 따라 트림·피어싱 공정의 평균 뒤틀림량이 1.35°로 비교적 크게 발생했다 (Fig. 7, Fig. 8 참조).

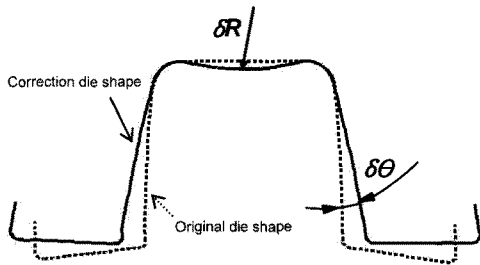


Fig. 9 Design variables for die correction method

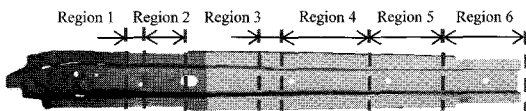


Fig.10 Regions for die correction method

Table 3 Die correction values in various regions

Variable	$\delta\theta$ (Degree)			$\delta R$ (mm)
	1st correction	2nd correction	3rd correction	
Region 1	0.0 ~ 0.2	0.0 ~ 0.2	0.0 ~ 0.2	0
Region 2	0.2 ~ 0.0	0.2 ~ 0.0	0.2 ~ 0.0	0
Region 3	0.0 ~ 0.2	0.0 ~ 0.2	0.0 ~ 0.2	0
Region 4	0.2 ~ 0.3	0.2 ~ 0.3	0.2 ~ 0.8	500
Region 5	0.3 ~ 2.0	0.3 ~ 4.5	0.8 ~ 5.6	500
Region 6	2.0	4.5	5.6	500

### 3.3 스프링백 저감

벽젓힘량이 가장 큰 플랜지업 공정의 측벽부 벽젓힘량 감소를 위해 Fig. 9 와 같이 측벽부의 각도  $\delta\theta$  와 하면부의 곡률 반경  $\delta R$  을 금형 설계 변수로 설정 하고, 앞서 제시한 방법으로 플랜지업 공정의 금형을 보정하였다. 금형을 Fig. 5 에 나타난 A, D, F, H 위치의 4 개 단면으로 나누어 1 차 보정값을 결정하고, 이를 Fig. 10 에 나타난 6 개의 구간에 적용 하였다. 금형 보정 절차에 따라 적용된 보정값은 Table 3 에 나타내었다. 벽젓힘량이 가장 큰 6 번째 구간의 측벽부 각도와 하면부 곡률반경의 3 차 보정값은 각각  $5.6^\circ$ , 500mm 로 적용하였다. 보정의 반복에 따른 최종 형상의 벽젓힘량을 Fig. 5 에 나타난 위치의 9 개의 단면에서 측정하여 Fig. 11 과 같이 금형 형상의 3 차 보정으로 모든 측정 단면의 벽젓힘량이 최대 조립 허용 오차 1mm 이내로

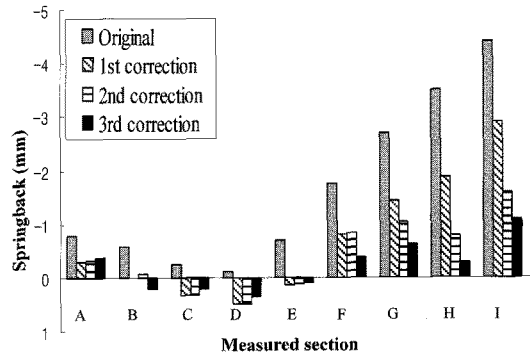


Fig.11 Springbacks in each correction

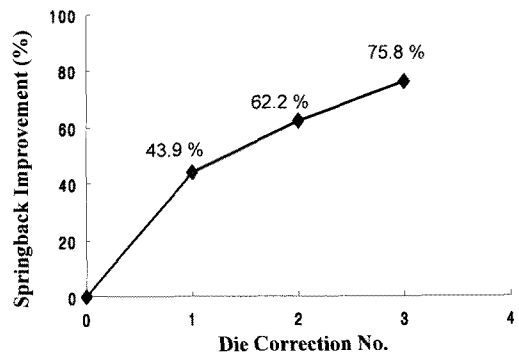


Fig.12 Springback improvement in each die correction

감소하였다. 금형 보정의 반복에 의해 Fig. 12 와 같이 기존 금형에 비해 1 차 보정에서 43.9%, 2 차 보정에 의해 62.2%, 3 차 보정에 의해 75.8%의 스프링백 개선 효과를 얻었다.

## 4. 결론

스프링백을 제거하여 형상오차를 줄일 수 있는 초고강도 강판 TWB 용 금형 치수를 결정하기 위하여 금형 설계 변수의 보정량과 스프링백의 관계로부터 스프링백이 없는 금형 설계 변수의 보정값을 구하였다. 이 방법을 사이드 레일 부품 금형 설계에 적용하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 2 차원 스프링백 해석으로 초기 보정값을 결정하고, 2~3 회의 3 차원 스프링백 해석으로 적절한 보정값을 결정하는 효율적인 금형 보정 방법이 AHSS 의 스프링백 저감 방법으로 유용하다.
- (2) 사이드 레일 금형의 측벽부의 각도와 하면부의 곡률 반경을 금형 설계 변수로 설정하고, 금형

보정 방법으로 금형을 보정하여 사이드 레일의 스프링백이 조립 허용오차 이내가 되도록 하였다.

## 후 기

본 연구 결과가 나오기까지 후원해 주신 GM DAT Die & Press의 최오영 부장님과 이형진 부장님께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. S. Han, K. C. Park, J. B. Nam, 1999, A study on shape fixability of press formed parts, Trans. Mater. Process., Vol.8, No.1, pp. 38~46.
- [2] W. Y. Yang, S. Y. Lee, Y. T. Keum, J. Y. Hwang, C. S. Yoon, C. S. Shin, W. S. Cho, 2003, Springback control in the forming processes for high strength steel sheets, Trans. Mater. Process., Vol.12, No.8, pp. 718~723.
- [3] J. M. Lee, 2005, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., KSTP, Jeju, Kor., pp. 312~317.
- [4] A. P. Karafillis, M. C. Boyce, 1996, Tooling and binder design for sheet metal forming processes compensating springback error, Int. J. Mech. Sci., Vol. 36, pp. 503~526.
- [5] Wei Gan, R. H. Wagoner, 2004, Die design method for sheet springback, Int. J. Mech. Sci., Vol. 46, pp. 1097~1113.