

초고강도 소재 성형시 형상 동결을 이용한 Seat Track 부품 개발

박동환^{a*}, 윤재정^a, 문현덕^b, 이태길^b

The Development of Seat Track Parts Using Shape Freeze in UHSS

Dong Hwan Park^{a*}, Jae Jung Yun^a, Hyun Duk Moon^b, Tae Gil Lee^b^a Gyeongbuk Hybrid Technology Institute, 24-24, Goeyeon 1-gil, Yeongcheon, Gyeongbuk-do, 38899, Korea^b Joil, 27-47, Gongdan-ro, 166-gil, Seongsan-gu, Changwon, Gyeongnam-do, 51568, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	23	August	2016
Revised	25	October	2016
Accepted	6	December	2016

Keywords:

Forming die
Seat track
Shape freeze
Spring back
Ultra high strength steel

ABSTRACT

A seat track product is a car seat part that provides a base for vehicle seats. An ultra-high strength steel sheet is used to reduce the weight of vehicle body parts. However, the formability of an ultra-high strength steel sheet is poor because of its very low elongation and very high elastic deformation. For this reason, a new forming technology of an ultra-high strength steel sheet is required. The influence of spring-back of seat track parts on the shape freeze in forming processes was investigated to be solved by adjusting the appropriate tool design such as minus clearance between punch and die, and punch angle. This paper describes how to apply the spring-back prevention technique for improving shape freeze by using the ultra-high strength steel sheet with 980MPa to develop lightweight seat track parts.

1. 서론

자동차 메이커들은 알루미늄과 플라스틱 등 경량재료가 경량화를 극대화 할 수 있을 것으로 보고 있으나 원가 상승으로 경량재료 사용이 급증하지는 않을 것으로 예상되며 기존 철강 소재의 인장강도를 높여 차체 경량화를 높이는 기술은 자동차의 경쟁력 향상을 위해서 반드시 확보해야 될 중요 핵심기술이다^{1,2}.

최근 자동차 차체 업체는 초고강도 소재를 사용하여 비용 상승을 최소화하면서 소재 두께를 줄여 차체 중량을 감소시키고 있다.

초고강도강은 성형성이 낮은 단점을 지니고 있어 본 연구에서는 이러한 초고강도 강판 성형성 향상을 위해 사전에 성형 해석을 실시하여 스프링백을 예측하고자 하였다^{3,4}.

본 연구에서는 980 MPa 초고강도 강판(ultra high strength steel)의 형상 동결성 향상을 위하여 자동차 시트용 시트 트랙 부품의 금형 기술을 개발하는 것으로 자동차 저연비 실현을 위한 개선 방안으로 기존 인장강도 SPFC 440 MPa, 소재 두께 3.2 mm의 시트 트랙 부품을 SPFC 980 MPa, 소재 두께 2.0 mm의 초고강도 강판을 사용하여 형상 동결성 향상을 위한 스프링백 방지기술을 확보하여 기존 대비 35% 이상의 경량 시트 트랙 제품을 개발하고자 하였다⁵. Fig. 1은 자동차 시트 부품의 한 파트인 Seat Track 단품을 대상으로 시작 금형을 제작하기 전에 일부 구간에 대해 사전 검증용 금형을 제작하여 초고강도 강판에서 발생하는 벤딩 성형 문제점인 스프링백을 해결하기 위해 금형 형상 및 치수변경을 통해 최적의 조건을 도출하고자 하였다^{6,7}.

* Corresponding author. Tel.: +82-54-330-8020

Fax: +82-54-330-8029

E-mail address: pdh@ghi.re.kr (Dong Hwan Park).



Fig. 1. Position of seat track in the car

2. 소재 물성 시험

2.1 상온 FLD(forming limit diagram) 시험

FLD는 박판의 성형한계를 보여주는 지표로서 소재가 네cking이나 크랙 없이 변형할 수 있는 최대 한계를 알 수 있는 시험으로 SPFC 980(두께 2.0 mm) 소재를 대상으로 FLD 시험 시편을 제작하여 만능박판성형시험기에서 성형한계 시험을 진행하였다. 일반적인 냉연강판의 FLD 시험편은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 직사각형의 형상으로 가공하여 시험을 진행하는 반면 초고강도의 FLD 시험편은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 금형 비드부에서 파손을 방지하고 안정적인 크랙을 유도하기 위해 NAKAZIMA 시험편^[8,9]으로 가공하여 2가지 시험 모두 성형성 시험을 진행 하였는데 일반 시험편의 경우 25 mm, 50 mm 시험편에서 불량률이 발생되었으나 NAKAZIMA 시험편의 경우 모든 조건에서 안정적으로 크랙이 발생되었다. 시험 조건은 블랭크 압력 80톤, 펀치 압력 30x톤을 사용하였으며, 200 mm 시험편 기준으로 펀치 이송거리를 살펴보면 평균 29.9 mm 정도의 펀치가 상승한 뒤에 시험 파단이 일어났으며, 시험편에 걸리는 펀치력은 29.7톤이 측정되었다. SPFC 980 2.0t 소재 기준으로 시험편의 사이즈가 클수록 펀치 상승 높이가 높아지는 것을 확인할 수 있었고, 사이즈가 클수록 성형이 더 잘되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 4는 FLD 시험 결과를 보여주고 있는데 그림에서 보는 바와 같이 변형률 20%이상에서는 대부분의 영역에서 크랙이 발생하는 것을 확인할 수 있으며 안정적인 성형을 위해서는 변형률 15% 이하에서 성형이 되도록 금형 설계가 필요한 것으로 판단 된다.

2.2 인장 시험

SPFC 980(두께 2.0 mm) 소재의 압연방향 기준으로 0°, 45°, 90° 방향으로 각 3개씩 인장시험편(KS B 0801 KS 13B호 시험편)을 가공하여 인장시험을 진행하였다.

인장시험은 MTS의 INSTRON 8801 장비를 사용하였으며, 시험 속도는 2 m/min의 조건으로 시험을 진행하였다. Fig. 5는 인장 시험 후 시험편 사진을 보여주고 있으며, SPFC 980 소재가 높은 강도로 인해 연신율이 매우 낮아 necking 현상이 거의 발생되지 않고

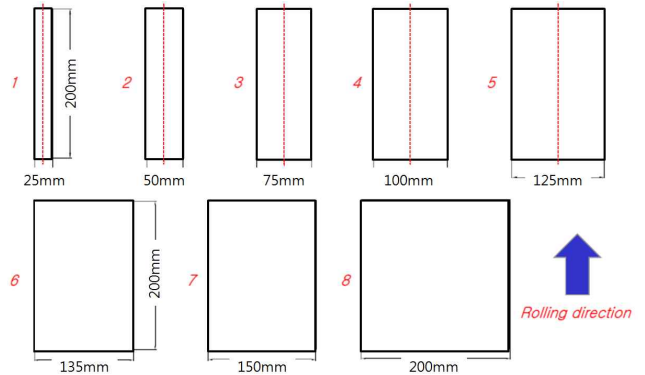


Fig. 2 Steel specimens for FLD test

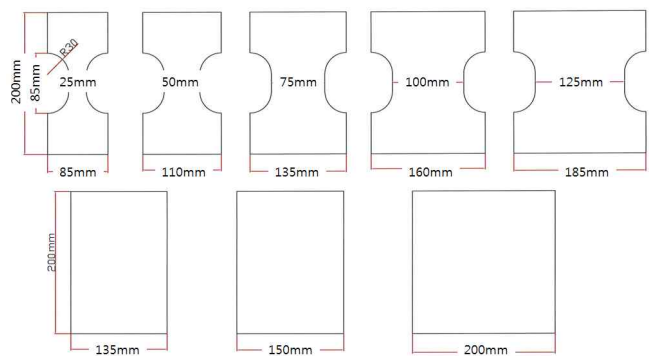


Fig. 3 Nakazima specimens for FLD test

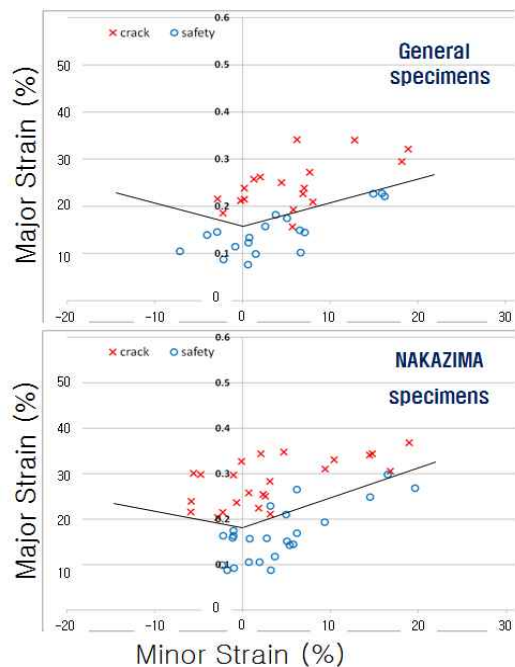


Fig. 4 Result of FLD test

파단된 형상을 보여주고 있다.

Table 1은 SPFC 980 소재의 압연 방향별 최대인장강도 및 연신율을 나타낸 것으로 최대인장강도는 압연방향의 직각인 90° 가공

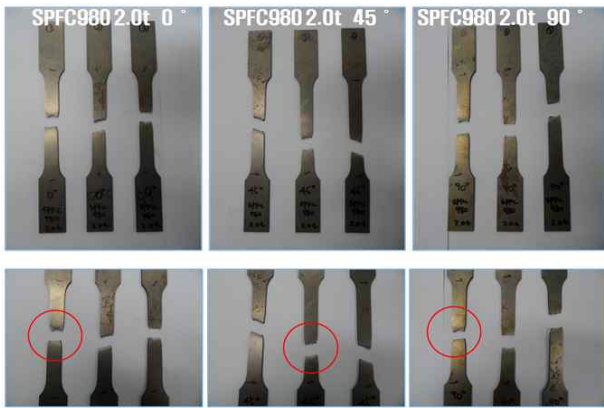


Fig. 5 Image of tensile test result

Table 1 Result of tensile test

	Peak Load (N)	Peak Stress (MPa)	Strain (%)
SPFC 980 2.0t (0°)	25,469	1,005	16
	25,414	1,003	16
	25,635	1,011	15
SPFC 980 2.0t (45°)	25,291	998	17
	24,997	982	14
	24,911	978	13
SPFC 980 2.0t (90°)	26,433	1,037	15
	26,251	1,030	15
	26,340	1,009	15

시편에서 1,025 MPa의 인장강도를 보여주고 있으며 압연방향의 45° 가공 시편은 986 MPa의 인장강도를 보여주고 있어 seat track 벤딩 성형시 압연 방향에서 90° 방향에서 벤딩 성형이 되도록 소재를 금형에 안착 할 필요가 있다. 연신율은 압연방향과 동일한 방향에서 약 15.6% 연신율을 보이고 있다.

3. 성형 해석

성형해석 시간을 줄이고자 seat track의 일부 구간 (70.7 mm)을 대상으로 Simufact forming 해석 프로그램을 활용하여 초고강도 강판 소재의 성형 해석을 수행하였다. 판재 성형해석 조건은 Table 2에 나타내었으며, 마찰계수는 철과 철의 운동마찰계수 0.05를 적용하여 해석을 수행하였다. Fig. 6은 seat track 성형 해석을 실시한 일부 구간 도면을 보여준다.

초고강도 판재를 적용한 seat track 단품의 성형해석을 위해 금형 모식도 및 블랭크 크기를 결정하였으며 블랭크를 금형에 넣고 패드(pad)로 블랭크를 가압한 상태에서 상형 다이로 블랭크를 눌러 성형되는 공정으로 해석을 실시하였다. 상형 다이 어깨 반경 (R) 값을 결정하기 위해 기술서적 자료^[10]를 참고하여 다이 어깨 반경을 설정하였다. 다이 어깨 반경은 판 두께, 판의 경도, 플랜지 길이

Table 2 Simulation conditions of forming

Plastic material	SPFC980
Initial temp. of die and material	20°C
Rigid die	STD11
Condition of friction	0.05
Press velocity	180mm/s

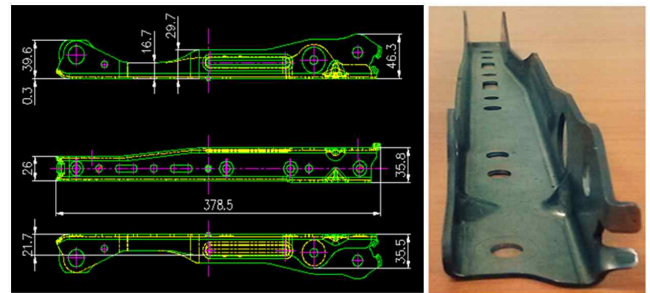


Fig. 6 Schematic diagram of seat track parts

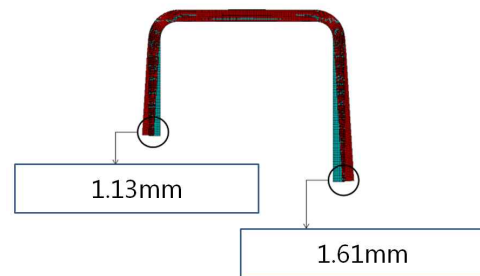


Fig. 7 Result of forming simulation

에 따라 좌우되며 소재 두께의 3배수인 6R로 금형을 설계하였다.

Fig. 7은 일반적인 성형 방법으로 벤딩시 발생하는 스프링백의 발생량을 성형 해석을 통해 분석한 결과로서 seat track 단면의 좌측은 약 1.13 mm의 스프링백이 발생되었으며 우측은 약 1.61 mm의 스프링백이 발생되었다.

Fig. 8은 프레스 성형시 벤딩 부분이 조금 더 안쪽으로 성형이 되어 스프링백 발생량을 줄이기 위해 펀치 각도를 각각 -2°, -4°, -8°로 줄여 해석한 결과 -2°에서는 스프링백 저감 효과가 적은 경향이 있었고, -8°에서는 -4°와 동일한 결과를 얻어 펀치 각도를 90°에서 86°로 -4° 줄였으며, 형상동결을 위해 마이너스 0.2 mm 클리어런스를 적용하여 소재 모서리 R부를 눌러 스프링백을 줄이는 방법으로 성형해석을 실시한 결과 seat track 단면의 좌측은 약 0.21 mm의 스프링백이 발생되었으며, 우측은 약 0.23 mm의 스프링백이 발생되었다^[11].

Fig. 9는 스프링백 발생량을 좀 더 줄이기 위해 2번의 성형공정 즉, 1공정은 Fig. 7과 같이 일반 금형에서 성형 후 스프링백이 발생된 제품을 2공정으로 Fig. 8과 같이 하형 펀치 각도를 90°에서 86°로 -4° 줄이고 마이너스 0.2 mm 클리어런스를 적용하여

소재 모서리 R부를 눌러 성형해석을 실시한 결과 seat track 단면의 좌측 및 우측 모두 스프링백의 반대방향으로 약 -0.12 mm 발생되었다.

즉, 금형 구조 변경을 통한 형상동결 공법 적용시 한 번의 성형 공정만으로는 완벽하게 스프링백을 제어 할 수는 없었지만, 두 번의 성형공정으로는 스프링백 제어가 가능함을 확인하였다.

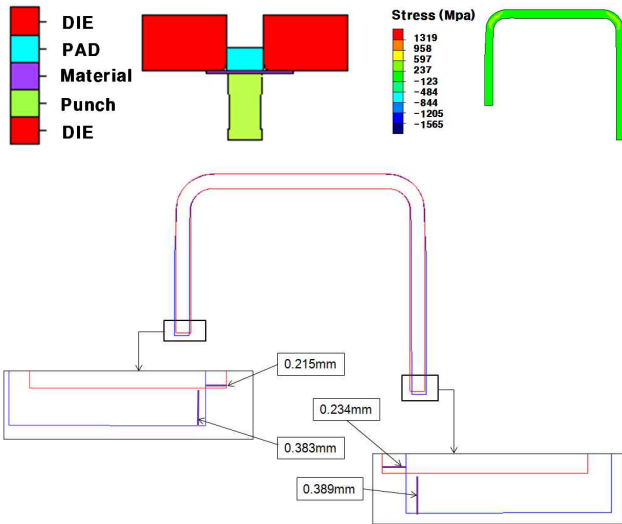


Fig. 8 Result of forming simulation (for punch angle 86°)

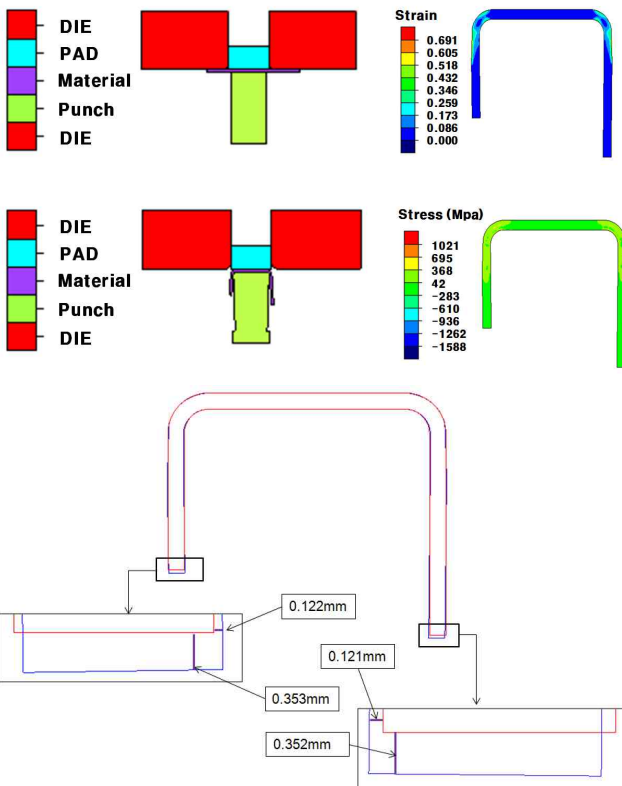


Fig. 9 Result of forming simulation (for 2 step)

4. 사전 검증용 금형 제작

성형해석을 통해 초고강도 소재의 스프링백 제어 방법을 확인하였으며, 형상 동결 확인을 위해 사전 검증용 금형을 제작하여 단품 T/O를 실시하였다. 성형 해석과 동일하게 시트 트랙 일부 형상 (70.7 mm 구간)을 대상으로 시작금형을 제작하였다. 다양한 실험 및 데이터 구축을 위한 시간 및 비용을 줄이고자 시트 트랙 일부 구간만 진행하였다. 사전 검증용 금형에 사용된 블랭크는 SPFC 980 2.0t 로 와이어 커팅 가공을 통해 블랭크를 준비 하였으며, 펀치가 블랭크와 패드를 가압하여 내리면 플랜지 부위가 벤딩되는 방법으로 사전 검증용 시작 금형을 제작 하였다. 1공정은 forming 공정으로 일반적인 금형 제작 방법으로 제작하였으며, 2공정은 restriking 공정으로 스프링백 제어를 위한 다양한 기술을 적용시키고자 금형 교체가 용이하도록 상하 홀더에 펀치 및 다이를 교체할 수 있도록 제작하였다.

Fig. 10은 사전 검증용 금형 사진을 보여주고 있으며, Fig. 11은 제작된 펀치 및 다이를 보여주고 있다. 상단의 사진은 각도 -2°, -4°, -8°로 제작한 펀치로 마이너스 각도가 클수록 펀치 중간 부위 형상이 줄어든 것을 볼 수 있으며, 하단의 사진은 마이너스 클리어런스를 (-0.1 mm, -0.2 mm) 적용한 금형 사진으로 마이너스 클리어런스를 통해 제품에서 벤딩 되는 R 부분의 형상 동결을 통해 스프링백 발생을 줄일 수 있었다.



Fig. 10 Shape freeze mold



Fig. 11 punch and die

Fig. 12는 제작된 금형을 활용하여 금형 T/O를 실시한 사진을 보여주고 있으며 Fig. 13은 형상 동결 향상을 위한 시작 금형 T/O 시제품의 측정 위치 및 방법에 대한 사진으로 시제품의 끝단부에서 떨어진 거리를 측정하여 스프링백 발생량을 확인하였다.

일반 금형으로 T/O를 실시한 시제품의 끝단부를 기준으로 스프링백 발생량을 측정한 결과 좌측은 1.6 mm, 우측은 1.7 mm 스프링백이 발생하였는데, 이는 성형해석 결과와 사전 검증용 금형 T/O를 통한 시제품의 스프링백 발생량과 유사함을 확인하였다.

수차례의 금형 T/O 결과 두번의 성형공정을 통한 펀치각도 4도, 클리어런스 -0.15 mm로 금형 치수를 변경하여 최적 조건을 도출하였다. Fig. 14는 금형 T/O를 통해 얻은 시제품에 대해 단면 게이지로 스프링백 발생량을 확인하는 사진으로 시제품이 좌측 및 우측 모두 90° 각도로 성형되어 시제품과 단면 게이지 사이에 갭이 전혀 없는 것을 확인하고 스프링백 발생이 없음을 확인하였다.



Fig. 12 Try out of verification mold



Fig. 13 Dimension measurement of product

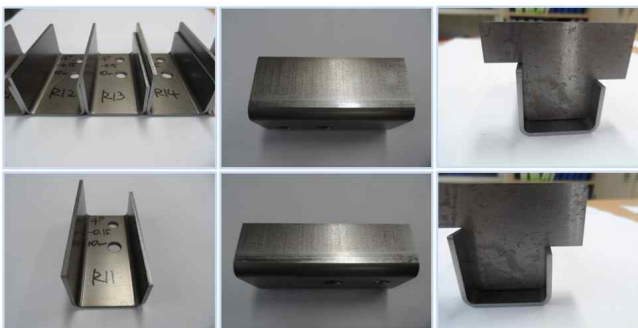


Fig. 14 Product evaluation with the gauge section

5. 시트 트랙 시작 금형 제작

성형해석 및 사전 검증용 금형 제작을 통해 마이너스 클리어런스를 통한 형상 동결 방법을 통한 초고강도 소재의 스프링백 제어 방법을 확인하고, 실제 자동차 부품으로 생산되고 있는 시트 트랙 부품에 대하여 형상 동결 방법을 적용한 시제품 생산을 위해 시작 금형을 제작하였다.

Fig. 15는 시트 트랙 시작 금형의 공정별 레이아웃도를 나타낸 것으로 1공정은 45° 벤딩 공정으로 90° 벤딩 전에 50% 성형하는 공정으로 스프링백의 형상정밀도 산포방지를 위해 매우 중요한 공정이다. 2공정은 90도 벤딩 공정으로 시트 트랙의 형상을 성형하는 공정으로 좌측과 우측의 길이와 폭의 산포를 결정하는 공정이다. 3공정은 2공정에서 형상정밀도와 길이변화에서 발생하는 비틀림 변형과 산포를 해결해 주는 리스트라이킹(restriking) 공정으로 사전 검증용 시작 금형에서 확보한 금형 치수를 적용하여 스프링백을 방지하는 공정에 해당된다. 4공정 및 5공정은 캄피어싱(cam piercing) 공정으로 전후, 좌우의 구멍을 가공하는 공정으로 평탄도와 동축도, 위치공차에 영향을 미치는 중요한 공정이다.

Fig. 16은 시트 트랙 제품 도면에서 전개도를 만들어 블랭크 형



Fig. 15 Lay-out drawing of seat track



Fig. 16 Blank size of seat track



Fig. 17 Seat track product

상으로 와이어 가공을 통해 블랭크를 준비 하였으며, Fig. 17은 시트 트랙 최종 제품 형상으로 1공정~5공정을 거쳐 최종 시제품을 생산하였다.

6. 시트 트랙 제품 평가

시트 트랙 최종 금형 T/O 시제품(SPFC 980 2.0t 소재) 5개를 임의로 선정하여 스프링백 발생 유무를 확인하고자 3차원 치수 측정을 실시하였다. Fig. 18은 시트 트랙 시제품의 스프링백 발생량을 측정하는 사진으로 자동차의 시트와 체결되는 부위 4개소에 대해 5개의 시제품을 대상으로 20포인트의 스프링백을 측정한 결과 최소값은 -0.470 mm이며, 최대값은 0.418 mm 가 측정되어 품질 기준인 -0.5 mm~0.5 mm 이내에 5개의 제품 모두가 만족함을 확인하였다.

시트 트랙 시제품(SPFC 980 2.0t 소재)을 대상으로 실제 차량의 시트를 가정하여 시트와 고정되는 부분에 간 이 지그를 제작하여 내구성 시험을 진행하여 시트 트랙의 파손 유무를 확인하였다. 간 이 지그는 실제 시트와 체결되는 위치와 동일하게 front에는 가이드 핀을 활용하여 시트 트랙 2개의 홀에 가이드 핀을 삽입하여 볼트로 체결하였으며, rear는 가이드 핀을 활용하여 시트 트랙 1개의 홀에 가이드 핀을 삽입하여 볼트로 체결하였다. 시트 트랙 바닥면은 시트 레일과 동일한 사이즈로 제작된 지그에 4개의 볼트가 체결 되도록 제작하였다.

시트 트랙 내구성 시험은 1톤 용량의 유압 내구 시험 장비를 활용하여 시트 트랙 front 및 rear 측에 각각 actuator를 체결하여 내구 시험을 진행하였으며, 시험 조건은 1 Hz 즉 1초에 +100 kg



Fig. 18 3D dimension measurement of seat track



Fig. 19 Durability test of seat track

~ 100 kg 하중에서 한번 왕복하는 조건으로 12,000 Cycle 시험을 진행하였다. Fig. 19는 시트 트랙 내구성 시험 종료 후 제품 사진을 보여주고 있으며 육안 검사 결과 제품에 크랙이나 파손 부위는 발생하지 않음을 확인하였다.

7. 결론

본 연구에서는 초고강도 소재에 대한 형상동결 기술을 통해 스프링백을 제어 하고자 하였으며 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

초고강도 강판 성형을 위한 인장 시험 및 FLD 시험을 통한 물성 평가를 실시하였으며, 성형해석을 통해 금형 치수 변경을 통해 초고강도 강판 스프링백 제어 기술을 확보하였다. SPFC 980(두께 2.0 mm) 소재의 방향별 연신율을 비교한 결과 압연 방향인 0°에서 가장 높은 연신율을 보이고 있으며, 압연 방향에서 45° 방향의 연신율이 가장 낮은 것을 확인하여 시제품 벤딩 시에는 압연 방향으로 벤딩이 되도록 하였다. 성형 해석 및 시작 금형 제작을 통해 다양한 형상 동결 방법으로 성형성 검증(마이너스 클리어런스, 펀치 각도)을 실시하였으며 이 중에서 펀치각도 4°, 마이너스 클리어런스 공법 적용시 -0.15 mm 또는 소재 두께의 약 -10% 일 경우 스프링백 저감 효과가 큰 것을 확인하였다. 중량 측정 결과 기존 양산 제품 SPFC 440 3.2t 소재 대비 개발 시제품 SPFC 980 2.0t 소재를 사용할 경우 블랭크 기준으로 약 36.7%의 경량화를 보이는 것으로 확인되었다. Seat track 단품(SPFC980)을 대상으로 최적의 벤딩 성형 조건을 도출하여 seat track 금형을 개발하였다.

본 연구를 통해 초고강도 강판에 대한 스프링백 저감 및 성형성 향상 기술을 확보하였으며, 향후 자동차 차체 부품 제조 시 초고강도 강판 적용이 활발해 질 것으로 기대된다.

References

- [1] Akbar., Basha. S., Surendra., P., Manu, Ravuri., Guru, Mahesh. G., 2013, Analysis and Optimization of Automobile Seat Track, International Journal of Scientific & Engineering Research, 4:11 783-786.
- [2] Choi, W. H., 2007, Development of Auto-Body Design Technology and Welding Jig for Laser Remote Welding Application, KSAE07-G0009, 62-67.
- [3] Hideyuki, 2003, Springback Simulation of Automotive Body Panel in Multi-Operation Stamping Process Using Static-explicit FEM Code, JSAE Annual Congress, 13 13-16.
- [4] Kim, K. T., 2014, Application of Springback Analysis in the Development of a Reinforce Center Pillar Stamping Die, Journal of the Korea Society for Technology of Plastics, 23:5 297-302.

- [5] Moon, M. S., 2003, Improvement of Springback Predictability for Industrial Requirement, 4th Sheet Metal Forming Symposium, 58-66.
- [6] Choi, M. K., 2012, Investigation of Springback Behavior of DP780 Steel Sheets after the U-bending Process, Transactions of Materials Processing, 21:6 384-388.
- [7] Hong, S. M., 2014, Bead Optimization to Reduce Springback of Sheet Metal Forming using High Strength Steel, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 23:3 350-354.
- [8] Kumar, S. D., 2016, Forming Limit Diagram Generation of Aluminum Alloy AA2014 Using Nakazima Test Simulation Tool, Procedia Technology, 24 386-393.
- [9] Kim, H. Y., Choi, S. C., Lee, H. S., Kim, H. J., Lee, K. T., 2007, Experiments for Forming Limit Diagram and Springback Characteristics of AZ31B Magnesium Alloy Sheet at Elevated Temperature, Transactions of Materials Processing, 16:5 364-369.
- [10] Kim, S. H., 2012, Illustration Data Book for Die Design, Dae Kwang Seo Rim, 3-12.
- [11] Suh, C. H., 2012, The Effects of Process Parameters of Multi-Stage Forming on Springback for a U-channel Made of Ultra-high Strength Steel, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, 36:3 283-288.