

프런트 사이드 멤버의 테일러드 블랭크 제조방식에 따른 성능 평가에 관한 연구

최이천* · 최치수* · 오영근* · 권순용** · 신철수** · 라도훈*** · 노승강***

(2000년 11월 24일 접수)

A Study on the Evaluation of Front Side Member in Tailored Blank Manufacturing Process

Y.C. Choi, C.S. Choi, Y.K. Oh, S.Y. Kwon, C.S. Sin, D.H. Rha and S.K. Rho

Abstract

This paper describes how to make tailored blanks of front side member that were composed of high strength steel and TRIP(Transformation Induced Plasticity) steel for weight reduction and improvement of crash load. Tailored blanks made by laser and mash-seam welding were compared with non-tailored blanks made by spot welding. Static compression tests were performed for performance comparison of each sample. Front side members made by tailored blank were superior to those made by spot welding in the initial, but those results were inverse in the last. Average load of tailored blank in six-angle type was better than that of rectangular type.

Key Words : Tailored Blank, Laser Welding, Mash-seam Welding, TRIP, Static Compression Test

1. 서 론

90년대 들어서 지구 온난화 방지에 따른 저연비차의 개발은 차량개발의 최대 이슈가 되어가고 있고 최근에는 여러 선진국에서 자동차 충돌 법규를 강화하고 있어 차량의 안정성 또한 매우 중요시되고 있다. 이에 따라 자동차 차체 또한 안정성과 경량화라는 서로 상반되는 특성을 동시에 만족하는 구조로 개발되었다. 현재, 이러한

안정성과 경량화를 목표로 한 고안전 초경량 차체의 개발이 자동차사에서 매우 활발히 이루어지고 있으며, 그의 실험을 위한 신기술로는 테일러드 블랭크 기술, 하이드로포밍 기술, 고장력강판 적용기술, 차체 레이저 용접 등이 주류를 이루고 있다.

특히, 재질이나 두께가 다른 강판을 2매 이상 조합하여 레이저 또는 매쉬심 용접 등을 통해 일체화한 후 프레스 성형공정을 통해 차체 판넬을 제조하는 테일러드

* 기아자동차 생기개발팀
** 현대자동차 금속재료연구팀
*** 서진산업 기술연구소

블랭크 기술은 선진국에서는 이미 보편화된 기술이고 국내에서도 그 적용이 활발하다. 이처럼 테일러드 블랭크 (Tailored Blank, 이하 "T/B"라 함) 기술이 확산되고 있는 이유는 소재를 적재적소에 배치할 수 있기 때문에 보강재를 줄이거나 생략이 가능하여 차체 강성이 확보됨과 동시에 경량화가 가능하고, 부품수의 생략으로 금형의 수를 줄일 수 있으며, 이에 따라 성형 및 부품간의 용접 공수가 절감되어 제품제작 비용의 절감이 가능하다. 또한 필요한 부위에 필요한 만큼의 소재를 사용하기 때문에 소재 수율이 향상되어 원자재 절감도 가능하다. T/B를 제작할 수 있는 용접 방식으로는 전자빔, TIG, 레이저, 매쉬심 용접 등이 있지만, 높은 생산성과 고품질의 용접을 필요로 하기 때문에 현재는 레이저 용접과 매쉬심 용접법이 가장 널리 쓰이고 있다. 레이저 용접은 매우 작은 점으로 집중된 고밀도의 직접 에너지를 이용하여 순간적으로 고체의 용융 및 기화를 통한 용접법으로서 용접부가 좁고, 생산성이 빠르며, 곡선용접이 가능하다. 반면에 소재의 절단면 정도 관리의 어려움이 있고, 작업자에게 익숙하지 않은 단점이 있다. 매쉬심 용접은 두 판재를 약 3mm Overlap시켜 두개의 회전전극을 이용하여 통전 및 가압시켜 진행하는 전기 저항식 용접법으로서 절단면 정도가 그다지 중요하지 않으며, 설비가격이 비교적 저렴한 반면, 용접부의 두께가 두꺼워져 성형에 불리하며, 도금강판의 용접은 생산성 및 품질면에서 레이저에 비해 떨어지고, 용접결함을 육안으로 파악하기가 어려운 단점이 있다.^(1~6)

당사에서는 이처럼 T/B 제작에 가장 많이 쓰이는 레이저와 매쉬심 용접을 이용해 프런트 사이드 멤버를 제작하여 기존 보강재 접합방식과 T/B 제작방식과의 정압축 평가를 통해 각각의 용접방식의 특성을 비교하였으며, 또한 소재의 종류 및 프런트 사이드 멤버 단면형상의 변화에 따른 비교 실험을 실시하였다.

2. 프런트 사이드 멤버 설계

프런트 사이드 멤버는 차량 충돌시 힘을 가장 많이 받는 부분으로서 충돌성능 및 경량화 등이 고려되는 중요한 부품이다. 특히, 충돌성능은 초기 Peak 하중이 10Ton 이하, 평균하중 6.2Ton 이상, 차량 대비 에너지 부담율 25% 이상, 엔진룸 대비 에너지 부담율 62.5% 이상으로 하며, 경량화는 기존대비 약 10% 이상을 목표로 하였다.

프런트 사이드 멤버 제작 방식은 보강재를 스폿용접 형태로 덧붙이는 형태와 레이저 및 매쉬심 용접 이용한

테일러드 블랭크 형태의 조합으로 크게 나뉘며, 테일러드 블랭크 형태는 고장력 강판과 TRIP 강판을 조합으로 한 경우(단면형상이 사각), 사이드 멤버의 단면형상을 육각 형태로 변경한 경우로 구분하여 설계하고자 하였다. 이러한 프런트 사이드 멤버의 설계조건을 기초로 소재에 대한 배합조건(소재의 두께, 용접선의 위치, 보강재의 위치 및 두께) 및 Bead 형태와 위치 등을 다양화하여 약 30 가지의 경우에 대해 충돌해석(충돌해석은 각각의 조건을 CAD 모델링하였고 차량무게 1100kg, 56 kph offset 시험을 충돌해석용 S/W인 Dyna-3D를 이용)을 진행하였고 그 중 설계 목표치를 만족하는 Table 1의 경우와 같은 설계조건을 얻을 수 있었다.

Table 1 The final specification of design in front side members

Case	Specification of Frame	Shape
Case I (Spot)		
Case II (HSS)		
Case III (TRIP)		
Case IV (Six-Angle)		

Table 1에서 보듯이 기존설계 형태인 Case I은 1.6t의 SHCP40 강판을 Base로 하고 그 위에 1.2t의 SHCP40 강판과 1.2t의 SCP강판의 보강재가 덧붙여지는 방식으로 설계되었으며, 충돌성능 향상을 위해 TL480 위치에 오목비드를 삽입하였다. 고장력 T/B인 Case II의 경우는 1.6t SHCP40 + 2.0t SAPH45 + 2.3t SAPH45의 3조각 형태로 T/B를 제작한 후 그 위에 1.2t의 SAPH45 강판을 덧붙이는 형태로 설계되었으며, 무게는 Case I 대비 약 13% 감소가 예상되었다. 이 경우 역시 충돌성

능 향상을 위해 TL400과 447 위치에 각각 오목비드를 삽입하였다. Case II의 경우 1.2t SAPH45 보강재까지 삭제되는 형태로 T/B 설계를 했으면 더욱 원가절감 및 중량감소가 기대될 수 있으나, 용접 공법상의 두께조합 한계(매쉬심) 때문에 보강재를 덧붙이기로 결정하였다.

또한 TRIP T/B인 Case III는 1.2t TRIP60 + 1.6t TRIP60 + 2.3t SAPH45의 3조각으로 구성된 T/B에 1.2t 짜리 SAPH45 보강재를 덧붙였으며, TL400과 447 위치에 오목비드를 삽입하였다. 단품무게는 Case I 대비 약 24% 무게감소 효과를 예상할 수 있었다.

마지막으로 Case IV는 Case II와 소재구성은 같으나 두 번째 용접선 위치에 변화 (TL1030→580)를 주었고 단면형상도 사각에서 육각형태로 변화시켰으며 약 7%의 무게 감소 효과를 예상한다.

이렇게 설계된 각각의 프런트 사이드 멤버의 충돌 성능 해석결과는 Fig. 1과 Table 2와 같으며, 초기 육성목표에 모두 만족할 만한 수준으로 설계되었음을 알 수 있다.

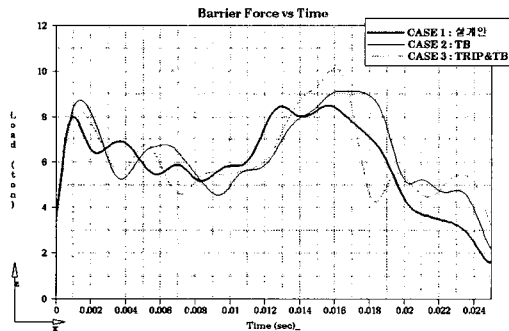


Fig. 1 Curve of load vs time

Table 2 Results of collision simulation

Case	Energy absorption ratio to vehicle	Energy absorption ratio to Engine room	Average Load	Speed
Target	25%	62.5%	6.2 Ton	56kph
Case I	27.2%	68.1%	6.7 Ton	"
Case II	27.8%	69.6%	6.9 Ton	"
Case III	26.6%	66.6%	6.6 Ton	"
Case IV	29.3%	73.3%	7.2 Ton	"

3. 시제품 제작

Case I의 시제품 제작은 소재를 각각 성형한 후 성형된 판넬을 Spot 용접하는 기존 방식으로 제작되었고, Case II, III, IV의 T/B 방식은 각각의 소재를 레이저 또는 매쉬심 용접을 통해 기초 블랭크를 만든 후 성형하는 방식으로 시제품을 제작하였다.

3.1 레이저 용접

레이저 용접을 위한 소재는 밀링 및 레이저 절단을 실시하여 준비하였고, Case II, III, IV의 경우는 Trumpf 6kw CO₂ 레이저를 통해 용접을 실시 하였다. 용접조건은 소재의 두께차 증가에 따라 용접속도를 줄여 주는 것 외에는 큰 차이를 보이지 않았으며, 육안 및 단면 조직 검사 결과 용접품질은 양호하였다. Table 3은 실제 시험편의 적용된 용접조건이다.

Table 3 Conditions of laser welding

Case	Power	Welding Speed	Focus (mm)	Beam Angle
Case II, IV	6 kw	4~4.5m/min	y: -0.25 z: -3.0	90
Case III	6 kw	4.5m/min	y: -0.15	90

3.2 매쉬심 용접

매쉬심 용접에 사용된 소재는 레이저용접 소재와 같으며 일본 D사의 용접기를 통해 용접하였다. 용접조건은 Table 4와 같으며 가압력은 일정하게 유지하였으며, 소재조합에 따라 용접속도 및 전류량을 조절하였고, 용접 소재 두께합이 클수록 용접속도는 감소하였다. 레이저 용접과 마찬가지로 조직분석 및 인장시험 결과 양호한 품질을 확인할 수 있었다.

Table 4 Conditions of mash-seam welding

Case	Thickness	Force	Welding Speed	Current
Case II	1.6-2.0	14kN	6m/min	22.7kA
	2.0-2.3		4m/min	21.8kA
Case III	1.2-1.6		6m/min	17.3kA
	1.6-2.3		4m/min	20.9kA

3.3 시제품 제작

시제품 제작을 위해 Fig. 2와 같은 금형을 제작하였는

데, 제품면 안쪽에 용접 단차가 위치하도록 설계되었으므로 금형의 경우 펀치쪽에 단차를 주었다. 이는 향후 제품의 바깥쪽은 단차가 없이 평평하도록 하여 다른 부품과의 취부시 유리하도록 하였다.

성형 초기에는 Crack 및 주름이 발생하여 금형 펀치부의 오른쪽 여유부 (Fig. 2, A)를 수정하였고, 블랭크 형상도 성형 가능하도록 수차례의 수정을 반복하여 드로잉 성형제품을 얻을 수 있었다. 이렇게 완성된 드로잉 제품은 트리밍, 플랜징, 피어싱 작업을 실시하였고, 인너판넬은 아우터 판넬과 조립되어 Fig. 3과 같은 프런트 사이드 멤버의 최종 단품을 만들 수 있었다.

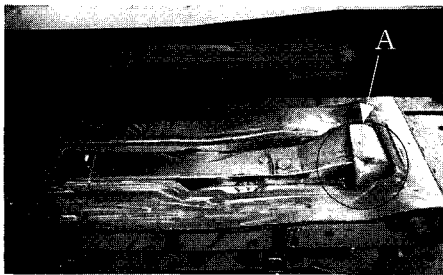


Fig. 2 Drawing die for front side member

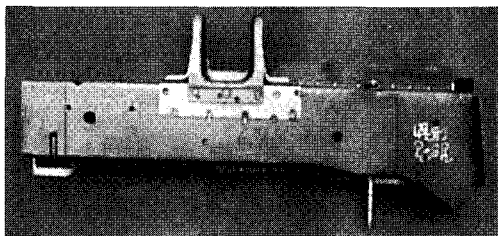


Fig. 3 Front side member of rectangular type (RH)

최종단품 Case II의 무게는 LH:5.9kg, RH:6.9kg 으로 Case I (LH:6.5kg, RH:7.5kg) 대비 약 8~9% 감소하였으며, Case III는 (LH:5.4kg, RH:6.4kg)는 약15~17%의 무게 감소 효과를 보였고, Case IV는 (LH:6.2kg, RH:7.1kg)는 약 5%의 무게 감소 효과를 보였다.

4. 정압축 평가

4.1 시험장치

정압축 시험을 통해 차량 충돌시 프런트 사이드 멤버의 충돌 특성을 미리 예측하고자 하였으며, 단품의 정압축 시험시 굽힘이 발생하지 않도록 보조 지그를 Fig. 4

와 같이 설치한 후 10mm/min의 속도로 정압축 실험하였다.

Fig. 5는 실제 정압축 시험시 압축 변위별 시험순간의 사진으로서 굽힘변형 없이 압축변형을 유발하고 있음을 알 수 있었다. 정압축 시험은 160mm까지 진행하였는데 거의 모든 시험편에서 압축모드를 유발하였다.

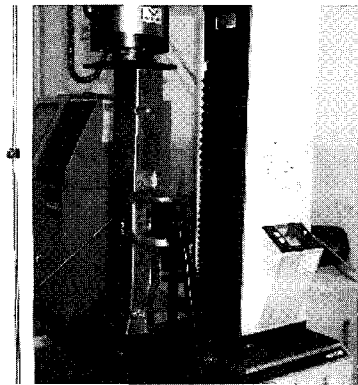


Fig. 4 The devices of static compression test

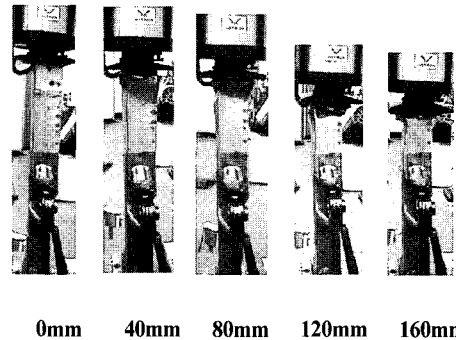


Fig. 5 The stage of static compression test

4.2 시험결과

정압축 시험결과는 변위에 따른 압축 하중곡선(Fig. 6)과 정압축 평균 하중값(Table 5)에서 볼 수 있다.

먼저 구간별 하중변화를 살펴보면 초기 40mm까지는 T/B사양(Case II, III)이 기존사양(Case I) 대비 동등 수준을 나타내었는데 이는 Case I, II, III의 초기부분(~TL420)은 서로 같은 구조를 하고 있기 때문으로 판단된다. 반면에 육각단면 T/B 사양(Case IV)은 Case I 대비 약 120%의 우수한 성능을 보였는데 이는 사각형태보다 단면길이 대 두께비가 작아 압축하중에 대한 저항이 크게 되었기 때문으로 판단된다.

40~80mm 구간에서는 Case II가 Case I 대비 130~140%, Case III의 경우는 약 120%로 비교적 높은 값을 나타내고, Case IV는 170%로 매우 높은 값을 나타내었다. 반면에 80~120mm 구간은 Case II, III가 Case I 대비 70~80% 수준으로 오히려 떨어지며 Case IV조차도 90% 수준으로 하락하였다. 마지막으로 120~160mm 구간에서 Case II는 Case I 대비 80% 수준으로 열세하지만 Case III와 IV는 각각 97%, 102% 수준을 보여 동등하게 회복되었다.

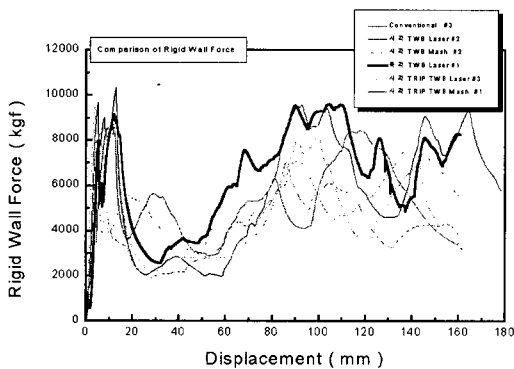


Fig. 6 Curves on the load change with displacement

Table 5 Results of static compression test (Unit: Ton)

Case	Displacement (mm)	Displacement (mm)			
		0~40	40~80 (0~80)	80~120 (0~120)	120~160 (0~160)
Case I	SPOT	4.19	3.09 (3.64)	7.94 (5.07)	6.36 (5.40)
Case II	Laser	4.08	4.25 (4.17)	6.28 (4.87)	5.04 (4.91)
	Mash-seam	4.24	4.11 (4.18)	5.65 (4.67)	5.27 (4.82)
Case III	Laser	4.34	3.63 (3.99)	5.36 (4.45)	6.17 (4.88)
	Mash-seam	3.65	3.75 (3.70)	6.49 (4.43)	-
Case IV	Laser	4.99	5.39 (5.19)	7.23 (5.87)	6.50 (6.03)

40~160mm 구간에서 발생된 현상은 다음과 같이 생각되어진다. 먼저 보강재를 일정한 간격으로 Spot 용접을 통해 덧붙인 Case I의 경우 소재의 압축에 대한 저항이 변형 초기(40~80mm)에는 두 판재 1.6t와 1.2t의 합인 2.8t 효과를 보이는 것이 아니고 두 판재중 두꺼운 판재(1.6t) 만의 변형 저항값 효과가 나타나서 Case II, III, IV의 T/B 소재 (2.0t or 2.3t)가 받는 변형저항 보다 작은 값을 보였을 것으로 판단되며, 변형량이 증가(80mm~160mm)될 수록 두판재의 두께 합 2.8t에 대한

저항 효과가 작용하여 후반부에 높은 변형저항을 나타낸 것으로 판단된다. 또한 Case IV는 다른 T/B 소재에 비해 상대적으로 큰 값을 보이는데 이는 후반부의 소재 (2.3t)가 다른 T/B 보다 앞쪽(TL1030→580)에 치우쳐 있고, 육각의 단면길이 감소 효과가 작용했기 때문으로 판단된다.

한편, 동일소재에 있어서 용접방식에 따른 하중특성의 변화를 살펴보면 Case II의 경우는 레이저와 매쉬심 소재 사이의 구간별 평균 하중값에 있어 큰 차이를 보이지 않았으며, Case III의 경우도 초기 0~40mm 구간을 제외하고는 크게 차이가 없다. 결국, 프론트 사이드 멤버에 있어서 용접방식에 따른 하중특성의 변화는 없으므로 판단되며 하중 특성면에서 볼 때 레이저와 매쉬심 용접 모두 사용 가능하리라 판단된다.

본 실험에서의 평균 하중값(Table 5)은 해석에 의한 값(Table 2)과 약간의 차이를 보이는데 그 원인을 살펴보면 다음과 같다.

먼저 160mm 까지의 누적 평균 하중값이 설계에서 예측된 값보다 약 20% 작은 값을 나타내는데 그 이유는 해석에서의 평균 하중값은 충돌시험한 후 얻은 Data로서 변위가 약 274mm 인 반면 실험은 160mm 까지의 값을 기준으로 하였기 때문이라 판단되며, 실험 데이터의 추세를 보았을 때 만약 더욱 압축을 가하면 보다 높은 평균 하중값을 나타내리라 판단된다.

또한 T/B 제작 형태인 Case II, Case III가 해석에서는 Case I 과 동등 수준이었지만 실제 실험에서는 평균 하중값이(0~160mm) Case I 대비 90% 수준으로 떨어졌다. 그 이유는 첫째 설계 및 해석에서 1.2t 보강재를 SAPH45 (인장강도 45kg/mm²)로 설정하였는데 실제 제작에서는 소재를 구하지 못해 항복 및 인장강도가 떨어지는 SCP(인장강도 30kg/mm²) 냉연강판으로 대체하였기 때문이라 판단되며, 또 하나는 해석시에는 서브 프레임 취부부도 변형을 받는것으로 해석하였으나 정하중 시험시에는 축압축 변형을 유도하기 위해 서브프레임 취부부를 완전 고정시켜 진행하였기 때문에 이 부분에 대한 변형효과가 반영되지 않았기 때문으로 판단된다.

5. 결론

이상과 같이 다양한 형태의 프론트 사이드 멤버의 제작을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 기존 스폿용접 방식 대비 고정력 T/B 약 8~9%, TRIP T/B 약 15~17% 그리고 육각 T/B 약 5% 무게가 감소된 시제품을 제작할 수 있었다.

(2) 정하중 시험결과 기존방식(Case I) 대비 T/B 방식(Case II, III)의 평균하중은 초기 80mm까지는 110~115% 정도 우수하였으나 80mm 이후 구간에서는 90% 수준으로 떨어졌다.

(3) 정하중 시험결과 기존방식(Case I) 대비 육각 T/B(Case IV)의 평균하중은 초기 80mm까지는 120~170% 정도로 매우 우수하였으며, 80mm 이후 구간에서는 90%~100% 수준을 나타내었다.

(4) 육각단면의 T/B가 사각단면의 T/B 보다 변형저항이 약 20% 큰 것으로 나타났다.

(5) 레이저와 매쉬심의 용접방식에 따른 평균하중 차이는 거의 없었다.

이상과 같은 소재 및 단면형태 등이 정하중 압축시험에 미치는 효과를 파악함으로써 프론트 사이드 멤버의 설계시 많은 Know-How를 축적할 수 있었으며 추후 동하중 시험을 실시하여 정하중 시험과의 비교 및 시뮬레이션의 신뢰성 확보를 하여야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 중기거점 개발사업인 “매쉬심을 이용한 테일

러드 블랭킹 용접 기술 개발 및 시스템 구성” 과제의 일환으로 산업자원부의 지원을 받아 수행된 것으로서 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 전기찬외 26명, 1997, “Tailored Blank에 의한 차체부품 개발 보고서”, 기아자동차 생기연구팀 보고서
- (2) 최이천, 최치수, 이종민, 유동진, 1997, “Tailored Blank를 이용한 Door Inner 개발에 관한연구”, 기아자동차 생산기술통신, Vol 17, pp. 71~81.
- (3) 최이천, 오영근, 2000, “Tailored Blank 용접설비”, 대한용접학회지, Vol 18, No 3, pp. 281~285.
- (4) 이종봉, 박희동, 2000, “Tailored Blank의 적용현황과 전망”, 대한용접학회지, Vol 18, No 3, pp. 266~272.
- (5) 최정영, 이창희, 2000, “Mash seam 용접과 Laser 용접을 이용한 Tailored Blank의 특성비교”, 대한용접학회지, Vol 18, No 3, pp. 286~292.
- (6) 夏見 文章, 1996, “테일러드 블랭크의 매력”, 프레스기술, Vol 34, No 8, pp. 18~25.