

# 1.2GPa급 초고강도강판의 단면 형태에 따른 스프링백에 관한 해석적 평가 및 연구

이동환<sup>1</sup> · 한성렬<sup>2</sup> · 이춘규<sup>†</sup>

대우공업(주)<sup>1</sup> · 공주대학교 금형설계공학과<sup>2\*</sup>

## Analytical evaluation and study on the springback according to the cross sectional form of 1.2GPa ultra high strength steel plate

Dong-Hwan Lee<sup>1</sup> · Seong-Ryeol Han<sup>2</sup> · Chun-Kyu Lee<sup>†</sup>

Daewoo industry, Inc

Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju National University<sup>2\*</sup>

(Received December 09, 2019 / Revised December 27, 2019 / Accepted December 31, 2019)

**Abstract:** Currently, studies on weight reduction and fuel efficiency increase are the most important topics in the automotive industry and many studies are under way. Among them, weight reduction is the best way to raise fuel efficiency and solve environmental pollution and resource depletion. Materials such as aluminum, magnesium and carbon curing materials can be found in lightweight materials. Among these, research on improvement of bonding technology and manufacturing method of materials and improvement of material properties through study of ultrahigh strength steel sheet is expected to be the biggest part of material weight reduction. As the strength of the ultra high strength steel sheet increases during forming, it is difficult to obtain the dimensional accuracy as the elastic restoring force increases compared to the hardness or high strength steel sheet. It is known that the spring back phenomenon is affected by various factors depending on the raw material and processing process. We have conducted analytical evaluations and studies to analyze the springback that occurs according to the cross-sectional shape of the ultra high tensile steel sheet.

**Key Words:** Cold-stamping, Finite element analysis, Spring back, Ultra high strength steel

### 1. 서 론

자동차의 측면 충돌시 승객의 안전을 최대한 확보하기 위한 부품인 도어 임팩트빔은 도어 내측에 장착하는 전/후방 브라켓 (bracket)과 파이프(pipe)의 3가지로 구성되어 있는 부품이다. 브라켓과 파이프는 CO<sub>2</sub> 용접으로 접합하여 도어 인너 패널에 조립되어지며<sup>1)</sup> 임팩트 빔과 임팩트 멤버의 형상을 Fig. 1에 도시하였다.

근래의 자동차 시장은 강화된 환경 규제에 대응

하기 위해 매연 발생을 최소화하고, 연비를 절감하기 위해 차체 경량화를 하고 있다. 이를 위해 설계 최적화, 경량화 소재 적용, 부품 일체화 등으로 차체 경량화를 이루어내고 있다<sup>2,3)</sup>.

환경적인 요구사항과 차량의 내구성 보증 등으로 인하여 자동차용 강판은 경량화, 고강도화 및 고방청화의 방향으로 발전되어 오고 있으며 이러한 추세는 앞으로도 지속될 것이다. 그러나 이와 같은 이유에 의하여 강판에 의한 부품의 대체는 요구되고 있는 반면, 판재의 강도에 의하여 원하는 형상을 제품을 쉽게 성형하지 못하는 경우도 발생하고 있다.

본 연구에서는 1.2Gpa급 초고강도강판을 프레스 성형하여 기존 임팩트 빔의 성능 수준을 만족시키면서 부품수와 중량을 절감할 수 있는 임팩트 멤버

1. 대우공업(주)

<sup>†</sup> 교신저자: 공주대학교 금형설계공학과

E-mail: ckt1230@kongju.ac.kr

의 단면 형상에 따른 스프링백(springback)을 성형 공정 해석을 통해 정량적으로 발생 경향을 분석하고자 한다.

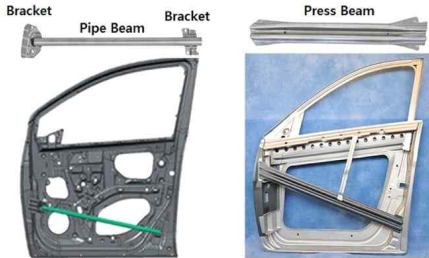


Fig. 1 Door impact beam types

## 2. 기계적 시험

### 2.1. FLD(Forming Limits Diagram)

1.2GPa 급 초고강도강관의 스프링 백 경향을 연구하기 위해서는 성형 공정 중 크랙이나 성형성에 문제가 없어야 한다.

성형성을 파악하기 위해 한계 돔 높이시험(LDH : Limits Dome Height)을 실시하여 성형한계도(FLD : Forming Limits Diagram)를 도출하여 Fig. 2에 도시하였다<sup>4)</sup>.

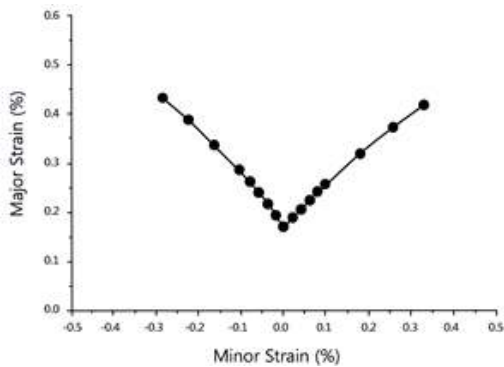


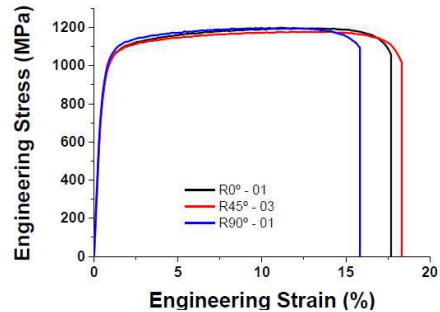
Fig. 2 Result of limits dome height

### 2.2. 인장 시험

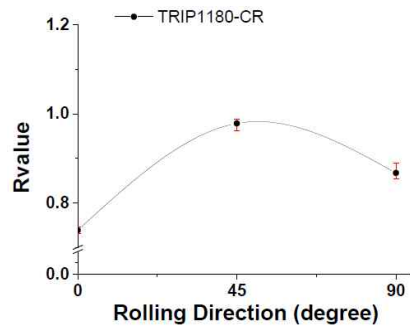
FLD(Forming Limits Diagram) 시험과 더불어 초고강도강의 성형 해석을 위한 데이터를 얻기 위해 인장시험을 실시하였다. 인장시험은 MTS 만능시험기를 이용하여 압연방향(rolling-direction)에 따라 0°, 45°, 90°에 대해 각각 실시하였다.

시험 결과를 바탕으로 이방성계수(Rankford value)와 식 (1)과 같이 swift equation으로 fitting하여 성형해석공정에 적용하였고, 항복함수는 Hill의 1948 평면이방성 모델을 사용하여 인장 시험과 이방성계수 시험의 결과를 Fig. 3과 Table 1에 도시하였다<sup>5)</sup>.

$$\bar{\sigma} = K(\epsilon_0 + \bar{\epsilon}^p)^n \quad (1)$$



(a) S-S curve of each rolling directions



(b) R-value of each rolling directions

Fig. 3 Result of tensile tests

Table 1 Swift coefficient and R-value by tensile tests

Swift coeff.		R-value	
K (GPa)	1.7	R0	0.738
$\epsilon_0$	0.003	R45	0.978
n	0.09	R90	0.867

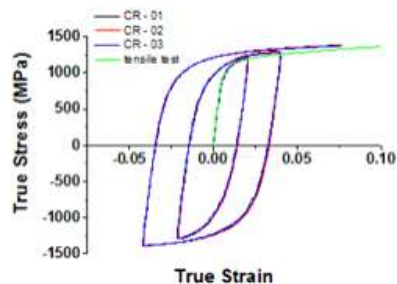


Fig. 4 Result of tensile-compression tests

**Table 2** Material parameters for Y-U model

X11	0	X22	0	X12	0
Xsat	0.470	Bsat	0.115	Rsatx	0.100
Cx1	420	Cx2	180	EpRef	0.005
Hnih	0.2	Rnih0	0.002	AM	20
Xi	140	Younga	178		

### 2.3. 인장 압축 시험

앞선 시험들과 함께 스프링백의 예측 정확도를 향상시키기 위한 목적으로 인장-압축 거동을 적용하기 위해 이동경화(kinematic hardening) 이론 중 하나인 Yoshida - Uemori 모델을 적용하였다<sup>6)</sup>.

시험결과는 Fig. 4와 Table 2에 도시하였다.

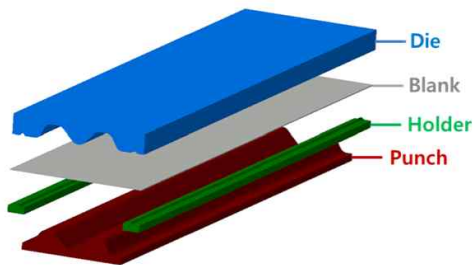
## 3. 성형공정해석

### 3.1. 성형해석 조건

기계적 시험을 통하여 도출한 1.2GPa급 초고강도강의 기계적 물성을 적용하여 성형공정 유한요소 해석을 진행하였다. 성형공정 해석은 PAM-STAMP 2G 2017으로 진행 하였다<sup>7)</sup>.

성형공정 해석은 W형 시험편을 드로잉(drawing) 성형 하였으며 금형(stamping die)은 상형(die), 하형(punch), 블랭크 홀더(blank holder)로 구성된다.

금형과 소재(blank) 형상은 Fig. 5 에 도시하였고, 소재는 변형체로 가정하여 BLT(Belytschko-Lin-Tsay) 셸요소<sup>8)</sup>를 사용하여 모델링 하였다.

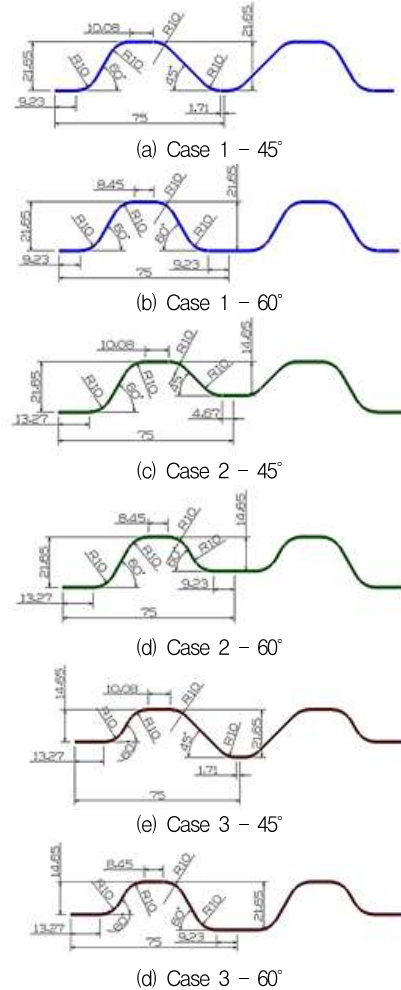


**Fig. 5** Finite element model of the tools and the blank used for the stamping analysis of the target part

소재의 초기 요소 크기는 16mm, 성형 중 최소 크기를 1mm 되도록 설정하였다. 요소의 두께방향 적분점의 개수는 5개 로 설정하였으며 해석시간 단축을 위해 질량 증가법(mass scaling)을 사용하였다.

성형공정은 소재 안착부터 스프링백 발생까지 모두 확인하기 위해 자중에 의한 처짐(gravity), 상형과 홀더 단함에 의한 홀딩(holding), 드로잉 성형(stamping), 스프링백(spring back)으로 총 4단계로 설정하여 해석을 수행하였다.

변수조건으로 단면 치수를 선정하여 Fig. 6에 도시하였고 이때의 블랭크 홀딩력은 110ton, 스트로크는 20mm로 동일하게 설정하였다.



**Fig. 6** Section dimensions for each case

### 3.2. 성형해석 결과

스프링백의 평가는 신뢰성 있는 분석을 가능하게 하기 위하여 크랙이 발생하지 않는 범위를 설정하여 W-자형 시험편의 성형해석을 통하여 성형성을 평가하였다.

설정된 각 변수조건으로 해석한 결과 성형성에는 문제가 없이 성형이 가능한 것으로 고찰되었으며, CASE 3의  $60^\circ$  조건이 가장 가혹한 조건으로 성형이 이뤄지는 것으로 고찰되었다. 이 조건의 성형한 게 및 두께 변화율(thinning)을 Fig. 7과 Fig. 8 에 각각 도시하였다.

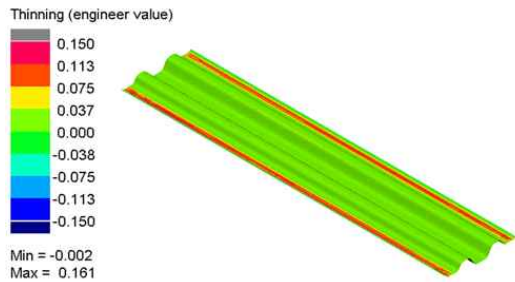
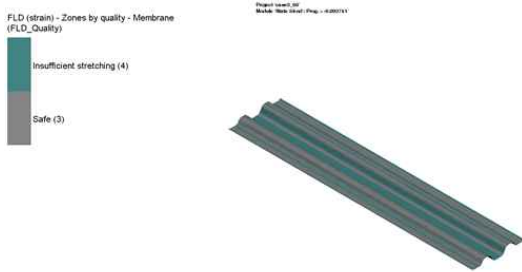


Fig. 7 Distribution of the thickness reduction ratio



(a) prediction of failure

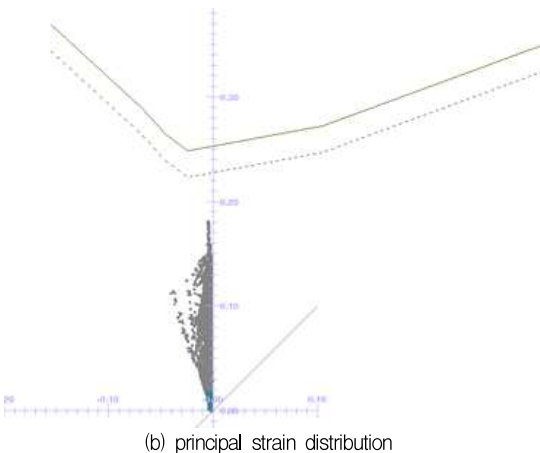


Fig. 8 Principal strain distribution on the forming limits diagram

가장 가혹 조건인 CASE 3의  $60^\circ$ 에서도 파단이나 다른 성형 결함은 발생하지 않음을 Fig. 7을 통해서

확인할 수 있었다.

### 3.3. 스프링백 예측

스프링백 양을 정량적으로 나타내기 위해 스프링백 해석을 성형해석과 더불어 실시하였다. 측정 방법은 금형과 비교하여 드로잉 형상의 제품이 들뜸량을 측정하여 스프링백을 측정하였다.

스프링백의 해석 결과를 단면의 형상에 따라 정리하여 Table 3에 도시하였다.

Table 3 Spring back amount by spring back analysis

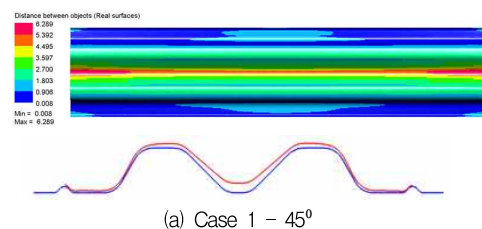
Spring back amount		Max Distance Between Objects (mm)
Case 1	$40^\circ$	6.289
	$65^\circ$	8.647
Case 2	$40^\circ$	4.804
	$65^\circ$	6.173
Case 3	$40^\circ$	5.947
	$65^\circ$	8.432

성형성이 가혹한 조건일수록 스프링백 해석 결과 스프링백 양이 증가하였고, 스프링백은 각 단면의 특성별로 발생하는 스프링백 경향이 변화하였다.

스프링백은 W형 단면 가운데 부분이 가장 높거나 같은 단면인 CASE1과 CASE3은 가운데를 중심으로 스프링백이 많이 발생하는 것을 볼 수 있고, CASE 2와 같이 W형 단면 가운데가 가장 낮은 형상에서는 FLANGE 부에서 스프링백이 많이 발생하는 것을 볼 수 있다.

실험결과 CASE 2의  $45^\circ$  형상에서 가장 작은 스프링백 현상을 나타냈으며, 이는 제품의 형상에 따른 재료의 유입이 가장 원활하며, 가장 가혹하지 않은 형상에 의한 것으로 사료된다.

W형 단면형상의 스프링백 해석 결과를 Fig. 8에 도시하였으며, 청색선은 금형의 단면형상을 나타내었으며 붉은 색은 스프링백에 의한 제품의 변형량을 그림으로 도시한 것이다.



(a) Case 1 -  $45^\circ$

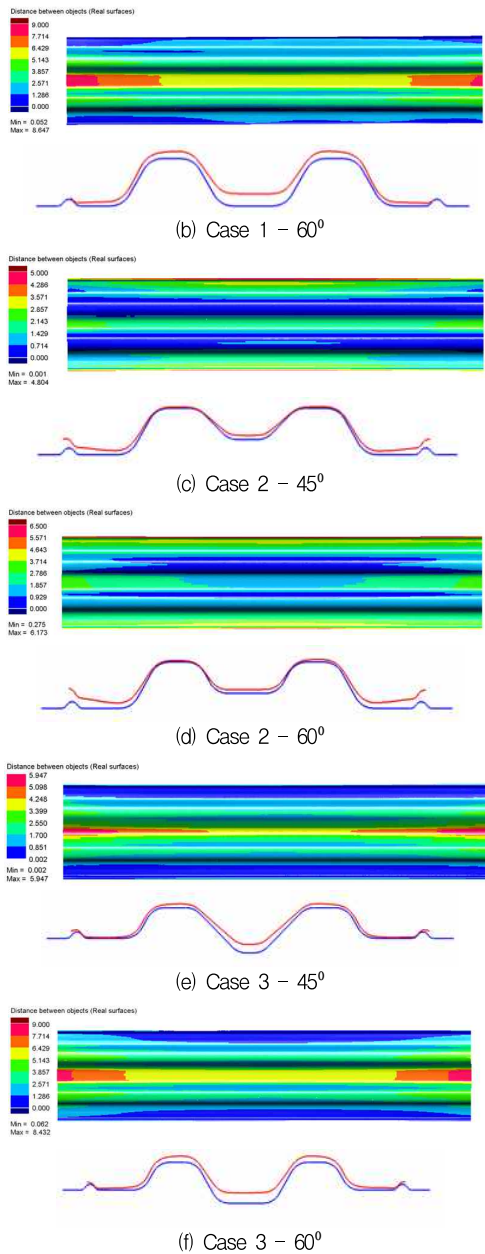


Fig. 9 Spring back amount and section for each case

#### 4. 결론

본 논문에서는 인장강도 1.2GPa급의 초고강도강 소재를 적용한 도어 임팩트 멤버의 프레스 냉간 성형 공정 후 스프링백 특성에 대해 연구하였다. 성형 공정해석을 위해 인장 시험, 인장 압축 시험, 한계

돌 높이 시험을 실시하였으며 각 시험을 통해 *swift coefficient*, *parameter*, *FLD*를 도출하였다. 해석결과를 바탕으로 스프링백 특성을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) W형 단면의 중앙부 각도가 높은 성형성이 나쁜 조건일수록 스프링 백 발생량이 증가하였다.
- 2) 플렌지 대비 중간 형상이 깊거나 같은 단면과 플렌지 대비 중간 형상이 낮은 형상은 서로 다른 스프링백 경향을 보인다.
- 3) 위의 결과를 토대로, 단면 형태에 따른 스프링백의 경향을 분석한 결과 도어 임팩트 멤버에서 중요한 중앙부 보다 플렌지부의 스프링 백이 발생하는 Case2의 단면 형상이 제품의 성형성 측면에서는 실제 도어에 적용하기 적합하다고 사료된다.

본 논문에서는 스프링백 현상을 분석하기 위해 단순형상인 W형 단면의 시험편에 대해 연구하여 다른 형상적 요인은 배제되었다. 형상이 복잡한 실제 부품에 적용하여 변수에 대해 연구할 필요성이 있고, 나아가 다른 변수 조건을 고려하여 스프링백에 대해 정량적으로 연구할 필요가 있다.

#### 참고문헌

- 1) Youngjin Yum, Jonggook Kim, Hyunwoo Lee, Jungbok Hwang, Sunung Kim, Wonhyuck Kim and Seungjo Yoo, "Development of Vehicle Door Impact Beam by Hot Stamping, korean society of mechanical engineers", Transactions of KSAE, Vol. 25, No. 1, pp. 74-81, 2008.
- 2) Kyeongrae Jo, Sungjong Kang, "The Section Design of Press Door Impact Beam for Improving Bending Strength", 2017.
- 3) AHSS Application Guidelines Version 5.0, <http://www.worldautosteel.org/projects/ahss-guidelines>
- 4) J. H. Song, J. H. Kwak, B. W. Kang, W. Noh, S. H. Kim, D. H. Park, J. H. Lee, C. Y. Jung, "Finite Element Analysis of Variable Blank Holder Force for Springback Reduction of 1.2GPa Steel Grade Auto-body Part", KSMTE Spring Conf., Poster., 2017.
- 5) R. Hill, "A Theory of the Yielding and Plastic Flow of Anisotropic Metals", Proc. Roy. Soc. Lond. A, Vol. 193, No. 1033, pp. 281-297, 1948.

- 6) F. Yoshida, T. Uemori, “A Model of Large-Strain Cyclic Plasticity Describing the Bauschinger Effect and Workhardening Stagnation”, Int. J. Plast., Vol. 18, No. 5-6, pp. 661~686, 2002.
- 7) ESI Group, 2017, PAM-STAMPTM, User’s Manual.
- 8) T. Belytschko, J. I. Lin, C. Tsay, “Explicit Algorithms for the Nonlinear Dynamics of Shells”, Comput. Meth. Appl. Mech. Eng., Vol. 42, No. 2, pp. 225~251, 1984.

## 저자 소개

### 이 동 환(Dong-Hwan Lee)

[정회원]



- 2016년 2월: 공주대학교 금형공학과 (재학중)
- 2013년 1월~현재: 대우공업(주) 기술연구소

< 관심분야 >

프레스성형 및 금형

### 한 성 렬 (Seong-Ryeol Han)

[정회원]



- 2007년 02월: 부경대학교 기계공학과(공학박사)
- 2014년 3월~현재: 국립 공주대학교 금형설계공학과 부교수

< 관심분야 >

사출성형 및 금형, CAE

### 이 춘 규 (Chun-Kyu Lee)

[정회원]



- 2014년 8월: 공주대학교 금형공학과 (공학박사)
- 2010년 3월~2016년 12월: 유한대학교 금형설계공학과 교수
- 2018년 4월~ 현재: 공주대학교 금형설계공학과 교수

< 관심분야 >

프레스성형 및 금형