

DP780이 적용된 자동차용 계단형 사이드실의 성형공정 연구

서창희¹, 신호동¹, 정윤철[#], 박춘달¹, 임용희², 김영석³

A Study on the Forming Process of Stair Type Side Sill for Automobile using DP780

C. H. Suh, H. D. Shin, Y-C. Jung, C. D. Park, Y. H. Lim, Y. S. Kim

Abstract

High strength steels are widely used for lightweight automobile parts and the control of springback is very important in sheet metal forming. The object of this study is to develop the forming process for stair type side sill made of high strength steel, DP780. Stair type side sill with local formed area and geometry change area can improve stiffness and design freedom but there are a few studies for forming process. The forming technology considered in this paper is form type process, which have many advantages for forming of high strength steel compared with draw type process. Finite element analysis is carried out to predict formability and springback. It is shown that angle calibration of die is essential for reducing springback, and local forming involving bead is effective to control springback also. The effectiveness of local forming and angle calibration is verified by experimental.

Key Words : High Strength Steel, Springback, Side Sill, Finite Element Analysis

1. 서 론

최근 환경오염과 에너지 자원의 고갈로 인해서 자동차의 연비향상 및 경량화 기술에 대한 중요성이 확대되고 있다. 자동차의 경량화를 위해서는 알루미늄 및 마그네슘과 같은 비철계 경량 소재의 적용을 확대하려는 노력과 고강도강판을 적용하려는 연구들이 활발히 수행되고 있다. 그러나 비철계 경량 소재는 고가이면서 철계 소재에 비해서 강도가 낮아서 충분한 강성 확보를 위해서는 제품을 두껍게 제조하여야 하기 때문에 제품가격이 상승하는 문제점을 나타내고 있다. 반면에 고강도강판은 소재비가 저렴하며, 얇은 두께로 원하는 강성을 유지할 수 있기 때문에 자동차 부품에 적용이 빠르게 증가하고 있다[1,2].

고강도강판을 적용하게 되면 강도 증가와 함께 연신율이 줄어들게 되어 성형성이 저하된다는 문제점을 갖게 된다. 또한 탄성영역의 확대로 인해서 스프링백이 증가하기 때문에 치수적인 불균일이 발생하여 조립성이 나빠지고 제품 성능에 나쁜 영향을 미치게 된다[3]. 지금까지 고강도강판의 성형과 스프링백 제어에 대한 연구는 많이 수행되었으며, 형상변수, 굽힘 각도, 재료의 항복 및 탄성계수, 두께 등이 복합적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[4~8]. 그러나 지금까지의 연구는 대부분 V나 U의 단순형상을 가지는 부품을 대상으로 수행되었으며 단면이 계단형이며, 제품내에 형상변화 영역과 다수의 국부포밍 영역이 포함된 대형 부품을 대상으로 수행된 연구는 미미한 실정이다.

1. 대구기계부품연구원

2. 신화

3. 경북대학교 기계공학부

교신저자: 대구기계부품연구원, E-mail:ycjung@dmi.re.kr

계단형 단면으로 설계된 사이드실(side sill)은 단순 U형상의 단면과는 달리 부품의 강성이 향상되고 타 부품과의 간섭 및 매칭성에 대한 설계 자유도를 높일 수 있기 때문에 향후 많은 적용이 예상된다. 따라서 본 연구에서는 고강도강판이 적용되고, 단순 단면이 아닌 계단형 단면을 가지고 형상변화영역과 국부포밍 영역이 다수 적용된 자동차용 사이드실의 성형 및 스프링백 제어 기술 개발을 목적으로 한다.

2. 성형 해석 조건

2.1 재료 특성

본 연구에 사용된 소재는 두께가 1.4 mm인 DP780이다. 소재의 유동곡선과 이방성 계수를 평가하기 위해서 인장시험은 KS B 0802규격에 따라서 진행되었으며, 시편은 KS B 0801 13B호 형상으로 압연방향(0도), 45도, 90도 방향으로 가공하였다. 시험은 Instron 5569를 사용하여 변위 제어방식으로 수행하였으며, 변형율의 정밀한 측정을 위해서 표점거리가 50 mm인 연신율계를 사용하였다. 인장시험 결과를 Table 1에 나타내었으며, 실험결과 방향별 유동곡선 및 이방성 계수는 큰 차이를 나타내지 않았다. 실험에서 얻어진 유동곡선과 이방성 계수를 성형해석에 사용하였으며, 영률은 210 GPa, 프아송비는 0.3을 사용하였다.

Table 1 Results of tensile test

Items	0°	45°	90°
Tensile strength (MPa)	839	834	836
Yield strength (MPa)	491	489	484
Elongation (%)	19	18	17
R value	0.74	0.82	0.82

2.2 성형 공정 및 모델

본 연구의 대상인 대형 승용차용 사이드실(길이 1,585 mm)의 형상을 Fig. 1에 나타내었으며, 스프링백 해석 후 스프링백량을 정량적으로 비교하기 위해서 A, B, C 단면을 사용하였다. 스프링백 해석 시 제품 내에 계단형상, 형상변화 영역, 국부포밍 영역이 포함되어 있어 성형 및 스프링백에 영향을 미치게 된다.

성형 공법은 폼 타입(form type)으로 설계하였으며, 성형과 스프링백 제어의 자유도를 높이기 위해서 1 공정 폼과 2 공정 폼으로 성형공정을 나누

어 구성하였다.

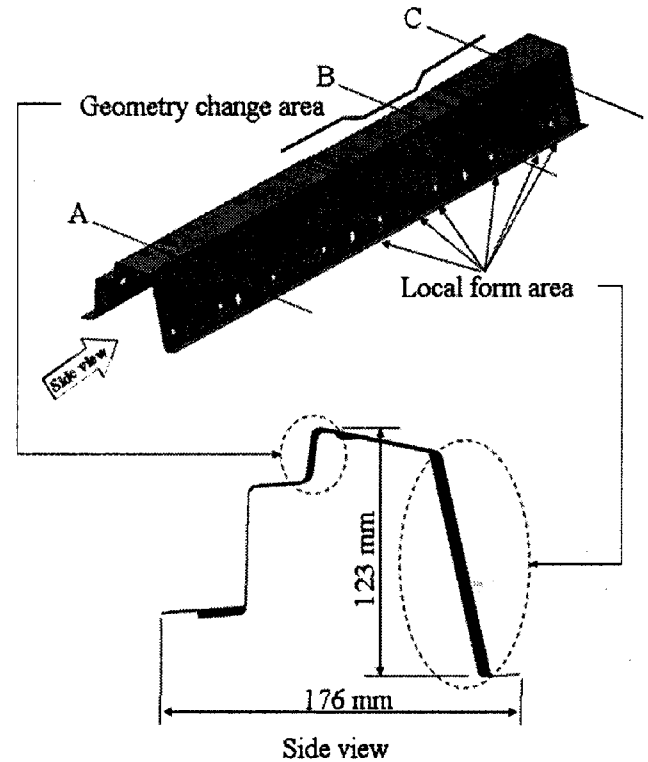
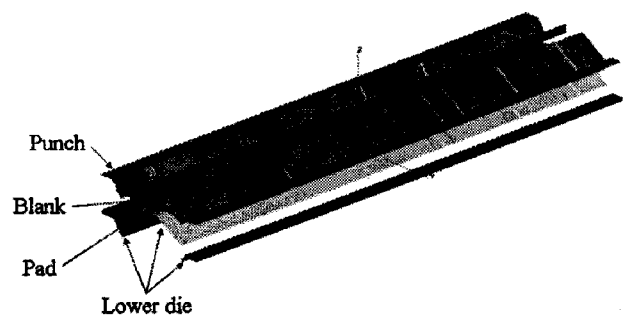
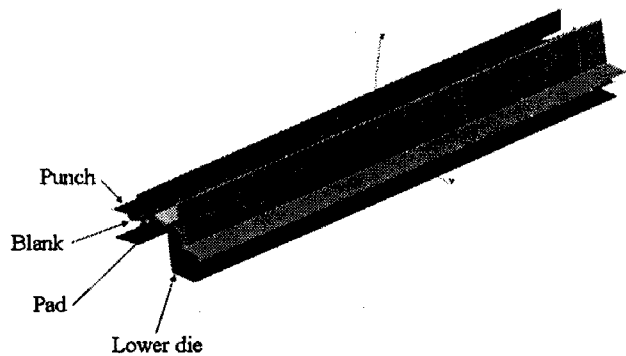


Fig. 1 Side sill geometry and side view



(a) 1st forming die

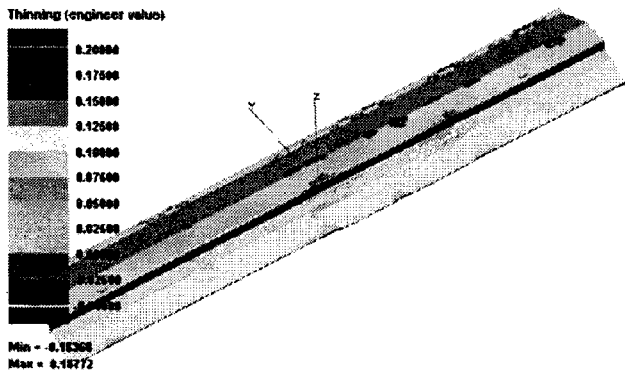


(b) 2nd forming die

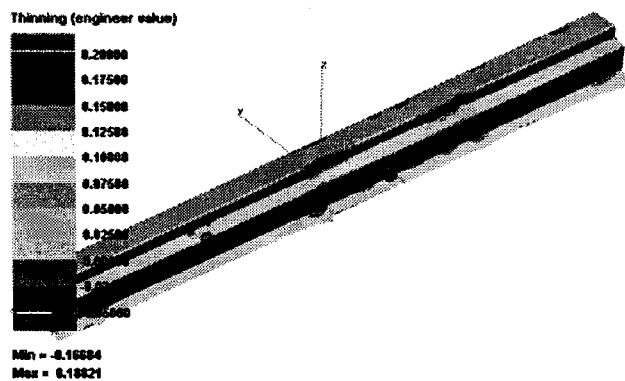
Fig. 2 Finite element models for forming and springback analysis

Fig. 2 에 1, 2 공정 금형과 블랭크의 유한요소 모델을 나타내었으며, 2 공정 금형은 제품 형상을 기준으로 하여 금형면(die face)를 구성하였다. 1, 2 공정 모두 상형은 패드(pad)와 펀치(punch)로 구분하였으며, 하형은 다이(die) 만으로 구성하였다. 성형 공정은 1, 2 공정 모두 패드에 의해서 블랭크(blank)를 잡아주고 펀치를 사용해서 성형이 되도록 구성하였다.

성형해석은 판재 전용 유한요소 해석 프로그램인 Pam-stamp 2G(explicit/implicit)를 사용하였다. 쿨롱 마찰계수는 0.12, 패드 속도는 2 m/sec, 펀치 속도는 2 m/sec 로 하였다. 패딩력은 30 ton 으로 하였으며, 금형의 반경부분 요소의 수는 10 개 이상으로 모델링 하였다. 블랭크에 사용된 쉘요소의 크기는 초기 16 mm 로 4,951 개의 요소로 분할하였으며, 어댑티브 5 단계를 적용하여 최소 사이즈가 1 이 되도록 설정하였다. 요소의 두께방향 적분점의 수를 7로 하였다. 항복 조건식은 Hill's 1948 년 식을 적용하였으며, 등방 경화 이론을 적용하여 해석을 수행하였다.

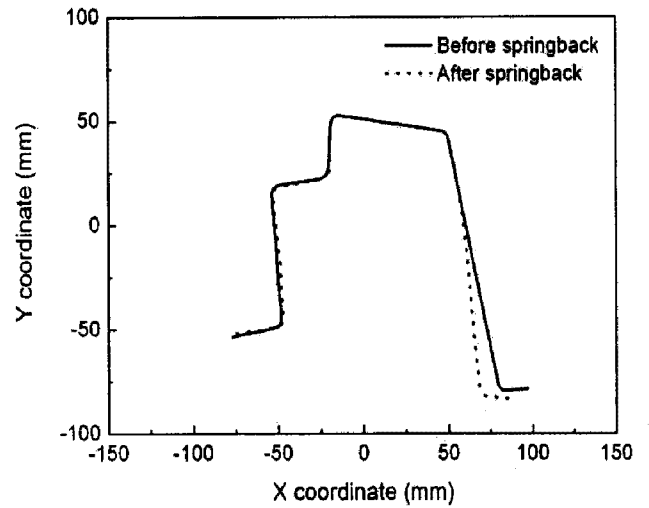


(a) 1st forming

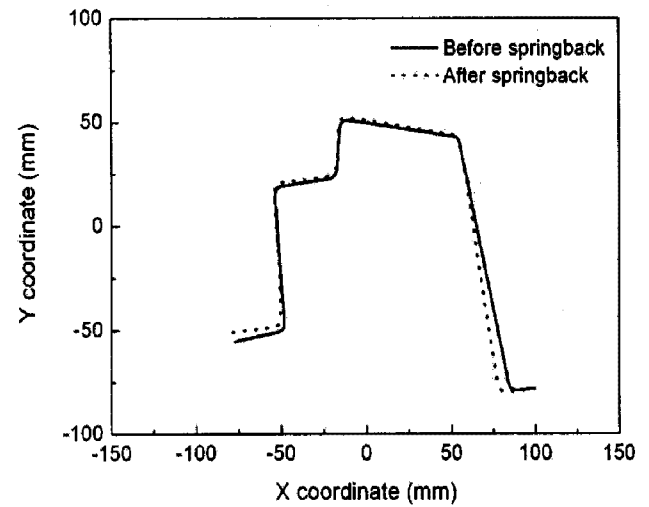


(b) 2nd forming

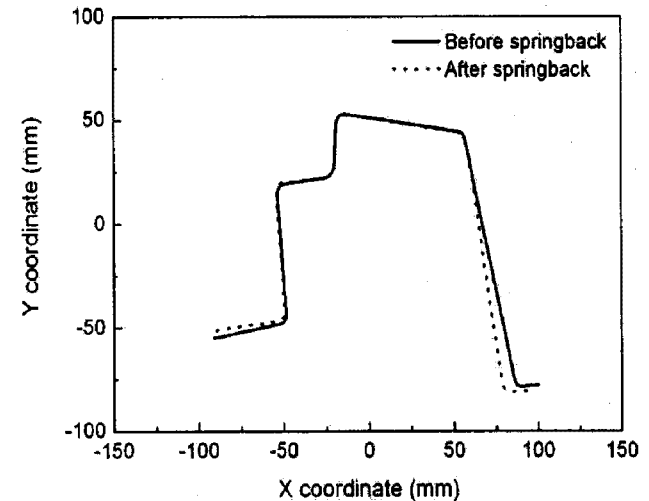
Fig. 3 Thinning distribution after forming analysis



(a) Section A



(b) Section B



(c) Section C

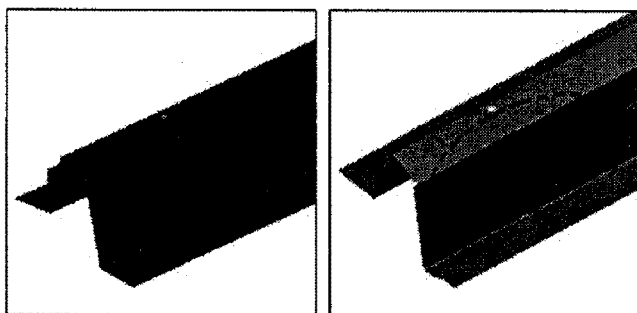
Fig. 4 The comparison of deformed shape (before and after springback analysis)

3. 성형 해석 결과

3.1 초도 해석 결과

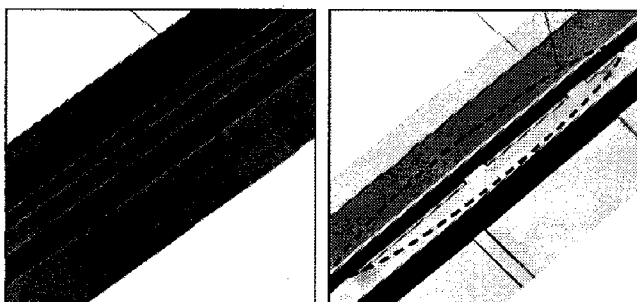
1 공정과 2 공정 성형해석 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 폼 타입 공정에서는 주로 굽힘 성형이 이루어지기 때문에 파단 발생의 위험이 낮은 편이다. 본 연구에서도 최대 두께 감소율은 1 공정에서 18.77%, 2 공정에서 18.82%로 나타났으며, 파단의 위험은 없을 것으로 판단된다.

1, 2 공정 성형 후 스프링백 해석을 수행하였으며 단면별 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 우측면에서는 모든 단면에서 스프링고(Spring go)가 발생하였으며, B와 C 단면에 비해 A 단면에서 가장 큰 스프링고가 발생하였다. 이는 B, C 단면 근처의 국부포밍 영역이 스프링고를 완화시켜주는 역할을 한 것으로 생각된다. B와 C 단면의 좌측 계단형면에서는 A 단면에 비해서 스프링백의 발생이 다소 크게 나타났으며, 이는 형상변화 영역의 단면 길이가 다른 단면 길이에 비해서 짧게 설계되어 성형시 소재들이 연신이 아니라 압축을 받게 되어 소재의 고강도특성으로 인해 주름으로 나타나지 않고 탄성 압축상태로 남아 있다가 금형의 열림시 스프링백을 촉진한 것으로 생각된다.



(a) Initial die(end part)

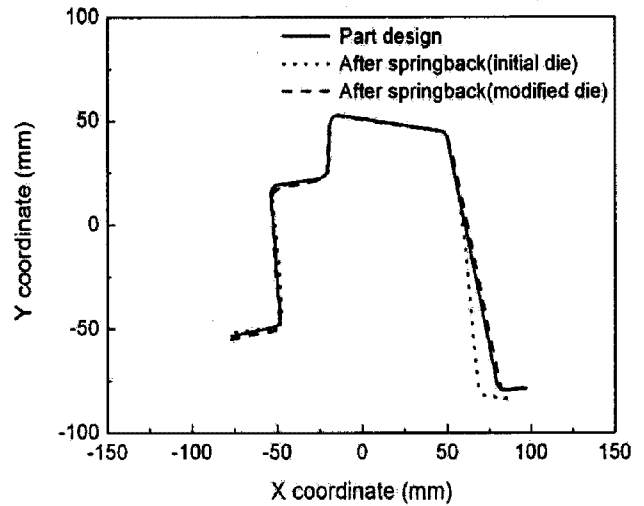
(b) Local formed area



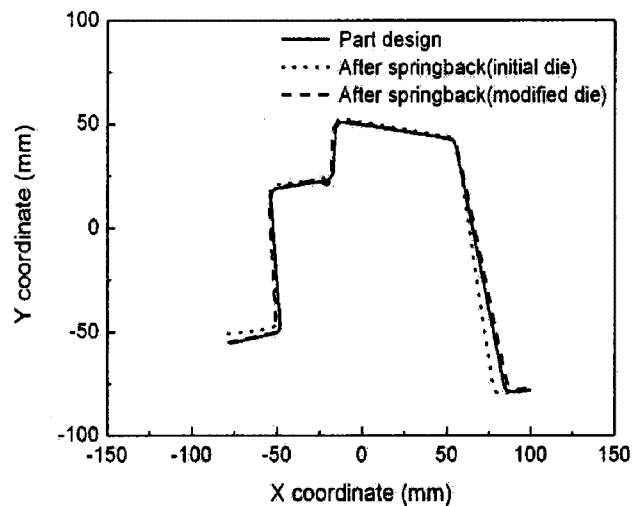
(c) Initial die(center part)

(d) Local formed bead

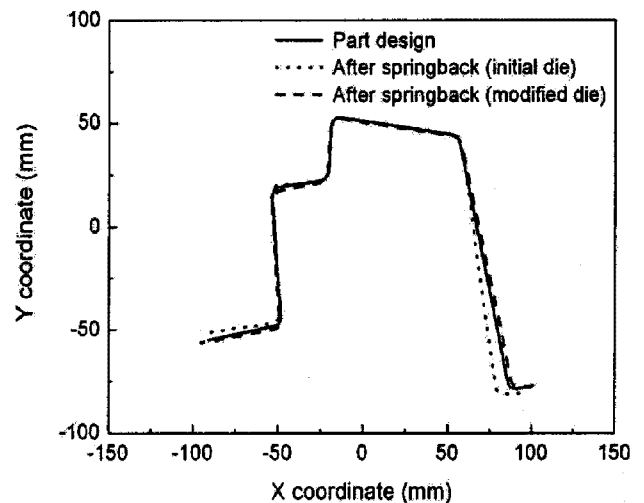
Fig. 5 Modified die geometry



(a) Section A



(b) Section B



(c) Section C

Fig. 6 The comparison of deformed shape after springback analysis

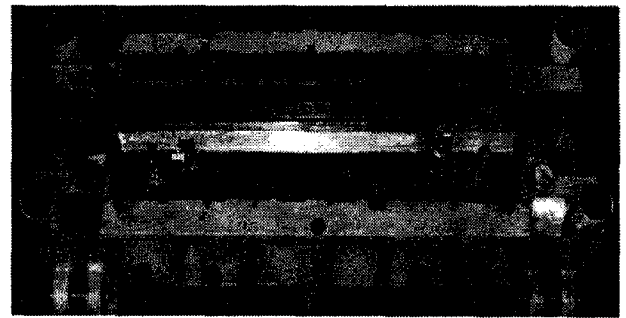
3.2 수정 해석 결과

초도 해석 결과를 바탕으로 금형 형상을 수정하였다. 우측면의 스프링고를 보정하기 위해서 동일하게 3도의 보정각을 부여하였으며, 단면 길이를 동일하게 유지하기 위해서 형상 변화 영역에 국부적인 비드(bead)를 추가하였다. 그리고 A 단면 우측면 근처 영역에 국부포밍을 추가하여 B, C 단면에 비해 상대적으로 높은 스프링고의 양을 감소하고자 하였다. Fig. 5 (a)와 (b)에 국부포밍 영역이 없는 초기 금형 형상과 추가된 국부포밍 영역을 Fig. 5 (c)와 (d)에 비드가 없는 초기 금형 형상과 형상 변화 영역에 추가된 비드 형상을 나타내었다.

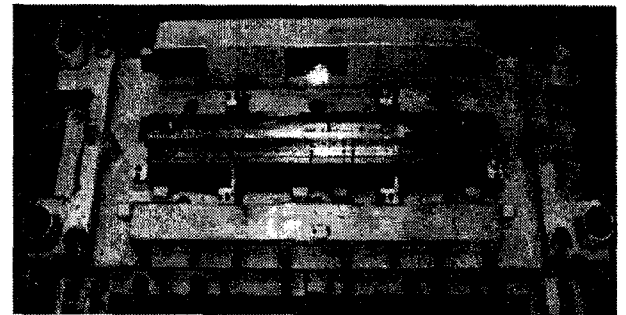
수정된 금형으로 성형해석을 수행하였으며, 스프링백 해석 결과를 Fig. 6에 나타내었다. A, B, C 모든 단면의 우측면에서 스프링고 현상이 현저히 감소하였으며, 보정각에 의한 스프링고의 보정이 효과적인 것으로 판단된다. B, C 단면의 좌측 계단형 영역에서는 비드의 추가로 인해서 소재를 압축이 아닌 연신 상태로 만들어 주어 스프링백이 감소하였다. 고강도강판의 성형시는 소재의 연성을 활용하는 드로잉 공법을 적용할 수 없기 때문에 제품이 형상변화 영역과 같이 소재의 성형량이 달라지는 영역에서는 국부적인 비드의 추가로 소재의 연신을 보정하여 스프링백의 발생을 제어할 수 있음을 확인하였다. 또한 스프링백이 가장 크게 발생한 A 단면 근처에 국부포밍 영역을 추가하여 B, C 단면과 유사한 정도의 스프링백량으로 보정할 수 있었다. 즉, 타 부품과의 간섭이나 매칭성에 영향을 주지 않는 범위 내에서 허용하는 국부 포밍 영역의 적용으로 스프링백 발생량을 제어할 수 있음을 확인 하였다.

4. 시제품 제작

성형해석 결과를 바탕으로 보정각과 국부 포밍이 적용된 1, 2공정 금형과 최종 시제품을 Fig. 7에 나타내었다. 실제 시제품 성형에서는 주름 및 파단의 발생은 없었으며, 최종 시제품은 측정 지그(check fixture)를 사용하여 형상의 정밀도를 측정하였다. Table 2에 단면 A, B, C의 설계와 시제품 치수 측정값의 최대 편차를 나타내었다. 시제품의 측정값은 조립공차 ± 0.5 mm 이내를 만족하였으며, 스프링백량이 유효하게 제어 되었음을 확인하였다.



(a) 1st forming lower die



(b) 2nd forming lower die



(c) Final prototype

Fig. 7 Forming die and prototype side sill

Table 2 Dimensional deviation between part design and prototype

Section	A	B	C
Maximum deviation (mm)	-0.46	-0.38	-0.49

5. 결론

DP780을 적용한 자동차용 사이드실의 성형공정 연구를 통해 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 성형해석 결과를 통해 실제 금형을 제작 한 결과 결함이 없는 계단형 대형 사이드 실을 제작할 수 있었다.
- (2) 계단형 단면은 단순 U형상에 비해 스프링백을 저감시키는 효과가 있음을 확인하였다.
- (3) 채널형 제품의 스프링백 제어를 위해서는 금형 보정각의 적용이 효과적임을 확인하였다.
- (4) 고강도강판이 적용된 형상 변화 영역 설계 시 단면 길이의 차이는 스프링백 발생을 촉진 시

킴으로 비드를 적용하여 단면길이를 제어하여야 한다.

(5) 제품의 측면 벽에 국부포밍 영역을 추가하여 스프링백을 효과적으로 제어할 수 있었으며, 향후 스프링백의 정밀한 제어를 위해서 국부 포밍 영역의 형상 변수가 스프링백에 미치는 영향도에 대한 연구가 추가로 필요할 것이다.

(6) 스프링백의 정밀한 해석을 위해서는 금형의 형상적인 영향 이외에도 바우싱거(bausinger) 효과와 가공경화 효과를 동시에 고려한 해석이 필요하며[9] 이를 위해서 혼합 등방-이동 경화 모델을 적용한 스프링백 연구가 향후 수행될 예정이다.

후 기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 부품소재전문기업 기술지원사업의 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) C. H. Cha, S. K. Lee, D. C. Ko, B. M. Kim, 2009, A study on the forming of automotive front side member part with ultra high strength steel of DP980, *Trans. Mater. Process*, Vol.18, No.1, pp.39~44.
- (2) I. C. Park, Y. J. Kim, J. M. Lee, Y. C. Park, 2006, Optimization of design planning by using the spring back simulation of auto panels, *Trans. Mater. Process*, Vol.15, No.2, pp. 164~171.
- (3) S.A. Asgari, M. Pereire, B. F. Rolfe, M. Dingle, P. D. Hodgson, 2008, Statistical analysis of finite element modeling in sheet metal forming and springback analysis, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 203, pp. 129 ~ 136.
- (4) P. Chen and M. Koc, 2007, Simulation of springback variation in forming of advanced high strength steels, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol.190, pp.189~198.
- (5) M. banu, M. Takamura, T. Hama, O. Naidim, C. Teodosiu, A. Makinouch, 2006, Simulation of springback and wrinkling in stamping of a dual phase steel rail-shaped part, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 173, pp.178~184.
- (6) Y. H. Kim, T. W. Kim, Y. S. Lee and J. H. Lee, 2004, A study on the springback of high strength TRIP steel, *Trans. Mater. Process*, Vol. 13, No. 5, pp.409~414.
- (7) D. Y. Yang, S. W. Lee, J. W. Yoon and D. J. Yoo, 1999, Springback analyses in sheet metal stamping processes and industrial applications, *Trans. Mater. Process*, Vol. 8, No. 1, pp.22~28.
- (8) M. S. Chae, Y. H. Lim, Y. S. Suh, C. D. Park, Y. S. Kim, 2008, A new manufacturing process for the ring plate of automotive fuel tank, *Trans. Mater. Process*, Vol. 17, No. 5, pp.350~355.
- (9) M. G. Lee, D. Kim, K. Chung, C. Kim, Michael L. Wenner, 2004, Spring-back evaluation of automotive sheets based on combined isotropic-kinematic hardenign rule, *Trans. Mater. Process*, Vol. 13, No. 1, pp.15~20.