

다구찌법을 이용한 테일러드 블랭크의 신장플랜지 성형에 미치는 설계 인자의 영향 분석

백승엽* · 권재욱* · 이경돈*
(1999년 4월 10일 접수)

Effects of Blank Design Factors on Stretch Flange Forming of the Tailored Blank Using Taguchi Method

S. Y. Baek, J. W. Kwon and K. D. Lee

Abstract

For the successful forming of tailored blank, it is important to control the deformation of the stretch flange mode, which is strongly dependent upon the location of weld line and blank shape. In order to investigate the effects of tailored blank design factors on the stretch flange forming, we made the model die which can simulate stretch flange mode. Taguchi method was employed to analyze the sensitivity of blank design factors for the forming of tailored blank. From the results of experiment, S/N ratios were calculated and using Variance Analysis, significance of parameters and optimal condition of each factors were extracted. Based on these analyses, the weld line height and the strength ratio and the arc center height were selected as effective parameter. The analysed result was practically applied for Side outer panel stamping process.

Key Words : Tailored Blank, Stretch Flange, Taguchi Method

1. 서 론

Tailored Blank(이하 T.B.)는 단일 블랭크에서 외판, 내판을 성형하고 spot welding을 이용해 조립하던 기존 방법과는 달리 차체 부위의 요구 강성에 따라 두께가 다른 판재들을 용접하여 블랭크를 만든 후 성형을 하는 공

법으로^(1~3) 선진 자동차 산업에서는 양산차에 이미 적용되고 있으며 레이저 용접과 매쉬심 용접기술을 중심으로 활발한 연구와 현장적용이 이루어지고 있다. 한편, 국내 자동차 업계에서도 기초기술 연구과정을 지나 도어인너 및 필라류 등의 비교적 간단한 부품에 대한 적용을 위해 국외의 양산설비를 도입, 적용하는 단계에 이르렀다.

* (사)고등기술연구원 제품시스템연구소

T.B. 공법 중 성형기술분야에서는 판재 조합에 따른 경도, 강도, 연신율 등의 기초 물성 평가나 모델 실험을 통한 T.B. 판재의 성형성 평가 등이 주로 다루어지고 있다. T.B. 판재의 기본성형특성은 Nakagawa⁽¹⁾ 등과 박기철⁽⁴⁾ 등에 의해 이미 보고된 바 있다. 전자는 신장플랜지 모드에서 용접선의 위치가 T.B. 판재의 성형높이에 미치는 영향을 살폈고 후자는 hole expansion 실험과 성형해석을 통해 T.B. 판재의 성형성이 모재의 변형저항의 차이에 의한 것임을 밝혔다. 그리고, 실제 금형에서의 성형을 통해 T.B. 판재의 성형특성에 대한 연구로는 권재욱, 인정재 등이 양산차의 Side outer panel에 대해⁽⁵⁻⁶⁾, 최이천 등은 도어에 대해⁽⁷⁾ T.B. 공법을 적용한 실험 결과를 발표했다. 전자는 성형해석과 이중두께 T.B.용 금형 개발을 통해 수축플랜지와 신장플랜지 영역의 성공적 성형을 위해서는 후판부의 변형을 유도하도록 블랭크, 용접선 설계, 금형조건 등을 설계해야함을 알아냈으며 형상설계방안과 금형가공 조건을 해석을 통해 검토했다.

이전의 연구에서는 주요 성형 모드에서 용접선 위치, 모재 변형저항 등 일부 일자들이 T.B. 성형성에 미치는 영향에 대해 평가되었으나, 본 연구에서는 T.B. Side outer panel 연구를 바탕으로 T.B. 판재설계에 관심을 두고 관련 인자들을 종합적으로 평가한 후 변수들의 통계적 유의성과 최적조건을 확보하는 것을 목표로 단순화된 모델의 실험결과를 통해, T.B. 판재의 복잡한 실물성형을 제어할 수 있는 방법을 구하고자 했다. 단, 수축플랜지의 영향에 대해서는 다루지 않고 신장플랜지의 영향에 대해서만 다루었다. 이를 위해, 모델금형을 제작하였고 모재 강도 및 연신율, 판재 조합, 용접선의 위치, 블랭크 형상 등을 T.B. 판재 설계 인자로 정의하였다. T.B. 판재 성형에 영향을 미치는 설계 인자들의 영향을 이해하기 위해, 다구찌 실험계획법을 사용하였다.⁽⁸⁻¹⁰⁾

2. 실험 방법

2.1 시편

실험에 사용된 블랭크는 3가지 종류로 두께 1mm의 30kgf급 일반강판과 35kgf, 45kgf급의 고장력강판을 사용하였다. 기본적인 인장특성을 알아보기 위해 MTS 15ton시험기에서 gage length 50mm인 ASTM A370 규격의 판상 표준시편을 사용하여 Cross head speed 5mm/min으로 실험하였다.

2.2 실험 장치

T.B. 판재의 용접은 CO₂ 레이저 용접법을 이용하였고

용접 결함을 분석하는 방법으로 외관검사법을 사용했다. 외관검사법을 통해 비드 형상 및 비드폭 등을 관찰하여 불량률이 없다고 판정된 것으로만 시편을 제작하였다. 그리고, 성형실험에 쓰일 시편은 레이저 절단법을 이용하여 제작되었다. 용접조건으로는 속도는 5000~5500mm/min, Power는 4kW, 보호가스는 Ar를 사용했다. 모델금형은 신장플랜지 모드를 구현하도록 고안했고 프레스 성형 실험 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타냈다.

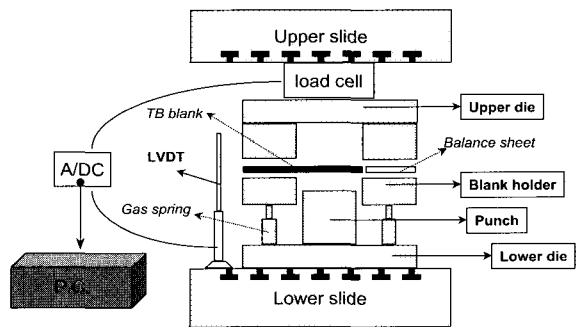


Fig. 1 Schematic configuration of experiment

실험 장치는 upper&lower slide로 대표되는 프레스와 upper&lower die, blank holder, punch 등으로 구성된 단동식 금형과 data acquisition system 등으로 이루어졌다. data acquisition system으로는 load cell과 LVDT를 A/D converter에 연결하고, 이를 다시 PC에 연결하여 성형과정에서의 하중과 상형의 변위를 측정하였고 한편 하중-변위 곡선에서 파단점을 찾았다.

2.3 실험계획

다구찌 실험계획법은 산포의 최소화과 품질 특성치의 최적화를 균형 있게 만족시키는 신호 대 잡음 함수 (signal-to-noise function)를 사용하여 산포의 최소화과 품질특성치의 최적화를 동시에 이룰 수 있는 장점이 있다. 다구찌법에 사용된 S/N비는 망대특성의 경우를 보면 다음과 같이 유도된다.⁽⁹⁾

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

여기서 n은 실험의 반복 횟수이고 y는 특성치이다. 식 (1)의 정의에서, S/N비의 값이 커질수록 음의 log함수 내의 특성치 크기가 커지게 되고 망대특성을 만족하게 됨을 알 수 있다.

2.3.1 특성치의 결정 및 측정방법

T.B. 판재의 성형성을 평가하기 위한 특성치는 파단 발생시의 drawing 깊기로 정했고 이를 파단 높이라고 하여 T.B. 블랭크 설계 인자의 신장플랜지 모드에 대한 영향을 파악하는데 이용했다.

2.3.2 인자의 결정

최종적으로 인고자하는 결과인 특성치의 변화에 영향을 줄 것으로 생각되는 원인들 중에서 실험에 직접 취급되는 원인을 인자라고 한다. 본 실험에서의 인자로는 T.B. 판재를 설계할 때 고려되는 판재 조합, 용접선 위치, 블랭크 형상 등이 있다.

판재 조합으로는 Table 1과 같이 세 종류를 만들었다. 논의할 제어인자들은 Table 2에 정리하였다. SR은 모재의 강도비를 나타내고 h/R은 수평 용접선의 위치와 아크 반경 크기와의 관계를 정량화한 것이다. L/R은 아크의 곡률반경 중심 위치와 아크 반경 크기와의 관계이고 BS는 블랭크 여유의 크기를 정량화한 것이고, WA는 용접선의 수평선에 대한 기울기를 정량화한 것이다. 시편형상은 Table 3에 개략적으로 나타냈다. 그리고 인자에 대한 수준은 3수준을 고려하기로 했다. 실험 인자로 선택되지 않은 것에서 파단 높이에 영향을 줄 수 있는 것으로는 초기 판재 위치, 윤활, 용접 상태 등이 있다. 이들 조건은 잡음으로 취급하여 4번의 반복실험을 하였다.

2.3.3 직교배열표를 이용한 실험 배치

본 연구는 3수준 5인자 실험이므로 L27313 직교배열표를 사용했다. 인자를 배치할 때, 교호작용은 없다고 가정하고 열 1(기본표시 a, A), 열 2(기본표시 b, B), 열 5(기본표시 c, C), 열 6(기본표시 ac, D), 열 12(기본표시 ab2c, E)를 선택하였다. Table 4에 L27313 직교배열표에 의한 시편 설계 조건을 나타냈다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 인장실험

Table 5에 모재와 이들의 조합으로 만들어진 T.B. 판재의 인장실험 결과를 정리했고 Fig. 2에 막대그래프로 나타냈다. 연신율은 0°, 90° 양쪽에서 Bare EDDQ/Bare EDDQ 조합이 최대로 나타났다. 강도는 0°에서는 Bare

EDDQ/Bare HSLA 조합이 최대였고 90°에서는 세 경우 모두 동일하였다.

3.2 신장플랜지 모사 실험

Table 4의 직교배열표에 따라서 27개의 실험 조합이 결정되었고, 이에 대해 각각 4번씩 반복실험을 하였다. 특정치인 파단높이의 판정에 이용된 성형시 하중-변위 곡선의 한 예를 Fig. 3에 나타냈다. 그림에서 하중은 load cell의 측정값에서 gas spring의 가압력을 뺀 판재 성형에 소요되는 값을 의미하고 변위는 성형깊이를 의미한다. 파단높이에 대해 식 (1)를 이용해 다구찌법에 따른 S/N비를 계산해 Table 4에 함께 나타냈다. 표에서의 \bar{T} 는 S/N비의 평균값을 의미한다.

(1) ANOVA 분석

ANOVA 분석 결과는 Table 6에 나타나 있고 오차항 풀링처리를 하기 전의 결과이다. 표에서 SS열은 인자의 제곱합, Phi는 자유도, V는 분산, Fo는 분산비이며 F(005)와 F(001)는 각각 유의 수준 95%와 99%에서의 기각치를 나타낸다. 표에 나타난 대로, 95%와 99% 유의 수준 모두에서 T.B. 판재의 신장플랜지 성형에 영향을 주는 인자는 SR과 h/R이다. 앞의 Table 6에서 인자 BS와 인자 WA의 제곱평균이 오차의 제곱평균 3.81591보다 작으므로 BS와 WA는 오차항으로 볼 수 있다. 이들을 오차항에 풀링시켜 작성해보면 Table 6의 ()에 표시된 대로 L/R도 95% 유의수준에서 유의성이 있는 것으로 나타났다.

(2) 최적조건 추정

각 인자의 수준별 평균계산 결과를 Table 7에 정리했고 실험 결과에 대한 명확한 개념을 얻기 위해 각 인자의 효과를 Fig. 4의 그래프에 나타냈다. Fig. 4의 그래프에서는 Table 7의 Δ 열의 S/N비 차이를 쉽게 알 수 있다. 각 인자에 있어서 최대 S/N비를 갖는 수준은 표에서는 괄호로 표시했고 그림에서는 원으로 표시했다. 본 실험은 망대특성을 갖고 있으므로 S/N비가 클수록 원하는 상태가 되고 최대 S/N비일 때가 각 인자에 있어서 최적의 수준이라고 할 수 있다. 그러므로, Table 7과 Fig. 4에 괄호와 원으로 표시된 수준을 각 인자에서 최적의 조건으로 선정할 수 있다. 그러면, 본 실험의 범위 내에서, T.B. 판재의 신장플랜지 모드에서의 성형성을 최대화시킬 수 있는 조건은 SR 1수준 - h/R 3수준 - L/R 1수준(SR=1, h/R=1, L/R=37.5/52.5)가 된다. 현행 조건에 대한 최적 조건에서의 개선의 정도를 추정하였고 이 결과를 Table 7의 이득(Gain)추정 열에 정리했다.

Table 1 Design of sheet combination of tailored blanks

strength ratio(SR)	base metals
SR1=1	Bare EDDQ/Bare EDDQ
SR2=1.22	Galvanized HSLA/Bare EDDQ
SR3=1.54	Bare HSLA/Bare EDDQ

EDDQ : extra deep drawing quality

HSLA : high strength low carbon alloy

Table 2 Ranges of input conditions in experiment

Factor Level	SR (MPa/MPa)	h/R (mm/mm)	L/R (mm/mm)	BS(°)	WA(°)
1	1	7.5/52.5	37.5/52.5	0o	0o
2	1.22	30/52.5	45/52.5	7.5o	6o
3	1.54	52.5/52.5	52.5/52.5	15o	12o

SR: Strength ratio h : Height of weld line

R : Radius of blank arc

L : Height of blank arc-center

BS : Inclination of blank addendum

WA : Inclination of weld line

Table 3 Schematic drawing of T.B. blank design factors

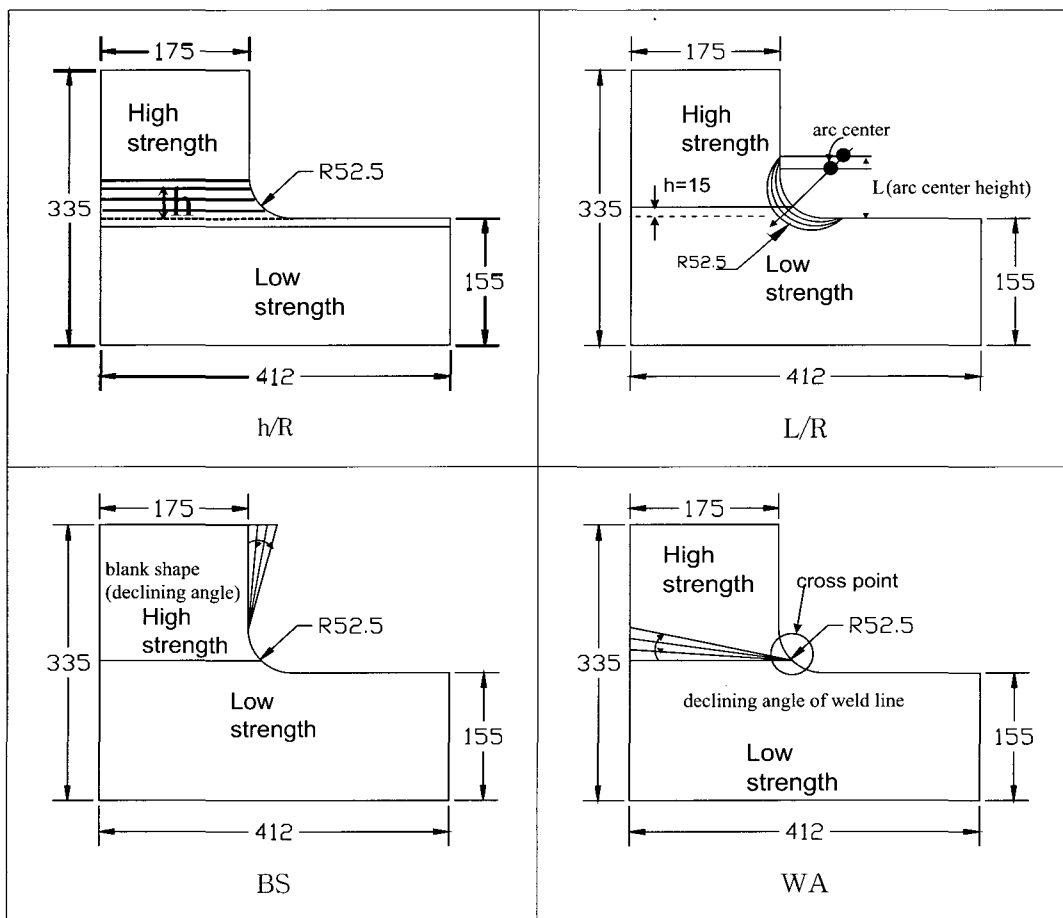


Table 4 27 Input conditions based on 3-level orthogonal array and S/N ratios

No	column					S/N ratio
	SR	h/R	L/R	BS	WA	
1	0	0	0	0	0	33.96
2	0	0	1	1	1	29.20
3	0	0	2	2	2	29.22
4	0	1	0	0	2	33.96
5	0	1	1	1	0	33.96
6	0	1	2	2	1	33.94
7	0	2	0	0	1	33.97
8	0	2	1	1	2	33.97
9	0	2	2	2	0	33.97
10	1	0	0	1	1	28.55
11	1	0	1	2	2	26.66
12	1	0	2	0	0	26.78
13	1	1	0	1	0	33.97
14	1	1	1	2	1	31.38
15	1	1	2	0	2	28.50
16	1	2	0	1	2	33.96
17	1	2	1	2	0	33.94
18	1	2	2	0	1	33.97
19	2	0	0	2	2	25.16
20	2	0	1	0	0	24.85
21	2	0	2	1	1	22.85
22	2	1	0	2	1	33.96
23	2	1	1	0	2	28.08
24	2	1	2	1	0	27.37
25	2	2	0	2	0	33.96
26	2	2	1	0	1	33.96
27	2	2	2	1	2	33.94
	a	b	c	ac	abc	T̄=31.04
	A	B	C	D	E	

*T̄ : average of S/N ratio

즉, 추정된 최적조건의 S/N비($\hat{\eta}_{opt}$)는 37.1739이고 현행 조건의 S/N비($\hat{\eta}_{exit}$)는 31.3596으로 최적조건에 의한 이득은 5.8143으로 이 때의 파단 높이는 약 80% 개선이 된다.

3.3 고찰

먼저 최적조건에 대한 고찰을 해보면 다음과 같다. 강도가 다를 때 저항도 강관에 변형이 집중되므로 강도차가 없는 SR의 1수준일 때 최대 성형을 나타내며, 용접선이 높아질수록 신장플랜지 모드 영역 내에서 Bare EDDQ 판재의 비율이 높아지고 이는 T.B. 판재의 성형

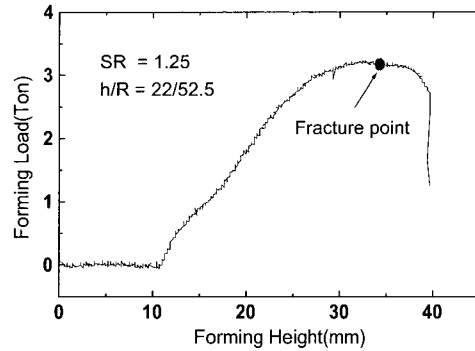


Fig. 3 The graph of load-displacement

성이 증가한다는 것을 의미하므로 h/R의 3수준일 때 최대 성형을 나타내게 된다. 아크반경은 변화 없이 아크중심의 위치가 아크에 가까워지면, 전체 아크의 길이가 증가하고, Bare EDDQ 판재의 비율이 높아지므로 최대 변형률은 감소되고 파단발생률도 줄어들므로 L/R의 1수준에서 최대 S/N비를 가지게 된다. 용접선 여유가 증가할수록 HSLA의 이동이 억제되고 이것은 SR의 영향에서 처럼 강도차에 의한 Bare EDDQ에서의 변형 집중이 완화되어 파단을 억제하므로 BS의 3수준일 때 최대 S/N비를 가지게 된다.

분산 분석에 의해 성형 결과의 산포에 큰 영향이 없는 것으로 나타난 BS와 WA에 대해서 살펴보면, BS와 관련하여 HSLA와 Bare EDDQ 판재가 이루는 각이 직각에서 약간의 변화가 있어도 그 영향은 크지 않다는 것을 암시하며 마찬가지로 WA의 각도도 큰 영향이 없다고 판단할 수 있다. 이번 실험에서 T.B. 판재의 신장플랜지 성형에 유의한 SR, h/R, L/R 등은 그 수준의 변화가 Bare EDDQ 판재의 비율이나 Bare EDDQ에서의 변형 집중 정도에 큰 영향을 미치는 인자들이고 전자의 비율은 높이고 후자의 변형 집중은 완화되도록 하는 것이 최적조건으로 선정되었다.

이러한 사실로부터, T.B. 적용시 이중 조합을 고려하게 될 때, 판재 설계 process는 먼저 용접선 높이와 아크 반경 중심의 높이들을 요구특성에 맞게 선택해야되며 이들의 수준은 전술한대로 신장플랜지 영역에서 저항도 판재의 비율을 높이고 변형 집중을 완화토록 결정해야 된다. 그후, 블랭크 형상을 최적화해야 한다.

3.4 실물성형에의 응용

이상에서 논하였던 결과들을 종합하여 보면 T.B. 블랭

Table 5 Mechanical properties of the base steel sheets and tailored blanks

sheet		Y.S.(MPa)	T.S.(MPa)	eu(%)	et(%)
Bare EDDQ (0.9t)-I	Avg.	159.5	286.7	26.4	47.5
GA HSLA-II (1t)	Avg.	230.5	351.6	24.1	44.0
Bare HSLA-III (1t)	Avg.	364.7	441.7	22.5	36.9
I - I couple	0°(//WD)	188.9	306.2	25.8	47.1
	90°	156.2	290.8	23.7	39.5
I - II couple	0°	235.1	345.6	22.3	36.7
	90°	162.9	289.5	13.1	26.4
I - III couple	0°	316.6	413.8	19.4	30.3
	90°	157.6	289.9	12.6	25.6

GA : steel sheet with Galvanizing coating

Avg. : $(X_{0^\circ} + 2 \times X_{45^\circ} + X_{90^\circ}) / 4$

//WD : parallel to weld-bead direction

eu : uniform elongation, et : total elongation

Y.S. : yield stress, T.S. : tensile stress

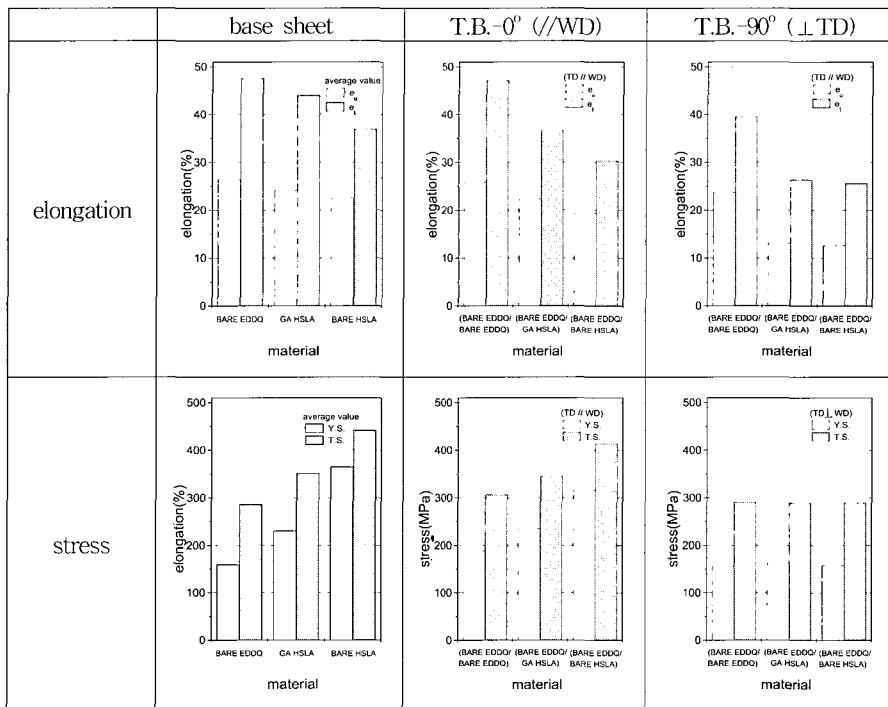


Fig. 2 Comparison of the mechanical properties between base steel sheets and tailored blanks

다구찌법을 이용한 테일러드 블랭크의 신장플랜지 성형에 미치는 설계 인자의 영향 분석

Table 6 Results of ANOVA before and after pulling error

Parameter°	SS	Phi	V	Fo	F(005)	F(001)
SR	57.4676	2	28.73379	7.53000 (8.42153)*	3.634	6.226
h/R	195.2195	2	97.60976	25.57970 (28.60824)*	3.634	6.226
L/R	26.0883	2	13.04415	3.41836 (3.82308)*	3.634	6.226
BS	1.3691	2	0.68453	0.17939	3.634	6.226
WA	5.8153	2	2.90766	0.76198	3.634	6.226
error	61.0545 (68.23892)*	16 (20)*	3.81591 (3.41195)*			
	347.0143	26				

* results after pulling error

Table 7 Results of calculation of average of S/N ratios

Parameter	Average (Level = 1)	Average (Level = 2)	Average (Level = 3)	Δ	Estimation of Gain
SR	(32.9079)	30.8587	29.3478	3.5601	$\hat{\eta}$ opt = 37.1739
h/R	27.4707	31.6813	(33.9623)	6.4916	$\hat{\eta}$ exit = 37.1739
L/R	(32.3837)	30.6677	30.0630	2.3207	Gain (db) = 5.8143
BS	30.8929	30.8653	(31.3562)	0.4909	
WA	(31.4190)	31.3105	30.3848	1.0342	

Δ : Difference between maximum and minimum S/N ratio

$\hat{\eta}$ opt : Estimation of S/N ratio at optimum cond (SR1 - h/R3 - L/R1 - BS3 - WA1)

$\hat{\eta}$ exit : Estimation of S/N ratio at present cond (SR2 - h/R2 - L/R2 - BS1 - WA1)

Gain (db) = $\hat{\eta}$ opt - $\hat{\eta}$ exit

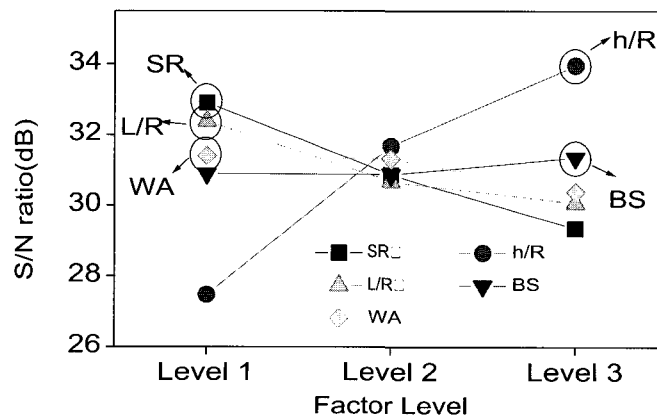


Fig. 4 Comparison of S/N ratios of blank design factors

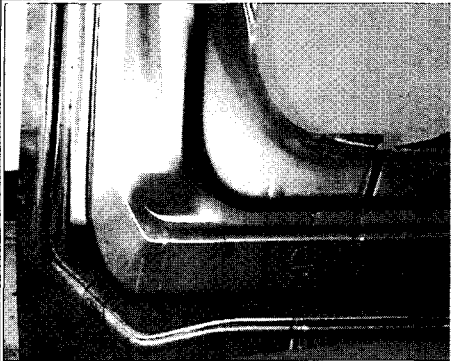
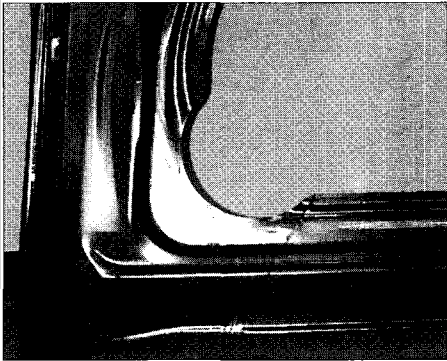
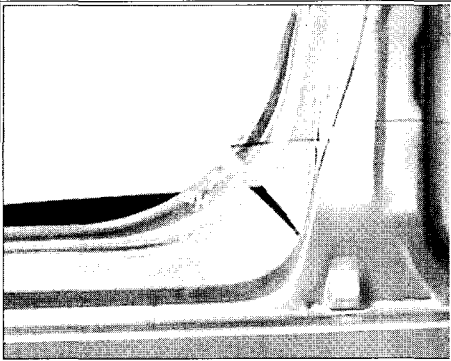
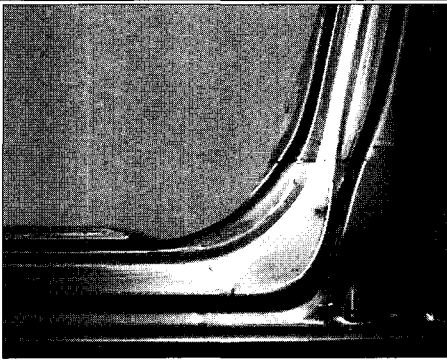
	Before optimization of blank design		After optimization of blank design
A-Pillar region	 <p> $h/R > 1$ SR = 1, Thickness ratio = 2.1(1.9/0.9) L/R = 1 </p>	→	 <p> $h/R > 1$ SR = 1, Thickness ratio = 2.1(1.9/0.9) L/R = 0.49 </p>
B-pillar region	 <p> $h/R = 0.787$ SR = 1, Thickness ratio = 2.1(1.9/0.9) L/R = 1 </p>	→	 <p> $h/R = 0.787$ SR = 1, Thickness ratio = 2.1(1.9/0.9) L/R = 0.785 </p>

Fig. 5 Results of stamping of Side outer panel

크 설계 인자 중에서 신장플랜지 영역 내에서의 용접선 높이가 T.B. 판재 성형에 가장 영향이 큰 것으로 나타났고 모재강도비와 아크반경 중심위치 또한 영향을 가지고 있음을 알 수 있다. Fig. 5에 나타난 Side outer panel 성형 결과와 비교해보았다. 이 사진은 실물의 신장플랜지 모드 영역의 개선전과 개선후의 실험결과를 나타낸 것이다. 사진에서 보면, A-pillar 부위의 경우는 개선 전에는 용접선의 위치(h/R)는 최적 조건이고 아크반경 중심의 높이(L/R)는 최적조건에서 벗어났다. 파단이 발생하여 아크반경중심의 높이를 $L/R=0.49$ 로 함으로써 그림에 나타난 대로 파단이 제거됐다. 이때 용접선은 기울어져 있어 용접선 양쪽 모재들의 유입방향을 불균일하게 만든다. B-pillar 부위의 경우는 개선 전에는 용접선의

위치(h/R)는 높은 수준으로 판단되어 수정을 가하지 않았고 아크반경 중심의 높이(L/R)는 최적조건에서 벗어났다. 파단이 발생하여 아크반경중심의 높이를 $L/R=0.787$ 로 함으로써 그림에 나타난 대로 파단이 제거됐다. 이러한 결과들로, T.B. 블랭크의 설계시 용접선 높이가 가장 영향이 크고 모재강도비, 아크반경중심 위치 등을 동시에 고려해야만 실차 T.B. 판재를 성공적으로 성형할 수 있다고 말할 수 있다.

4. 결론

T.B. 블랭크 설계 인자가 신장플랜지 성형에 미치는

영향을 관찰하기 위해 양산 금형을 모사할 수 있는 모델 금형을 만들고, 여러 설계 인자들의 영향을 동시에 고려할 수 있는 다구찌 실험계획법을 적용하여 시편을 설계, 제작한 후 성형 실험을 통해 파단높이를 측정하였다. 실험결과에서 S/N비를 구하고 분산 분석을 수행하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) T.B. 판재의 신장플랜지 성형에 영향을 미치는 인자는 용접선 위치(h/R), 강도비(SR), 아크반경 중심 위치(L/R) 순으로 나타났으며, 블랭크 형상(BS)와 용접선의 기울기(WA)는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

(2) 신장플랜지 성형 측면에서 T.B. 판재의 최적의 설계는 동일강도 조합(SR1)일 때, 용접선이 아크 반경을 벗어난 상태 (h/R=1)에서 아크반경중심은 아크에(L/R = 0.7) 가깝다.

(3) T.B. 판재의 설계는 제품에서 신장플랜지 모드의 용접선의 위치를 최적화시킨 후, 블랭크의 모재 조합과 아크반경의 중심 위치를 선정하는 프로세스를 거쳐야 한다.

(4) 실험결과와 실물 Side outer panel 성형의 결과를 비교해 본 결과 서로 일치함을 알 수 있었다.

후 기

이 연구는 G7 차세대자동차기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 이루어졌으며 아울러 실험장비를 협조해 주신 KAIST 정형가공실험실의 양동열교수님 및 연구원 들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) N. Nakagawa, S. Iuka, F. Natsumi, N. Iwata, 1993, "Finite Element Simulation of Stamping a Laser-Welded Blank" SAE 930522
- (2) J.M. Hoeven, E. Leirman, I.D. Rycke, F. Lambert, K. Rubben, 1995, "Design And Manufacturing Issues For Components Made From Tailored Blanks" Materials & Body Testing, IBEC 95', pp.96~107.
- (3) A.P. Lee, E. Feltham, 1996, "Tailor Welded Blank Technology for Automotive Applications" SAE 960816
- (4) 박기철, 한수식, 김광선, 권오준, 1998, "레이저 용접 테일러드 블랭크의 기본 성형특성 II : 신장플랜지 성형 특성" 한국소성가공학회지, Vol. 7, No. 1, p.36
- (5) 권재욱, 명노훈, 백승엽, 인정제, 이경돈, 1999, "레이저 용접 테일러드 블랭크를 이용한 사이드 패널성형", 한국소성가공학회지, Vol.8, No.1, p7
- (6) 인정제, 안덕찬, 최익현, 이경돈, 유순영, 이영국, 1997, "성형해석을 이용한 테일러드 블랭크 사이드 아우터 패널의 블랭크 및 금형설계", 1997년도 추계 학술대회, p1149
- (7) 최이천, 유동진, 전기찬, 1996, "테일러드 블랭크를 이용한 도어인너 개발에 관한 연구" 한국 자동차공학회 1996년도 추계학술대회, p545
- (8) 박성현, 1990, "다구찌방법을 중심으로 한 응용실험 계획법", 영지문화사, p223
- (9) 박성현, 1994, "현대실험계획법", 민영사, pp.76~96
- (10) 정재훈, 김도훈, 유병길, 이경돈, 장낙영, 1997, "다구찌방법을 적용한 자동차용 저탄소 강관의 레이저 용접성 평가(I)(동일 두께 Tailored Blank Laser Welding)", 대한금속학회지, Vol. 35, No. 5

(1) N. Nakagawa, S. Iuka, F. Natsumi, N. Iwata, 1993,