

TWB 도어 인너 패널의 트라이아웃과 성형해석

이광식* · 송윤준** · 김동직** · 한영호***

Try-out and Forming Analysis for a TWB Door Inner Panel

K. S. Lee, Y. J. Song, D. J. Kim and Y. H. Hahn

Abstract

In order to reduce automobile parts weight, TWB(Tailored welded blank) forming is widely used in the forming of car panel, such as door inner, side outer panels. In this study, one of the current problems of TWB forming was analyzed, especially for the try-out process of TWB door inner panel without frame. A comparison was made between actual panel measurements and results of forming analysis for formability and springback.

Key Words : TWB forming, try-out, analysis, formability, springback analysis

1. 서 론

차체 경량화의 관점에서 많은 방법이 차량 생산 방식에 적용되고 있다. 금속 부품을 줄이거나 보다 가벼운 소재를 사용하는 방법, 부품수를 줄이는 방법이 있다. 특히 차체 부품수를 줄이는 방법은 제작 금형수를 줄여 개발 소요기간을 단축시키고, 아울러 후공정의 생략을 통해 생산기간을 단축시키는 효과도 있다. 이런 관점에서 테일러드 웰디드 블랭크(Tailored welded blank 이하 TWB)를 이용해 성형한 차체의 부품은 특정한 차량 부품, 도어 인너 패널, 사이드 아웃터 패널 등에 이미 널리 쓰이는 방법이 되었다. 이 같은 성형 방법의 변화는 금형 제작에 있어서도 새로운 관점과 지식을 꾸준히 요구하고 있다. TWB 제품을 성형하기 위해서는 TWB 성형 공정의 정확한 이해와 경험은 물론 소재 특성에 대한 정확한 이해, 용접 방법에 따른 소재 특성 변화, 이중 용접 성형시

생기는 특수한 성형 조건들에 대한 연구와 지식 확보가 필수적이다. TWB 성형에 대한 기왕의 연구서 허영무 등⁽¹⁾이 차체 제작용 강판을 대상으로 이중 두께, 용접 방법에 대한 성형한계 실험을 통해 TWB에 대한 기초 자료를 얻은 바 있으며, 이정제 등⁽²⁾은 사이드 아웃터의 성형 특성을 밝히기 위해 신장 프렌지 모델을 이용한 해석을 통해 성형 최적화를 연구한 바 있다. 또한 이종문 등⁽³⁾은 테일러드 도어 인너 패널의 현장 트라이 아웃과정을 통해 성형시 발생하는 시행착오를 정리한 바 있다. 이런 연구들을 통해 이제는 대부분의 TWB 성형은 기초적인 단계의 연구를 떠나 이미 실현되고 있는 생산 현장에 직접 적용할 경우 나타나는 문제들을 다룰 필요성이 생겼다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 또한 통상적인 제품 생산에서 성형 해석이 보편화되고 현장에서 필수적으로 사용되는 현실에 비해, TWB 성형에 대한 해석은 아직 그 결과가 제대로 활용되고 있지 못하고 있다.⁽⁶⁾ 이는 대략적인 성형

* (주) 탐금속

** 건국대학교 기계설계학과 대학원

*** 건국대학교 기계항공공학부

해석 후 트라이아웃시에 겪게 되는 일련의 에러와 과정들이 해석 단계에서 완벽히 추정될 수 없다는 원론적인 한계도 있지만, TWB 성형의 해석에서 세밀히 고려치 못한 내용들이 그 원인이 될 수도 있다. 아직까지 성형을 위한 세부 치수와 조건 등의 결정은 현장 트라이아웃에서 최종적으로 수정되고 결정되는 것이 현실이다. 따라서 트라이아웃의 문제는 꾸준히 기록되어야 관련 기술 발전에 도움이 될 것이다. TWB도어 인너 패널의 성형시 발생한 문제를 정리하였다.

이런 관점에서 현장에서 TWB 성형시 발생하는 문제들을 정리하고 성형해석 결과를 현장 데이터와 비교하여 성형해석의 활용범위를 알아보는 자료로서 이 연구 결과를 제시한다. 더불어 성형해석의 현실성을 높이기 위한 해석적 방법을 함께 제안하고자 한다.

2. 도어 인너 성형

2.1 일반적인 TWB 성형 결함

소재의 종류와 두께가 이미 결정되어진 현장 트라이아웃에서 가장 문제가 되는 것 중에 하나가 이종 두께에 따른 소재 이동과 그에 따른 주름 및 파단이다. 그림 1(a)에서 보이는 바와 같이 두꺼운 소재가 얇은 소재 단차 쪽으로 이동하는 경우에는 단차 턱에 걸려 주름의 발생과 함께 용접선 부근이 파단되는 경우가 발생하기도 한다. 특히 용접선의 이동은 단차 가공을 위한 기준 데이터가 뭉에도 불구하고 트라이아웃을 통한 결과에 의존하게 된다. 그림 2는 성형후 용접선의 이동을 보여준다. 그림 1(b)에서는 단차 구간의 공간에 의해 상대적으로 얇은 소재가 주름이 지는 불량 양이 나올 수 있다. 또한 그림 1(c)에서 보여주고 있는 불량사항으로 다이페이스(die face) 및 프로파일(profile)에 의하여 헤밍 공정에서 문제가 되는 불균일한 제품 표면을 만드는 경우도 나타났다. 이는 비드의 위치와 크기, 펀치 어깨의 변화 등에 의해 수정된다. 이와는 별도로 성형성의 측면에서 뿐만 아니라 성형후의 탄성복원도 간과할 수 없는 문제이다. 일반적인 탄성복원 문제와 함께 용접선의 이동이 원인이 되어 나타나는 탄성복원은 아직 경험적으로 그 정도를 맞추기가 매우 어려운 문제가 된다. 이 같은 성형에서 불량요인은 대체로 현장 트라이아웃시에 작업자에 의해 올바른 방향으로 수정되고 최종적으로 설계에 반영된다.

현실적으로 실 패널 트라이아웃에 앞서 성형해석을 통해 어느 정도의 방향 제시는 이루어지고 있다.



(a) Crack



(b) Wrinkle of welding line



(c) Wrinkle of part surface

Fig. 1 Defects of TWB panel



Fig. 2 Movement of welding line

그러나 모든 불량 요인을 줄일 수 있는 수준까지 여러 차례의 해석이 수행되지 않을 뿐 아니라 그 정도를 맞추기에는 해석과 실제 사이에 존재

하는 방법적인 차이가 있는 것도 현실이다. 따라서 차이가 어느 정도인지를 인지하고 보다 실제 제품과 가까운 성형해석을 위한 방법을 찾기 위해 실 패넬 트리아아웃결과를 정리해 보았다.

2.2 실패넬 트리아아웃

대상 모델은 그림 3에 나타내었다. 소재는 SPCD 이고 두께는 각각 1.2mm, 0.65mm 이다. 윈도우 프레임이 없는 형태의 좌우 도어 인너 패넬을 동시에 성형하였다. 전체 공정은 드로잉, 재드로잉, 트리밍 및 피어싱, 플렌징 및 캠퍼어싱으로, 블랭킹을 제외한 4 공정으로 이루어진다. 비용을 고려하여 용접선이 직선이 되도록 레이저 용접을 하였으며, 그림에서 점선 부분은 용접선의 위치를 대략적으로 나타낸 것이다.

Fig. 3 Door inner panel

초기 설계에 반영하기 위해 상용성형 해석 프로그램인 Auto-form 을 사용하여 성형해석을 실시하였다. 이 결과를 바탕으로 대략의 사항들을 고려한 후 실 트리아아웃을 총 4 차례 진행하였다. 첫 트리아아웃의 결과 성형 외적인 불량요인과 더불어 대칭부 가형상의 어깨 반경에 의한 터짐과 다이페이스 단차에 의한 주름 등이 발생하여 설계가 수정되었다. 드로잉 공정에서 초기에 발생한 문제로 앞서 말한 바와 같이 용접선이 이동한 것과 서로 다른 두께의 소재 사용으로 인해 제품의 주름과 터짐이 발생하였다. 이는 단차면 가공시 두꺼운 소재의 이동을 고려한 공간 부족이 원인으로 판단되어 기존 다이면의 5mm 의 단차 구간을 7.5mm 로 연장하여 파단을 방지하였다. 파단과 주름의 전반적인 성형성 향상을 위해서는 용접선 부분을 포함한 유입량의 균형적인 조절을 위해 용접선 위치 선정 및 성형 깊이를 고려한 다이페이스 및 가형상의 설계 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3 차 트리아아웃에서 성형 초기 발생하는 코너부

두께의 미세한 증가를 유도하는 원인으로 판단되는 코너부 신윤의 불균형 문제가 발생하였다. 이는 비드의 수증과 함께 다이 어깨 반경의 부분적 변형을 통해 해결한 후 재드로잉 공정에 필요한 구간으로 활용할 수 있었다. 2 공정인 재드로잉 공정에서 가스 스프링을 사용한 패드(pad)와 강력스프링을 사용한 서브패드(sub-pad)를 사용하였다. 그러나 패딩력에 대한 기준이 정해져 있지 않아 적정의 패드력을 찾는 데 어려움을 겪었다. 결과적으로 패드와 서브패드는 일반적인 패드력인 소재 인장강도, 작용면적과 소재두께를 곱한 값의 각각 20%와 7%를 적용하여 이를 기준으로 정하였다.

전공정을 거친 제품을 검사구(Checking Fixture)를 이용하여 스프링백을 측정하였다. 모서리 네점 중 세 점을 규제시 나머지 점에서 3mm 이상의 변형을 보였다. 그림 4는 검사구에 놓인 패넬의 모습과 변형 양상을 나타낸다.

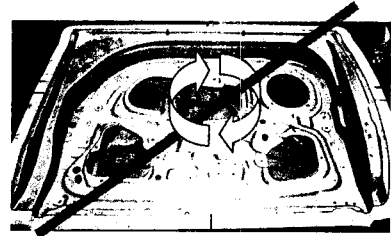


Fig. 4 Twisting of panel on checking fixture

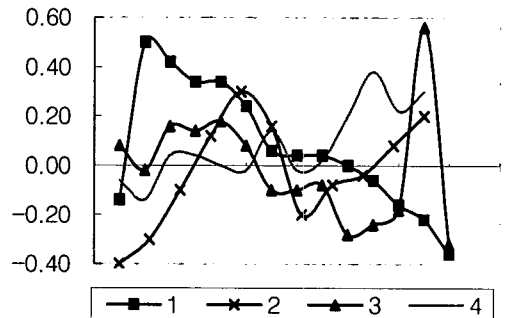
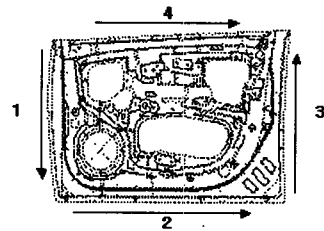


Fig. 5 Displacement of springback

이런 뒤틀림의 결과는 앞서 열거한 문제들과 연계되어 나타나는 현상으로 파악될 수 있다. 다시 말해 성형시 소재 유입량과 함께 성형력과 연계된 다이 페이스 면압 차이와 소재 흐름의 차이에서 발생하는 페널 내부의 응력 분포 차이에 기인한 것으로 판단될 수 있다. 최종으로 완료된 제품의 실제 측정 치수를 mm 단위로 그림 5에 나타내었다. 일반적인 성형 후 발생하는 탄성복원과 함께 이종소재 두께 차이로 인한 탄성복원, 용접선의 이동 정도가 영향을 주는 탄성복원 등이 복합적으로 나타나 제품을 제어하는데 어려움이 일반 제품보다 크게 나타난 것을 볼 수 있다.

3. 성형 해석

3.1 성형성

일반적인 셸메쉬(shell mesh)를 사용하는 TWB 해석에 있어서 다음과 같은 문제가 단차부 영향을 정확히 나타내는데 한계를 갖게 한다. 그림 6(a)와 같이 현장의 TWB 용 금형은 외판과의 헤밍 공정을 고려하여 외판과 맞닿는 면, 보통 홀더쪽에 기준면을 두고 다이 페이스면에 단차 가공을 하게 된다. 그러나 그림 6(b)에서 나타낸 바와 같이 셸메쉬를 이용한 해석에 있어서는 그 특성상 두께 방향의 중심선이 서로 일치 하도록 이종 두께가 용접되어 있는 형태로 하여 해석을 수행해야 한다. 이 같은 차이로 인해 그림 1(b)의 경우처럼 두꺼운 소재가 얇은 소재 쪽으로 이동이 되는 경우에 해석 결과가 실제와 다른 양상을 보일 수 있다. 실제로 단차의 정도와 용접 정도에 따라 두꺼운 소재가 단차에 걸려 쉽게 파단이 일어나기도 하지만 단차 구간 사이의 경사 정도가 완만하거나 용접으로 생기는 경사에 따라 어느 정도 얇은 쪽으로 들어가면서 성형 되는 경우도 있다. 하지만 해석 모델은 보통 현장에서 기존 모델에 대해 업셋을 이용하여 만들기 때문에 이런 경사를 나타내지 않는 것이 일반적이다. 또한 소재에 있어 용접으로 생기는 경사 또한 표현 할 수 없다.

일반적으로 현장에서 사용되는 해석 모델을 가지고 해석을 수행한 결과를 그림 7에 나타내었다. 두꺼운 소재가 얇은 소재 쪽으로 이동하면서 용접선을 따라 파단이 발생하였다. 그러나 실제 패널에서는 파단이 일어나지 않아 해석 결과와 다른 양상을 보였다.

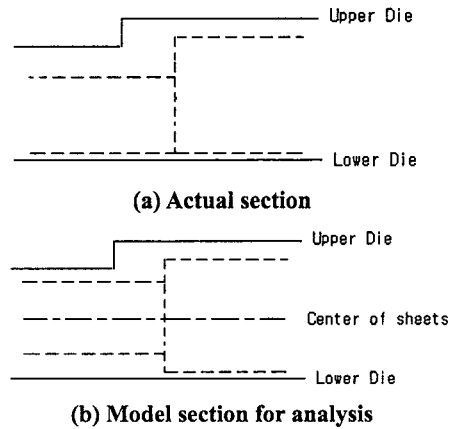


Fig. 6 Contact section of tool and sheet

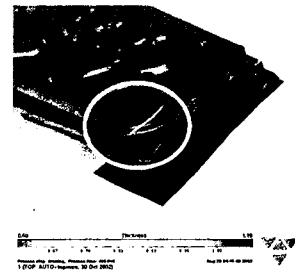


Fig. 7 Result of current model analysis

소재 이동시 용접부의 변형 양상은 용접 방법과 품질에 직접적인 영향을 받게 되지만 양질의 용접 상황으로 고려해 본다면 이 같은 실제 내용이 해석상에 반영되어야 함은 해석 정밀도를 높이는 데 꼭 필요한 일이 될 것이다. 이 같은 상황을 해석에 보다 정확히 반영하기 위해 그림 8과 같이 성형해석에 사용되는 금형 단차부 경사와 소재 용접부 경사를 표현하는 제 3의 면을 금형 상형에 추가하였다.

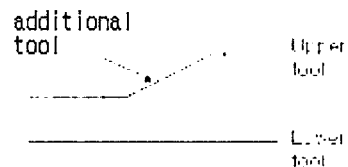
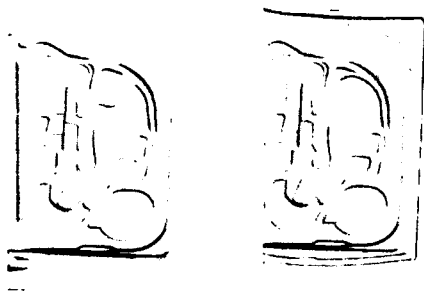


Fig. 8 Proposed tool model for analysis

기존의 단이 진 해석 단면의 형태에서 상하형

금형 외에 단차부에 경사를 갖는 면을 하나 삽입함으로써 소재 용접부에 걸리는 마찰이나 반력등을 상형 툴의 다른 부분과는 별도로 쉽게 제어가능해진다. 용접부의 마찰 계수 등은 정확히 측정하기 어려워 그 값은 여러 번의 해석을 통하여 실 패널 성형과 유사한 경향을 보이는 값으로 선정하였다. 그림 9는 제안한 모델을 사용하여 용접선부에 파단이 없는 실제 패널과 같이 성형에 성공한 결과를 나타낸다. 이는 제안한 방법의 현장 적응성을 보여주는 결과이다.



(a) Drawing (b) Redrawing

Fig. 9 Result of proposal tool model analysis

3.2 스프링백

그림 10은 스프링백에 대한 실패널과 해석 결과를 추세선과 함께 나타낸 표이다. 측정은 검사구 (checking fixture)에 안착 시킨 패널 끝단에서 성형 방향인 z 좌표값의 변화량만을 mm 단위로 측정하여 나타내었다. 그림 5에서 제시한 측정 순서를 연속적인 그래프로 나타내었다.

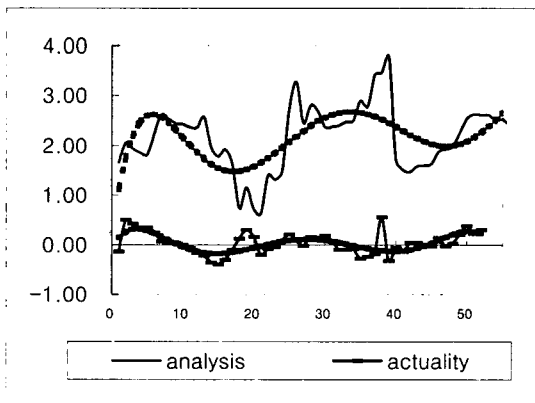


Fig. 10 Comparison of springback between actual product and analysis

해석결과 제품 테두리를 따라 나타나는 변화량은 해석결과와 실제 패널 도두에서 스프링백 발생의 최고치와 최저치가 같은 부위에서 발생하였고 전체적인 경향도 유사함을 볼 수 있다. 그러나 전체적으로 해석 결과의 절대값이 실제보다 과도하게 높아 표현된 것을 볼 수 있다. 해석 결과 활용시 절대값에 대한 신뢰도는 아직 설계반영 정도의 수준에 미치지 못하고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 스프링백 해석결과와 활용을 제품 부위에 따른 상대 오차 감소를 목적으로 한다면 변형 경향은 스프링백을 발생시키는 소재 이동과 응력 분포를 조절하는데 충분히 활용 가능한 정도를 보여주고 있다. 앞으로 현장 작업자의 해석 결과 분석 능력이 일정 수준이상 확보 된다면 스프링백을 포함한 해석 결과를 현장에서 활용하는데 있어 보다 진전이 이루어 질 수 있을 것이다. 이는 TWB 성형과 같은 특정한 제품이 아니라도 성형품 전체의 품질 확보와 나아가 국가적인 경쟁력 확보를 위해 회사와 업계 전체에서 장기간의 시간을 두고 추진해야 할 과제가 될 것이다.

4. 결론

TWB를 이용한 도어 인너 패널 성형에서 해석 결과의 현실성을 높이기 위한 해석 모델 제안과 실패널과 스프링백을 포함한 해석결과와 비교를 통해 성형해석 활용의 타당성을 살펴본 결과는 다음과 같다.

- (1) 보다 정확성 있는 해석 결과 얻어내기 위해 용접부의 해석 모델을 제안하여 실제에 가까운 해석 결과를 얻을 수 있었다.
- (2) 용접부가 이동되는 단차 구간의 중요성을 트라이아웃 과정을 통해 확인하였다.
- (3) TWB를 이용한 성형에서 제안된 모델을 통한 해석 결과가 충분히 활용될 수 있음을 입증하였다.
- (4) TWB를 이용한 성형에서 스프링백 해석 결과는 그 추세가 실패널과 매우 비슷한 양상을 보임을 확인하였다. 이는 비틀림 발생 예측에 대해서도 활용 가능성이 있다.
- (5) 스프링백량의 절대값은 실패널과 해석간에 차이를 보이므로 그 활용에 주의를 기울여야 한다.

후 기

이 논문의 쓰는데 도움을 주신 ㈜탑금속 관계자 분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 허영무, 김형목, 서대교, 1999, "용접판재의 성형한계에 관한 실험적 연구", 한국소성가공학회지, 제 8 권 제 5 호, pp. 429~436.
- (2) 인정제, 안덕찬, 이경돈, 2001, "레이저 용접 테일러드 블랭크 신장 플렌지의 성형 최적화", 한국소성가공학회지, 제 10 권 제 4 호, pp. 283~293.
- (3) 이종문, 김상주, 금영탁, 2001, "테일러드 도어 인너 패널의 현장 트라이 아웃", 한국소성가공학회지, 제 10 권, 제 3 호, pp. 193~199.
- (4) 김관희, 조원석, 김현영, 1998, "용접판재 (Tailored Blank)를 이용한 Door Inner 개발", 제 2 회 박판성형 심포지엄 논문집, pp. 95~101.
- (5) 권재욱 외, 1998, "Tailored blank 를 이용한 Side Panel 성형", 한국소성가공학회 제 2 회 박판성형 심포지엄 논문집, pp. 102~109.
- (6) M. F. Shi, K. M. Pickett and K.K. Bhatt, "Formability Issues in the Application of Tailor Welded Blank Sheets", SAE Technical Paper Series No. 930278.