

# 차량 필러부품 프레스 금형설계를 위한 금형보정이력 정보 데이터베이스 구축<sup>†</sup>

(Construction of information database with tool  
compensation histories for the tool design of a pillar part)

김 세 호\*  
(Se-Ho Kim)

**요 약** 본 논문에서는 차량용 센터필러 부품의 성형공정에서 발생하는 스프링백 문제를 해결하기 위한 일환으로 기존 부품의 금형보정이력 정보를 체계적으로 데이터베이스화하였다. 기존 부품의 경우 과도한 스프링백 발생에 의한 형상정밀도 불량을 해결하기 위하여 3차의 금형보정을 현장기술자의 작업에 의하여 수행하였으나, 보정값이 정량화되어 있지 못한 문제가 있었다. 본 논문에서는 기존 금형 보정과정의 결과를 유한요소해석을 통하여 정량적으로 분석하고 보정이 의도대로 이루어졌는지를 평가하는 데이터베이스를 구축하였다. 구축된 데이터베이스 정보를 활용하여 유사부품의 금형설계에 활용하였으며, 결과적으로 보정횟수를 감소시키고 도 제품을 성공적으로 성형할 수 있었다.

**핵심주제어** : 센터필러이너, 데이터베이스, 형상정밀도, 스프링백, 금형보정이력

**Abstract** Database for the information of the shape accuracy is constructed with the finite element stamping analysis of the center pillar member. Analyses are carried out in order to investigate the effect of tool compensation on the product quality previously performed by an expert in the press shop. The compensation procedure is provided with three sequences for improving shape accuracy of the member by reducing the amount of springback. The analysis result shows that shape inaccuracy in the product is caused by sagging and twisting phenomena from displacement of the section part due to excessive amount of springback. From the database with springback analyses, design modification guidelines are proposed for improving the shape accuracy. The guideline is directly applied to a member with the similar shape and the sound product is obtained successfully reducing the amount of springback.

**Key Words** : Center Pillar Inner, Database, Shape Accuracy, Springback, Tool Compensation History

## 1. 서 론

프레스 금형산업의 최대 수요산업인 자동차 산업은

시장 점유율 확보를 위한 제품 출시기간을 단축하기 위하여 금형업체에 지속적으로 금형 개발기간을 단축할 것을 요구하고 있다. 금형산업체에서는 컴퓨터 및 주변기기의 급속한 발전을 바탕으로 한 전산화와 무도면화로 금형 제작기간 및 공수절감, 제품의 품질 향상을 도모하고 있다. 고품질화, 고기능화, 단납기화에

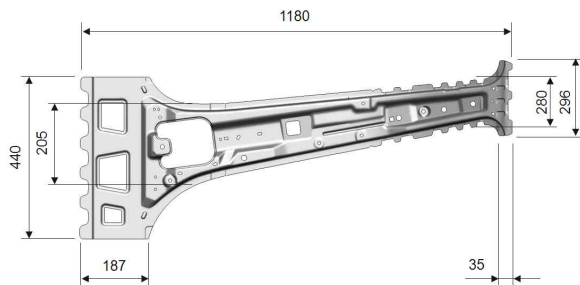
<sup>†</sup> 이 논문은 2009학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.

\* 대구대학교 기계·자동차공학부, 제1저자

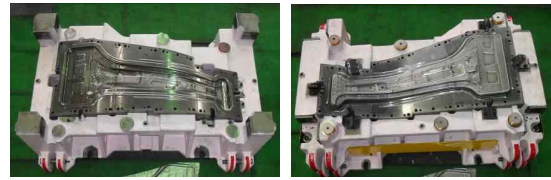
의한 제품 경쟁력 확보가 중요시되면서 생산성을 고려한 제품설계로 전환됨에 따라 동시공학(SE: Simultaneous engineering) 설계에 의한 제품 및 금형 평가 기술이 요구되고 있다. 이중 컴퓨터를 활용한 IT 기술의 하나인 CAE(Computer aided Engineering)는 주로 유한요소법을 활용한 공정의 모사해석 방법으로 파단, 주름, 스프링백의 예측 및 금형수정 등에 효과적으로 활용할 수 있어 설계 및 제작 전후 단계에 널리 사용되고 있는 추세이다.

성형소재가 고강도화됨에 따라 굽힘부 탄성회복 시 발생하는 스프링백 현상이 심하게 나타나며 이에 따른 형상정밀도의 저하로 인하여 금형제작 및 시제품 생산 시부터 과도한 공수, 프레스 사용시간, 스크랩 발생, 납기지연 등의 문제를 겪고 있다[1]. 이를 해결하고자 하는 방법으로 CAE를 금형제작 및 설계 시에 활용하고 있으나, 설계단계의 문제점만을 주로 수정하고 그 이후의 문제는 시험성형 단계에서 현장보정으로 해결하고 있는 실정이다. 일반적으로 유사형상의 부품 성형의 경우 이전 모델의 금형보정 경험을 활용할 경우 후속 모델의 개발기간이 크게 단축될 수 있으나, 현장보정의 결과를 3차원적으로 데이터베이스화하지 않고 단순히 갭(gap)과 플러쉬(flush)량 등 납품을 위한 형상정밀도 측정값만을 정량화하기 때문에 금형제작 선행정보 활용이 제한적이다. 따라서, 금형의 설계 및 제작기간을 단축하기 위하여 유사부품의 금형보정 이력에 관한 정보를 해석 또는 측정을 통하여 데이터베이스화할 필요가 있다.

본 논문에서는 기존 제작된 차량용 센터필러 부품 성형용 금형을 바탕으로 3차 보정이력의 유한요소해석을 수행하였으며, 보정이 스프링백 경향에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 분석된 결과를 바탕으로 제작된 정보 데이터베이스를 구축하고 유사형상



<Fig 1> 센터필러 제품 형상 및 치수



(a) 상형 (b) 하형

<Fig 2> 제1공정(OP10) 프레스 금형 형상

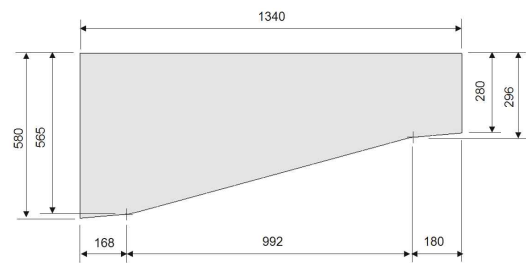


(a) 제1공정 (b) 최종제품

<Fig 3> 성형공정에서 얻은 중간 및 최종제품

<Table 1> SPRC440 강판의 기계적 물성값

| 구 분  | 단 위 | 물성값           |
|--|-----|---------------|
| 항복강도   | MPa | 307.6         |
| FLD <sub>0</sub>                                 | %   | 27            |
| K  | MPa | 804.4         |
| n  | -   | 0.239         |
| ε <sub>0</sub>                                   | -   | 0.018         |
| R <sub>0</sub> /R <sub>45</sub> /R <sub>90</sub> | -   | 1.51/1.9/1.35 |



<Fig 4> 초기 블랭크 형상 및 치수

부품의 금형설계에 적용하였으며, 이를 통하여 제품개발 기간 및 수정회수를 단축할 수 있었다.

## 2. 성형공정해석 및 분석

### 2.1 대상부품 및 성형공정

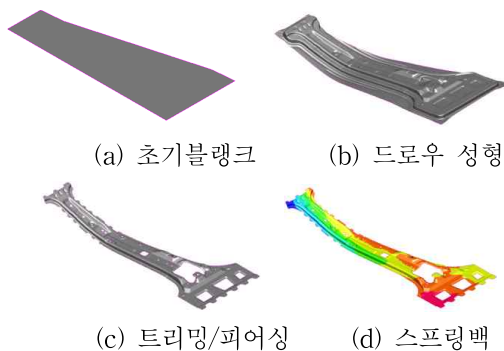
본 논문의 대상은 차체부품인 센터필러 이너(center pillar inner)이며, 본 부품은 측면충돌 시 탑승객을 보

호하기 위한 역할을 하는 가장 중요한 에너지 흡수부재이다. 대상품의 3차원 형상 <그림 1>에 도시하였다. 대상부품은 드로잉, 트리밍, 리스트라이킹, 피어싱 등 4공정으로 제작되며, <그림 2>에 주요 변형발생 공정인 제1공정을 위한 단동형 드로우 금형을 도시하였다. <그림 3>에 시험성형 과정에서 얻은 제1공정 후의 블랭크 형상 및 최종 시제품의 형상을 도시하였다. 강판 소재는 SPRC440이며, 초기 두께는 1 mm이다. 강판의 기계적 물성치는 <표 1>에 도시하였다. 초기 블랭크의 형상은 <그림 4>에 도시한 바와 같이 직사각형의 두변을 경사 가공하여 사용하였다.

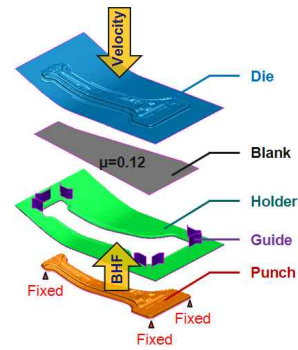
## 2.2 성형공정해석 조건

센터필러 부품은 금형제작 초기과정에서 스프링백 문제 발생에 의한 형상정밀도 확보에 실패하여 3회에 걸쳐 현장경험에 의한 금형수정을 통하여 제품이 제작되었다. 본 절에서는 3회에 걸친 보정금형안에 대한 성형해석을 수행하기 위한 준비단계로 스프링백이 가장 크게 발생하는 1차 금형설계안의 성형해석 및 시험결과와 비교를 통하여 최적 해석변수를 결정하였다. 초기 공정변수를 바탕으로 하여 스프링백에 주안점을 둔 해석을 수행하였고, 해석에서 얻은 스프링백 결과를 시험결과에 근접할 수 있게 하는 해석변수를 도출하였다. 해석은 외연적 상용유한요소 프로그램인 PAM-STAMP 2G V2009[2]를 사용하였다.

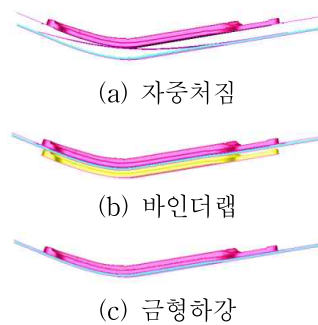
성형해석은 <그림 5>와 같이 제1공정인 드로우 공정 후 트리밍과 피어싱 공정을 거쳐 스프링백 해석의 순서로 진행하였다. 드로우 성형공정의 해석을 위하여 <그림 6>과 같이 블랭크와 금형의 유한요소 분할을



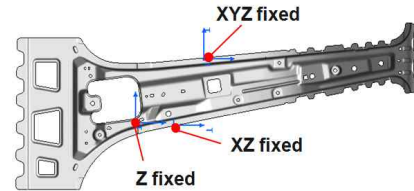
<Fig 5> 성형공정중 블랭크의 순차적 변형형상



<Fig 6> 성형공정해석을 위한 유한요소모델



<Fig 7> 드로우 성형공정중 변형형상



<Fig 8> 스프링백 해석을 위한 고정점

수행하였으며, <그림 7>과 같이 자중처짐, 바인더랩, 펀치성형 해석으로 세분화하여 실시하였다. 성형 및 스프링백 과정의 정확한 모사를 위하여 금형면의 라운드부를 7.5° 간격으로 요소분할하였다. 블랭크의 요소는 초기 크기 8 mm를 사용하였으며, 해석중 적응형 격자분할을 최대 5회까지 수행하였다. 상형의 하강속도는 바인더랩과 성형의 경우 각각 2 m/s와 5 m/s를 부과하였으며, 금형과 블랭크 사이를 무윤활 조건으로 가정하고 쿨롱 마찰계수를 0.12로 부과하였다. 블랭크 홀딩력은 300 kN을 부과하였으며, 정확한 해석을 위하여 드로우 비드의 형상을 금형형상에 모델링하여 해석을 진행하였다.

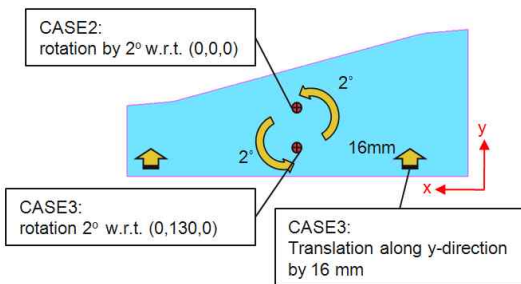
재료는 평면 이방성을 고려한 Hill의 1948 항복식[3]

을 사용하였다. 스프링백 예측을 위하여 <그림 8>에 도시한 바와 같이 변형이 거의 발생하지 않는 지점의 3개 절점을 구속하여 내연적 탄성복원 해석을 수행하였다.

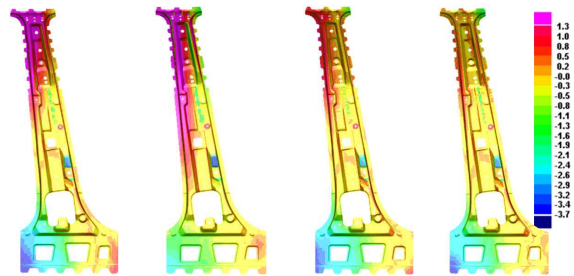
### 2.3 블랭크 위치에 따른 스프링백 정량분석

시험성형 과정에서 가이드 플레이트 등 금형부품의 위치를 가변적으로 조정하는 관계로 도면과 다른 위치에 블랭크를 장착하고 성형을 수행하는 경우가 많다. 이에 따라 도면상의 블랭크 위치를 그대로 해석에 반영할 경우 블랭크 유입량 등의 변형기구 예측이 정확하게 되지 않는 경우가 발생할 가능성이 매우 높으며, 이는 제품의 변형률 분포에 영향을 미쳐 스프링백 양 예측 정확도를 떨어뜨리는 원인이 될 수 있다. 본 논문에서는 블랭크 장착위치를 소폭 변경시켜 가며 1차 금형설계안을 이용하여 스프링백의 변화를 고찰하였으며, 시험결과에서 측정된 형상정밀도 값과 비교하여 최적의 블랭크 장착 위치를 선정하였다.

블랭크 위치는 다음의 4가지 경우로 설정하여 해석을 수행하였다. <그림 9>에 도시한 것과 같이 도면상 위치(CASE1), 원점 기준으로 2° 회전한 위치(CASE2), D점을 기준으로 2° 회전한 위치(CASE3), y축으로 16 mm 이동시킨 위치(CASE4)로 해석을 수행하였다. 각 조건에 따른 스프링백 양 분포를 <그림 10>에 도시하였다. 보다 정확하게 형상정밀도를 분석하기 위하여 <그림 11>에 도시한 블랭크 끝부분 측정점에서의 플러쉬 값을 <그림 12>의 그래프에 도시하였다. 플러쉬 값은 성형품의 제품 데이터 기준 높이방향 오차로 프레스 부품의 형상정밀도를 나타내는 기준으로 납땜 기준으로 사용되는 형상변수이다. 그림에서 알 수 있듯이 CASE3의 경우가 시험값과 가장 잘 일치하는 경향을

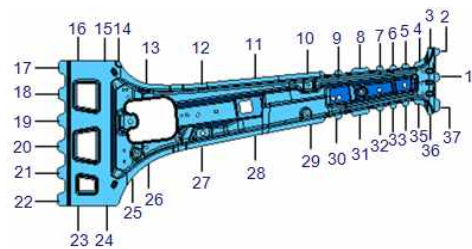


<Fig 9> 블랭크 위치에 따른 해석의 경우

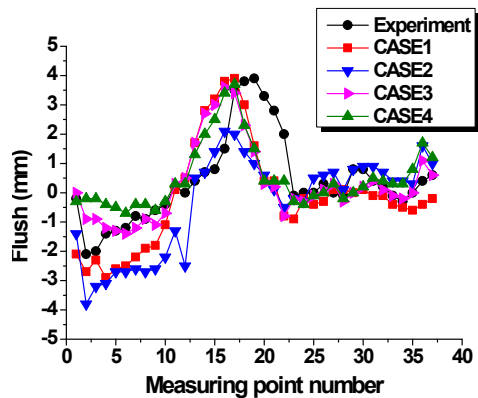


(a) CASE1 (b) CASE2 (c) CASE3 (d) CASE4

<Fig 10> 블랭크 위치에 따른 스프링백 양 분포 (단위 : mm)



<Fig 11> 플러쉬 값 정량화를 위한 측정점



<Fig 12> 블랭크 위치에 따른 플러쉬 값 비교

보이고 있어 추후 해석에서 블랭크 위치로 활용하였다. 금형제작 현장과 해석과정에서는 도면과 실제 공정변수가 상이한 부분이 존재하여 스프링백 예측 등 정밀한 해석을 위해서는 상이점을 찾아 해석에 반영하는 작업이 매우 중요하다는 것을 확인할 수 있었다.

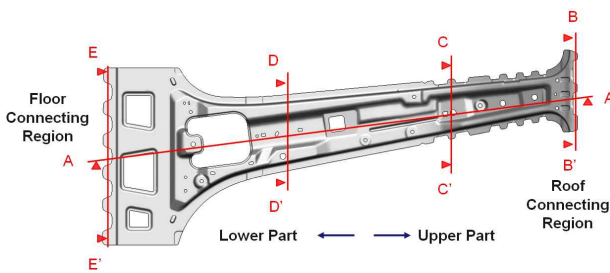
### 3. 금형보정이력의 해석적 분석

제2장에서 확정된 해석조건을 이용하여 유한요소해

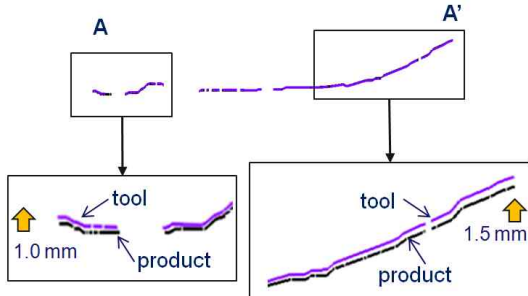
석을 수행하고 센터필러 부품 성형용 프레스 금형의 보정이력에 따라 성형품 형상정밀도의 변경사항을 정량적으로 분석하였다.

### 3.1 1차 금형설계안 및 스프링백 분석

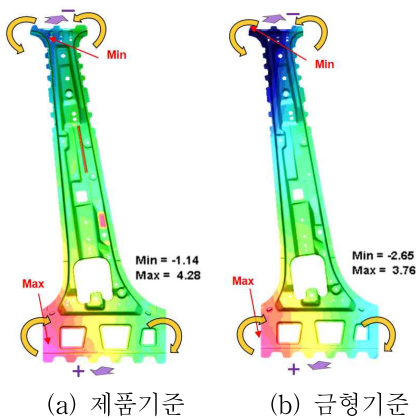
1차 금형은 스프링백에 의한 형상정밀도 문제를 해결하기 위하여 현장에서의 경험을 바탕으로 제품면 설계데이터를 기준으로 <그림 13>에 도시한 단면에서 <그림 14>의 형상보정값이 적용되어 설계되었다. 금형 길이방향으로 곡률반경을 감소시켜 스프링백 후



<Fig 13> 스프링백 측정을 위한 단면



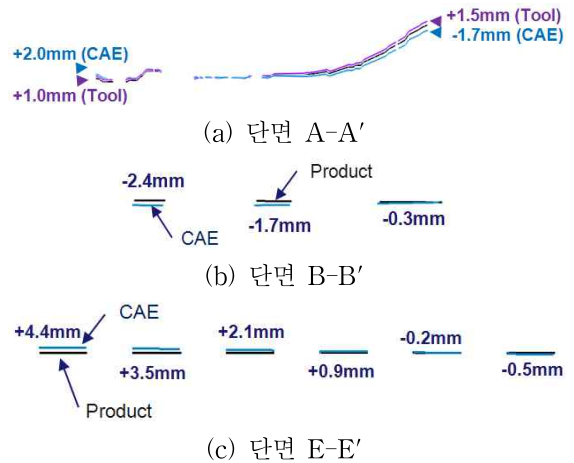
<Fig 14> 1차 금형설계안 개요



<Fig 15> 1차 금형설계안의 스프링백 분포

퍼지는 현상에 대한 보정을 실시하였다. 이를 위하여 루프와 플로어 결합부를 1 mm 만큼 상향시키고, 중심으로 갈수록 작은 양을 상향 보정하였다. 루프결합부의 처짐 현상을 방지하기 위하여 0.5 mm 만큼 추가적으로 상향 보정하였다.

1차 금형설계안의 보정의도가 실제제품에 반영되었는지 여부를 확인하기 위하여 해석을 수행하였다. 스프링백 해석결과로 얻은 제품형상을 시험에서 얻은 제품형상 및 금형과의 높이방향 형상차이를 비교하여 그 결과를 <그림 15>에 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 센터필러 부품의 스프링백 경향은 길이방향 단면에서의 퍼짐 및 회전에 의한 루프 결합부와 플로어 결합부의 떠오름과 처짐, 어퍼(upper)와 로우어(lower)부의 비틀림 발생, 플랜지 단면의 전반적인 퍼짐 발생 등으로 요약할 수 있다.



<Fig 16> 1차 금형설계안의 스프링백 해석결과

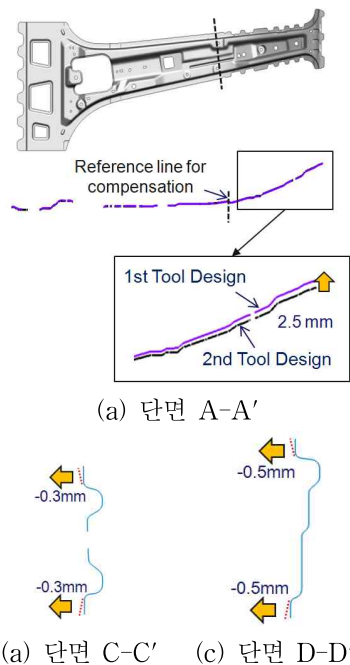
금형보정에 의한 효과를 정량적으로 표시한 <그림 16>을 살펴보면 루프 및 플로어 결합부의 금형을 각각 1.5 mm와 1.0 mm 상향보정하였으나, 성형해석 결과 루프결합부는 1.7 mm 처짐, 플로어 결합부는 2 mm 상향된 결과가 나와 보정 의도대로 제품이 성형되지 않음을 확인할 수 있었다. 그리고, 어퍼부와 로우어부에서의 비틀림 변형에 의하여 각각 2.4 mm와 4.4 mm의 오차를 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 대상부품의 형상이 길이방향으로 큰 곡률반경을 가지고 경사져 있어 발생하는 현상으로 직벽부의 높은 변형률로 인하여 플랜지 부의 추가적인 드로우 비드 설치가 어려운 원인도 있다고 판단된다. 따라서,

블랭크 홀딩력 증가, 드로우 비드 추가 등 부대 공정 변수의 변경보다는 금형형상의 직접적 보정에 의한 형상정밀도 개선이 필요하다고 판단된다.

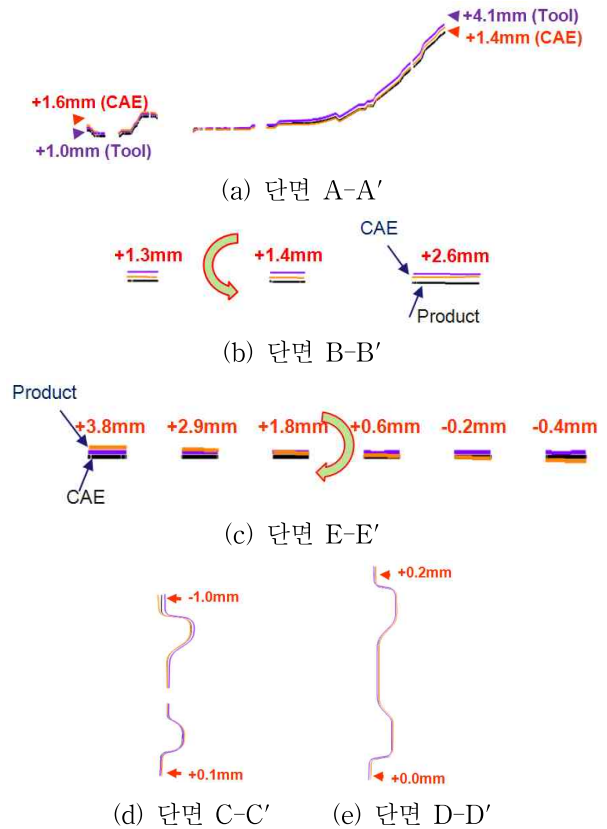
### 3.2 2차 금형설계안 및 스프링백 분석

1차 금형의 형상정밀도 문제를 해결하기 위하여 다음과 같은 설계의도로 금형의 형상을 수정하였다. 2차 금형설계안에서는 <그림 17>과 같이 루프 결합부의 처짐을 방지하기 위하여 해당부위 금형을 추가적으로 약 2.5 mm 상향시켰으며, 플랜지부 스프링백을 감소시키기 위하여 플랜지 끝부분을 0.3~0.5 mm 하강시키는 보정을 실시하였다. 단면 비틀림에 대한 보정은 실시하지 않았다. 2차 금형설계안의 해석결과를 단면에 대하여 <그림 18>에 도시하였으며, 루프 결합부 중심에서 약 1.4 mm된 것으로 나타나 금형 어퍼부 상승보정량이 과도하게 적용되었음을 확인할 수 있었다.

플로어 결합부는 심한 비틀림 현상을 보이고 있으며, 제품 대비 -0.4~3.8 mm의 형상오차를 보였다. 플랜지부의 스프링백은 보정의도대로 잘 보정된 것으로 판단되었다. 어퍼부와 로우어부의 단면 비틀림 현상은 보정에 반영되지 않아 여전히 발생하고 있는 것을 확인할 수 있었다.



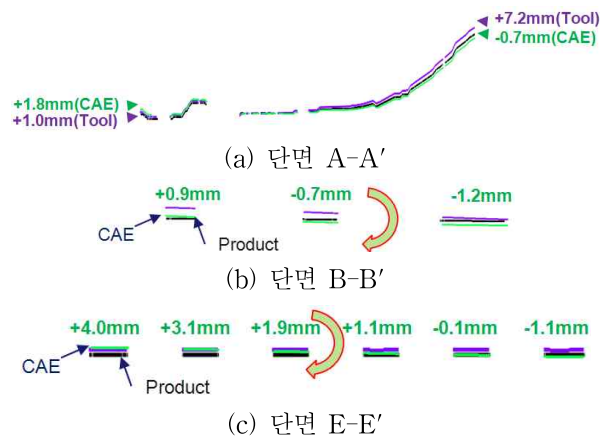
<Fig 17> 2차 금형설계안 개요



<Fig 18> 2차 금형설계안의 스프링백 해석결과



<Fig 19> 3차 금형설계안 개요 (단면 B-B')



<Fig 20> 3차 금형설계안의 스프링백 해석결과

### 3.3 3차 금형설계안 및 스프링백 분석

2차 금형설계안의 가장 큰 문제는 제품의 전반적인 비틀림 현상이며, 3차 금형설계안에서는 이를 보정하기 위한 설계변경이 주로 수행되었다. <그림 19>에 도시한 바와 같이 단면 B-B'에서 펀치부 양끝에서 높이방향으로 각각 0.5 mm와 -2.5 mm의 보정량을 부과하여 금형면을 회전시켰다.

제3차 금형설계안의 해석결과를 주요단면에 대하여 <그림 20>에 비교하였다. 비틀림 현상의 보정을 실시한 결과 각 단면의 비틀림 현상이 현저하게 감소한 것을 확인할 수 있었다. 보정의 주요사항을 길이방향의 처짐을 방지하기 위한 곡률 반경의 수정과 어퍼부와 로우어부의 상향, 어퍼부와 로우어부 폭방향 단면에서의 비틀림 경향을 보정하기 위한 플랜지부의 하향 등으로 정리할 수 있다. 3차에 걸친 금형보정의 결과 시제품의 전 측정점에서의 형상정밀도가 허용공차를 만족하지 못하였으나 1차 금형의 경우에 비하여 현저하게 줄어들어 현장가공에 의하여 허용공차 이내로 형상정밀도를 만족하는 부품을 제작할 수 있을 것으로 판단되었다.

수 있다. 이를 보정하기 위하여 구축된 데이터베이스의 정보를 이용하여 길이방향 처짐을 보정하기 위하여 어퍼부 상향, 어퍼부와 로우어부 금형의 역방향 회전 보정을 부과하였다. 본 논문에서 제안된 방법을 이용하여 설계 및 제작된 금형의 형상을 <그림 23>에 도시하였으며, 시험성형에서 제작된 시제품의 형상은 <그림 24>에 도시하였다. <그림 25>의 시제품 측정점에서의 플러쉬 값을 <그림 26>에 도시하였으며, 89%의 측정점에서  $\pm 0.5$  mm의 허용공차를 만족하여 현장작업 시 형상정밀도가 만족됨을 확인하였다.

| SECTION  | A-A' |      | B-B' |      | C-C' |      | D-D' |      | E-E' |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| LOCATION | LWR  | UPR  | L    | R    | L    | R    | L    | R    | L    | R    |
| 1차       | +2.0 | -1.7 | -2.4 | -0.3 | -2.3 | -0.7 | +1.0 | +0.2 | +4.4 | -5.5 |
| 금형보정 이력  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 금형보정량    | 0.0  | +2.6 | +2.7 | +2.5 | -0.5 | -0.5 | -0.3 | -0.3 | 0.0  | 0.0  |
| 보정결과     | -0.4 | +2.1 | +3.7 | +2.9 | +1.3 | +0.8 | -0.8 | -0.2 | -0.6 | -0.9 |
| 2차       | +1.6 | +1.4 | +1.3 | +2.6 | -1.0 | -0.1 | +0.2 | 0.0  | +0.8 | -1.4 |
| 금형보정 이력  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 금형보정량    | 0.0  | -0.9 | +0.5 | -2.5 | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| 보정결과     | +0.2 | -2.1 | -0.4 | -3.8 | +0.5 | -0.4 | +0.2 | -0.3 | +0.2 | -0.7 |
| 3차       | +1.8 | -0.7 | +0.9 | -1.2 | -0.5 | -0.3 | +0.4 | -0.3 | +4.0 | -1.1 |

<Fig 21> 금형보정 정보 데이터베이스

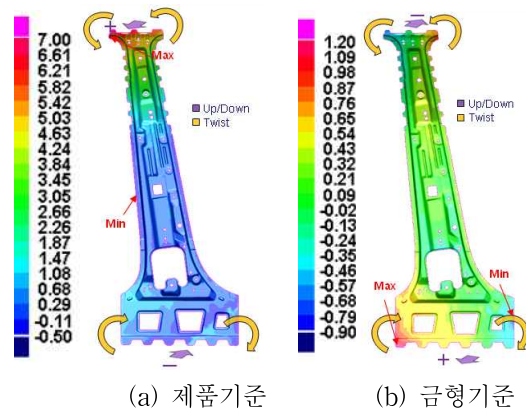
## 4. 금형보정 정보 데이터베이스 구축

### 4.1 형상정밀도 데이터베이스 구축

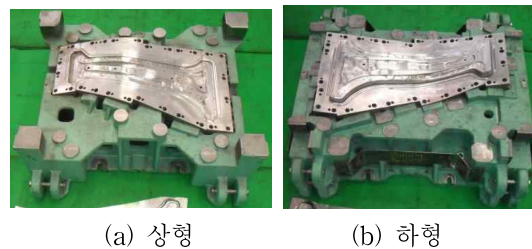
제3장에서 분석된 3차에 걸친 금형설계 보정에 따른 스프링백 정량분석 결과 정보를 데이터베이스화하였다. 구축된 데이터베이스에는 <그림 21>과 같이 각 보정단계 금형변경 주요사항 및 스프링백 결과를 정량적으로 비교하였으며, 제품과 금형면 기준으로 보정이력에 따라 형상정밀도가 어떻게 변화되는지에 대한 내용을 종합적으로 나타내었다.

### 4.2 데이터베이스를 이용한 유사금형 설계

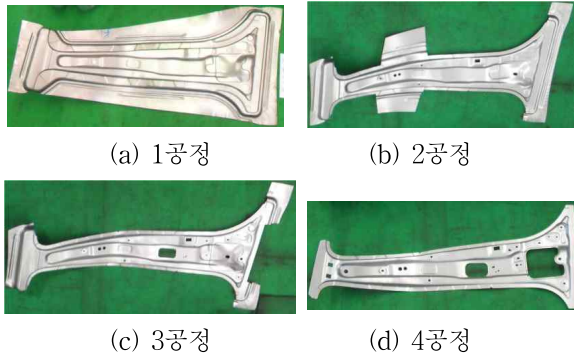
구축된 보정금형의 스프링백 정보 데이터베이스를 이용하여 신규부품의 금형을 수정설계하였다. <그림 22>에 도시한 바와 같이 1차 금형에서는 길이방향과 반경의 스프링백 현상에 의한 어퍼부 처짐, 어퍼부와 로우어부 비틀림 현상이 발생하고 있는 것을 확인할



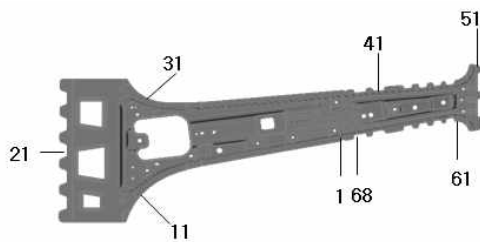
<Fig 22> 신규부품 1차 금형설계안의 스프링백 해석결과 (unit : mm)



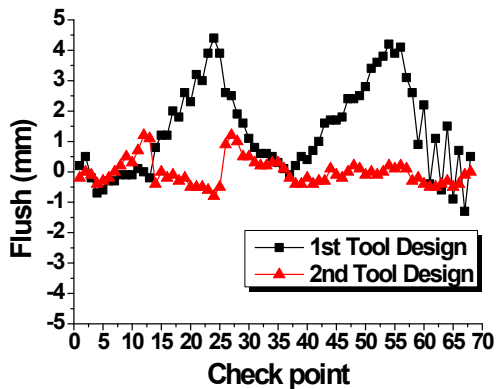
<Fig 23> 신규부품용 제1공정 금형형상



<Fig 24> 제작된 신규 센터필러부품 형상



<Fig 25> 신규부품 플러쉬 측정점



<Fig 26> 금형보정에 따른 신규부품 플러쉬 값

## 5. 결 론

본 논문에서는 차량 프레스 부품인 센터필러 성형을 위한 프레스금형 형상의 보정이력을 유한요소해석을 통하여 분석하고, 보정효과로 얻어진 스프링백 등 형상정밀도의 주요정보를 정량화하여 데이터베이스화하였다. 제안된 보정안 및 데이터베이스를 바탕으로 유사형상을 가진 타차종 신규부품의 금형 수정에 이 용한 결과 대부분의 측정점에서 허용공차를 만족하는

결과를 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제안한 바와 같이 유사부품에 대한 금형보정의 영향은 유사하게 나오므로 데이터베이스화하여 타 부품에 적용할 경우 금형수정 공수 및 비용을 획기적으로 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

- [1] C. Gomes, O. Onipede and M. Lovell, "Investigation of springback in high strength anisotropic steels," J. Mater. Process. Technol., vol. 159, pp. 91-98, 2005.
- [2] ESI, PAM-STAMP 2G User's Guide, 2009.
- [3] R. Hill, "A theory of the yielding and plastic flow of anisotropic metals," Proc. The Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences, vol. 193, pp. 281-297, 1948.
- [4] D. W. Jung, H. H. Ko, C. H. Lee and H. Y. You, "Finite element analysis of sheet metal forming process using shell element," J. Korean Society for Precision Engineering, vol. 23, no. 1, pp. 152-158, 2006.
- [5] D. G. Jung, Analysis of Springback Mechanisms for the Improvement of the Shape Accuracy in the Stamping Process. M. S. Dissertation, Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School of Daegu University, 2011.



김 세 호 (Se-Ho Kim)

- 정회원
- KAIST 정밀공학과 공학사
- KAIST 정밀공학과 공학석사
- KAIST 기계공학과 공학박사
- 대구대학교 공과대학 기계·자동차공학부 교수
- 관심분야: 프레스 금형산업, 자동차 경량화, 실험계 획법 등 최적설계