

레이저 용접 도어 인너의 성형해석과 금형설계

김현영*, 신용승*, 김관희**, 조원석**

*강원대학교 기계공학과, **(주) 기아자동차 기술센터

Stamping Analyses of Laser Welded Door Inner and Die Design

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

* Kangwon National University, ** Kia Motors Co.

Abstract

Computer simulations and test trials are carried out to get the optimal conditions about the stamping die design of the tailor laser welded automotive door inner. Firstly, the stamping process including gravity deflection, bead calibration, binder wrap, forming and spring back, are analyzed by the computer simulation. The results of simulation shows good correspondance with those of test trial under the same conditions. The variables of parametric study which will be investigated in the simulation and test trials, are determined from the results of the first run. The formability under the various conditions is evaluated, which are the initial position of blank, blank holding force, corner radius and the shape of drawbead. Finally, well controled sound product without fracture, wrinkling and excessive weldline movement is obtained.

Key words : Tailor Welded Blank(TWB), Laser Welding, Door Inner, Die Design

1. 서론

레이저 TWB(tailor-welded blank) 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.^[1,2] 최근 레이저 TWB는 차체부품에 급속도로 그 적용이 확산되고 있는 실정이며, 성형성, 금형설계 및 생산에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.^[3-8]

TWB 적용 사례를 살펴보면 1967년 TIG 아크용접에 의한 TB를 혼다(Honda)사가 경자동차의 사이드 패널(side panel)에 적용하였고, 1979년 볼보(Volvo)사가 메시섬(mash-seam) 용접에 의한 TB를 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 시작하였

으며, 현재 많은 자동차의 바디부품에 적용된다.^[9,10]

본 연구에서는 SPC3 0.7-1.8mm 이중 두께의 TWB를 자동차 도어 인너에 적용하여 실제 판재성형 시험과 성형해석을 병행하였다(Fig 1). 성형 트라이얼(trial)에서는 초기 판재의 위치와 비드형상을 변경하여 각각의 위치에 대한 결과를 비교 분석하였으며, 이와 동시에 컴퓨터 모사에서 변수연구 즉, 초기판재 위치, 블랭크 홀딩력(BHF), 비드부 변경 등을 통해 시험 결과와 비교하였다. 그리고 이러한 결과를 금형설계 및 제품설계에 반영하고자 한다.

2. 1차 성형해석 및 시험

성형해석의 첫단계로 3차원 금형 데이터로부터 유한 요소 모델링을 하였다. Fig. 2는 TWB 도어 인너의 유한요소 모델로 성형해석에서 다이가 된다. 다이로부터 펀치, 블랭크 홀더를 판재 두께만큼 옵셋(offset)하여 Fig. 3과 같이 금형과 판재를 배치하였으며, 초기 판재 위치 및 크기는 Fig. 4와 같다. 판재 성형해석 단계는 중력 처짐(gravity deflection), 드로오 비드 측정(drawbead calibration), 바인더 랩(binder wrap), 성형(forming) 해석 순으로 이루어진다. 현장 트라이얼(trial)을 위하여 시작금형을 제작하였다. 금형 제작과정은 레이아웃(lay-out) 작성, 형도 설계, FMC, 주물, 대형기계, 준비 조립, 형상 가공, 기준 사상, 조립 사상의 과정으로 이루어진다. 특히 이중두께의 TWB용 성형시험을 위하여 단차가 포함된 금형을 제작하였다. Fig.5는 성형해석 완료 후의 변형양상을 보이며, Fig.6은 두께 변형률 분포, Fig.7은 시험과 해석 결과를 비교한 것이다. 1차 성형해석 및 시험 결과는 일치된 변형양상을 보였다. 성형시험의 경우 용접선 부근의 스피커 홀(speaker hole)부위에서 찢어짐이 발생하였으며, 성형해석의 경우도 Fig. 5의 두께변형 분포에서 스피커 홀부위의 두께가 많이 얇아진 것으로 보아 찢어짐 발생을 예측할 수 있다. 해석과 시험 결과를 바탕으로 스피커 홀부위의 찢어짐을 예방하기 위해 초기 판재의 위치, 홀부위의 곡률, BHF, 비드(bead) 크기 변화에 따른 비드의 수평저항력(resisting force)등을 변경시키면서 2차 성형시험 및 해석을 수행하였다.

3. 성형 트라이얼

1차 성형 시험 결과를 바탕으로 TWB 도어 인너 성형시험에 있어 초기 판재 위치를 이동시키고, 주름 발생 부위에 새로운 비드를 만들어 성형 시험을 수행하였다. 성형 트라이얼 조건은 Table 1과 같다. Trial 2는 두꺼운 판재의 유입을 향상시키기 위해 판재를 오른쪽으로 이동시켰으며(Fig. 8(a)), Trial 3은 얇은 쪽의 판재를 오른쪽 상단 6cm 하단 9cm를 기준으로 직선 절단하여(Fig. 8(b)) 성형시험을 수행하였다. 그러나 여전히 스피커 홀부위에 찢어짐이 발생하였다. Trial 4는 오른쪽 하단에 발생하는 주름을 제거하기 위해 비드(bead)를 추가하고, 스피커 홀 주위의 곡률을 크게 한 후 판재를 오른쪽 및 아래로 이동하여 성형시험을 수행해 보았다. 그 결과 Fig. 8(c)와 같이 스피커 홀부위에서는 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. Trial 5는 이 작은 홀을 피하기 위해 판재를 아래(y) 방향으로 조금더 이동시켰다. 그 결과 Fig. 8(d)와 같이 스피커 홀은 조금 아래로 이동하였지만 찢어짐이 발생하지 않은 양호한 제품을 얻을 수 있었다.

4. 성형해석과 변수 연구

TWB 도어인너에 대한 성형해석은 성형 트라이얼 결과와 비교 분석하며, 최적의 성형 조건을 찾기 위하여 성형 시험과 동시에 수행되어졌다. 1차 성형해석 및 시험에서 스피커 홀 부위와 덤 드로잉되는 왼쪽측면에서 찢어짐이 발생하였다. 이를 해결하기 위하여 다음과 같은 변수연구를 수행하였다. 변수연구 조건은 Table 2에 나타내었다.

4.1 판재의 이동

Case 2의 경우는 일단 스피커 홀위치를 맞추기 위해 판재의 왼쪽 하단을 기준으로 시계 방향으로 0.85° 정도 회전시켰다. 그 결과 왼쪽 측면부분에서 발생했던 찢어짐은 막을 수 있었으나 Fig. 9(a)의 FLD에서와 같이 스피커 홀부위에서는 여전히 찢어짐 발생이 예측되며, 홀위치도 왼쪽으로 이동하였다. Case 3의 경우는 초기 판재위치를 아래(y)방향으로 25mm 이동하였다. 역시 스피커 홀부위의 과도한 변형이 발생되었다. Case 1과 case 2의 결과를 성형시험(trial 2)과 비교해 보면 스피커 홀위치는 많이 수정 된 것을 볼 수 있으나 스트레치(stretch)가 발생하여 홀 크기가 커졌다. 따라서 스피커 홀위치를 왼쪽으로 이동시키고 스트레치량을 줄이기 위하여 다음과 같이 BHF에 대한 영향을 조사한다.

4.2 블랭크 홀딩력(BHF) 조절

스피커 홀부위에서의 찢어짐과 두꺼운 판재의 유입량 부족으로 인한 스피커 홀의 많은 스트레치 발생을 제어하기 위해 스피커 홀 주위의 곡률 반경을 8~9 mm 로 증가시키고 BHF를 80 ton에서 70 ton으로 낮추어 성형해석을 수행하였다.(Case 4) 그 결과 두꺼운 판재의 유입량이 증가하여 용접선의 이동량과 스트레치 발생량이 많이 줄어들었으며, 홀주위에서의 찢어짐도 거의 제거되어 Fig. 9(c)와 같이 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 판재의 왼쪽 하단 모서리 부분에서 주름(wrinkling)이 발생하였다. 국부적인 주름 발생과 유입량을 제어하기 위하여 비드부 변형이 효과적일 것이다.

4.3 비드 형상 변화

동일한 크기의 비드를 동일한 압력에서 두꺼운 판재와 얇은 판재에 작용시켜 비드력 측정 해석(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 만들면 판재가 비드를 지날 때 저항력을 감소한다. 이러한 결과를 바탕으로 case 5에서는 두꺼운 판재와 얇은 판재에 각각 다른 비드력을 작용시켜 성형해석을 수행하여 보았다. 그 결과 Fig. 10과 같은 변형된 양상을 얻었으며, Fig. 9(d)에서와 같이 스피커 홀이 제 위치를 찾을 수 있었다. 또한 Fig. 10(d)에서의 FLD 및 Fig. 11의 두께분포와 같이 스피커 홀부위에서 찢어짐을 예방할 수 있었다. Fig. 12는 성형해석 결과 각각의 경우에 대한 용접선의 이동량을 보여준다.

5 결론

레이저 용접 자동차 도어 인너를 개발하기 위하여 단차가공된 TWB 전용금형을 설계 제작하여 여러 가지 조건하에서 성형트라이얼을 수행하였다. 또한 성형해석을 동시에 수행하여 금형설계에 대한 정보와 공정조건, 초기소재의 위치를 변경하며 그 결과를 비교분석하여 파단, 주름 및 용접선의 과도한 이동등을 제어할 수 있었다. 여러 가지 변수에 대한 성형해석과 성형시험 트라이얼의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 용접선의 이동 특성은 재료 파단 모드에 큰 영향을 주기 때문에 초기 판재의 위치를 결

- 정하여 용접선 이동 특성을 예측하는 것이 제품이나 금형을 설계하는데 매우 중요하다.
- 2) 스피커 홀(speaker hole)부위와 같이 과도한 변형이 예상되는 부분은 제품설계시 재료의 원활한 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. 분할금형이 아닌 경우 홀딩력 제어는 거의 불가능하며, 국부적으로 발생하는 파단이나 주름을 방지하기 위하여는 홀딩력 제어는 효과적이지 않다.
 - 4) 국부적인 과도 변형 및 주름을 제어하기 위하여는 드로오비드(draw bead)를 이용한 재료유입 제어가 상당히 효과적이다.

REFERENCES

1. F.A.DiPietro, 1993, "Laser Applied To Body-in-White", *Automotive Body Design & Engineering*, IBEC'93, pp.129-133.
2. J.N.Koons and D.M.Roessler, 1994, "Body Sheet Metal Applications of Laser Welding", *Advanced Technologies & Processes*, IBEC'94, pp.97-100.
3. 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*
4. M. Geiger, 1994, "Synergy of Laser Material Processing and Metal Forming," *Annals of the CIRP*, Vol. 43/2, pp. 563~570
5. J. M. Van der Hoeven, K. M. Ostyn, and E. Leirman, 1994, "Stamping of Tailor Made Blanks," *Proceedings of Automotive Body Materials*, IBEC'94, USA, pp. 52~59
- 6 김현영, 최광용, 김관희, 조원석, 1997, "레이저 용접 차체의 유한요소 모델링과 성형해석", 한국소성가공학회 1997년도 춘계학술대회, pp. 31~36.
- 7 홍주표, 김현영, 오수익, 1997, "레이저 용접판재의 정사각 컵드로잉 성형성 연구", 한국소성가공학회 논문집, 제6권 제1호, pp.68-80.
8. 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*
9. 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
10. 이종문, 이한수, 문요희, 1996, "본네트 외부패널의 현장트라이와 설계해석에 관한 연구", 기아모텍 기보, No.2, pp.1-22.

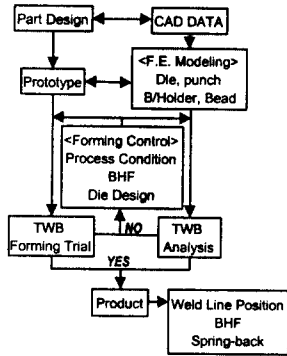


Fig. 1 Flow chart of forming trial and simulation

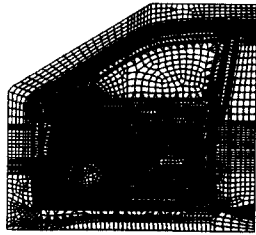


Fig. 2 F.E. model of door inner



Fig. 3 Initial position in door inner stamping

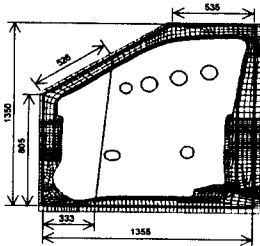


Fig. 4 Initial blank and bead position

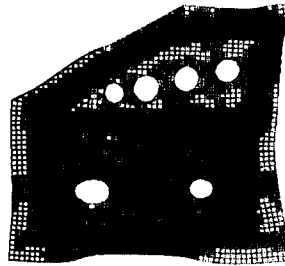


Fig. 5 Deformed shape with wireframe

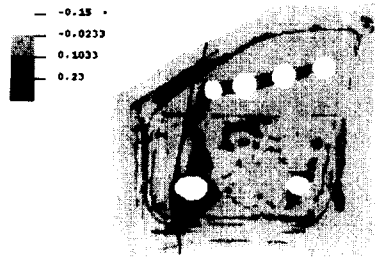
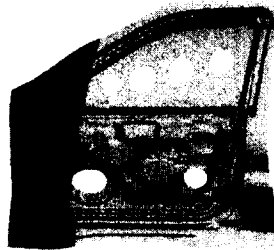
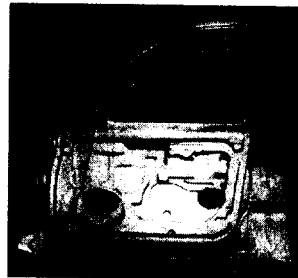


Fig. 6 Thickness strain distribution



(a) simulation (case 1)



(b) test (trial 1)

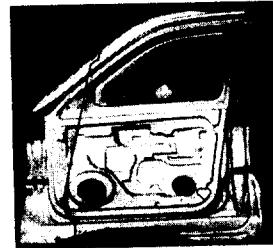
Fig. 7 Comparison of simulation and test

Table 1 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



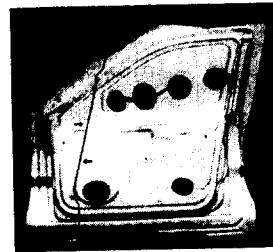
(a) trial 2



(c) trial 4



(b) trial 3



(d) trial 5

Fig. 8 Test results in forming trial

Table 2 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	-	rotation 0.85° cw	-	-	-
	y	-		-25	-25	-35
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

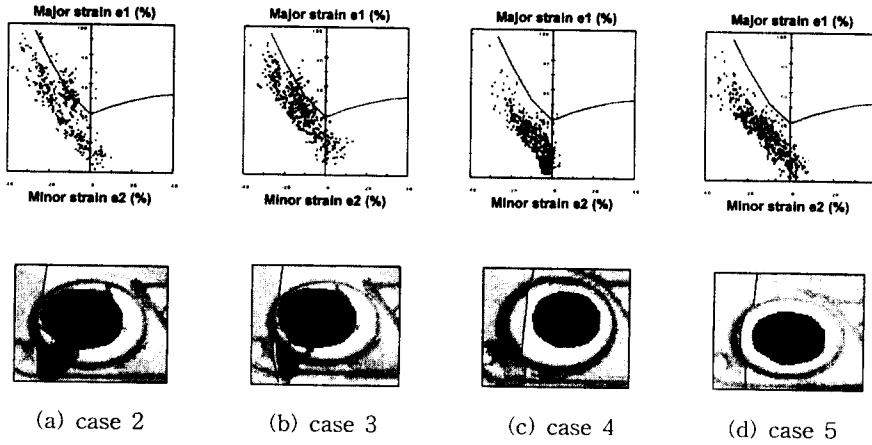
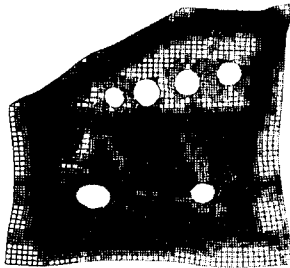
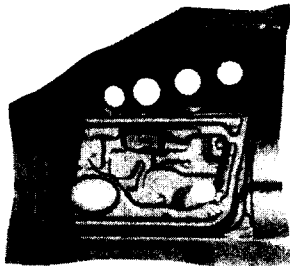


Fig. 9 FLD around speaker hole after forming simulation



(a) wireframe



(c) shaded image

Fig. 10 Deformed shapes of TWB door inner

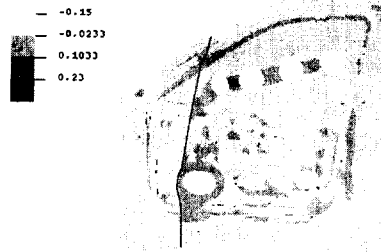
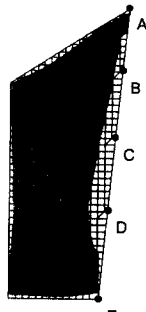


Fig. 11 Thickness strain distribution



	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. 12 Weld line movement