

생산 현장을 위한 TWB 도어 인너 패널 성형해석

이광식¹· 송윤준[#]· 김동직²· 한영호³

Forming Analysis of TWB Inner Door Panel Considering Workshop Aspects

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

(Received November 28, 2005)

Abstract

To reduce automobile parts weight, TWB(tailored welded blank) forming is widely used in panel forming. But products used TWB forming process have many defect, wrinkle, crack and springback. So study of TWB forming process character is very important. In this study one of the current problems of TWB forming was analyzed, especially for the try-out process of inner door panel without frame. A comparison was made between actual measurements and prediction of forming analysis for formability and springback. Also a new analysis die model which have additional plane on die surface was proposed to correct result of forming analysis. This proposed method overcomes the difference for TWB forming result between try-out and analysis.

Key Words : TWB Forming, Try-out, Formability, Springback Analysis

1. 서 론

차량용 박판 부품 생산에서 부품수를 줄이는 방법은 제작 금형수를 줄여 개발 소요시간을 단축시키고, 아울러 후공정의 생략을 통해 생산기간을 단축시키는 효과도 갖게 된다. 또 차량 경량화를 위한 수단으로 테일러드 용접 블랭크(Tailored Welded Blank, 이하 TWB)를 이용해 성형한 차체의 부품은 특정한 차량 부품(도어 인너패널, 사이드 아웃터 패널 등)에 이미 널리 쓰이고 있다. 이러한 성형 방법의 다양화는 금형 제작에 대한 새로운 지식을 꾸준히 요구하고 있다. TWB 제품을 성형하기 위해서는 TWB 성형 공정의 정확한 이해와 경험은 물론 소재 특성에 대

한 정확한 이해, 용접 방법에 따른 소재 특성 변화, 두께가 다른 판을 성형할 때 생기는 특수한 성형 조건들에 대한 연구와 지식 확보가 필수적이다.

TWB 성형에 대한 기왕의 연구를 살펴보면 허영무 등[1]이 차체 제작용 강판을 대상으로 이중두께, 용접 방법에 대한 성형한계 실험을 통해 TWB에 대한 기초 자료를 얻은 바 있으며, 인정제 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 TWB 인너 도어 패널의 현장 트라이 아웃 과정을 통해 성형시 발생하는 문제들을 파악하고 정리한 바 있다.

1. (주) 탑금속

2. 성남기능대학 컴퓨터응용기계과

3. 건국대학교 기계항공공학부

교신저자 : 건국대학교 기계설계학과 대학원

E-mail : yjsong@metalfforming.co.kr

이런 연구들을 통해 이제 기초적인 단계의 연구를 떠나 TWB 성형을 생산 현장에 직접 적용할 경우 나타나는 문제들을 다룰 필요성이 생겼다[4~5]. 그러나 통상적인 제품 생산에서 해석을 통한 성형예측이 보편화되고 현장에서 필수적으로 사용되는 현실에 비해, TWB 성형에 대한 해석은 아직 그 결과가 제대로 활용되고 있지 못하고 있다 [6]. 이는 대략적인 성형 해석 후 트라이아웃시에 겪게 되는 과정들이 해석 단계에서 완벽히 추정될 수 없다는 원론적인 한계 때문이기도 하지만, TWB 성형의 해석에서 세밀하게 고려하지 못한 내용들이 그 원인이 될 수도 있다. 아직까지 성형을 위한 세부 치수와 조건 등의 결정은 현장 트라이아웃에서 최종적으로 수정되고 결정되는 것이 현실이다.

또한 급형 제작 현장에서 실제로 파단이나 주름 없이 성형이 되어지는 패널의 경우에도 성형 해석 결과는 불량 판정이 나는 경우를 볼 수 있다. TWB를 이용한 패널 성형에서 이런 문제는 해석결과 활용에 중대한 문제를 야기시킨다. 이 연구에서는 TWB 성형시 발생하는 일반적인 문제들을 정리하고, 제품 파단의 관점에서 실제 성형과 해석 결과가 일치하지 않는 패널을 대상으로 성형 해석의 정확성을 높이기 위한 해석 방법을 제안하였다.

2. 인너 도어 패널 성형

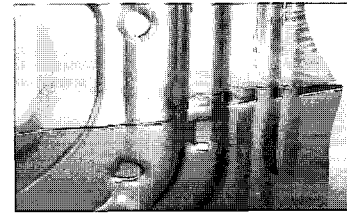
2.1 일반적인 TWB성형 결함

소재의 종류와 두께가 이미 결정되어진 현장 트라이아웃에서 가장 문제가 되는 것 중의 하나가 두께가 다른 소재가 용접된 부위의 이동과 그에 따른 주름 및 파단이다.

Fig. 1(a)에서 보이는 바와 같이 두꺼운 소재가 얇은 소재 쪽으로 이동하는 경우에는 단차 턱에 걸려 주름이 발생하고 용접선 부근이 파단되기도 한다. 특히 용접선의 이동은 단차 가공을 위한 기준 데이터가 됨에도 불구하고 트라이아웃을 통한 결과에 의존하게 된다. Fig. 1(b)에서는 단차 구간의 공간에 의해 상대적으로 얇은 소재가 주름이 지는 불량이 나올 수 있다. 또한 Fig. 1(c)에서 보여주고 있는 불량은 다이페이스(die face) 및 펀치 프로파일(punch profile)의 부적절함에 의하여 헤밍 공정에서 문제가 되는 불균일한 제품 표면에 생성된 경우이다. 이는 비드의 위치와 크기, 펀치



(a) Crack



(b) Wrinkle of welding line



(c) Wrinkle of part surface

Fig. 1 Defects of TWB panel

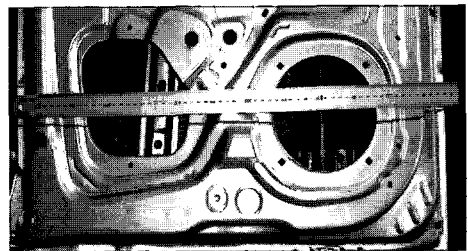


Fig. 2 Movement of welding line

어깨의 변화 등에 의해 수정될 수 있다. 성형성 뿐만 아니라 성형 후의 탄성복원도 간과할 수 없는 문제이다. 두께가 다른 소재로 용접된 판이 성형되면서 발생하는 탄성복원은 아직 경험적으로 그 정도를 조정하기가 매우 어려운 문제다. Fig. 2는 성형 후 용접선의 이동을 보여준다.

이러한 불량은 대체로 현장 트라이아웃시 작업자에 의해 올바른 방향으로 수정되고 최종적으로 설계에 반영된다. 또 실제의 패널 트라이아웃 이전에도 성형해석을 통해 어느 정도의 방향 제시

가 이루어지고 있다. 그러나 금형 제작 현장에서 여러 차례의 해석을 수행하여 모든 불량 요인을 줄일 수가 없을 뿐 아니라 요구 정도를 맞추기에는 해석과 실제 사이에 존재하는 근본적인 차이가 있다. 따라서 차이가 어느 정도인지를 인지하고 보다 제품과 가까운 성형해석을 위한 실질적인 방법을 찾기 위해 먼저 실제 패널 트라이아웃 결과를 정리해 보았다.

2.2 트라이아웃

윈도우 프레임이 없는 형태의 도어 인너 패널의 좌우 동시 성형품을 대상으로 하였다. 소재는 SPCD이고 초기 블랭크는 두께 1.2mm, 0.65mm의 판재를 레이저 용접하였다. 전체 공정은 1차, 2차 드로잉, 트리밍 및 피어싱, 플렌징 및 캠퍼싱으로 블랭킹을 제외한 4공정으로 이루어진다.

초기 설계에 반영하기 위해 두 종류의 상용 프로그램을 사용하여 성형해석을 실시하였다. 이 결과를 바탕으로 대략의 사항들을 고려한 후 실 트라이아웃을 총 4차례 진행하였다. 첫 트라이아웃의 결과 대칭부 가형상의 모서리 터짐과 다이페이스 단차에 의한 주름 등이 발생하여 설계가 수정되었다. 앞서 말한 바와 같이 드로잉 공정에서 초기에 발생한 문제로 용접선이 이동한 것과 이종 두께의 소재 사용으로 인해 제품의 주름과 터짐이 발생하였다. 이는 단차면 가공시 두꺼운 소재의 이동을 고려한 공간 부족이 원인으로 판단되어 기존 다이면의 5mm의 단차 구간을 7.5mm로 연장하여 파단을 방지하였다. 이를 바탕으로 성형해석을 재 실시 하였으나 해석 결과는 초기 결과와 마찬가지로 계속적인 파단을 예측하였다. 이는 본 연구의 주제가 되는 사항이다. 파단과 주름 방지 등 전반적인 성형성 향상을 위해서는 용접선 부분을 포함한 유입량의 균형적인 조절이 필요하다. 이를 위해 용접선 위치 선정 및 성형 깊이를 고려한 다이 페이스 및 가형상의 설계 방법에 대한 연구가 필요할 것이다.

3차 트라이 아웃에서 성형 초기 발생하는 코너부 두께의 미세한 증가를 유도하는 원인으로 판단되는 코너부 신율의 불균형 문제가 발생하였다. 이는 비드의 수정과 함께 다이 어깨 반경의 부분적 변경을 통해 해결한 후 재드로잉 공정에 필요한 구간으로 활용할 수 있었다. 2공정인 재드로잉 공정에서 가스 스프링을 사용한 패드(pad)와 강력스프링을 사용한 서브패드(sub-pad)를 사용하

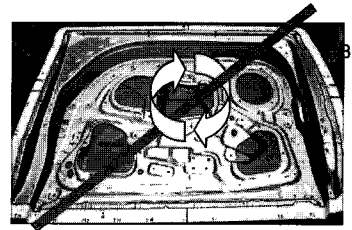
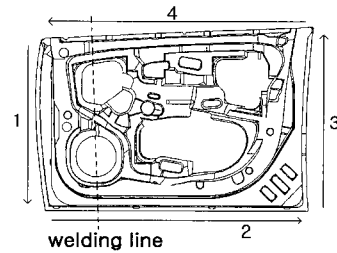
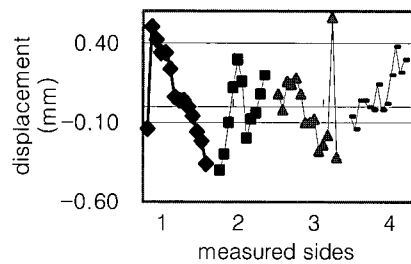


Fig. 3 Twisting of panel on checking fixture



(a) Measurement direction



(b) Measured displacement on the checking fixture

Fig. 4 Displacement by springback

였다. 그러나 패딩력에 대한 기준이 명확히 정해져 있지 않아 적정의 패딩력을 찾는 데 어려움을 겪었다. 여러번의 시행착오를 거쳐 패드와 서브패드는 일반적 패딩력인 소재인장강도, 작용면적과 소재두께를 곱한 값의 각각 20%와 7%를 적용하여 이를 자체 기준으로 정하였다.

Fig. 3에 검사구에 놓인 패널의 모습과 뒤틀림 변형 양상을 나타내었다. 이런 뒤틀림의 결과는 앞서 열거한 문제들과 연계되어 나타나는 현상으로 파악될 수 있다. 다시 말해 성형시 소재 유입량과 함께 성형력과 연계된 다이페이스 면압 차이와 소재 흐름의 차이에서 발생하는 패널 내부의 응력 분포 차이에 기인한 것으로 판단될 수 있다.

전 공정을 거친 최종 완성 제품을 검사구(checking fixture)를 이용하여 스프링백을 측정하였다. 최종 공정을 거친 제품을 네 곳의 모서리를 구속한 상

태에서 플랜지의 수직 변형량을 Fig. 4에 나타내었다. 측정은 플랜지 라인을 따라 검사구에 표시되어 있는 약 60개의 측정점에서 플랜지 라인의 수직위치를 측정하였다. 전체적으로 일반 드로잉 제품에 비하여 변형이 크게 나타난 것을 볼 수 있으나 앞서 언급한 여러번의 Try-out과 금형면 사상 작업을 통해 목표치의 변형정도로 제한된 것이다.

3. 성형 해석

3.1 기존 성형해석의 문제

일반적으로 현장에서 사용되는 해석 모델을 만들어 해석을 수행한 결과 나타난 두께분포 및 파단의 양상을 Fig. 5에 나타내었다. 성형 해석은 두 종류의 상용 프로그램을 사용하여 수행하였다. 해석 결과는 두꺼운 소재가 얇은 소재쪽으로 이동하면서 용접선을 따라 파단이 발생하였음을 보여준다. 그러나 단차부 경사와 길이를 조절한 이후 파단없는 실제 패널에서와 달리 파단이 계속 관측되어 두 종류의 성형해석 프로그램 모두에서 해석 결과가 실제 현상과 다른 양상을 보였다.

TWB성형 해석의 정확성은 매우 향상되고 있지만 특별한 경우에 있어 일반적인 TWB 해석 방식을 사용한 경우에는 해석에서만 발생하는 불량을 대비하여 사용자의 해석 결과에 대한 고찰이 반드시 필요할 것이다.

일반적인 셸메쉬(shell mesh)를 사용하는 TWB 성형 해석에 있어서 다음과 같은 문제가 단차부 영향을 정확히 나타내는데 한계를 갖게 한다. 해석의 문제를 보여주기 위해 Fig. 6에 실제와 해석의 근본적인 차이점을 간략히 나타내었다. Fig. 6(a)와 같이 현장의 TWB용 금형은 외판과의 헤밍 공정을 고려하여 외판과 맞닿는 면, 보통 홀더쪽에 기준면을 두고 다이페이스 면에 단차 가공을 하게 된다. 그러나 Fig. 6(b)에서 나타낸 바와 같이 셸메쉬를 이용한 해석에 있어서는 그 특성상 두께 방향의 중심선에 대칭 형태로 해석을 수행해야 한다.

물론 성형 해석 중 접촉압력의 효과가 표현될 수 있도록 공구와 소재 메쉬들의 대한 접촉방법을 선택하여 사용한다. 그러나 실제 성형에서 보이는 현상으로 상형 다이의 단차 구간에 의한 공간이 없는 경우에도 두꺼운 소재 흐름이 얇은 소재 쪽으로 용접부 경사를 따라 압력을 받으며 발

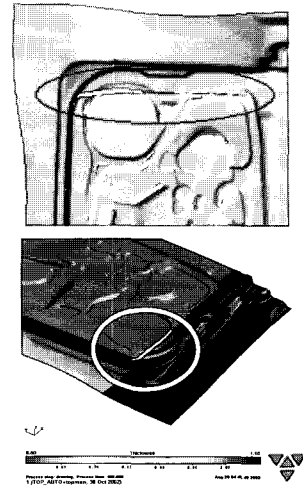


Fig. 5 Result of current model analysis

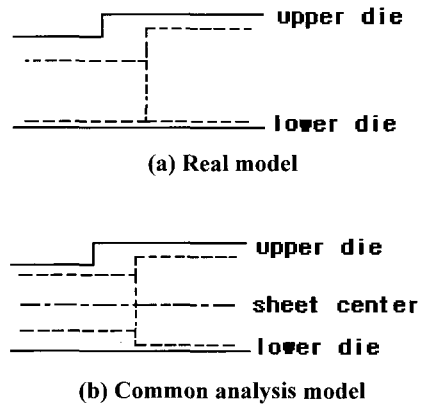


Fig. 6 Contact section of tool and sheet

생될 때가 있다. 해석적 방법에 의해 셸메쉬의 접촉 압력에 대한 표현이 가능하더라도 이는 실제 제품 성형에 대한 해석의 근본적 한계가 될 수 있다. 이는 앞서 제시한 부정확한 성형 해석 결과의 원인이 될 수 있다.

실제 패널 성형에 있어서 금형의 단차부 어깨 반경과 함께 단차의 정도, 이중 소재의 용접부 형상에 따라 두꺼운 소재가 단차에 걸려 쉽게 파단이 일어 나기도 하지만 단차 구간 사이의 경사 정도가 완만하거나 이중 두께 소재간 용접으로 생기는 경사에 따라 어느 정도 얇은 쪽으로 들어가면서 성형 되는 경우도 있다. 하지만 보통의 TWB용 해석 공구 모델은 생산성 향상을 위해 기존 모델을 부분적으로 업셋하여 만들기 때문에

이런 경사를 나타내지 않는 것이 일반적이다. 또한 소재에 있어 셀메쉬의 특성상 용접으로 생기는 경사 또한 표현할 수 없게 되는데 이 또한 해석의 정확성을 낮추는 원인이 된다.

3.2 새로운 해석모델 제안

상용 성형해석 프로그램들의 유한요소적 한계를 인정하면서 TWB제품 해석의 정밀도를 높이기 위해서는 표현 가능한 실제 금형 형상으로 해석 모델을 만드는 것은 꼭 필요한 일이라 판단된다.

실제 제품의 변형 양상을 해석에서 반영하기 위해 먼저 해석 모델에서 용접부 표현을 하여 실제에 가까운 해석 조건을 만들 필요성이 있다. 그러나 앞서 말한 셀메쉬의 특성상 소재에 이를 표현하기는 매우 어려운 문제다. 그래서 Fig. 7과 같이 해석 모델에서 금형 단차부 경사와 소재 용접부 경사를 표현하기 위해 제3의 면을 금형 상형에 추가하였다.

기존의 단이 진 해석 단면의 형태에서 상하형 금형 외에 단차부에 경사를 표현하는 독립적인 면을 하나 추가하였다. 이 추가면은 금형에 독립적인 패드처럼 작용하여 소재 용접부에 걸리는 마찰이나 반력 등을 별도로 제어하는 것을 가능하게 만든다. 용접부의 마찰 계수와 압력 등을 정확히 측정하기 어려워 여러 번의 해석을 통하여 실제 패널 성형과 유사한 경향을 보이는 값으로 해석에 사용할 입력값을 선정하였다.

Fig. 8, 9를 통해 기존의 통상적인 해석 모델에서 실제와 다른 파단이 관측되어 부정확함을 보인 부분이 제안한 해석 모델을 통하여 실제와 같이 성공적인 성형으로 예측됨을 볼 수 있다. Fig. 9는 Fig. 5에서 제시한 잘못된 예측된 파단의 경향이 제안한 해석 모델의 사용으로 실제 성형과 같이 파단없이 해석된 결과를 보여주고 있다. 파단으로 예측되었던 용접선부의 양상이 추가된 제 3 경사면에서 독립된 성형력과 마찰력 조절을 통해 파단이 발생하지 않도록 조절된 것이다.

경사면에 대한 입력값 조절은 앞으로 여러 번의 사례들을 통해 실제 성형성 예측에 사용되는 표준의 입력값으로 고정되어 사용될 수 있을 것이다.

3.3 스프링백

Fig. 10은 최종적으로 트리밍과 피어싱 공정을 거쳐 완성된 패널에 대한 스프링백 정도를 실제 패

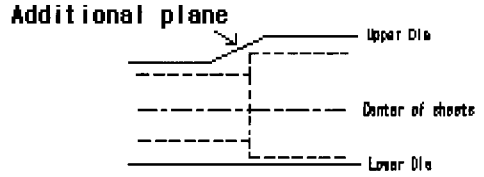
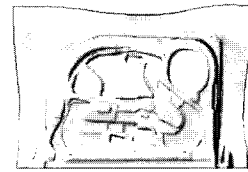
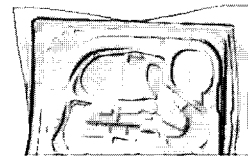


Fig. 7 Proposed tool model for analysis

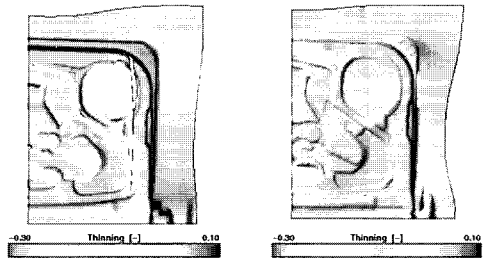


(a) 1st drawing



(b) 2nd drawing

Fig. 8 Result of proposal tool model analysis



(a) Common model

(b) Proposal model

Fig. 9 Thickness distribution

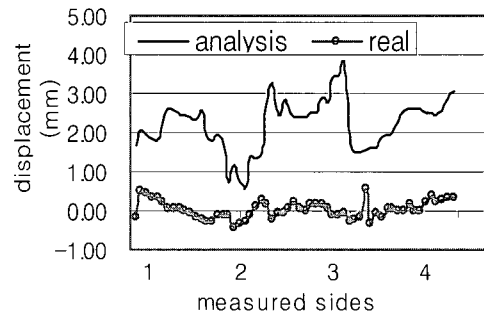


Fig.10 Comparison of springback between actual product and analysis

널의 측정 및 성형해석 결과를 비교한 그래프이다. Fig. 4에서 제시한 실패널 측정 그래프와 함께 해석 결과에서 동일한 위치의 요소 절점 위치를 측정하여 연속적인 그래프로 비교하였다.

해석결과 제품 테두리를 따라 나타나는 변화량을 살펴보면 해석결과와 실제 패널의 스프링백 발생의 최저값과 최고값이 Fig. 4(a)의 측정선 2의 시작 부근과 측정선 3의 중간 부위에서 발생하였다. 또한 테두리를 따라 측정된 변형 치수의 높낮이 경향으로 판단하면 패널의 전체적인 뒤틀림 경향도 유사함을 볼 수 있다. 그러나 전체적으로 해석 결과의 값의 크기가 실제보다 크게 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.

4. 결 론

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

(1) TWB로 인너 도어 패널을 성형할 때 발생하는 불량 사례들을 정리하여 용접부가 이동되는 단차 구간의 중요성을 트라이아웃 과정을 통해 확인하였다.

(2) 보다 정확성 있는 해석 결과를 얻어내기 위해 금형의 소재용접 단차부 경사면 추가의 해석 모델을 제안하고 이를 적용한 해석을 통해 실제

현상에 가까운 해석 결과를 얻을 수 있었다.

(3) TWB를 이용한 성형에서 스프링백 해석 결과는 그 추세가 실패널과 매우 비슷한 양상을 보임을 확인하였다. 이는 비틀림 발생 예측에 대해서도 활용 가능성이 있다.

(4) 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 플랜지의 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 박관성형 심포지엄 논문집, pp. 95~101.
- [5] 권재욱 외, 1998, Tailored blank 를 이용한 Side Panel 성형, 한국소성가공학회 제 2 회 박관성형 심포지엄 논문집, pp. 102~109.
- [6] M. F. Shi, K. M. Pickett, K. K. Bhatt, Formability Issues in the Application of Tailor Welded Blank Sheets, SAE Technical Paper Series No. 930278.