

# 1.5GPa급 Front Side Rear Lower Member 냉간 성형공정 설계기법 연구

남성우<sup>1</sup>, 배기현<sup>2, #</sup>

## Study on the Cold Stamping Process Design Method of 1.5GPa Grade Front Side Rear Lower Member

S. W. Nam, G. H. Bae

(Received September 8, 2021 / Revised September 28, 2021 / Accepted September 29, 2021)

### Abstract

This study describes the cold stamping process design procedure to secure the formability and dimensional accuracy of the automotive structural component fabricated by 1.5GPa grade ultra-high strength steel sheet. The target product is selected as the front side rear lower member which is the most important energy absorption part in the frontal impact condition. To secure the product quality, an intermediate product shape is added while considering the low elongation and high strength characteristics of 1470Mart. The sequential optimization procedure of the intermediate product shape, the fine dimensional quality is then achieved without any crack or wrinkling. The cold stamping method with ultra-high strength steel sheets is validated by conducting the die tryout of the front side rear lower member.

**Keywords :** Cold Stamping, Ultra-high Strength Steel Sheet, Automotive Part, Formability, Spring-back

### 1. 서 론

친환경차 개발이 가속화됨에 따라 충돌안전성 및 경량화 요구가 확대됨에 따라 초고강도 강판(Ultra-High Strength Steel, UHSS)의 적용 비율이 증가하고 있다. 차체 부품의 초고강도 특성 확보를 위하여 성형성 및 형상정밀도 확보가 용이한 열간성형을 우선적으로 적용하고 있으나, 원가절감을 달성하기 위하여 냉간성형을 통한 초고강도 부품 개발 관련 연구가 활발히 수행되고 있다[1-4].

냉간성형에 의한 초고강도 부품 개발은 열간성형 대비 성형성과 형상정밀도 확보에 어려움이 있다. 열간성형용 강판과 동일 강도의 냉간성형용 강판은 대부분 연신율이 8% 이하 수준으로 기존 성형공법을 그대로 적용할 경우, 파단(Crack)과 주름(Wrinkling)을 동

시에 제어하기 매우 어렵다. 또한 탄성복원의 급격한 증가로 스프링백(Spring-back)이 매우 크게 발생하는 경향이 있으며, 벽부힘(Wall curl)이 쉽게 발생하기 때문에 최종 치수를 확보하는 것이 쉽지 않다. 따라서 냉간성형용 초고강도 강판을 적용한 차체부품의 성형 품질 확보를 위해서는 성형성 및 스프링백을 동시에 제어하기 위한 공정설계 기법 고도화가 필요하다[5-7].

본 논문에서는 1.5GPa 급 초고강도 강판을 이용한 Front Side Rear Lower Member 부품 개발을 위하여 성형성 및 스프링백 품질 확보를 위한 성형공정 설계 기법을 연구한다. 대상 소재는 마르텐사이트 조직으로 구성된 1.5GPa 급 초고강도 냉간성형용 강판인 1470Mart 강이다. 수치해석 신뢰성 향상을 위하여 1470Mart 1.0t 소재의 이방성 및 인장-압축 경화거동을 고려한 물성모델을 사용하였다. 1.5GPa 급 소재의 난성형성을 극복하기 위하여 부품의 변형분포 분산을 목적으로 중간형상을 추가한 2 단 성형공정을 설

1. 대우공업 기술연구소, 과장

2. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소, 선임연구원

# Corresponding Author : Korea Institute of Industrial Technology, Incheon Regional Division, E-mail: baegh@kitech.re.kr

ORCID : http://orcid.org/0000-0002-0015-4742

계하였다. 중간형상 설계를 수정함으로써 최종 부품의 파단, 주름, 스프링백을 순차적으로 개선하였으며, 최종적으로 시제품 제작을 통하여 제안한 설계기법의 유효성을 검증하였다.

## 2. 개발부품 선정

초고강도 강판은 차체 구조부재의 경량화 및 충돌성능 향상을 위하여 주로 적용된다. 정면충돌 및 스몰오버랩 충돌성능 향상을 위해서는 Front Side Module의 고강도화가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 1.5GPa급 냉간성형 공정 연구를 위하여 Fig. 1에 도시된 바와 같이 Front Side Module의 핵심부품인 Front Side Rear Lower Member를 개발 대상 부품으로 선정하였다. 기존에는 980DP 1.4t 소재가 적용되어 있으며, 충돌성능 향상 및 경량화를 동시에 달성하기 위하여 1470Mart 1.0t 소재로 대체한다.

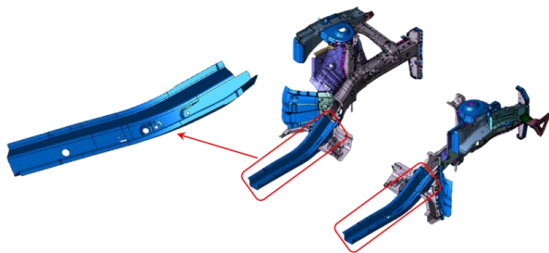


Fig. 1 3D Modeling of the front side module and front side rear lower member

## 3. 공정분할 성형공정 설계

소재의 연신율은 강도가 증가함에 따라 낮아지는 것이 일반적이다. 개발대상 부품은 비교적 큰 성형깊이를 갖는 제품으로 980DP 소재의 변형 한계에 최적화되어 설계된 상태이다. 따라서 고강도화로 인하여 소재의 연신율이 저하될 경우 성형성 확보가 매우 곤란하다. 또한 소재 고강도화에 따른 급격한 스프링백 증가에 대한 대책 또한 필요한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 성형성 및 스프링백 불량을 동시에 개선하기 위하여 Fig. 2와 같이 최종제품에서 형상을 완화하여 1 공정 예비형상(Step-1 Draw)을 제안하였다. 이후 2 공정 포밍 공법(Step-2 Form)을 통하여 최종 부품형상을 확보하는 방식으로 공정을

분할하였다. 이와 같은 공정분할 방법을 통하여 변형 집중을 분산함으로써 성형성의 확보가 가능하며, 부품 형상의 순차적 성형 및 스트레칭 부가를 통하여 최종 제품의 치수정밀도를 개선할 수 있다.

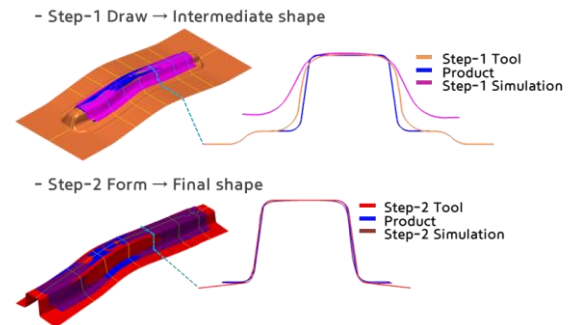


Fig. 2 Sheet metal forming process for securing the formability and dimensional accuracy of the front side rear lower member

## 4. 수치해석모델 구성

Front Side Rear Lower Member 성형공정의 성형성 및 스프링백 평가를 위하여 수치해석모델을 구성하였다. 수치해석모델의 신뢰성 확보를 위하여 이방성 및 비선형 경화거동을 고려한 물성모델을 적용한다. 구성된 수치해석모델을 활용하여 성형품질 확보를 위한 금형면 설계 최적화를 수행한다.

### 4.1 성형해석용 물성

성형성 및 스프링백 예측 정확도를 확보하기 위하여 본 연구에서는 1470Mart 1.0t 소재의 방향별 인장시험을 통한 이방성 물성과 인장-압축시험을 통한 비선형 경화거동 물성을 사용하였다. 또한 성형한계 평가를 위하여 FLD 시험에 의한 성형한계선을 사용하였다. 인장시험은 MTS810, 인장-압축시험은 판재 인장압축시험기, FLD 시험은 만능성형성평가장치로 각각 수행하였다. 이때 인장시험과 FLD 시험의 변형률은 ARAMIS 시스템을 이용하여 분석하였으며, 인장-압축시험의 변형률은 레이저연신계를 이용하여 측정하였다. Fig. 3은 각 물성평가에 활용한 시험장비를 제시한 것이다. 인장시험과 FLD 시험은 각각 ASTM-E8M Subsize 규격시편과 ISO 규격시편을 사용하였다. 인장압축시험은 Fig. 3(c)에 제시한 바와 같이 좌굴 방지가 가능한 dog-bone 시편 형상을 사

용하였다. 인장 및 인장압축 시험은 준정적 변형률 속도(0.003 /sec)에서 수행하였다. Fig. 4 에는 1470Mart 1.0t 소재의 물성평가 결과를 제시하였다. 물성평가 결과를 바탕으로 Hill's 48 항복함수와 Yoshida-Uemori 경화식을 이용하여 성형해석용 물성모델을 구성하였다. 성형해석 시 네킹 이후의 유동응력은 Yoshida-Uemori 모델에서 산출된 값이 적용된다. Table 1 은 방향별 인장시험을 통한 기계적 물성을 제시하였으며, Table 2 에는 성형해석용 물성모델의 계수를 제시하였다.

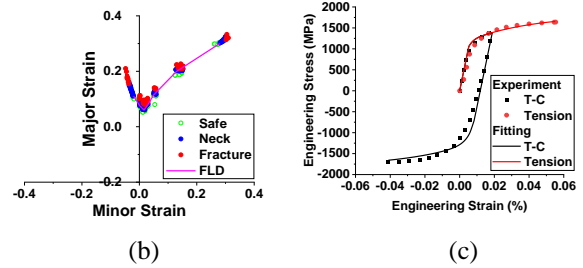


Fig. 4 Material test results: (a) Tension; (b) FLD; (c) Tension-Compression

Table 1 Mechanical properties of 1470Mart 1.0t according to the loading angle from the rolling direction

Angle	$\epsilon_u$ [%]	$\epsilon_f$ [%]	$\sigma_y$ [MPa]	$\sigma_r$ [MPa]	r-value
0(RD)	5.14	8.22	1211.6	1509.1	0.874
45(DD)	4.94	7.38	1200.0	1516.9	0.861
90(TD)	4.92	7.10	1198.7	1524.6	0.859

Table 2 Coefficients of the Hill's48 and Yoshida-Uemori model for the sheet metal forming simulation

$B$ [GPa]	$Y$ [GPa]	$C1$	$C2$
1.250	1.050	800	600
$m$	$R_{sat}$ [GPa]	$b$ [GPa]	$h$
30	0.350	0.200	0.1
$E_0$ [GPa]	$E_a$ [GPa]	$\xi$	-
200	0	0	-

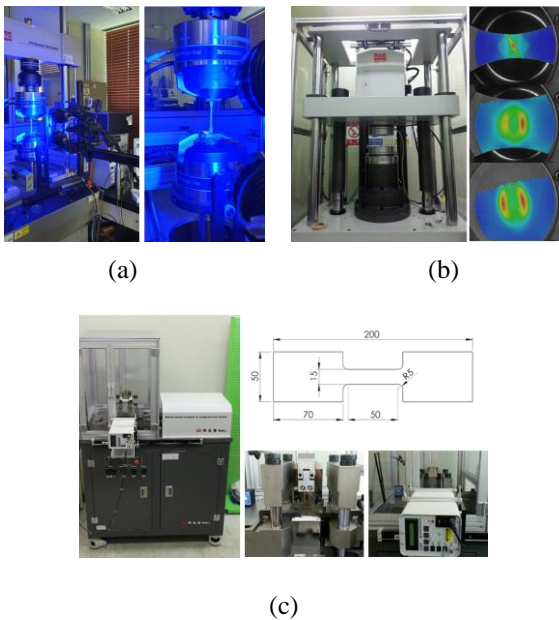
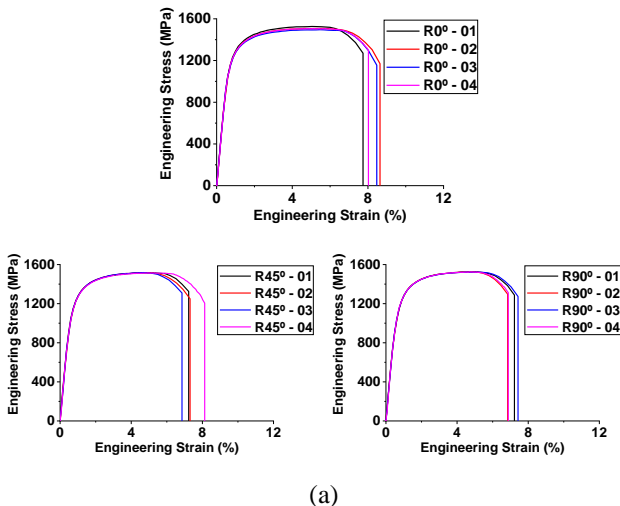


Fig. 3 Material testing equipments: (a) Tension; (b) FLD; (c) Tension-Compression



#### 4.2 유한요소 모델링 및 해석조건

공정분할 성형공정의 수치해석을 위하여 유한요소 모델링을 수행하고 공정조건을 적용하였다. 성형해석은 PAM-STAMP 2019 프로그램에서 수행하였다. 판재는 쉘요소로 분할하였으며, 금형면은 강체로 모델링하였다. 각 공정의 유한요소모델은 Fig. 2 에서 확인할 수 있다. 판재에는 요소 세분화 기법을 적용하여 최소 요소크기를 1.0 mm 로 설정하였으며, 두께 방향으로 5 개의 적분점을 부가하였다. 1 공정의 판재가압력은 120 톤으로 부가하였으며, 마찰계수는 0.15 로 설정하였다. 유한요소모델 및 해석조건을 바탕으로 Front Side Rear Lower Member 의 성형해석을 수행하고, 성형성 및 스프링백을 개선하기 위한 성형공정 최적화 작업을 수행하였다.

## 5. 성형공정 최적화

### 5.1 크랙 및 주름 개선

초기 성형공정 설계안에 대한 성형성 분석을 위하여 성형해석을 수행하였다. Fig. 5 는 1 공정 성형성 분석 결과를 보여준다. 해석 결과를 확인해보면, 부품 중앙부에서 크랙이 예측되고 있으며, 이와 동시에 플랜지부에서 주름발생 경향이 확인된다. 이를 개선하기 위하여 부품 우측단의 드로잉 깊이를 151 mm 에서 123 mm 로 완화하였다. 이와 동시에 단면 측벽 각도를 144 도에서 165 도로 수정하고 곡률부 형상도 크게 완화하였다. Fig. 6 는 크랙 및 주름 개선을 위한 1 공정 예비형상 수정사항을 도시한 것이다. 수정 설계안에 대하여 성형해석을 수행한 결과, Fig. 7 과 같이 크랙 및 주름이 개선된 것을 확인할 수 있다. 하지만 과도한 스프링백 발생으로 플랜지부에서 최대 ±0.5mm 이상의 치수편차를 확인할 수 있다. 특히 벽부 휨 현상을 발생하고 있으므로 최종 치수정밀도 확보를 위해서는 이에 대한 대책이 필수적인 상황이다. 따라서 추가적인 예비형상 수정 및 금형면 보정을 통한 스프링백 개선 작업을 수행하였다.

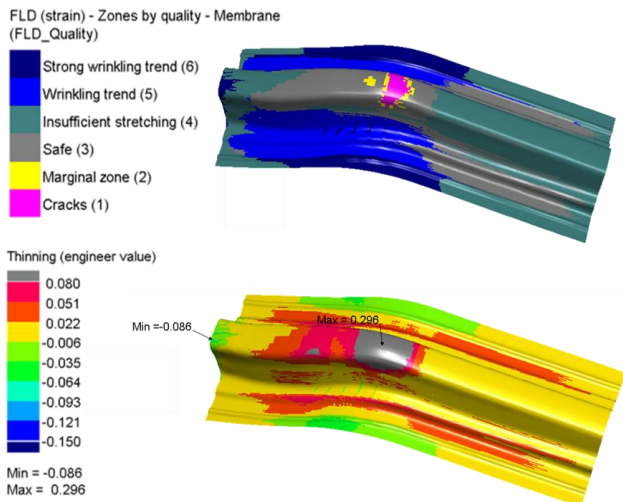


Fig. 5 Simulation result of the two-stage forming operations for the initial design

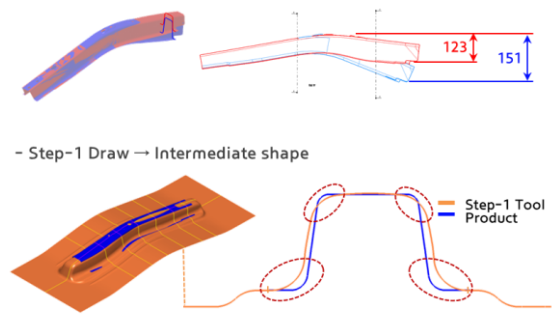


Fig. 6 Shape modification of intermediate shape(OP10) for the formability improvement

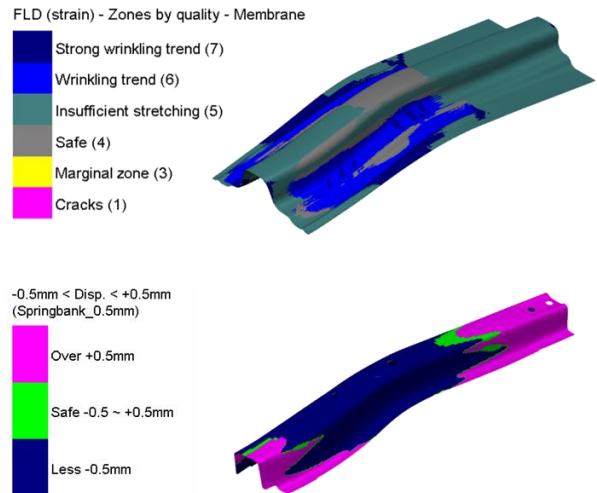


Fig. 7 Simulation result of the two-stage forming operations with the modified design in order to improve the formability

### 5.2 스프링백 개선

측벽부 휨 현상을 개선하기 위하여 1공정 제품형상 수정을 수행하였으며, 최종 제품형상 확보를 위하여 2공정 금형면 보정 작업을 수행하였다. Fig. 8은 1, 2공정의 금형면 수정 결과를 보여준다. 수정 금형면을 이용한 성형해석 결과를 Fig. 9에 제시하였다. 이와 같이 OP10에서 벽부휨 방지를 위한 금형면 형상 최적설계를 진행한 후 OP20의 금형면 보정 작업을 진행하게 되면 ± 0.5 mm 이내로 최종 제품의 치수정밀도 확보됨을 확인하였다.



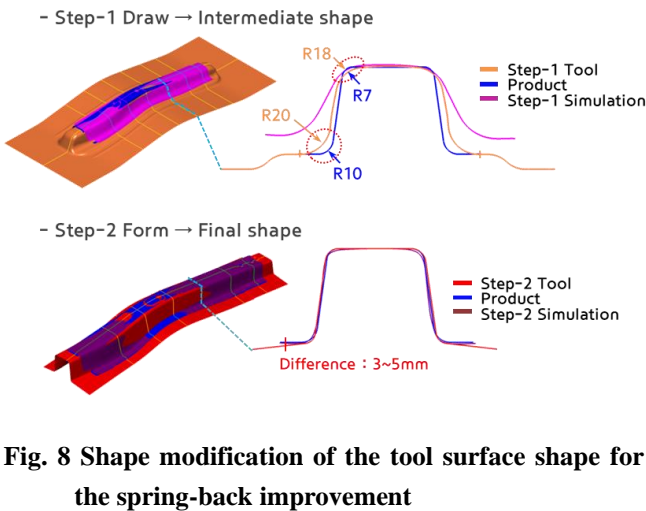
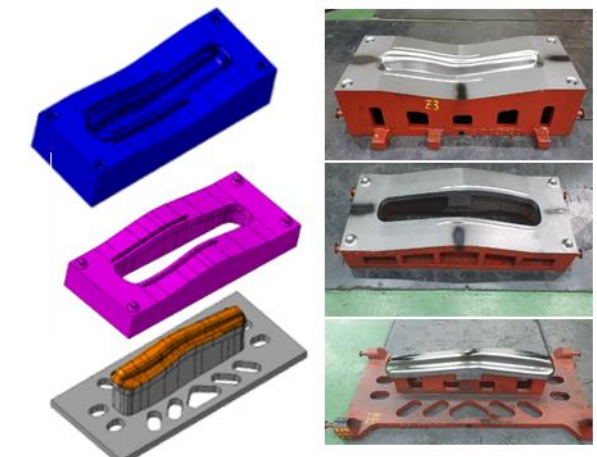
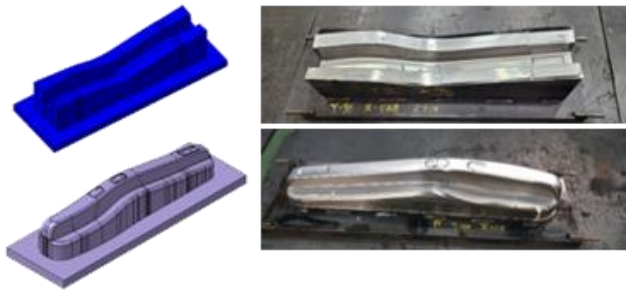


Fig. 8 Shape modification of the tool surface shape for the spring-back improvement



(a)



(b)

Fig. 10 Stamping dies to manufacture the front side rear lower member: (a) Step-1; (b) Step-2

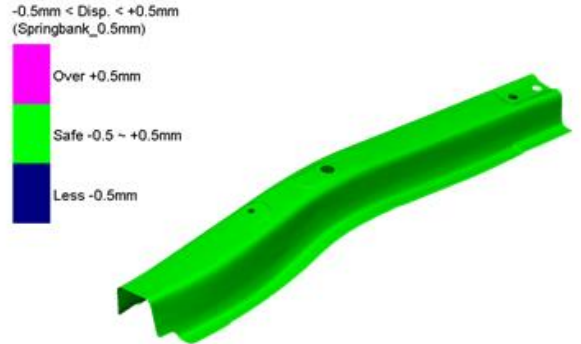


Fig. 9 Simulation result of the two-stage forming operations with the modified design in order to improve the spring-back

5.3 시제품 검증

성형해석을 통하여 확보한 최종 금형형상 및 공정조건을 검증하기 위하여 시제품 T/O를 수행하였다. Fig. 10는 제작된 공정별 금형을 형상을 보여준다. 제작된 금형을 이용하여 시제품을 제작한 결과, Fig. 11과 같이 파단 및 주름과 같은 성형성에 문제가 없는 것을 확인할 수 있다. 제품의 최종 치수정밀도를 확인하기 위하여 부품 스캐닝 작업을 수행하였다. Fig. 12와 같이 제품설계와 성형제품의 치수편차를 확인해본 결과, ±0.5 mm 이내 수준의 치수정밀도 확보가 가능함을 확인할 수 있다. 이와 같이 드로잉 공정과 포밍 공정을 이용한 공정분할, 예비형상의 설계 최적화, 금형면 보정을 이용한 성형공정 설계 기법을 통하여 냉간성형을 통한 1.5GPa급 초고강도 차체 부품 양산개발이 가능함을 확인하였다.



Fig. 11 Stamping result of front side rear lower member

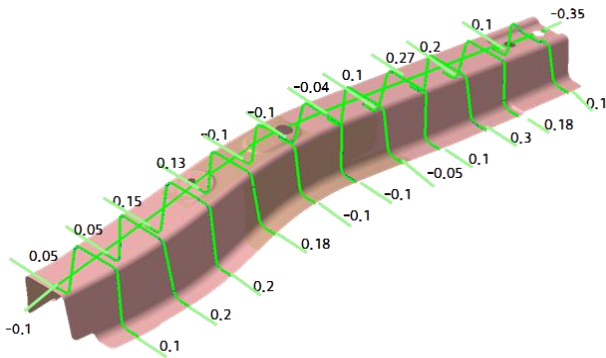


Fig. 12 Dimensional accuracy of the stamped part

## 6. 결론

본 논문에서는 1.5GPa급 초고강도 강판의 난성형성을 극복하기 위한 차체 구조부품 냉간성형 공정 설계기법을 제시하였다.

(1) 성형공정 분할을 통하여 변형량을 분산시킴으로써 1470Mart강의 저연신 한계를 극복할 수 있었다.

(2) 중간형상 설계최적화를 통하여 파단 및 주름의 제어가 가능하며, 추가적인 금형면 보정작업을 통하여 양산제품 요구 수준의 치수정밀도를 확보가 가능하였다.

(3) 제안한 설계기법을 활용하여 다양한 차체 구조부품의 저원가/고품질 양산화가 가능할 것으로 기대된다.

## 후 기

본 논문은 한국생산기술연구원 기관주요사업 "Add-on 모듈 탑재를 통한 지능형 뿌리공정 기술개발(KITECH EO-21-0009)"와 "초고강도 경량차체 부품 적용 레이저 응용 가변 물성 구현 스탬핑 기술 개발(KITECH JB-21-0007)"의 지원으로 수행한 연구입니다.

## REFERENCES

- [1] Y. Abe, R. Yonekawa, K. Sedoguchi, K. Mori, 2018, Shearing of Ultra-High Strength Steel Sheets with Step Punch, *Procedia Manuf.*, Vol. 15, pp. 597~604. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.283>
- [2] A. Nakwattanaset, S. Suranuntchai, 2021, Formability Analysis on Ultra-High Strength Steel for automotive Parts Using Finite Element Simulation, *Mat. Sci.Forum*, Vol. 1018, pp. 137~144. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1018.137>
- [3] R. Radonjic, M. Liewald, 2021, Compensating the Springback of Ultra-High-Strength Steel Parts by Specific Stress Superposition during Sheet Metal Forming, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, Vol. 1157, 012037. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1157/1/012037>
- [4] Y. Mehdi, M. Tisza, 2018, Formability Investigations of Advanced High Strength Steels, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, Vol. 448, 012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/448/1/012022>
- [5] L. Komgrit, H. Hamasaki, R. Hino, F. Yoshida, 2016, Elimination of Springback of High-Strength Steel Sheet by Using Additional Bending with Counter Punch, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 229, pp. 199~206. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.08.029>
- [6] J.S. Choi, J.W. Lee, G.H. Bae, F. Barlat, M.-G Lee, 2016, Evaluation of Springback for DP980 S Rail Using Anisotropic Hardening Models, *JOM*, Vol. 68, No. 7, pp. 1850-1857, <https://doi.org/10.1007/s11837-016-1924-z>
- [7] S.H. Kwon, H.S. Lee, Y.S. Lee, S.W. Kim, C.Y. Jung, S. Hong, 2016, Compensation Design to Reduce Springback in Sheet Metal Forming of 1.2GPa Ultra High Strength Steel, *Trans. Mater. Process.*, Vol. 25, No. 5, pp. 301-305, <https://doi.org/10.5228/kstp.2016.25.5.301>