

레이저 용접 차체의 성형해석과 금형설계

김현영* · 신용승* · 김관희** · 조원석**

(1998년 4월 27일 접수)

Stamping Analysis and Die Design of Laser Welded Automotive Body

Heon Young Kim, Yong Seung Shin, Koan Hoi Kim and Won Seok Cho

Abstract

Computer simulations and test trials were carried out to obtain the optimal stamping conditions of the die design of the laser welded automotive body. The stamping process including gravity deflection, bead calibration, binder wrap, forming and spring back was simulated and compared with the results obtained from test trials. The production variables were determined from a preliminary operation and they were investigated in the simulation and the test trials. The formability was tested under the various conditions, such as the initial position of blank, blank holding force, corner radius and the shape of drawbead. Sound products without fracture, wrinkling and excessive weldline movement were produced by applying results obtained this investigation.

Key Words : Stamping, Laser Welded Automotive Body, Formability

1. 서 론

최근 자동차의 발전 추세는 고성능화, 고속화, 고안전화이며, 자동차의 각종 부품도 소형화, 경량화로 발전되고 있다. 자동차 경량화를 위한 방법 중의 하나는 자동차 총 중량의 약 32%를 차지하고 있는 차체(automotive body) 중량을 감소시키는 것이다.⁽¹⁾ 차체의 대부분은 성형된 판재로 이루어져 있기 때문에 판재 성형 기술이 모든 차체에 적용되어질 수 있다. 일반적으로 자동차 차체는 필요한 부분에 보강재로 강도 효과를 내지만, 이 과정에서 공정수, 금형수, 노동력, 시간의 증가 등의 추가 부담이 발생된다.⁽²⁻⁴⁾ 이런 단점을 보완하기 위해 레이저 용접 판

재(TWB, Taila Welded Blank)를 이용한다. 레이저 TWB 성형은 두께, 기계적 성질 등이 다른 두 개 혹은 그 이상의 판재를 성형 전에 서로 용접한 후 성형하는 것을 말한다. 예를 들면 자동차 도어 인너(door inner)에서 강성이 요구되는 부분은 힌지(hinge)부이다. 기존의 방법은 전체 도어 인너를 같은 두께의 판재로 성형한 후 강성이 요구되는 부분에 보강재를 추가한다. 그러나 TWB의 사용으로 강성이 요구되는 부분은 두껍고 강성이 큰 판재를, 나머지 부분은 얇은 판재를 이용하여 용접하며, 한번의 공정으로 성형함으로써 조립에 있어서의 치수 정확성, 높은 생산성, 비용절감, 중량감소 등의 효과를 낼 수 있다.⁽⁶⁻⁹⁾ 그러나 레이저 용접 판재의 성형시 발생하는 용접선의 이

* 강원대학교 기계공학과

** (주) 기아자동차 기술센터

동, 두께가 얇은 쪽에 발생하는 주름, 용접부의 저연신률에 의한 파단 등의 문제가 발생할 수 있으며, 기존의 공정으로는 이런 문제를 효과적으로 제어하기 어려우므로 새로운 성형 기술이 요구된다. 최근 레이저 TWB는 차체 부품에 급속도로 그 적용이 확산되고 있는 실정이며, 성형성, 금형설계 및 생산에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.^(10~12)

TWB 적용 사례를 살펴보면 1967년 TIG 아크용접에 의한 TWB를 혼다(Honda)사가 경자동차의 사이드 판넬(side panel)에 적용하였고, 1979년 볼보(Volvo)사가 메시심(mash-seam) 용접에 의한 TWB를 적용하였다고 알려져 있다. 1985년 아우디(Audi)사는 플로어 패널(floor panel), 도요다(Toyota)사는 썬 루프(sun roof) 등에 적용하였으나 이는 동일 두께의 강판을 결합한 것이었다. 이후 용접기술, 성형기술이 비약적으로 발전하여 이중두께의 용접판재가 실용화된 것은 1989년 도요다(Toyota)사의 아웃사이드 패널(out side panel)이다. 90년대 들어오면서 TWB는 사이드 프레임(side frame), 도어인너(door inner) 등에 적용되기 시작하였으며, 현재 많은 자동차의 바디부품에 적용된다.^(13,14) 국내의 경우, 현대, 대우, 기아 등에서 도어 인너, 사이드 프레임(side frame), 플로어 패널(floor panel), 필라(pillar)부 등 많은 부품에 TWB를 적용하기 위하여 연구가 활발히 진행 중이다.

본 연구에서는 도어 인너 성형 해석을 위해 CAD 데이터로부터 다이를 모델링한 후, 소재의 초기 처짐을 위한 중력 처짐 해석, 비드부의 상당힘을 측정하기 위한 비드력 측정 해석, 다이와 판재, 홀더의 안착상태를 보기 위한 바인더 랩 해석, 제품 성형을 위한 성형 해석을 수행하고, 최종 성형된 판재로부터 트리밍 과정 후 스프링 백을 예측하였다. 또한 레이저 용접 자동차 도어 인너를 개발하기 위하여 단차 가공된 TWB 전용 금형을 설계 제작하여 여러 가지 조건하에서 성형시험을 수행하였고, 동시에 성형 해석을 수행하여 금형 설계에 대한 정보와 공정조건, 초기 소재의 위치를 변경하며 그 결과를 비교·분석하여 파단, 주름 및 용접선의 과도한 이동 등을 제어하였다.

2. 해석 및 시험 방법

자동차 도어 인너(door inner)에 대하여 SPC3 0.7 mm 판재를 사용한 성형과정, 즉 중력효과(gravity effect), 바인더랩(binder wrap), 성형(forming), 트리밍

(trimming)과정을 시뮬레이션(simulation)하였으며, 변형양상, 파단, 스프링 백(spring-back)을 예측하여 실제 성형품과 비교하였다. 동일판재 해석결과를 바탕으로 0.7~1.8mm 이중 두께의 TWB를 자동차 도어 인너에 적용하여 실제 판재성형 시험과 성형해석을 병행하였다(Fig.1). 성형 시험(trial)에서는 초기 판재의 위치와 비드형상을 변경하여 각각에 대한 성형 결과를 비교 분석하였으며, 이와 동시에 컴퓨터 모사에서는 변수연구 즉, 초기판재 위치, 블랭크 홀딩력(BHF), 비드부 변경 등을 통해 시험 결과와 비교하였다. 그리고 이러한 결과를 금형설계 및 제품설계에 반영하고자 한다.

2.1 TWB 적용을 위한 블랭크 설계

자동차 차체에 용접판재(TWB)를 적용시키기 위해서는 먼저 기존의 자동차 차체에 대한 분석이 필요하다. 현재 차체 제조 방법에는 여러 가지가 있으나 공통적으로 사용 소재의 선택과 금형 제조 비용이 서로 대립하는 모순을 가지고 있다. 즉, 부품의 크기가 커지면 개발해야 하는 금형의 수는 줄어들지만, 상대적으로 소재 선택에 있어서 요구되는 강성, 성형성, 내부식성 등을 모두 만족시키는 최고 품질의 소재를 사용해야 하므로 소재 선택의 자유도가 떨어진다. 반면 부품의 크기가 작아지면 소재 선택의 자유도는 커지나 금형의 수가 증가하고, 추가의 용접 공정이 필요하게 된다.

이와 같은 단점을 보완하기 위한 용접판재 적용 차체를 설계할 경우, 부품의 크기를 결정하고, 또한 어느 정도까지 일체화 할 것인가를 결정하는 것이 매우 중요하다. 이러한 결정을 위해서는 차체 부품의 요구 특성을 파악하고, 용접판재의 적용안을 여러 가지로 검토하여, 부품에 요구되는 기능적 특성과 경제적 효과가 최대되도록 해야 한다.

용접판재를 도어인너(door inner)에 적용하기 위한 선행 과정은 도어(door)에 요구되는 구조적인 강도에 대해 판재를 최적 설계하는 것이다. 일반적으로 도어인너의 강도해석에는 도어처짐(door sag) 해석, 윈도우 프레임 처짐(window frame deflection) 해석, 벨트라인 강성(beltline squeeze) 해석, 고유진동수(normal mode) 해석 등이 있으며 이러한 모든 요구조건을 만족해야 한다.⁽¹⁵⁾

Fig.1은 강도해석 결과 나타난 최적의 판재 조합을 나타낸다. 그러나 용접판재 설계시 최적화에 대응하는 부품을 제작하기 위해서는 용접선을 곡선으로 해야 하지만, 곡

선 용접은 비용이 비싸기 때문에 Fig.2와 같이 용접선을 직선으로 변경·설계하였다. Fig.2에서 좌측부분은 힌지 보강을 위한 강도 요구를 만족시키기 위해 두께 1.8 mm의 판재를, 우측부분은 기존 사용소재인 두께 0.7 mm의 판재를 사용하였다. 사용판재는 모두 SPC3종(DDQ 급-Deep Drawing Quality)판재를 사용하였다.

2.2 시작 금형 제작 및 유한요소 모델링

도어 인너의 실험을 위하여 시작 금형을 설계 제작하였다. 시작 금형을 제작하는데 있어 제품 형상을 나타내는 펀치(punch) 부위는 양산에서 사용되고 있는 제품 CAD 데이터(data)를 사용하였고, 블랭크 홀더(blank holder)는 시작용으로 새로 설계 제작하였다. 양산용 금형에서는 성형시 강판의 꺾임이나 접힘 등을 방지하기 위해 가형상을 설치하여 제어를 하였으나 본 실험에서는 비드(bead)를 설치하여 비드의 형상으로 소재 유입량을 제어하였으

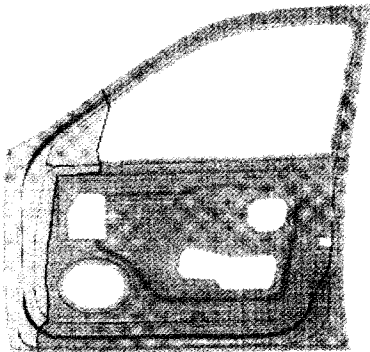


Fig. 1 Position of weld line resulted from structural analysis

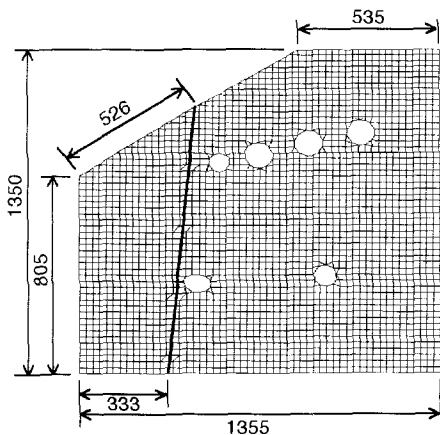


Fig. 2 TWB of door inner panel

며 가형상은 설치하지 않았다. 특히 용접판재의 두께차를 고려하여 다이(die)부에 단차 가공을 하였다.

유한요소 해석을 위하여 금형 CAD 데이터로부터 유한요소 모델링을 하였다. 특히, 도어 인너와 같이 주로 곡면으로 구성된 제품의 경우는 모델링에 있어서 곡면부를 3~5개의 요소로 모델링을 해야 굽힘과 같은 기계적 현상을 잘 표현 할 수 있고 국부적인 요소의 변형을 제거할 수 있다. Fig.3은 도어 인너의 다이에 대한 유한요소 모델이며, 다이로부터 펀치, 블랭크홀더를 판재 두께만큼 오프셋(offset)하여 Fig.4와 같은 금형과 판재의 배치를 구성하였다.

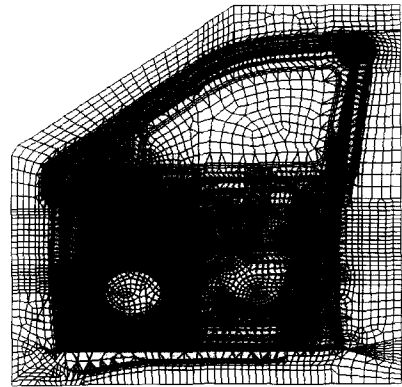


Fig. 3 Die shape of door inner panel

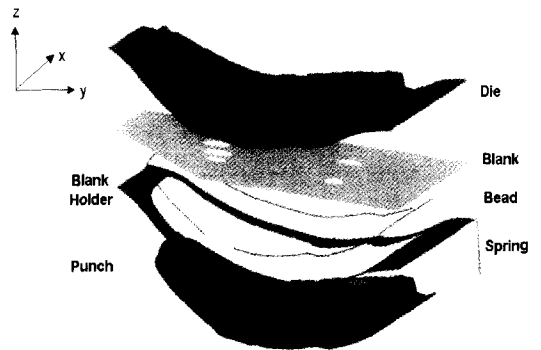


Fig. 4 Initial position in door inner stamping

3. 동일판재 성형 시험 및 해석

시작 금형이 제작된 직후 금형가공 상태를 확인하기 위하여 동일 판재를 이용한 성형 시험 및 성형 해석을 동시

에 수행하였다. Fig. 5는 단계별 성형결과를 나타낸 것이다. 바인더 랩 상태에서 좌측하단에 소재 깍임이 나타나며 성형이 진행됨에 따라서 정도가 심해진다. 100 mm 정도의 성형단계에서는 좌측 하단부에 소재의 겹침현상이 나타나기 시작했다. 이것은 양산금형과 달리 가형상을 설치하지 않았으며, 또한 금형의 단차가공의 결과로 예측된다.

성형해석은 Fig.6과 같은 판재 성형해석 단계를 거치게 된다. 중력저침해석은 판재와 홀더를 접촉시키는데 그 목

적이 있으며, 중력 가속도 $g(9.8 \text{ m/s}^2)$ 를 판재에 부가하여 처짐을 예측하였다.(Fig.8(a)). 드로오비드(draw-bead)의 효과를 해석에 나타내기 위하여 단위 폭의 비드 모델에 대한 유입 저항력(drawing force)과 수직 저항력(uplift force)을 계산하였다. Fig.7은 드로오비드 해석 모델을 나타내며, Table 1은 유입 저항력과 수직 저항력을 나타낸다. 드로오 비드 해석은 바(bar)요소로 비드를 모델링하여 비드에 상당힘을 입력함으로써 판재의 유입량을

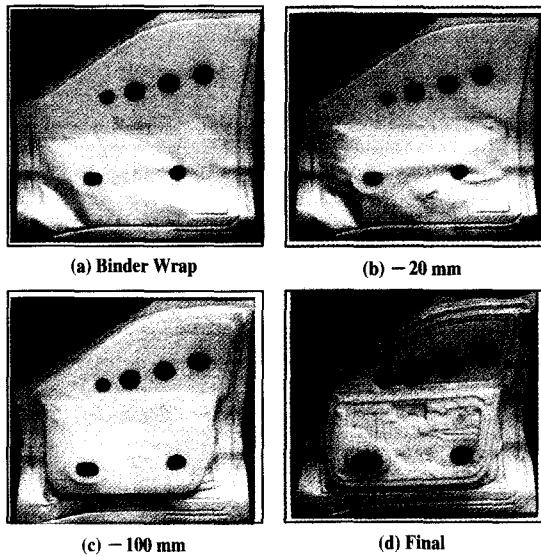


Fig. 5 Deformed shape of door inner step-by-step

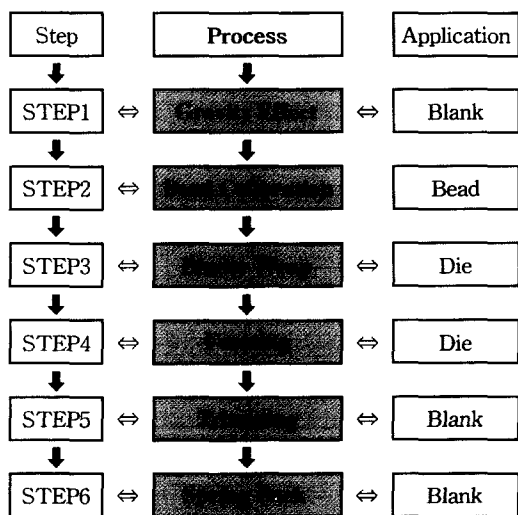


Fig. 6 Flow chart for forming simulation

Table 1 Resisting force by drawbead

Interleaf(%)	Interleaf(mm)	F _x	F _y
0	8.7	0	0
20	7.1	0.005	0.016
40	5.5	0.0165	0.026
60	3.9	0.036	0.04
80	2.3	0.058	0.065
100	0.7	0.082	0.152

(a) Thin blank

Interleaf(%)	Interleaf(mm)	F _x	F _y
0	9.8	0	0
20	8.2	0.005	0.016
40	6.6	0.0165	0.026
60	5.0	0.036	0.04
80	3.4	0.058	0.065
100	1.8	0.082	0.152

(b) Thick blank

Table 2 Material properties

Item	Value	Item	Value
Density	7.8E-06 kg/mm ³	Poison's Ratio	0.3
Thickness	0.7/1.8 mm	Lankford coed for normal anisotropy	1.72
Young's Modulus	210 Gpa	Hardening coefficient	0.586 Gpa
Yield Stress	0.169 Gpa	Initial Strain	0.0078
Integration Points	3	Hardening Exponent	0.249

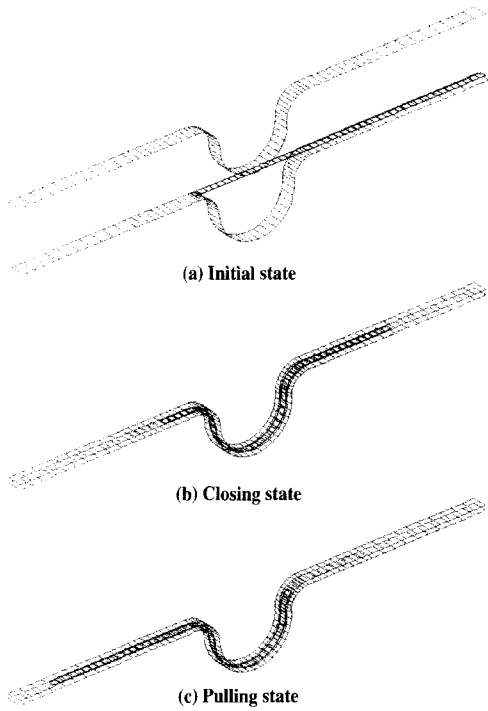


Fig. 7 Drawbead calibration

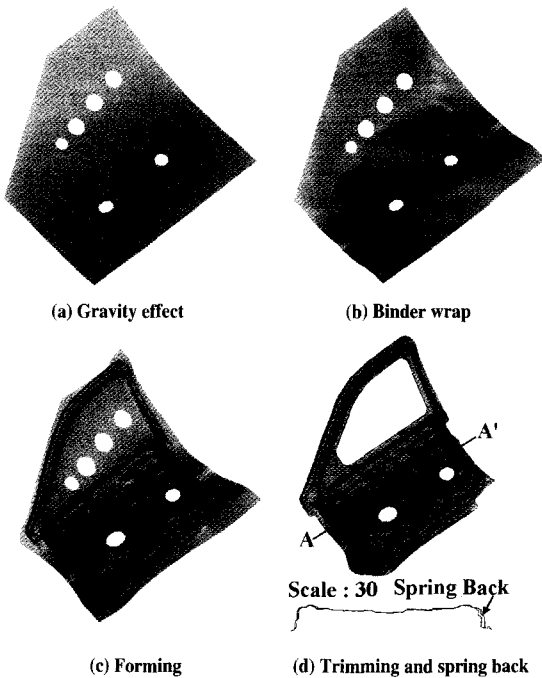
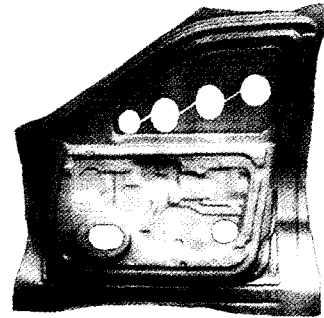


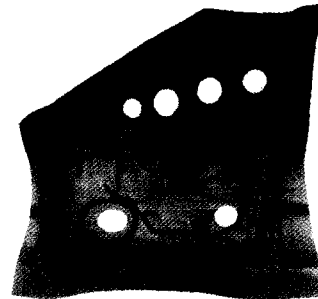
Fig. 8 Deformed shape of door inner

Table 3 Boundary & initial condition

	Boundary	Initial Condition
Gravity	Die, B/H, Punch : All fixed Blank : Two node of bottom U _y flexe	Gravity Acceleration : 9.81 m/sec ²
Binder Wrap	Die, B/H : U _z free Punch : All fixed Blank : All free	Die Velocity of z-direction : 2 m/sec
Forming	Die, B/H : U _z free Punch : All fixed Blank : All free	Die Velocity of z-direction : 10 m/sec



(a) Real product



(b) Simulation

Fig. 9 Deformed shapes of simulation and real product

조절하는 방법으로 해석시간을 상당히 줄일 수 있다. 바인더 랩(binder wrap) 해석에서는 다이와 판재 및 판재와 홀더의 초기 접촉시 판재의 변형 양상을 관찰할 수 있다 (Fig.8(b)). 성형 해석은 스트레치(stretch)와 드로우(draw) 또는 굽힘등의 복합적인 변형모드를 포함하는 제품 성형과정이다(Fig.8(c)). 성형된 판재를 이용하여 트리밍 공정(trimming process)후 탄성 회복에 의한 스프링 백(spring back) 해석을 순차적으로 수행한다 (Fig.8(d)). 성형해석에 사용된 재료 물성치는 Table 2

와 같으며, 경계조건은 Table 3과 같다. 그리고 블랭크 홀더에 홀딩력을 작용시키기 위해 스프링(spring)요소를 사용하였다. Fig.9은 실 제품과 성형 해석 후의 변형된 양상을 비교하였다. 성형해석 결과 스피커 홀(speaker hole)의 위치, 좌우측 하단부의 주름, 변형 양상 등이 성형시험과 일치함을 볼 수 있다. 이 결과를 바탕으로 TWB 성형 해석 및 시험을 수행하였다.

4 레이저 용접 판재 성형 해석 및 시험

4.1 초기 성형해석 및 시험

TWB 도어 인너의 성형 시험은 단일판재 도어인너의 성형 시험을 기본으로 두께가 서로 다른 1.8/0.7 mm의 레이저 용접 판재에 대해서 수행하였으며, 동일조건으로 성형 해석을 동시에 수행하였다. Fig.10은 레이저 용접판재의 크기와 비드 위치를 나타내고, Fig.11은 성형해석 완료 후의 변형양상을 나타내며, Fig.12는 두께 변형을

분포, Fig.13은 시험과 해석 결과를 비교한 것이다. 성형 시험 및 해석 결과는 일치된 변형양상을 보였다. 성형 시험의 결과 윈도우 프레임(window frame) 상부에서 용접선을 따라 일어나는 전단 파단과 스피커 홀과 인접한 얇은 판재에서 일어나는 인장 파단, 스피커 홀 확장에 의한 스

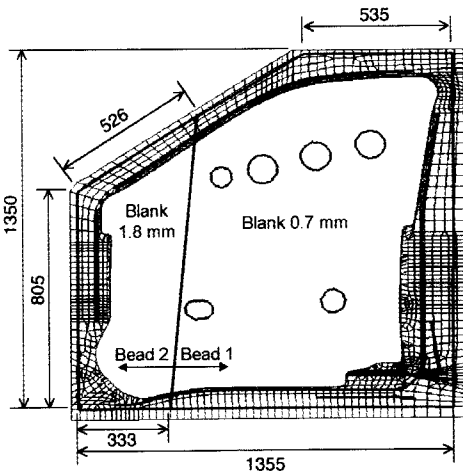


Fig. 10 Initial blank and drawbead position

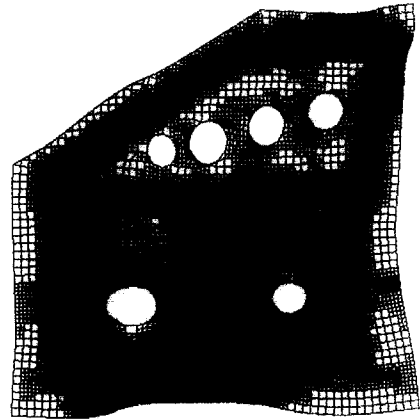


Fig. 11 Deformed shape with wireframe

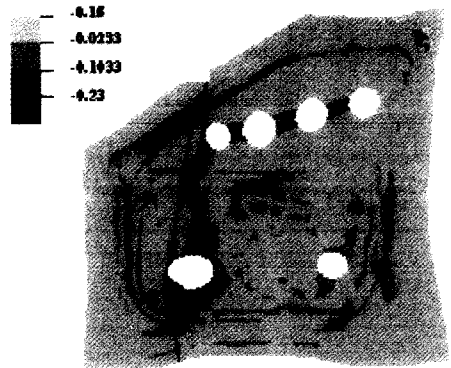
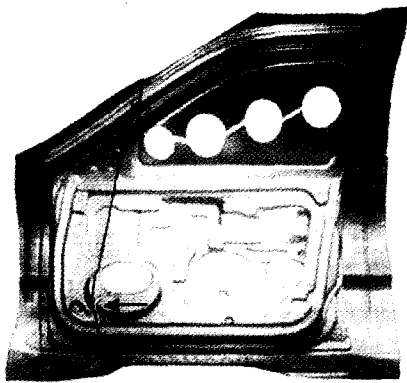


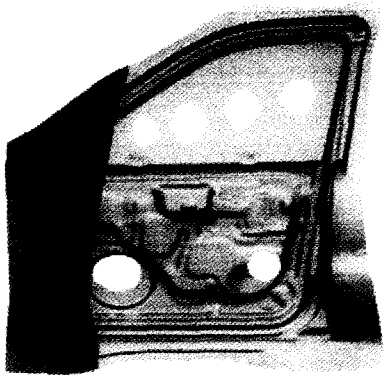
Fig. 12 Thickness strain distribution

Table 4 Various parameters for forming trial

	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5	
BHP (kg/cm ²)	120	120	90	100	90	
Blank (mm)	0.7/1.8	0.7/1.8	0.7/1.8	0.7/1.8	0.7/1.8	
Blank Move. (mm)	x	-	+50	+60	+40	+50
	y	-	+30	+40	-25	-30
Results (around speaker hole)	Failure	Failure	Failure	Failure	good	
Etc.	-	-	60/90 mm cutting	modified bead & hole radius	modified bead & hole radius	



(a) Test(trial 1)



(b) Simulation(case 1)

Fig. 13 Comparison of simulation and test trial

트레치 파단 등이 관찰되었다. 성형해석의 경우도 Fig.12의 두께변형 분포에서 스피커 홀부위와 윈도우 프레임 상부에 두께가 많이 얇아진 것으로 보아 찢어짐 발생을 예측할 수 있다. 또한 찢어짐이 발생하는 스피커 홀 부분에 원형 그리드(circular grid)을 도포하여 성형해석을 수행한 결과를 Fig.14에 나타내었다. Fig.14에서 스피커 홀 주위에 많은 스트레치가 발생함을 볼 수 있다. 또한 스피커 홀에 인접한 용접선 부위에서 인장과 전단이 동시에 발생함을 확인할 수 있다. 따라서 이 부분에서의 찢어짐을 예측할 수 있다. 해석과 시험 결과를 바탕으로 특히, 스피커 홀부위의 찢어짐을 예방하기 위해 초기 판재의 위치, 홀부위의 곡률, 블랭크 홀딩력(BHF), 비드(bead) 크기 변화에 따른 비드의 수평저항력(resisting force)등을 변경시키면서 변수연구를 수행하였다.

4.2 변수연구

4.2.1 성형 시험

1차 성형 시험 결과를 바탕으로 TWB 도어 인너 성형 시험에 있어 초기 판재 위치를 이동시키고, 주름 발생 부위의 비드를 수정하여 성형 시험을 수행하였다. 성형 시험 조건은 Table 4과 같다. 시험 2는 두꺼운 판재의 유입을 향상시키기 위해 판재를 오른쪽으로 이동시켰으며(Fig.15(a)), 시험 3은 얇은 쪽의 판재를 오른쪽 상단 6cm 하단 9cm를 기준으로 직선 절단하여 성형시험을 수행하였다(Fig.15(b)).

그러나 여전히 스피커 홀 부위에 찢어짐이 발생하였다. 시험 4는 오른쪽 하단에 발생하는 주름을 제거하기 위해 비드(bead)를 추가하고, 스피커 홀 주위의 곡률을 크게 한 후 판재를 x(+) 및 y(-)축으로 이동하여 성형시험을 수행하였다. 그 결과 Fig.15(c)와 같이 스피커 홀 부위에서는 찢어짐이 발생하지 않았으나, 용접선이 이동 중에 스피커 홀 왼쪽 하단에 있는 작은 홀에 걸려 용접선과 나란한 방향으로 찢어짐이 발생하였다. 그리고 도어 샤시(door chassis) 상부에서 용접선과 나란히 찢어짐이 발생하였다. 이것은 블랭크와 블랭크 홀더와의 겹침량이 적기 때문에 얇은 쪽 판재의 유입 과대로 TWB 용접선 근처에서 전단 파단에 의한 것이다. 시험 5는 이 작은 홀을 피하기 위해 판재를 y(-) 방향으로 정량적으로 이동시켰다. 그 결과 Fig.15(d)와 같이 스피커 홀은 조금 아래로 이동하였지만 찢어짐이 발생하지 않은 양호한 제품을 얻을 수 있었다.

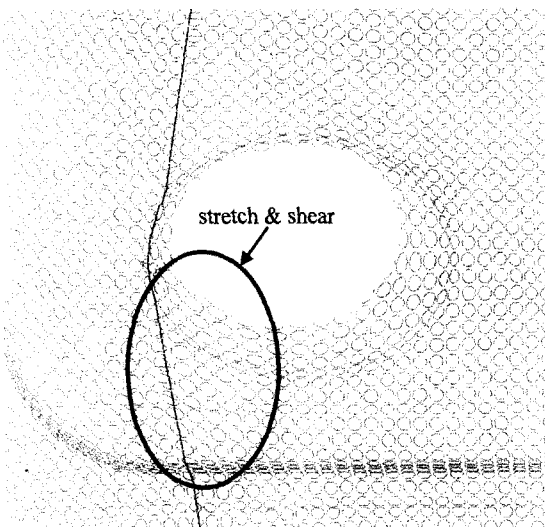


Fig. 14 Deformed shape around speaker hole with grid circle in case 1

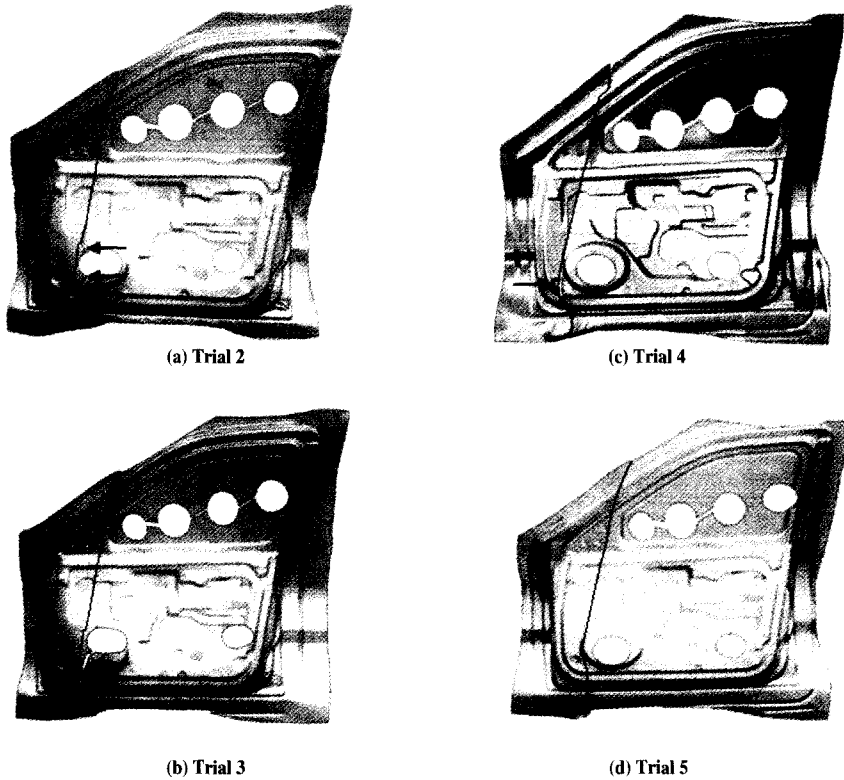


Fig. 15 Test results in forming trial

4.2.2 성형해석

TWB 도어 인너에 대한 성형해석은 성형 시험 결과와 비교 분석하여, 최적의 성형 조건을 찾기 위해 성형 시험과 동시에 수행되어졌다. 1차 성형해석 및 시험에서 스피커 홀 부위와 닙 드로잉되는 왼쪽측면에서 찢어짐이 발생하였다. 이를 해결하기 위해 다음과 같은 변수연구를 수행하였다. 변수연구 조건은 Table 5에 나타내었다.

Case 2의 경우, 판재의 왼쪽 하단을 기준으로 시계방향

으로 0.85° 정도 회전시켰다. 그 결과 왼쪽 측면부분에서 발생했던 찢어짐은 막을 수 있었으나, Fig.16(a)의 성형 한계도(FLD, forming limit diagram)와 두께 변형률 분포에서와 같이 스피커 홀 부위에서는 여전히 찢어짐 발생이 예측되며, 홀위치도 왼쪽으로 이동하였다. Case 3의 경우, 초기 판재위치를 y(-)방향으로 25 mm 이동하였으나, 역시 스피커 홀 부위의 과도한 변형이 발생되었다. Case 2와 Case 3의 결과를 성형시험(trial 2)과 비교해

Table 5 Various parameters for forming simulation

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
BHF (ton)	80	80	80	70	80
Blank (mm)	0.7/1.8	0.7/1.8	0.7/1.8	0.7/1.8	0.7/1.8
Blank Move. (mm)	x	-	-	-	-
	y	-	rotation 0.85° cw	-25	-25
Speaker Hole Radius	3~4 mm	3~4 mm	3~4 mm	8~9 mm	8~9 mm
Results (around speaker hole)	Failure	Failure	Failure	Good (wrinkling)	Good
Etc.	-	-	-	-	Control bead force

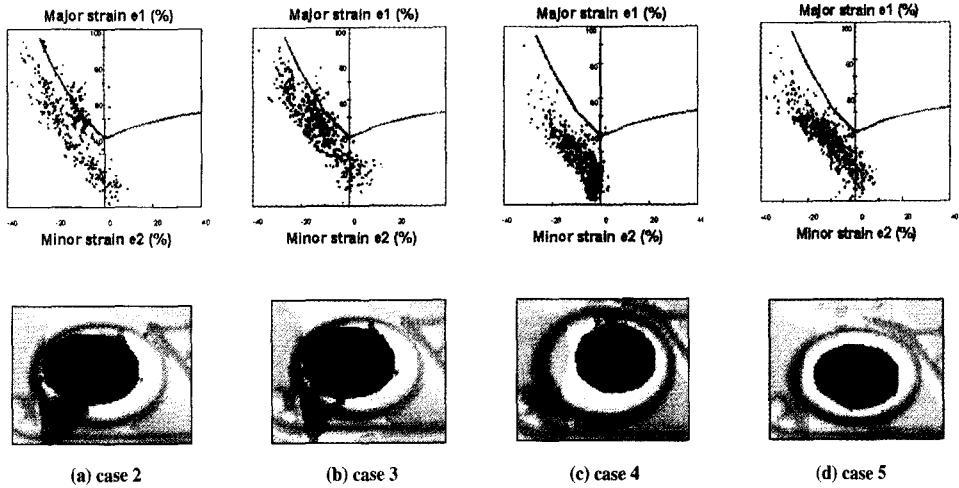
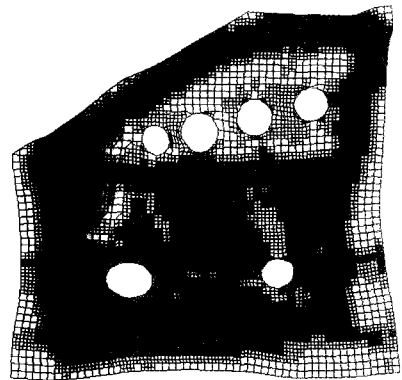


Fig. 16 FLD and thickness distribution around speaker hole after forming simulation

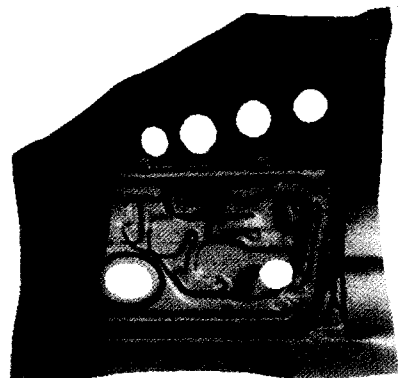
보면 스피커 홀 위치는 많이 수정 된 것을 볼 수 있으나 스트레치(stretch)가 발생하여 홀 크기가 커졌다. 따라서 스피커 홀 부위에서의 찢어짐과 두꺼운 판재의 유입량 부족으로 인한 스피커 홀의 많은 스트레치 발생을 제어하기 위해 스피커 홀 위치를 왼쪽으로 이동시키고 스피커 홀 주위의 곡률 반경을 8~9 mm 로 증가시켰으며, 블랭크 홀 당력(BHF)를 80 ton에서 70 ton으로 낮추어 성형해석을 수행하였다.(Case 4)

그 결과 두꺼운 판재의 유입량이 증가하여 용접선의 이동량과 스트레치 발생량이 줄어들었고, 홀 주위에서의 찢어짐도 거의 제거되어 Fig.16(c)와 같이 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 판재의 왼쪽 하단 모서리 부분에서 주름(wrinkling)이 발생하였다. 그러므로 국부적인 주름 발생과 유입량을 제어하기 위하여 비드부의 형상을 변경하였다.

동일한 크기의 비드를 동일한 압력에서 두꺼운 판재와 얇은 판재에 작용시켜 비드력 측정해석(bead calibration)을 수행한 결과 두꺼운 판재 쪽에서 작용하는 비드의 수평저항력(resisting force)이 얇은 판재 쪽의 5배정도 크게 작용함을 알 수 있었다. 따라서 두꺼운 판재 쪽에 작용하는 비드의 형상을 변경시켜 유입 저항력을 감소시켜야 한다. 즉, 두꺼운 판재 쪽 비드에서 판재가 유입되는 부분의 곡률을 크게 하면 판재가 비드를 지날 때 저항력을 감소한다. 이러한 결과를 바탕으로 case 5에서는 두꺼운 판재와 얇은 판재에 각각 다른 비드력을 작용시켜 성형해



(a) Wireframe



(b) Shaded image

Fig. 17 Deformed shapes of TWB door inner

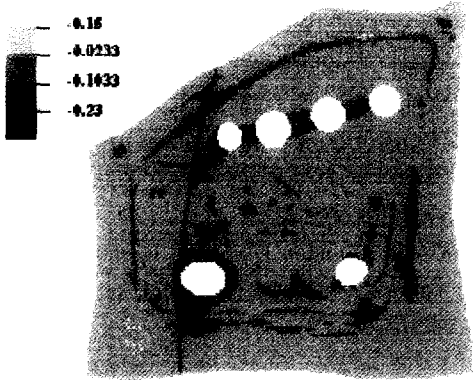


Fig. 18 Thickness strain distribution

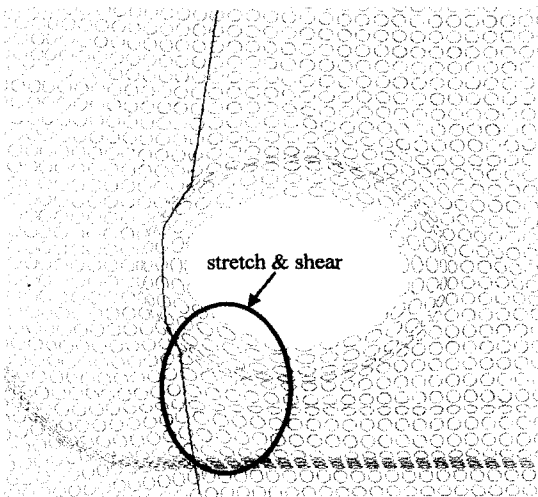
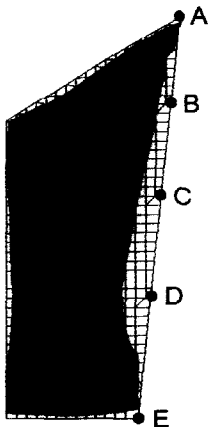


Fig. 19 Deformed shape around speaker hole with grid circle in case 5



	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
A	8.34	7.08	13.6	3.26
B	-29.93	-29.09	-8.53	-23.14
C	-54.78	-55.95	-15.34	-36.83
D	-66.03	-67.37	-29.04	-51.61
E	6.01	5.4	13.88	9.35

Fig. 20 Weld line movement

석을 수행하여 보았다. 그 결과 Fig.17과 같은 변형된 양상을 얻었으며, 스피커 홀이 제 위치를 찾을 수 있었다. 또한 Fig.16(d)에서의 성형한계도 및 Fig.18의 두께분포와 같이 스피커 홀부위에서 찢어짐을 예방할 수 있었다. Fig.19의 원형 그리드를 도포한 후 성형해석 한 결과 Fig.14에 비하여 스피커 홀 주위에서 스트레치와 전단에 의한 영향이 많이 감소하였음을 볼 수 있다. Fig.20은 성형해석 결과 각각의 경우에 대한 용접선의 이동량을 보여준다. Fig.20에서 블랭크 홀딩력을 감소시킨 case 4의 경우 용접선의 이동이 가장 적게 나타났으나 이 경우 좌우측 하단부에 주름이 발생하였다. Case 5의 경우 용접선의 이동이 Case 2,3 보다 많이 줄어들었다.

5. 결론

여러 가지 변수에 대한 TWB 도어 인너 성형해석과 성형시험의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 용접선의 이동 특성은 재료 파단 모드에 큰 영향을 주기 때문에 초기 판재의 위치를 결정하여 용접선 이동 특성을 예측하는 것이 제품이나 금형을 설계하는데 매우 중요하다.

(2) 스피커 홀(speaker hole)부위와 같이 과도한 변형이 예상되는 부분은 제품설계시 재료의 원할한 유입을 위하여 충분한 곡률을 주어야 한다. 또한, 용접선은 과도한 변형 및 구멍이 있는 부위는 피하도록 설계하는 것이 바람직하다.

(3) TWB 성형시 판재의 두께 혹은 재질의 차이에 따라 BHF 조건이 각각 다르다. 분할 금형이 아닌 경우 홀딩력 제어는 거의 불가능하며, 국부적으로 발생하는 파단이

나 주름을 방지하기 위하여는 홀딩력 제어는 효과적이지 않다.

4) 국부적인 과다 변형 및 주름을 제어하기 위하여는 드로오비드(draw bead)를 이용한 재료유입 제어가 효과적이다.

5) 성형 해석을 통하여 성형시 문제가 되는 부분에 대한 빠른 설계 변경으로 성형 시험(trial) 횟수를 줄일 수 있었다.

참고문헌

- (1) Kiyoshi Nonomura, Kenji Tamada, Norio Ohno, 1997, "Stamping Engineering for Body Weight Reduction", Body Assembly & Manufacturing, IBEC'97, pp. 17~25.
- (2) 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.
- (3) F.A.DiPietro, 1993, "Laser Applied To Body-in-White", Automotive Body Design & Engineering, IBEC'93, pp. 129~133.
- (4) J.N.Koons and D.M.Roessler, 1994, "Body Sheet Metal Applications of Laser Welding", Advanced Technologies & Processes, IBEC'94, pp. 97~100.
- (5) M. F. Shi, K. M. Pickett, and K. K. Bhatt, 1993, "Formability Issues in the Application of Tailor Welded Blank Sheets," SAE Technical Paper Series No. 930278.
- (6) M. A. Ahmetoglu, D. Brouwers, L. Shulkin, L. Taupin, G. L. Kinzel, T. Altan, 1995, "Deep Drawing of Round Cups from Tailor-welded Blanks", Journal of Material Processing Technology 53, pp. 684~694.
- (7) F. I. Saunders, and R. H. Wagoner, 1995, "Forming of Tailor-Welded Blanks", Manuscript submitted for publication to Met. Trans. A.
- (8) N. Nakagawa, S. Ikura, F. Natsumi, and N. Iwata, "Finite Element Simulation of Stamping a Laser - Welded Blank," SAE Technical Paper Series No. 930522.
- (9) Kazuo Azumam Kimikazu Ikemoto, Kouichi Arima, 1990, "Press Formability of Laser Welded Blanks".
- (10) 홍주표, 김현영, 오수익, 1997, "레이저 용접판재의 정사각 컵드로잉 성형성 연구", 한국소성가공학회 논문집, 제6권 제1호, pp. 68~80.
- (11) A. Makinouchi, E. Nakamachi, E. Onate, and R. H. Wagoner(ed.), NUMISHEET '93, Proceeding of The 2nd International Conference, Japan, 1993.
- (12) N. Nakagawa, S. Ikura, F. Natsumi, and N. Iwata, 1993, "Finite Element Simulation of Stamping a Laser - Welded Blank," SAE Technical Paper Series No. 930522.
- (13) J. M. Van der Hoeven, F. Lambert, K. Rubben, I. D. Rycke, and E. Leirman, 1995, "Design and Manufacturing Issues for Components Made from Tailored Blanks," Proceedings of Materials & Body Testing, IBEC'95, pp. 96~107.
- (14) 이종문, 이한수, 문요희, 1996, "본네트 외부패널의 현장트라이와 설계해석에 관한 연구", 기아모텍 기보, No.2, pp. 1~22.
- (15) 신동명, 임석현 1997, "자동차 설계", 형설출판사, pp. 439~524.