

Tailor Welded Blanks 적용을 위한 Front Side Member의 설계기법연구

강대철*, 전병희**, 전한수***

A Study on the Design of Front Side Member for Applied Tailor Welded Blanks

Dae Cheol Kang *, Byung Hee Jeon **, Han Soo Jeon ***

Abstract

The use of tailor welded blanks(TWB) in automotive applications is increasing due to the potential of weight and cost saving. The object of this study is development of the front side member by static analysis and crash simulations. According to the results, energy absorption and barrier force is very important parameter to control passenger safety and deformation shape. A energy absorbability point of view, tailor welded blanks is most effective to absorb energy than non-twb.

Non-TWB front side member and TWB applied front side member were simulated. It shows reduce stamping parts, weight reduction and cost down.

Key Words : front side member, tailor welded blanks, static analysis, crash analysis, energy absorbability

1. 서 론

현재 자동차의 발전은 고성능화, 고속화, 고안전화의 추세로 변화하고 있으며 이에 따라 자동차의 각종 부품도 소형, 경량화되는 추세이다. 최근 유럽, 미국 및 일본의 자동차 업계에서는 신기술을 이용한 부품생산 비용의 절감 및 개발의 효율화를 위한 많은 연구가 수행되고 있다. 새로운 기술의 적용은 현재 자동차 업계가 직면하고 있는 경량화 및 고품질, 안전성 및 내식성 확보에 대한 사회적 욕구를 충족시킬 수 있고, 가격 경쟁력이 있는 자동차를 생산하기

위한 방법으로서 일본, 미국, 유럽을 중심으로 TWB(Tailor Welded Blanks) 기술이 널리 사용되기 시작하고 있다.⁽¹⁾ 승용차의 각종 부재에 사용되는 많은 판재 성형품은 성형 후 제품의 표면이 깨끗하고 고속·대량 생산에 의한 완제품을 양산 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 이유로 판재 성형 부품은 자동차나 항공기 등의 부품은 물론 가전제품 및 일반 소비재 부품 등에도 널리 쓰이고 있다. 이러한 방법에 의해 생산된 제품은 부품 하나로 쓰이지 않고 여러 부품이 결합된 형태로 제작·사용되기 때문에 각 부품은 용접 이음을 하여 사용한다. 본 연구에서는 자동차의 충돌

* 강원대학교 대학원
** 인덕대학(bhjeon@mail.induk.ac.kr)
*** 산업기술평가원

시 전체 충돌에너지의 35%정도를 흡수하는 프론트 사이드 멤버의 TWB 적용^{2,3,4)}을 통하여 제품의 경량화, 고강도 및 생산원가절감을 이루고자 한다.

2. 본 론

2.1 개요

기존의 자동차용 부품의 경우 여러 개의 부품을 따로 성형한 후 용접이나 리벳 또는 볼트를 이용하여 조립한 후 사용되어졌다. 이 방법은 용접에 의한 국부적인 잔류응력, 누적오차에 의한 조립성 난이, 제품 단가의 상승, 중량의 증가 등 여러 가지 문제점을 내재하고 있다. 이에 비해 TWB는 서로 다른 재질, 다른 두께의 판재를 목적에 맞게 용접하여 소재를 만드는 기술이다. Fig. 1과 같이 용접된 소재를 이용하여 한번에 성형하는 것이 TWB를 이용한 성형의 일반적인 방법이다. 이 기술의 장점으로는 소재를 재단하듯 용접하므로 소재 수율이 높고, 보강판을 사용하지 않으므로 중량이 감소되며, 부품의 수가 줄어들게 되므로 공정이 감소된다. 이에 따라 제품의 단가가 낮아지고, 제품의 정밀도는 상승된다. 이러한 장점에도 불구하고 국내에서 TWB 기술이 아직 보편화되지 않은 이유는 소재에 따른 용접의 어려움, 용접선의 이동에 따른 성형의 어려움과 용접부의 강도평가에 관한 연구 부족, 그리고 금형 설계의 어려움 등이 있다. 이에 대한 TWB의^{5,6,7)}체계적인 연구는 국내외적으로 다양한 형태로 연구되고 있고, 현재 국내 자동차업체에서 일부 부품에(sub-frame, center floor panel, B-pillar 등) 적용하고 있다.

자동차의 프론트 사이드 멤버는 차량의 중간 및 앞부분의 차체를 지탱해주는 역할을 하는 동시에 충돌안전성과 밀접한 관계가 있는 프레임으로써 디자인의 미려함보다는 강도상의 문제와 조립되는 상관 패널과의 관계를 고려해야 하는 매우 중요한 부품이다. 또한 강도상의 문제를 해결하기 위하여 프레임의 취약부에 많은 보강재를 추가하여 충돌안전성을 향상시키고 있다. 그러나 이러한 방법은 현재의 자동차 발전 추세인 경량화에 역행하므로, 현재

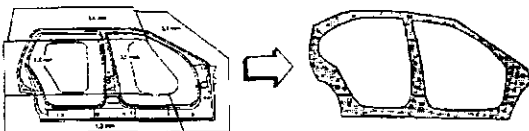


Fig. 1 Basic diagram in TWB(Body side panel)

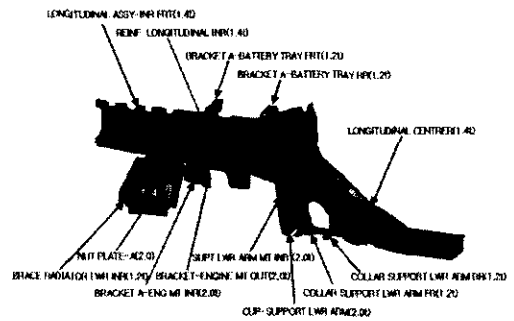


Fig. 2 A detailed parts of front side member

개발 적용되고 있는 TWB를 이용한 새로운 프레임 설계 방안이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 좌측부 13개, 우측부 14개 부품으로 이루어져 있는 프론트 사이드 멤버의 구조해석 및 충돌해석을 통하여 기존제품과 TWB를 적용한 제품을 비교 분석하여 새로운 프론트 사이드 멤버 설계에 반영하고자 한다.

2.2 용접부 선정 및 경계조건

TWB 적용을 위한 용접부의 선정을 위하여 Fig. 3과 같이 부품의 선단에서부터 승용차용 부품 설계 시 사용되고 있는 단면2차 모멘트를 구하여 TWB 적용을 위한 설계 기준으로 사용하였다.⁵⁾

현재 자동차의 각종 부품은 충돌에너지 흡수 및 강성 확보를 위한 정형화된 설계 방법이 없으나 굽힘 효과에 대한 강성이 지배적이므로, 이에 대한 강성확보를 위하여 적용하고 있는 단면2차 모멘트를 근거로 하였다. Fig. 3에

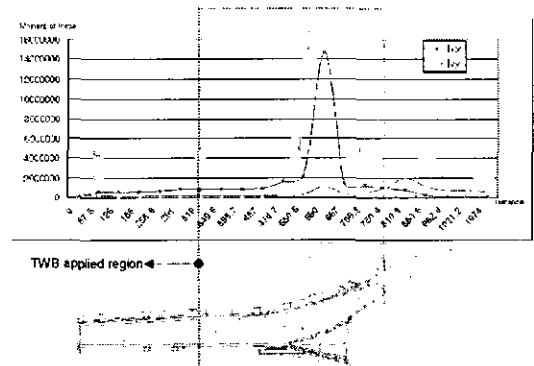


Fig.3 Moment of inertia distribution

서 나타나듯이 단면2차 모멘트가 증가하는 부분에서 강성이 요구되며, 부품 선단을 기준으로 약 300mm 근방에서부터 기하학적인 형상을 고려하여 TWB를 적용하는 것이 적당할 것으로 판단된다.

Fig. 4에 TWB가 적용된 모델을 나타내었다. 부품의 감소로 인하여 발생하는 강성을 보강하기 위하여 서로 다른 두께의 판재를 사용하며, 기존제품의 외곽 형상은 유지하면서 간섭이 없도록 판재를 배열하였다. 그리고 세로중심부품(longitudinal center) 부위를 포함하여 한 개의 판재로 가공시 성형이 어려우므로 기존 형상이 유지 되도록 하였다.

본 제품을 사용하는 승용차 엔진은 4점 지지방식(중심 지지 방식)으로 되어있다. 앞부분은 크로스멤버에 장착되어 있고, 뒷부분은 바디에 장착되어(빔 요소 사용) 엔진을

지지한다. 또한 바디가 프론트 사이드 멤버의 외곽 역할을 하게 되므로 바디 장착부를 모두 구속 시켰다. Table 1에 경계조건을 나타내었다.

프론트 사이드 멤버의 엔진 마운트부와 로워암 장착부는 점용접시 두 판재의 상대운동은 허용하고 각 용접부의 물리적 특성을 표현 할 수 있는 강체요소를 사용하였다. 차량이 정지해있는 경우를 고려하여 제동시나 범프시와 같은 운행중에 발생하는 부품의 특성보다는 단품 충돌 해석을 통하여 내부에너지 흡수 및 지지력(Barrier force)에 대한 분석을 통해 설계를 하였다.

2.3 구조해석결과

2.3.1 기존모델

기존모델에 대한 경계조건을 입력 후 구조해석을 실시한 결과, Fig. 5와 Fig. 6에 나타나 있듯이 가장 취약한 부분은 우측면의 엔진 마운트 부분이며 기존 제품의 경우가 부분에 보강판이 부착되어 프레임의 강성을 향상시키고 있다. 단면2차 모멘트의 분포와 연계했을 때 이 부분에서부터 강성이 요구되므로 두꺼운 판재를 이용하여 TWB 적용을 위한 구간으로 설정하고자 한다.

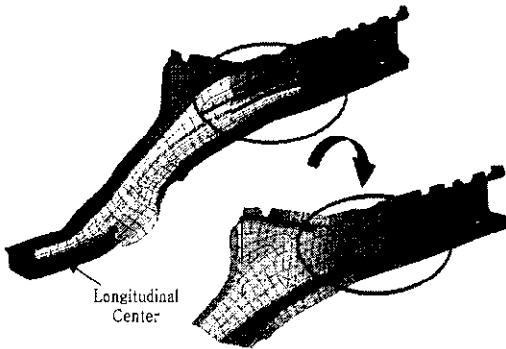


Fig. 4 Design concept for TWB

Table 1 Boundary conditions

Distribution	Boundary condition	
A	Body mount part	all fixed
B	Engine load point	980N(100kgf)
C	Engine mount part	rigid element
D	Lower arm support point	all fixed

Body contact part all fixed

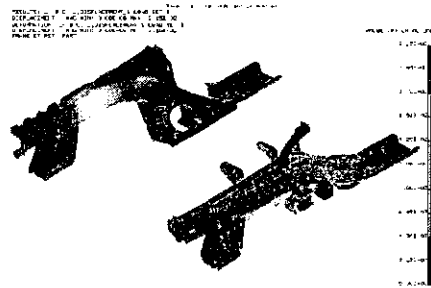
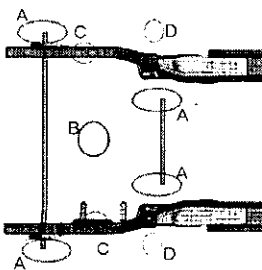


Fig. 5 Displacement distribution

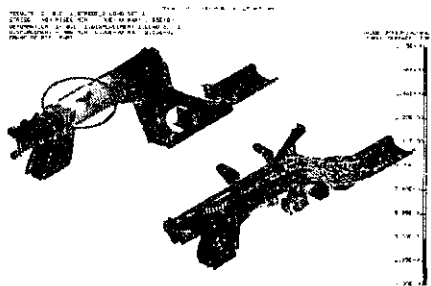


Fig. 6 Max. von mises stress distribution

2.3.2 TWB 모델 (1.4t~2.2t)

TWB 판재를 사용한 모델을 Fig. 7, Fig. 8에 나타내었다. 경계조건은 기존모델 모델과 동일하며 두께는 보강판을 포함한 기존 판재의 총 두께 대비 약 60%의 수준으로 설정하여 해석을 수행하였다.

Fig. 7과 Fig. 8에 나타나 있듯이 기존 모델과 TWB 모델의 결과를 살펴보면, 변위 발생부분이 동일하게 나타나 있음을 알 수 있다. 이 부분의 변위를 Table 2에서 보면 기존모델에 비하여 11.6%향상되었고, 사용한 판재의 항복 응력이 276Mpa 이므로, 기존모델이 안전하다고 할 때 과도한 설계가 됐음을 알 수 있다. 이 결과 TWB 모델은 기존 모델에 비하여 응력이 30.2% 가량 향상됨을 알 수 있다.

TWB를 적용한 프론트 사이드 멤버에서 1.2t-1.8t를 제외하고는 모두 기존 판재보다 양호한 결과를 보이고 있다. 경량화 측면을 고려하면 중량이 가벼운 두께 배합을

선정해야 하나 안전도를 고려한 충돌특성을 감안하여 1.4t-2.2t 소재 배합을 선택하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

이상의 구조해석 결과를 살펴보면 좌우 부품에서 성형이 까다로운 2개의 대물 제품과 비교적 성형이 쉬운 1개의 소물 제품이 감소되어 최소 9공정이 감소되었다. 용접 공정과 다이(die), 지그(jig), 노동력에 따른 생산성 향상을 고려하면 그 효과는 더 클 것으로 예상된다. 그리고 기존 제품을 기준 하였을 때 TWB를 적용한 부품은 0.7%~7.14% 경량화 되었고 구조해석 결과 또한 우수한 것으로 나타났다. 또한 기존 판재의 경우 좌·우 부품 중 서로 다른 부품으로 인해 금형의 공용화가 불가능 하나 TWB 적용시 공용화가 가능하여 비용절감과 생산성 향상에 큰 기여를 할 것으로 판단된다

Table 2 Static Analysis Results

Distribution		Displacement(mm)	von Mises (MPa)	Principal (MPa)
Initial model		2.15E-02	16.83	19.62
TWB model	1.2 - 1.8	2.11E-02	10.60	22.36
	1.2 - 2.0	2.15E-02	15.40	17.46
	1.2 - 2.2	2.01E-02	14.52	16.48
	1.4 - 1.8	2.19E-02	14.42	16.38
	1.4 - 2.0	2.12E-02	14.91	16.97
	1.4 - 2.2	1.90E-02	12.65	14.42

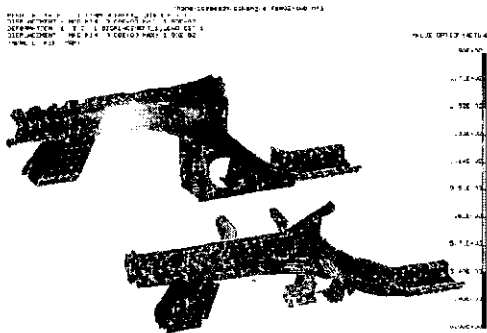


Fig.7 Displacement distribution

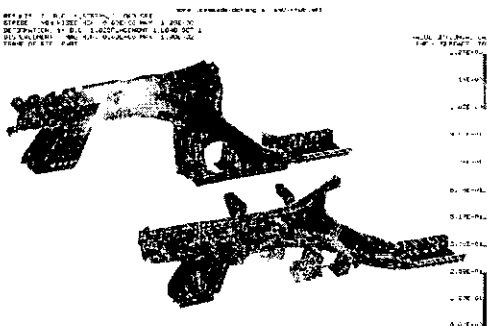


Fig.8 Max. von mises stress distribution

2.4 충돌해석

프론트 사이드 멤버 모델링에 있어서 변형이 집중되거나 변형 가능성이 있는 부품에 대하여는 요소 크기를 7~10 mm로 모델링 하였다.⁽⁶⁾ 특히 충돌 시 가장 큰 영향을 받는 내측사이드멤버(longitudinal Assy INR FRT) 부품에 대하여는 6~7 mm로 요소 크기를 유지하였다. 유한요소 모델에서 프레임과 각 부품간의 결합은 실제 제품과 동일한 위치에 대하여 점용접(spot welding)을 하여 체결한다고 가정하여 모델링 하였다. 프론트 사이드 멤버에 대한 유한 요소모델은 Fig. 9와 같다.

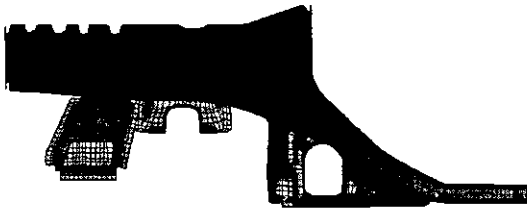


Fig.9 F.E. model for frontal crash simulation

2.4.1 경계조건

단품 충돌 해석시 전체모델(full model) 해석과 유사한 결과를 산출하기 위한 경계조건은 무엇보다 중요하다. 단품 충돌해석 방법은 강체벽(rigid wall)을 프레임 전방에 설치하고 초기속도(initial velocity)를 부가하여 충돌해석을 수행한다. 경계조건으로는 프레임 충돌 시 프레임 앞부분이 강체벽과 충돌하면서 회전하게 되는데 이것을 막기 위하여 강체벽과 가장 먼저 접촉이 일어나는 프레임의 절점에 대하여 충돌방향에 대한 변위 경계조건을 제외한 모든 경계조건을 구속하였다. 프레임의 뒷부분은 강체(rigid body) 구속 조건을 이용하여 역시 충돌방향의 변위 경계조건 외의 경계조건은 모두 구속하였으며, C.O.G.(Center Of Gravity) 에 차량 중량 4.41kN(450kgf) 을 부가하였다. 본 차량의 중량은 총중량 7.45kN(760kgf) 에 0.69kN(70kgf) 성인 2명이 승차한 중량인 8.83kN(900kgf) 을 사용하였다. 프레임 충돌 속도는 FMVSS 208 규정에 의거하여 48.28km/hr(30MPH)를 사용하였다. Fig. 10은 프론트 사이드 멤버 단품 충돌해석을 위한 경계조건을 나타낸다.

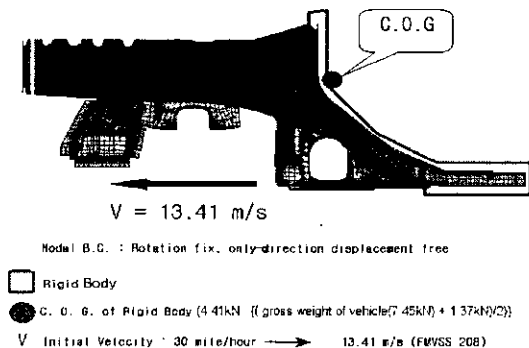


Fig. 10 Boundary conditions for frontal crash simulation

2.4.2 기존모델 충돌해석결과

Fig. 11에 보이듯이 충돌해석 결과 프레임 전반부의 변형과 동시에 프레임의 중간부분에서 굽힘 변형이 발생하였다. 이후 프레임은 전반부 접합에 의한 변형보다 굽힘에 의한 변형이 크게 작용하고 있으며, 이것은 충돌 시 프레임에서의 충격에너지 흡수를 저하시키는 원인이 된다. 기존 모델에 대한 충돌해석 결과 엔진 마운팅 브라켓 바로 뒤의 프레임이 굽어지는 부분에서 과도한 굽힘 변형이 발생하였다. 따라서 프레임 전반부의 변형이 진행되는 과정에서 후반부의 굽힘 변형이 발생함으로써 Fig. 12에서와 같이 지지력(rigid wall force)이 점점 작아지는 경향을 나타내며, 이것으로부터 충돌 후 에너지 흡수성이 떨어지고 있음을 알 수 있다.

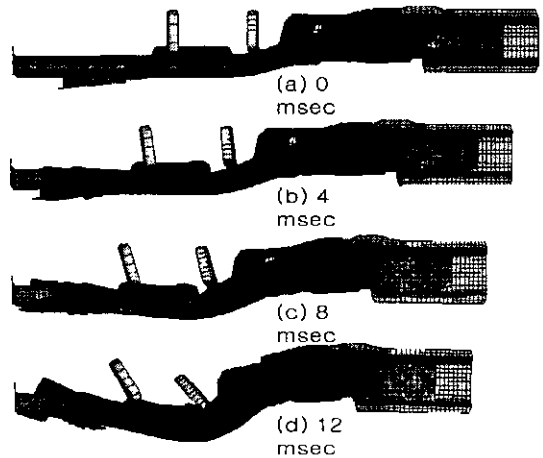


Fig. 11 Deformed shapes(original model)

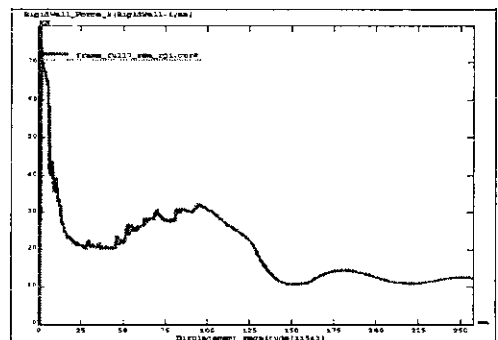


Fig. 12 Rigid wall force(original model)

2.4.3 TWB모델 충돌해석결과(1.4t-2.2t-2.0t)

프론트 사이드 멤버의 단품 충돌해석은 구조해석과 연계하여 판재의 배열을 Fig. 13에 보이듯이 프레임을 3부분으로 구분하였다. 그리고 이 부분의 판재의 두께배열을 Table 3과 같이 배열하여 여러 가지 경우에 대하여 해석을 실시하였다.

2번 부재(part 2)의 두께를 1.6t, 1.8t 로 하였을 경우 1번 부재(part 1)의 주름변형과 동시에 2번 부재의 굽힘변형이 발생하였다. 반면 2번 부재의 두께를 2.0t 이상 하였을 경우는 1번 부재에서의 완전한 주름변형에 의하여 Fig. 14 에서와 같이 2번 부재에서의 굽힘 변형은 거의 발생하지 않았다. 또한 Fig. 15, Fig. 16에서 에너지 흡수성과 지지력 측면을 비교해 볼 때, 1.6t 와 1.8t의 경우 1

번 부재에서 충분한 주름 변형이 발생하지 않은 상태에서 2번 부재의 굽힘변형이 발생함으로써 충돌 에너지 흡수성이 기존 제품보다 낮게 나타났으며, 2.0t 이상일 경우는 대부분 기존 제품의 경우보다 높게 나타났다.

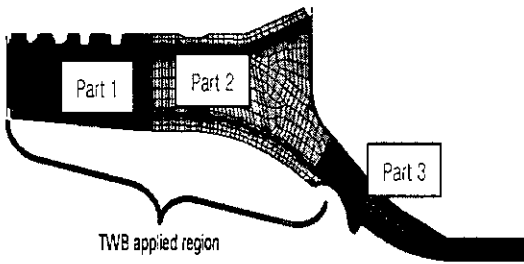


Fig. 13 TWB applied region

Table 3 Thickness combination of front side member

No.	part 1(mm)	part 2(mm)	part 3(mm)
1	1.4	2.0	2.0
2	1.6	2.0	2.0
3	1.8	2.0	2.0
4	1.4	1.6	2.0
5	1.4	1.8	2.0
6	1.4	2.0	2.0
7	1.4	2.2	2.0
8	1.4	2.4	2.0
9	1.4	2.8	2.0
10	1.4	2.0	2.0
11	1.4	2.0	2.4
12	1.4	2.0	2.8
13	1.4	2.4	2.0
14	1.4	2.4	2.4
15	1.4	2.4	2.8
16	1.4	2.8	2.0
17	1.4	2.8	2.4
18	1.4	2.8	2.8

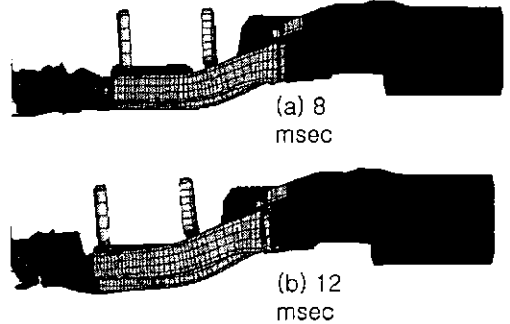


Fig.14 Deformed shapes(TWB model)

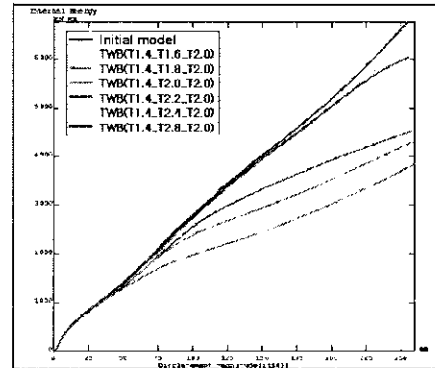


Fig. 15 Internal energy(TWB model)

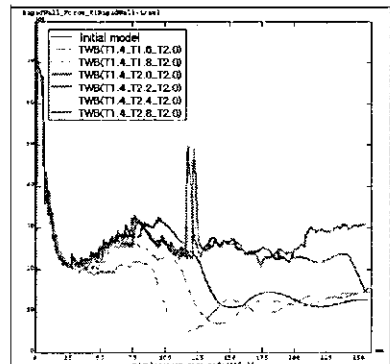


Fig. 16 Rigid wall force(TWB model)

2.5 용접선 이동에 따른 프레임의 충돌해석

용접선 이동해석은 두께 조합 TWB 1번 부재; 1.4t-2번 부재; 2.0t-3번 부재; 2.0t를 기본으로 하여 충돌해석을 수행하였다. 용접선 이동은 Fig. 17과 같이 프레임의 후방(+)으로 약 43, 85mm 이동하였으며, 전방(-)으로 약 46, 106mm 이동하였다. 용접선 이동은 특정한 기준에 의한 것이 아니라 용접선 이동에 의한 충돌 성능을 평가하고 단면 2차 모멘트에 의한 용접선의 결정이 타당성을 검증하기 위하여 임의로 프레임 충돌 시 주변형 부위를 피하여 설정하였다

Fig. 18과 Fig. 19에 보이듯이 용접선의 이동을 프레임의 전·후방으로 옮기는 것은 충돌 성능에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 즉, 프레임에 직접 조립되어 있는 엔진 마운트 브라켓이 보강재 역할을 하므로 용접선의 이동과는 무관하게 프레임의 전반부에서 대부분의 변형이 발생하였다. 후방으로 용접선을 이동했을 경우 굽힘 변형은 라디에이터 받침대와 엔진 마운트 브라켓 사이에서 발생하였다. 용접선을 프레임 전방으로 이동했을 경우 충돌에너지를 흡수하기 위하여 변형하는 부분이 너무 적어 에너지 흡수면을 고려해 볼 때 Fig. 20에서와 같이 지지

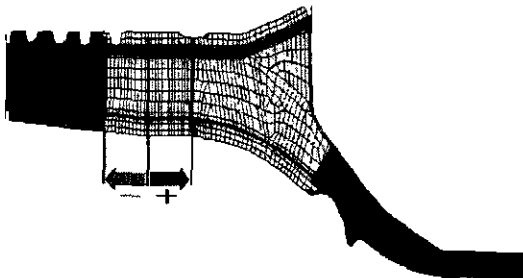


Fig. 17 Modified TWB model with weld line movement

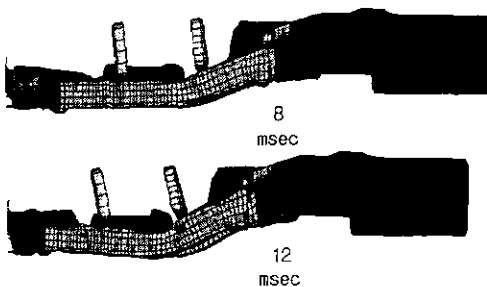


Fig. 18 Deformed shapes(Modified TWB model)

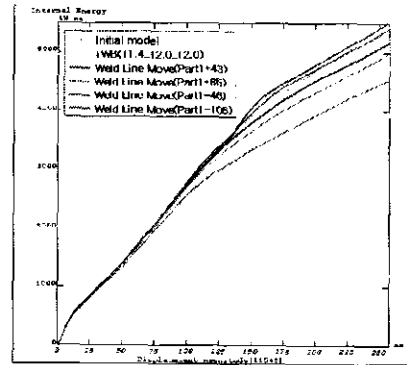


Fig. 19 Internal energy(Modified TWB model)

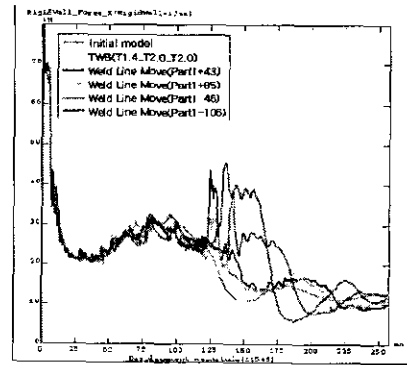


Fig. 20 Rigid wall force(Modified TWB model)

력이 점점 작아지는 것을 볼 수 있는데 이것은 1차 충돌 후 에너지 흡수가 떨어지고 있음을 나타낸다.

3. 결론

승용차용 프론트 사이드 멤버의 TWB 적용을 위한 프레임의 해석결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 정적 해석을 통한 프론트 사이드 멤버의 해석시 1.4t-2.2t의 판재 조합이 가장 좋은 결과를 얻었다.
- (2) TWB를 적용한 프레임 대부분 기준의 기존모델보다 충돌 성능이 우수한 것으로 나타났다.
- (3) TWB 적용 프레임의 두께 조합이 1번 부재-1.4t, 2번 부재-2.0t, 3번 부재-2.0t 일 경우, 기존 제품의 충돌해석 결과와 가장 유사하였다.

- (4) 충돌해석 결과, 판재의 두께를 증가시키면 전체질량의 증가와 동시에 초기 에너지, 단위 질량당 에너지 흡수율이 모두 증가함을 알 수 있다.
- (5) 충돌해석을 통하여 에너지 흡수와 중량감소를 함께 고려했을 경우, 두께 조합이 1번 부재-1.4t, 1번 부재-2.2t로 하는 것이 가장 좋게 나타났다.
- (6) 단면2차 모멘트에 의한 용접선의 결정에 대한 타당성을 검토하기 위해 용접선을 이동하여 충돌 해석을 실시한 결과, 에너지 흡수나 지지력(barrier force)의 측면에서 변화가 없었다.

참 고 문 헌

- (1) Kumar Bhatt, Gary Neiheisel "Forming of Tailor-Welded Blanks" 1994 ERC/NSM Report
- (2) 이승희, 전병희, 김현영, "Tailor Welded Blanks를 이용한 자동차용 부품 개발", '98춘계학술대회, 한국소성가공학회
- (3) Ming F. Shi and Ken M. Pickett "Formability Issues in the Application of Tailor Welded Blank Sheets" SAE technical paper series B 930278
- (4) 김현영, 최광용, 김관희, 조원석, "레이저 용접 차체의 유한요소 모델링과 성형해석", '97춘계학술대회 논문집, 한국소성가공학회
- (5) 김낙수, 전병희, 이형일, "Shell형 경량 Suspension System 개발" 서강대학교 산업기술 연구소, 1996
- (6) S.Y.Kang, "Dynamic Collapse Analysis of Automotive Shell Structures under Impact Loads" 서울대학교 박사학위논문, 1992