

성형법에 따른 자동차 리어 프레임의 스프링백 해석대비

송윤준* · 정효상** · 한영호***

Analytical Study on the Effect of Forming Process on Springback of an Automobile Rear Frame

Y. J. Song, H. S. Jung, and Y. H. Hahn

Abstract

Springback after drawing and trimming is regarded as one of the most influential factors during forming structural frames since the part dimensions have dominant effect on assembly quality at later stages. In this study, analytical results were obtained from a commercial FEM package for an outer rear frame of an automobile. In terms of springback and twist the effect of forming process is compared and discussed between open and closed-ends forming

Key Words : Sheet Forming Simulation, Automobile Rear Frame, Finite Element Method, Springback, Twisting.

1. 서 론

자동차의 차체를 구성하는 많은 부품들이 금형을 이용한 박판 성형방법에 의해 생산되고 있다. 최근에는 생산에 앞서 유한요소법을 사용한 시뮬레이션을 통해 터짐부 위치와 두께분포 등을 예측하여 트라이아웃의 횟수를 줄이는데 큰 역할을 하고 있다. 그러나 트라이아웃에서 어려움을 겪는 이유중의 하나로 성형후의 탄성복원을 들 수 있다. 해석시뮬레이션 프로그램들이 상당수준으로 발전하였다 하더라도 성형후의 탄성복원 등의 문제에 대해서는 아직까지 현장에서 원하는 정도의 해석 결과를 제시하고 있지는 못하는 것이 지금의 한계이다. 따라서 실제 생산을 뒷받침하기 위해서 해석 프로그램들의 장단점을 비교하고 현장의 결과에 대한 공정 변수들의 영향을

파악하여 차이를 줄여나가기 위한 연구들이 진행되어왔다. 이두한 등⁽¹⁾은 수직벽을 갖는 자동차 부품에 관한 연구에서 내연적 방법을 이용한 스프링백 해석 결과가 실제보다 적은 양이지만 경향을 잘 예측함을 실험과 해석을 통해 확인하였다. Park 등⁽²⁾은 U-밴드 스프링백을 외연적 방법과 내연적 방법의 해석을 통해 각각의 장단점을 비교하였다. Yang 등⁽³⁾은 유한요소 해석에 있어서 블랭크 요소의 크기, 곡률반경의 요소 갯수 등이 스프링백 해석에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 박동운 등⁽⁴⁾은 도어 핸들부의 면변형을 예측하여 해석결과가 요소의 크기와 굽힘 반경에 의해 상당한 오차가 있을 수 있음을 제시하였다.

이 연구에서는 현장에서 성형에 많은 어려움을 겪고 있는 부품중의 하나인 자동차용 아웃터 리어 프레임의

* 건국대학교 대학원

** 경기공업대학

*** 건국대학교 기계항공공학부

대상으로 성형 방법이 제품에 미치는 영향을 비교 분석하고자 한다. 아웃터 리어 프레임은 내부 보강 프레임과 달리 거의 모든 길이에 걸쳐 플로어와 점용접되어지는 플렌지가 있기 때문에 플렌지부의 탄성 복원에 의한 오차가 더욱 중요시되는 부품이다.

S자 형태의 레일에 준하는 프레임류들은 성형후 탄성 복원에 의한 치수오차 때문에 많은 어려움을 겪고 있는데, 여러번의 트라이 아웃과 리스트라이크 공정을 추가하는 등의 방법을 통하여 목표 형상을 맞춰나가고 있다. 성형과정에서 발생하는 문제로 제품 형상과 가형상의 모양에서 비롯되는 벽부 벗힘이나 전체 비틀림을 들 수 있는데, 특별한 경우 외에는 모든 공정을 수정해야하는 제품의 형상 변경보다는 가형상의 모양을 성형 조건에 따라 변경하는 것이 일차적인 해결 방법이다. 이런 관점에서 Fig. 1에서 보인 바와 같이 프레임 양 끝단에서 단힌 성형과 열린 성형의 두 가지 방법으로 성형할 때 각각의 장단점을 파악하고자 한다. 보통 리어 프레임에서 트리밍 라인이 플렌지를 포함하고 있지 않은 부분은 탄성 복원량을 줄이기 위해 단힌 성형을 택하고, 그렇지 않은 부분은 소재 수율을 높이기 위해 끝이 열린 성형을 택하는 것이 일반적이다. 그러나 성형 방법을 달리하면 제품의 성형과 탄성복원에 차이가 생긴다.

이 연구에서는 성형방법에 따른 변형의 특성을 파악하고 비교하기 위해 Fig. 1(a)의 양단이 열린 성형과 Fig. 1(b)의 단힌 성형에 대하여 내연적 외연적 시간적분방법을 공유하고 있는 상용 프로그램인 PAM-STAMP를 사

용하여 해석, 비교해 보았다. 소재의 형상은 플렌지부를 고려한 최적 형상이 아닌 실제 생산 현장에서 연속적으로 전단하여 사용할 수 있는 정도로 위아래가 동일하도록 하였다.

2. 성형 해석

2.1 해석 조건 및 물성치

이 연구에서 쓰여진 해석 조건은 다음과 같다. 스프링백 해석의 정확도를 높이기 위해 다이의 속도를 바인더랩시에 2m/s, 드로잉시에 5m/s로 설정하였고, 마찰 계수 μ 는 0.08, 블랭크 홀딩력은 900kN, 그리고 비드에 대해 비드력 0.21kN, 비드 수직력 0.25kN으로 하였다.

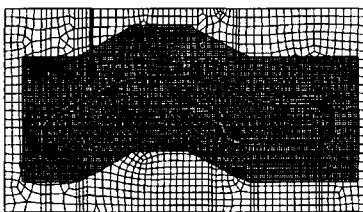
해석에 사용된 두께 1.6mm인 소재 SPEN의 물성치는 해석 프로그램에서 제공하는 것을 그대로 사용하였으며 스프링백 해석의 정확도 향상을 위해 두께 방향의 적분점 갯수를 7개로 하였다. 탄성계수는 206GPa, 가공경화곡선의 식은 $\sigma = 0.752\epsilon^{0.273}$ GPa이다.

2.2 바인더랩 및 드로잉 해석

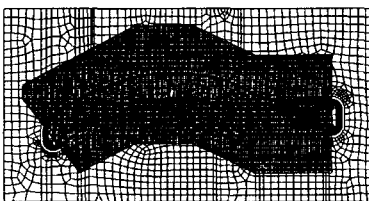
바인더랩시에 발생하는 소재의 급격한 변형이나 뭉침이 성형에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 그 정도를 확인하였으나 급격한 두께 감소나 소재 몰림 등이 보이지 않고 있어 성형 불안 요인이 없었다. 그러나 두 소재의 형상 차이로 인해 바인더랩의 양상은 조금 다르게 나타나는데, 이는 소재의 처짐량이 형상에 따라 다르기 때문이고, 이런 차이가 성형후 바닥면의 두께 분포에 차이를 주게 된다.

드로잉 해석에서는 블랭크 홀더에 PAM-STAMP에서 압력으로 제어하는 스텝 비드를 포함시켰다. 비드에 대하여서는 해석에 적용될 데이터베이스가 정립되어있지 않아 제품에 주름을 없애고, 두께 감소가 파단에 가까워지지 않도록 하는 정도의 비드력을 설정하였다. 금형의 양단이 성형 깊이가 가장 깊은 부분이 되는데, 좌우 비대칭인 한쪽 단의 가형상부에 국부적으로 소재의 두께가 성형한계에 가까운 부분이 나타났다. 그러나 이 부분은 실제 생산시 금형 표면에 탄화물을 형성시키는 TD처리와 윤활유 공급 등의 방법을 통해 충분히 해결될 수 있다고 판단되어진다.

두가지 방법에 의해 성형된 제품들은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 소재 두께 분포에서 큰 차이를 보이고 있지 않다. 그러나 단힌성형의 경우 벽부의 수평방향으로의 두께분포가 열린 성형보다 균일한 양상을 보이고 있다.



(a) closed drawing



(b) open drawing

Fig. 1 Blanks for closed and open drawing

또 바닥면의 두께분포에 있어서도 닫힌 성형의 경우에 직접적인 인장력이 작용하는 양끝단을 제외하고 열린 성형보다 두께감소가 거의 없는 균일한 두께분포를 보이고 있다. 이는 바인더랩시 소재 형상이 다르기 때문에 생기는 자중에 의한 처짐의 차이가 바인더랩에 반영되어 성형 후반까지 영향을 미친 결과로 볼 수 있다. 따라서 소재의 형상을 대폭 변경할 때는 다이면(die face)의 변경도 고려할 필요가 있음을 보여준다.

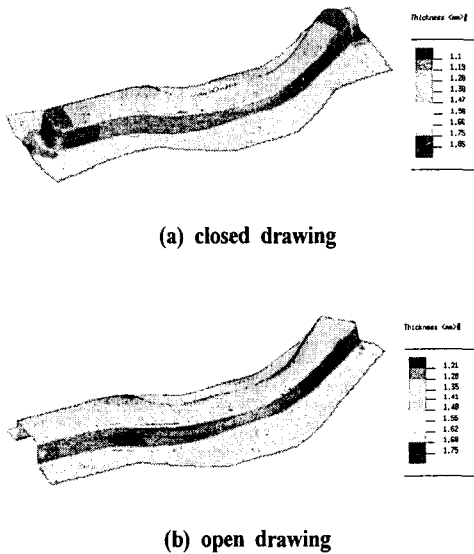


Fig. 2 Thickness distribution on drawn part

3. 스프링백 해석

3.1 단면 비교

드로잉 이후에는 트리밍 라인을 따라 트리밍과 스프링백 해석을 수행하였다. PAM-STAMP에서 외연적 방법으로 드로잉된 제품은 내연적 방법으로 스프링백 해석을 거쳤다. Fig. 3은 트리밍 공정후 제품의 두께 분포를 보여준다.

실제 현장에서는 검사용 체크표를 준비하여 검사 치구를 이용하거나, 3차원 측정기를 이용하여 스프링백의 정도를 측정하며, 생산 현장의 조립 오차를 바탕으로 수정여부가 결정된다. 반면에 해석을 통한 측정에서는 기준면의 설정을 통해 제품의 상대적인 변형을 측정할 뿐이다. 아직 정립된 방법은 없으나 이 연구에서는 소재 두께분포와 함께 벽부에서 스프링백이 발생한 정도를 확인하기 위하여 단면의 스프링백 정도를 3차원 좌표를 이용하여 재구성하여 보았다. Fig. 4는 측정 단면의 위치를 나타낸다.

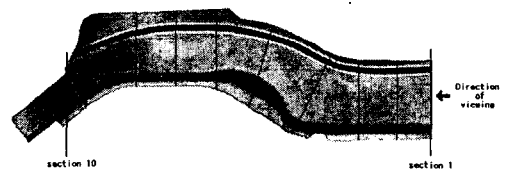


Fig. 4 Position of comparison

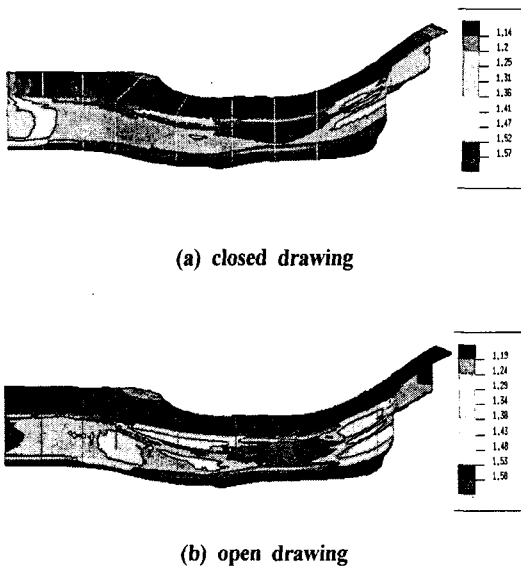
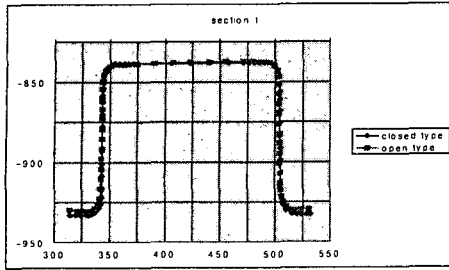


Fig. 3 Thickness distribution on trimmed part

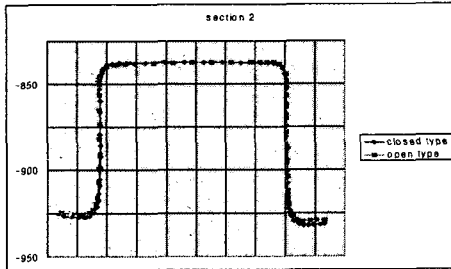
Fig. 5는 벽부 변형 양상이 대표적으로 비교되는 단면들이다. 프레임의 긴 방향으로 처짐 및 비틀림에 의한 변형을 단면 비교에서 배제시키고 벽부 찌름의 정도를 측정하기 위해 각 단면에서 그 단면이 지나가는 바닥면의 중심에 위치한 요소 한 개를 기준면으로 삼아 각각의 단면에서 탄성 복원량을 표현하였다.

전체적으로 두 성형방법 모두에서 펀치 어깨보다는 다이 어깨에 탄성 변형량이 많은 경향을 보인다.

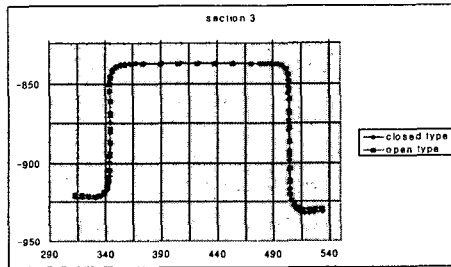
닫힌 성형과 열린 성형의 경우를 비교해보면 펀치 어깨부보다 다이 어깨부에서 탄성 복원으로 인한 차이가 크다. 성형 초반에는 변형량이 적어 블랭크 홀딩력과 비드력에 의한 영향이 크게 작용하여 성형 방법에 의한 차이가 적지만, 변형량이 많아져 소재 이동이 큰 성형 후반으로 갈수록 소재 흐름에 차이를 주게된다. 그러므로 초기 펀치에 의한 펀치어깨부의 변형보다 성형방법의 차이에 의한 소재 흐름이 다이 어깨부에 더 작용했다고 볼 수 있다.



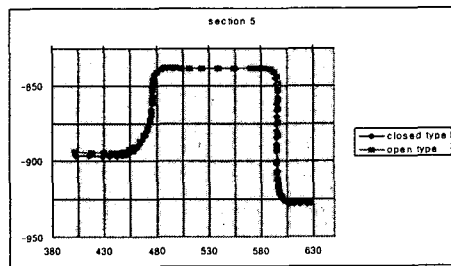
(a) Section 1



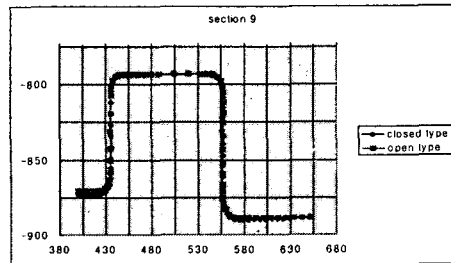
(b) Section 2



(c) Section 3



(d) Section 5



(e) Section 9

Fig. 5 Section shape after springback

펀치 어깨에 가까운 벽에서 성형 방법에 관계 없이 같은 위치의 단면에 안쪽으로 탄성 복원이 생겨 벽부에 굴곡이 발생했음을 관찰할 수 있다. 열린 성형의 경우 펀치 어깨에서 직선이 시작되는 위치를 기준으로 단면 2의 오른쪽 벽이 0.05mm, 왼쪽 벽이 0.19mm 정도, 단면 5의 오른쪽 벽에서 0.5mm 정도, 단면 9의 오른쪽 벽에서 1mm 정도 안쪽으로 젖혀져 들어간 모양을 보이고 있으며, 닫힌 성형에서도 같은 양상을 보이고 있다. 수치적 의미보다는 변형의 경향을 나타내는 것으로 판단할 수 있다. 이에 대해 원인을 분석해보면 단면 5와 단면 9는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 제품의 굴곡부에 해당된다. 단면 양쪽 벽의 변형을 비교하면 굴곡부의 바깥쪽은 인장력, 굴곡부의 안쪽은 압축력이 작용하고 있다. 따라서 양쪽 벽의 소재 흐름의 차이가 제품에 비틀림을 유발시켜 단면의 벽이 안쪽으로 탄성 복원된 것으로 볼 수 있다.

양쪽 벽 사이의 두께 감소의 차이가 단면 5에 비해 단면 9에서 더 크고 이 변형의 차이로 인해 단면 9의 벽 굴곡이 단면 5보다 더 크게 되었다. 실제 제품의 경우 안쪽으로 벽이 휘어져 들어간 것이 관찰되지 않을 수도 있으나 굴곡부의 변형 양상으로부터 위와 같은 변형을 유발시키는 요인을 갖고 있다는 사실은 명확하다.

벽이 안쪽으로 젖혀진 또 하나의 단면 2는 굴곡부에 해당되지 않으므로 이 단면에서 생기는 안쪽으로의 젖혀짐은 단면 5나 단면 9와는 다른 이유에서 생기고 있다. 즉 단면 2를 사이에 둔 단면 1과 단면 3의 형상에서 그 원인을 찾을 수 있다. 단면 1과 단면 3은 양쪽 플렌지의 기울어진 방향이 서로 반대가 되는데 이때 단면 2를 중심으로 수평 방향의 변형의 차이가 양쪽 벽에서 서로 반대의 양상으로 나타나게 되어 결국 단면 2의 벽부가 안쪽으로 휘어져 들어갔을 것이다. 즉 단면 2에서는 양쪽 플렌지가 있는 다이면의 기울기 차이가 안쪽으로 벽 탄성 복원을 만드는 요인이 되었다.

3.2 비틀림 비교

위에서 제시한 원인들에 의해 생기는 제품 전체의 비틀림을 분석하여 보기로 한다. 주어진 프레임과 같이 플렌지부 다이면에 단차가 있는 경우에는 펀치에 의한 초기 성형시 생기는 소재의 여유분에 의해 바닥면이 고르게 성형되지 않는다. 따라서 두 성형 방법에 의한 각 단면의 비틀림의 차이는 두 제품의 탄성 복원의 표현에 동일한 기준점을 사용하여 Fig. 6과 같이 표현하였다.

Fig. 6에서 제시한 바와 같이 닫힌 성형의 경우는 전체적으로 수평을 유지하며 시계 방향으로 약간의 비틀림이 존재하는 반면, 열린 성형의 경우는 단면 1에서 단면 10까지 닫힌 성형에 비해 시계방향으로 현격하게 비틀림이 발생하고 있음을 볼 수 있다.

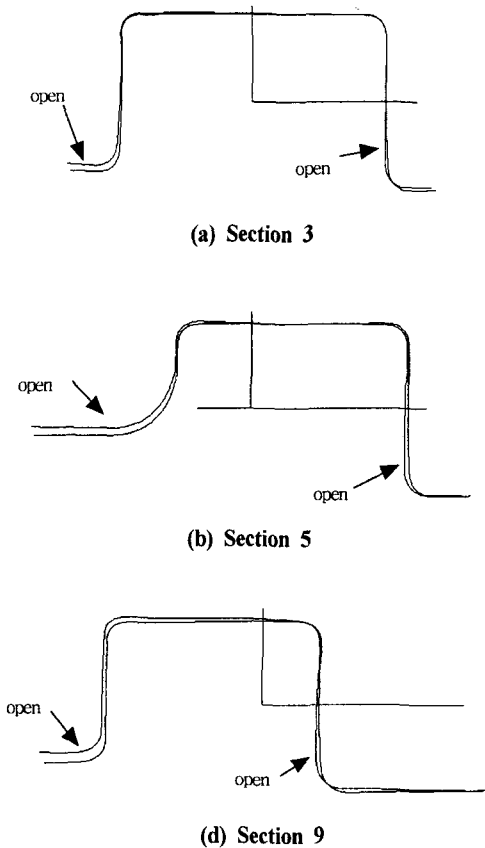


Fig. 6 Comparison of twisting between closed and open drawing

비틀림은 벽부와 플렌지의 변형차에서 유발되는 현상이며, 성형 방향에 수직인 방향으로의 변형률과 바닥부의 변형률 분포를 두께 분포를 통해 비교해 보면 열린 성형에서 보이는 차이가 닫힌 성형에 비해 균일하지 못한데 그 원인이 있음을 알 수 있다. 따라서 성형과정 중 소재의 흐름을 제약시켜 더 많은 변형을 전체적으로 유도하는 닫힌 성형의 경우가 양단에서 상대적으로 자유로운 흐름으로 인해 다이면과 펀치 형상에 의한 부분적인 소재 변형률에 차이를 갖게 되는 열린 성형의 경우보

다 비틀림의 정도가 적음을 알 수 있다.

4. 결론

이 연구에서는 자동차 리어 프레임에 대상으로 양단이 열린 성형과 닫힌 성형의 두 가지 방법으로 성형했을 때의 해석 결과를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 블랭크 형상의 변경은 소재의 자중에 의한 처짐에 영향을 주어 바인더랩시의 두께 분포에 차이를 갖게 하여 성형 자체에 영향을 준다. 그러므로 블랭크의 변경시에는 제품의 특성에 따라 다이면의 변경 여부도 함께 고려되어야 한다.

(2) 프레임에 비틀림을 유발시키는 요인이 제품 형상의 굴곡과 양쪽 플렌지가 위치하는 다이면 기공기의 차이에서 오는 벽부와 플렌지부의 변형률차이에 있음을 알 수 있었다.

(3) 프레임의 양단이 열린 상태로 성형한 경우에 펀치 어깨부의 탄성 복원보다 다이 어깨부의 탄성 복원에 영향이 더 크다는 사실을 확인하였다.

(4) 프레임의 양단이 열린 성형이 닫힌 성형에 비해 비틀림뿐만 아니라 벽부 스프링백 역시 크게 나타났으며, 따라서 제품 품질 기준에 따라 성형의 방법이 고려되어야 할 것이다.

참고 문헌

- (1) 이두환, 윤치상, 신철수, 조원석, 구분영, 금영탁 (2000), "수직벽을 가진 자동차 부품 성형공정의 스프링백 유한요소 해석", 한국소성가공학회지, 제9권, 제6호, pp. 574~581.
- (2) Park, D. W., Kang, J. J, Hong, J. P., and Oh, S. I. (1999), "Springback Simulation by Combination Method of Explicit and Implicit FEM", NUMISHEET'99, pp. 35~40
- (3) Lee, S. W. and Yang, D. Y. (1998), "an Assessment of Numerical Parameters Influencing Springback in Explicit Finite Element Analysis of Sheet Metal Forming Process", J. of Mat. Proc. Tech., Vol. 80-81, pp. 60~67
- (4) 박동운, 이경돈, 인정재, 정경훈 (2000), "Door handle 부위 면변형 예측", 한국소성가공학회, 제3회 박관성형 심포지엄 논문집, pp. 165~171