

고강도강 마운팅브라켓의 성형성 향상 및 스프링백 예측에 관한 연구

임규성*, 최성대**,#

*한국폴리텍대학, **금오공과대학교 기계시스템공학과

Research on Improved Formability of High-Strength Steel Mounting Brackets and Springback Prediction

Kyu-seong Lim*, Seong-Dae Choi**,#

*Korea Polytechnic Colleges Mechanical System Dept.

**Department of Mechanical Engineering System, KIT UNIV.

(Received 21 November 2021; received in revised form 24 December 2021; accepted 28 February 2022)

ABSTRACT

To reduce the weight of the car and ensure the safety of the driver while driving, the existing 440 MPa-class mounting bracket was treated at 590MPa to improve collision safety and secure the weight of the vehicle body. The following conclusions were drawn from the tensile test, forming analysis, and springback prediction. In the formability and springback analyses using FLD, it could be confirmed that bending was an essential process because the formability and flatness were much better when bending was added than when bending was not applied. Based on the research results, it was deduced that the mold design was necessary so that the molding was carried out at a strain rate of 20% or less for stable molding.

Keywords : Springback(스프링백), Inverse Method(인벌스메소드), FLD(Forming Limit Diagram), Mounting Bracket(마운팅브라켓), Flatness(평탄도), Bending Process(벤딩프로세스)

1. 서 론

최근 자동차의 경량화 요구와 주행 시 운전자의 안전을 확보하기 위하여 고강도강을 이용한 시트 마운팅 브라켓 사용이 요구되고 있다. 기 사용되고 있는 시트마운팅브라켓의 경우 440MPa급(t2.6mm)이 적용되어 부품을 생산하고 있다. 이에 기존의 440MPa급(t2.6mm)판재를 590MPa급(SPFH590, t2.3mm)

고장력강판재를 적용하여 스틸의 밀도는 $7.8g/cm^3$ 로 동일하게 적용되었지만 440 2.6t의 소재를 590 2.3t로 적용함으로써 11.5%의 경량화 효과와 고강도를 유지할 수 있는 부품개발이 가능하다. 차량에 탑재되는 시트는 운전자의 운행 편의성을 제공함과 동시에 유사시 탑승자의 안전을 도모하는 역할까지 다양한 기능을 가지고 있다. 이러한 시트를 차량실내 바닥에 장착시키는데 사용하는 부품이 시트마운팅 브라켓이고, 프레스 성형하여 생산하고 있으며, Fig 1과 같은 구조로 되어 있다.

Corresponding Author : sdchoi@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7396, Fax: +82-54-478-7319

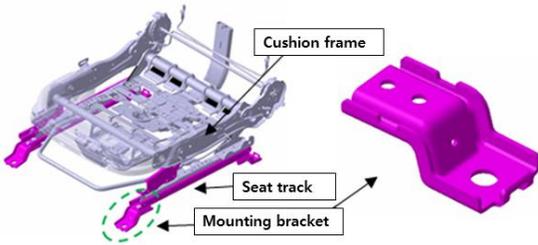


Fig. 1 Seat frame structure & mounting bracket



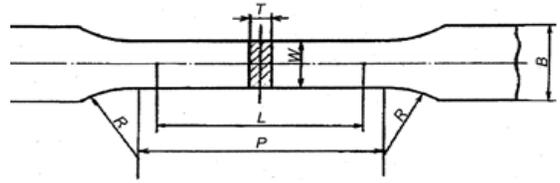
Fig. 2 MTS-809 Tensile tester

본 연구에서는 시트트랙과 차체(Frame)를 연결하는 시트 마운팅 브라켓^[1]의 성형해석에 사용될 고강도강의 기계적물성치 확보를 하고 최적화된 금형 모델의 보정치 결정을 위한 스프링백^[2-8] 예측 및 보정에 관한 연구를 진행하고자 한다.

2. 물성치 시험 및 평가

2-1. 인장시험 조건

실제 성형에 사용된 SPFH590 두께 2.3mm고장력 강판재에 대하여 Fig 2와 같이 MTS-809(10Ton)를 활용하고 Fig. 3과 같이 SPFH590 소재의 표준 인장 시험편을 제작하여 압연 방향별 인장 특성 및 경화 법칙의 매개변수들, 항복응력 및 R값을 평가하고자 하였으며 실험의 조건은 Table 1과 같다. SPFH590에 대한 기계적 특성 검증을 위해 Table 1과 같은 조건으로 압연방향별 인장시험을 실시하였으며 표점거리 확보를 위해 50mm 스트레인 게이지를 활용하였다. 이방성 계수 값을 구하기 위해 인장시험 전 두께와 너비를 측정후 인장시험 종류에 따라 실험을 실시하였으며, 인장시험규격은 KS B 0801 13B, 인장시험 방법은 KS B 0802로 하였다.



Specimen	Width	Mark distance	Parallel length
13B	12	50	60
Shoulder radius	Thickness	Jaw width	
20	2	20	

Fig. 3 Tensile specimen standard

Table 1 Tensile test method

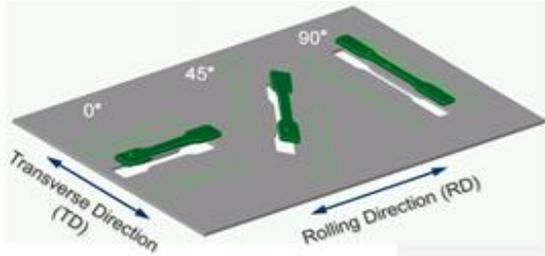
Experimental item	General tensile test
Rolling direction	0°, 45°, 90°
Stroke	Break
Tensile speed	2mm/min
Number of specimens	3

Table 2 Result of Tensile Test

Direction		Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
0°	1	570	646	23
	2	568	641	24
	3	577	649	23
	Av.	571.6	645.3	23.3
45°	1	554	622	25
	2	556	622	27
	3	558	623	25
	Av.	556	622.3	25.6
90°	1	588	664	23
	2	587	661	23
	3	585	658	24
	Av.	586.6	661	23.3

2-2. 인장시험 결과 분석 및 평가

인장시험은 MTS-809를 이용하여 크로스헤드속도를 일정하게 유지한 후 시편이 파단에 이르기까지 인장하여 Stress-Strain curve를 도출하였으며, 압연방향별 Stress-Strain곡선은 Fig. 5와 같다. Table 2에서는 인장시험 결과 판재 압연 방향에 따른 항복강도, 인장강도 및 신율을 나타내었다. 각도별 시편의 평균값을 가지고 경화식 Fig. 4를 도출하였으며 향후 해석에 Holloman 경화식을 사용하여 해석을 진행하였다.



Engineering stress	$S = \frac{P}{A}$
Engineering strain	$e = \frac{l - l_0}{l_0}$
True stress	$\sigma = S(1 + e)$
True strain	$\epsilon = \ln(1 + e)$
Holloman	$\sigma = F\epsilon^n$
R-value(Lankford)	$R = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} = \frac{\epsilon_w}{-(\epsilon_w + \epsilon_t)}$

Fig. 4 Tensile test result formula

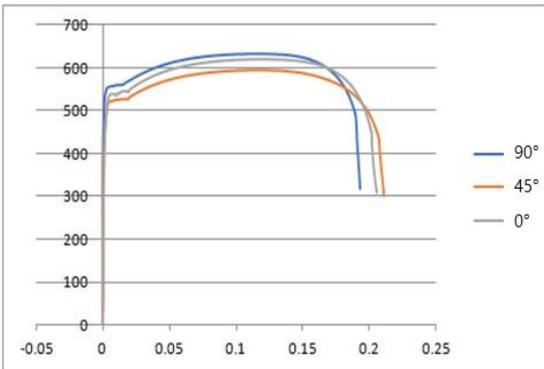


Fig. 5 Stress-strain curve(hardning)

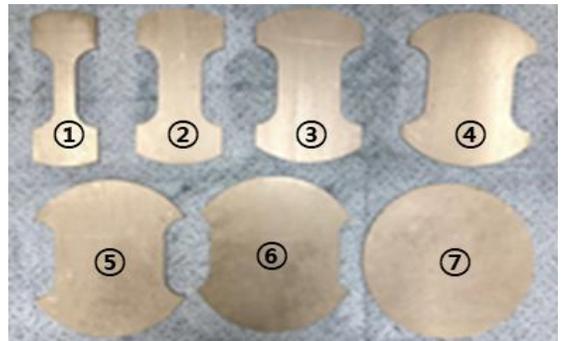
SPFH590 판재의 최대인장강도는 소재의 압연 방향과 직각인 90°방향으로 가공한 시편에서 661MPa의 인장강도를 보여주고 있으며, 연신율은 압연방향과 45°인 시편에서 약 25.6%의 연신율을 나타내며 각도별 인장시험결과는 Fig. 5와 같다.

2-3. FLD시험을 통한 성형한계 예측(SPFH590)

FLD^[9]는 프레스 성형 시 박판의 성형한계를 보여주는 지표로서 소재가 네킹(necking)이나 크랙(crack)발생 없이 변형할 수 있는 최대한계를 알 수 있는 시험으로SPFH590소재에 대해 Fig. 6에 나타난

FLD시험시편을 제작하여 만능박판성형시험기에서 성형한계시험을 진행하고, FLD시험결과에 시편번호를 표시하였다.

시험조건은 블랭크 압력 70ton, 펀치압력 40ton을 사용 하였으며, 200mm시편기준으로 펀치 이송거리를 살펴보면 평균 36mm정도 펀치가 상승한 뒤에 시편 파단이 일어났으며, 시편에 걸리는 펀치력은 31.44ton이 측정 되었다.



(a) Specimen shape



(b) Test equipment



(c) Specimen shape after test

Fig. 6 FLD(Forming Limit Diagram) test

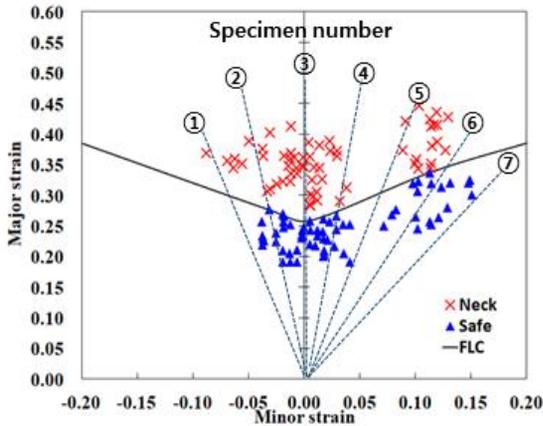


Fig. 7 FLD(Forming Limit Diagram) test result

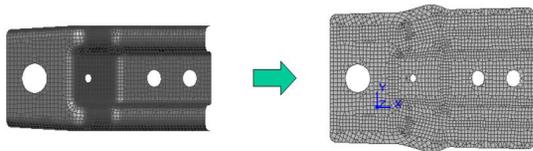


Fig. 8 Initial blank prediction

SPFH590소재 기준으로 시편의 크기가 클수록 편차상승률이 높아지는 것을 확인할 수 있었고, 크기가 클수록 성형이 더 잘되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 7에 나타난 FLD시험결과에서 알 수 있듯이 변형률 26% 이상에서는 대부분의 영역에서 크랙이 발생하는 것을 확인할 수 있으며 안정적인 성형을 위해서는 변형률 20%이하에서 성형이 이루어지도록 금형설계가 필요한 것으로 판단되었다.

3. 시트 브라켓 성형 / 스프링백 해석 결과

3-1. Blank line 최적화

본 연구를 위해 판재성형해석 전용프로그램인 Pamstamp의 Invers method^[10-11]를 이용해 초기 Blank line을 예측할 수 있다. 이를 위해 우선 제품형상이 필요한데 제품의 Flat surface투영을 통해 초기 Blank 형상을 예측할 수 있다. 유한요소 역해석은 최종 형상이 주어진 경우 최초형상을 신속하게 예측할 수

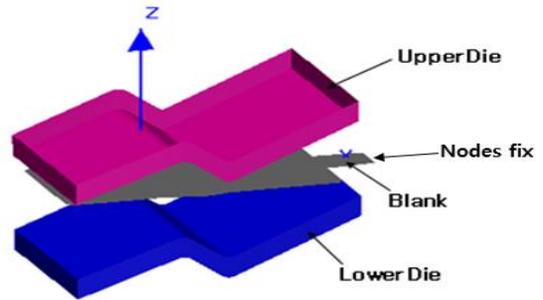


Fig. 9 Initial blank prediction panel & bending mold model

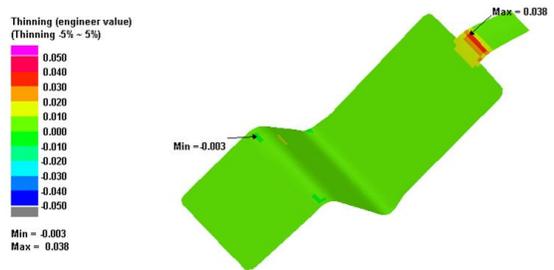


Fig. 10 Elongation distribution after bending process

있기 때문에 주로 금형설계의 초기단계에서 성형성의 평가를 위해 사용되고 있다. 시트브라켓의 초기 제품형상과 Inverse method를 이용해 구한 초기 Blank형상은 Fig. 8과 같다.

3-2. With bending 성형, 스프링백 해석

시트브라켓의 순차이송 성형을 위한 해석에서는 OP10 Bending, OP20 Forming, OP30 Restrike공정에 대해 성형해석을 수행하였으며, 공정조건을 도출하였다. 아래 Fig. 9에서 Inverse 해석을 통해 도출된 Blank 형상과 Bending공정 금형 모델링을 나타내었으며 실제 공정 시 대칭의 조건을 사용가능하므로 Blank끝단에 구속조건을 주었다. 또한 초기 Mesh Size 24mm에서 최종 0.75mm로 6Level adaptive mesh를 사용하였다.

금형은 하형Master이며 재질은 SPFH590 2.3t, 성형 Type은 Bending이며 성형 Stroke는 35mm, 마찰계수는 Lower die, Upper die모두 0.12를 적용하였다.

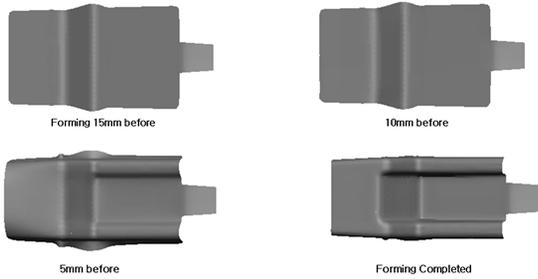


Fig. 11 OP20 Forming process

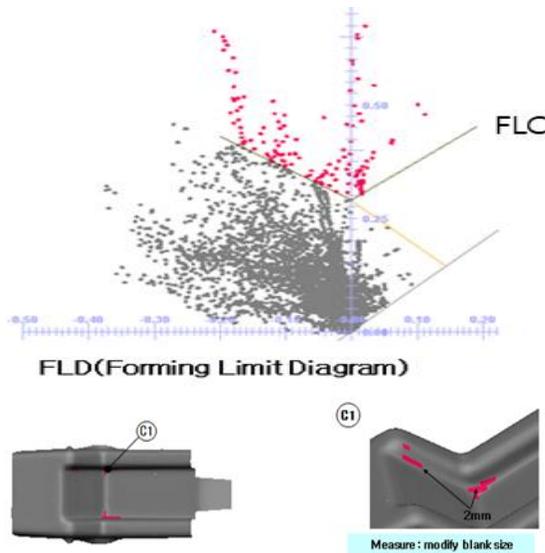


Fig. 12 Formability analysis using FLD(With Bending)

성형속도는 Bending 5m/s으로 해석을 수행 하였으며, Bending공정 후 신율분포는 Fig. 10에 나타냈으며, -5% ~ 5%신율의 범위에서 분석한 결과 Bending 공정 후 최대 3.8%의 신율분포를 가짐을 확인할 수 있다.

OP20 Forming 공정 성형해석 수행결과 성형과정은 Fig. 11과 같다. 금형은 Upper Die Side Wall높이는 0mm를 적용하고, 하형이 Master이며 성형Type은 Forming, 성형 Stroke은 15mm, 마찰계수는 Upper, Lower Die 모두 0.1을 적용하였고, 성형속도는 Forming 2m/s로 해석을 수행하였다.

최종상태에서의 FLD(Forming Limit Diagram)를 통한 성형성 분석결과 Fig. 12와 같으며 성형과정 분

석결과 브라켓 안쪽부위에서 최종성형 2mm전 터짐이 발생함을 확인할 수 있었다. Upper Die의 바깥쪽 터칭 Timing이 많이 늦어져 터짐량 감소의 효과가 있음을 확인할 수 있었으며, 잔류한 터짐현상은 현장에서 형상“R”을 키움으로서 해결 가능할 것으로 판단된다. 신율 분석결과와 FLD에서 터지는 동일 부위에 최대 67.4%의 두께 감소가 일어남을 확인할 수 있었으며 신율분포는 Fig. 13과 같이 나타난다.

OP20 Forming공정해석 후 잔류응력에 의한 스프링백량을 분석하기 위해 스프링백 해석을 수행하였으며, 해석을 위한 경계조건은 Fig. 14와 같으며 실제 판넬의 금형 취출 조건인 Automatic rigid body removal조건과 함께 대칭 구속조건으로 스프링백 해석을 수행하였고, 스프링백 해석결과는 Fig. 15와 같으며 Automatic rigid body removal조건으로 스프링백 해석결과 최대 0.15mm, 최소 -0.12mm의 스프링백이 발생함을 확인할 수 있었다.

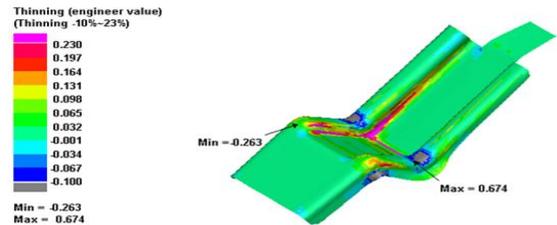


Fig. 13 Elongation analysis result(With Bending)

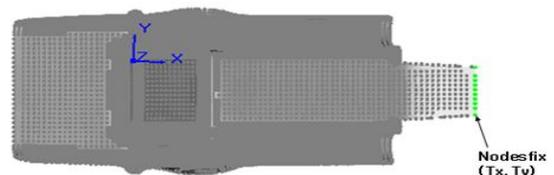


Fig. 14 Spring back process condition

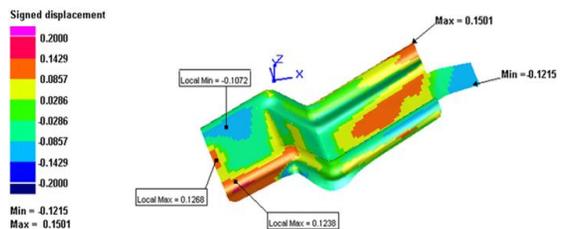


Fig. 15 Spring back analysis result after OP20 Forming

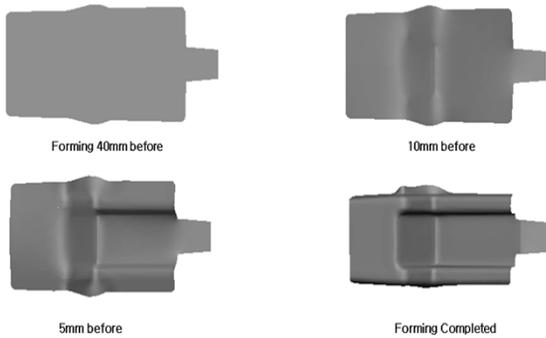


Fig. 16 OP10 Forming without Bending process

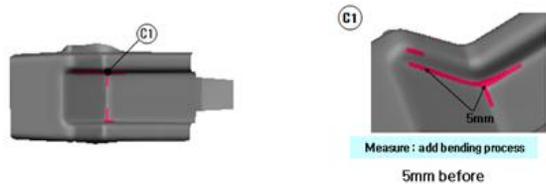
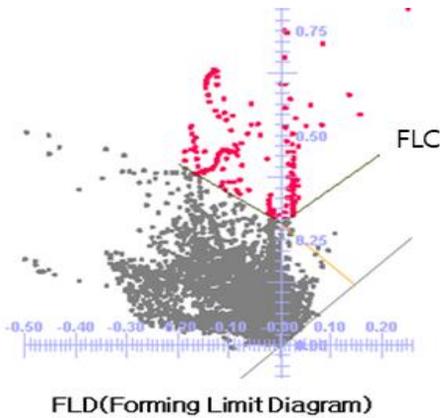


Fig. 17 Formability analysis using FLD(Without Bending)

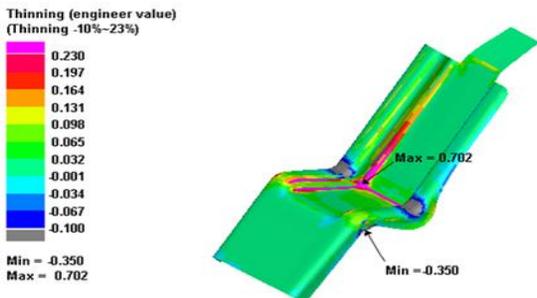


Fig. 18 Elongation analysis result (Without Bending)

3-3. Without Bending 성형, 스프링백 해석

1공정의 Bending공정을 삭제하는 것이 가능한지를 검토하기 위해 Bending공정 없이 Forming공정에 대한 성형해석을 수행하였다. 초기 Blank를 이용하여 1공정 Forming without Bending해석을 수행하였으며, 공정성형과정은 Fig. 16과 같다.

FLD를 이용한 성형성 분석은 Fig. 17과 같으며, Bending공정 없이 Forming을 수행하였을 경우 Bending공정이 있는 것에 비해 성형성이 나쁨을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 Bending공정은 반드시 필요한 공정임을 확인할 수 있다.

신율 분석결과 FLD에서 터지는 동일 부위에 최대 70%의 두께감소가 일어남을 확인할 수 있었으며, Fig. 18에 신율분포를 나타내었다. OP10 Forming without Bending공정해석이 끝나고 잔류응력에 의한 스프링백량을 분석하기 위해 스프링백 해석을 수행하였다. 스프링백 해석을 위한 경계조건은 실제 판넬의 금형 취출 조건인 Automatic rigid body removal 조건과 함께 대칭 구속조건으로 스프링백 해석을 수행했으며 스프링백 해석결과는 Fig. 19와 같다.

Automatic rigid body removal 조건으로 스프링백 해석을 수행한 결과 최대 0.25mm, 최소 -0.14mm의

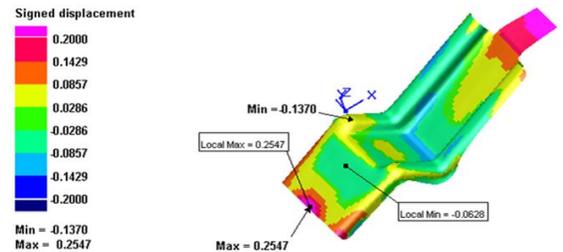


Fig. 19 Spring back analysis result OP10 Forming (without Bending)

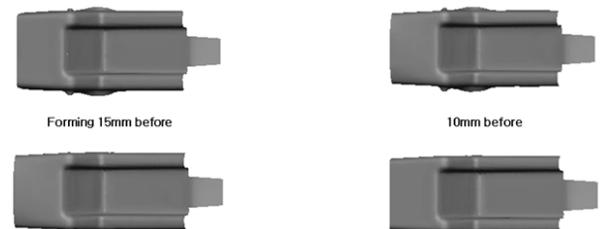


Fig. 20 Restrike forming process

스프링백이 발생함을 확인할 수 있다. 변위분석을 통해 원하는 부위의 평탄도 예측이 가능한데 Bending 공정이 있는 것에 비해 평탄도 역시 나뭇을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 Bending 공정은 성형성과 더불어 스프링백에서도 반드시 필요한 공정임을 확인할 수 있었다.

3-4. OP30 Restrike 성형해석 및 스프링백 해석

Bending 공정 및 Forming 공정 후 판넬을 이용하여 3공정 Restrike 공정해석을 수행하였으며, 성형과정을 Fig. 20에 나타내었다.

성형한계선도 FLD를 통한 성형성 분석 결과는 Fig. 21과 같으며 OP20에서 생긴 터짐 외에는 추가 터짐이 없을 것으로 예측되었다.

신율 분석 결과 FLD에서 터지는 동일 부위에 최대 67.5%의 두께감소가 일어남을 확인할 수 있었으며, Fig. 22에 신율분포를 나타내었다.

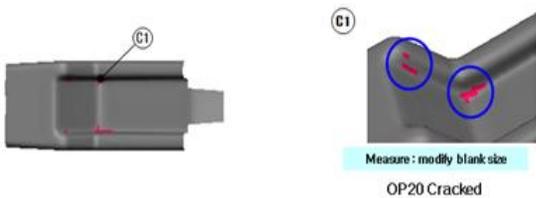
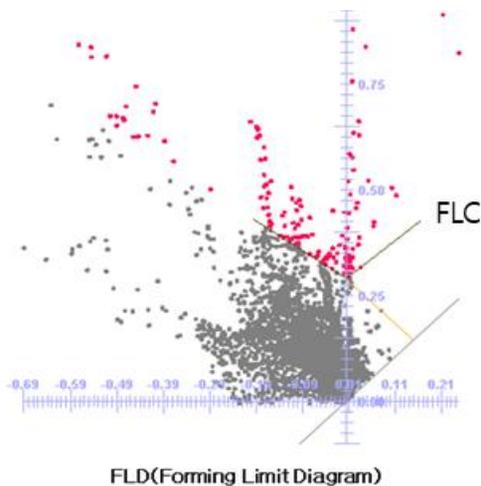


Fig. 21 Formability analysis using FLD(Restrike process)



FLD(Foring Limit Diagram)

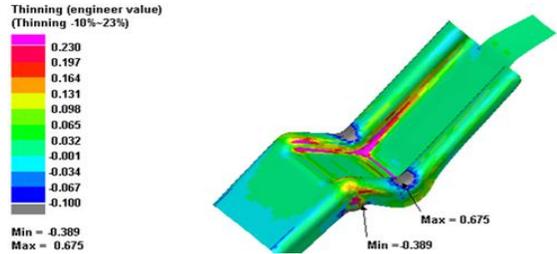


Fig. 22 Elongation analysis result (Restrike)

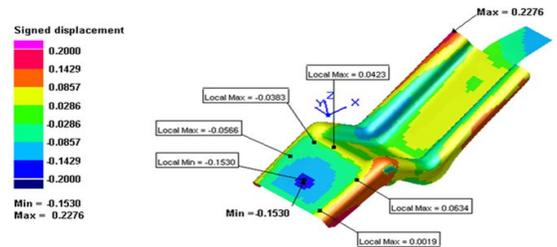


Fig. 23 Spring back analysis result of OP30 restrike

OP30 Restrike 공정해석이 끝나고 잔류응력에 의한 스프링백량을 분석하기 위해 스프링백 해석을 수행하였다. 해석을 위한 경계 조건은 실제 판넬의 금형 취출 조건인 Automatic rigid body removal 조건과 함께 대칭 구속조건으로 스프링백 해석을 수행하였으며 스프링백 해석결과는 Fig. 23과 같다.

Automatic rigid body removal 조건으로 스프링백 해석을 수행한 결과 최대 0.22mm, 최소 -0.15mm의 스프링백이 발생함을 확인할 수 있었다. 변위분석을 통해 주요체결부위의 평탄도는 충분히 나음을 예측할 수 있다.

4. 결론

자동차의 경량화와 주행 시 운전자의 안전을 확보하기 위해 기존의 440MPa급으로 제작된 부품(Mounting Bracket)을 590MPa급으로 대체하여 보다 높은 충돌안전성확보와 차체 경량화를 이루었으며, 인장시험, 성형해석, 스프링백 예측을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. Mounting Bracket의 SPFH590 판재의 인장강도는 소재의 압연 방향과 직각인 90°방향으로 가공한

시편에서 661MPa의 최대 인장강도를 보여주고 있으며, 연신율은 압연방향의 45°인 시편에서 25.6%의 최대 연신율을 나타내었다.

2. FLD 시험결과에서 알 수 있듯이 성형 시 변형모드에 따른 제품의 파단 한계를 예측 하였으며, 보다 안정적인 성형을 위해서는 신율 20%이하에서 성형이 이루어지도록 금형설계가 필요할 것으로 판단되었다.

3. FLD를 이용한 성형성 분석을 통해 Bending공정 없이 Forming을 수행하였을 경우 성형 전 5mm에서 터짐 발생, Bending공정이 있는 것은 성형 전 2mm에서 터짐이 발생하여 Without Bending은 성형성이 나쁨을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 Bending공정은 반드시 필요한 공정임을 확인할 수 있다.

4. Automatic rigid body removal 조건으로 스프링백 해석을 수행한 결과 Without Bending은 최대 0.25mm, 최소 -0.14mm의 스프링백이 발생함을 확인했고, Bending공정이 있는 경우는 최대 0.15mm, 최소 -0.12mm의 스프링백이 발생함을 확인할 수 있었다. Bending 공정이 있는 것에 비해 평탄도 역시 나쁨을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 Bending 공정은 성형성과 더불어 스프링백에서도 반드시 필요한 공정임을 확인할 수 있다. 향후 본 연구결과를 보완하여 보다 다양한 부품에 대하여 고강도강으로 대체하기 위한 Data Base의 구축으로 제품개발에 적극적으로 활용할 계획이다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 2021년 교내 학술 연구비 지원에 의한 것입니다.

REFERENCES

1. Park, D. H., Tak, Y. H., Kwon, H. H., An, J. Y., "Progressive die forming technology applying springback reduction of the floor mounting bracket for car seat," Proceedings of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers Spring Conference, pp. 14~14, 2017.
2. Lee, D. Y., Choi, B. S., Hwang, J. H., Baek, I. K., Choi, K. Y., "Springback Control of an Automotive Surround Molding Part Using Automatic Die Compensation Module," Journal of the Korean Society For Technology of Plasticity, Vol. 18, No. 3, pp. 210-216, 2009.
3. Ahn, D. G., Song, D. H., Han, G. H., "Spring-back analysis for the forming process of automotive inner reinforced plate using AUTOFORM," Proceedings of the Korean Society for Mechanical Engineers Spring Conference, pp. 47-50, 2008.
4. Kang, H. J., Kim, B. H., Ahn, K. C., Kim, D. G., Yoo, C. Y., "Molding analysis of curved surface shape using autoform," Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers Spring Conference, pp. 142-142, 2015.
5. Lee, S. U., Yang, D. Y., "Die design of the sheet-metal forming for the spring back compensation," Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Spring Conference, pp. 110-110, 2016.
6. Park, D. H., Tak, Y. H., Kwon, H. H., "Process Design of Automobile Seat Rail Lower Part using Ultra-High Strength DP980 Steel," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 2, pp. 160-167, 2018.
7. Jung, D. G., Kim, S. H., "Prediction Accuracy in the Spring back Analysis of Press-formed Part with HSS," Proceedings of the Korean Society For Technology of Plasticity Fall Conference, pp. 270-273, 2013.
8. Bae, G. H., "Enhancement of the Spring back Prediction Accuracy for UHSS Using the Large-deformation Flow Stress Curve," Proceedings of the Korean Society For Technology of Plasticity Fall Conference, pp. 127-130, 2015.
9. Kim, H. Y., Kim, J. J., "Prediction of Spring Back and Formability in 3-D Stamping by An Explicit Code," Journal of the The Korean

Society For Technology of Plasticity, Vol. 3, No. 1, pp. 84-96, 1994.

10. Song, Y. J., Hahn, Y. H., Park, C. D., Chung, W. J., "Trimming Line Design of Auto-body Panel with Complex Shape Using Finite Element Inverse Method," Transactions of Materials Processing, Vol. 15, No. 6, pp. 459-466, 2006.
11. Jung, D. W., Lee, S. J., "The determination of initial blank shape by using the one-step FEM," Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 13, No. 3, pp. 21-28, 1999.