

Tailor Welded Blanks를 이용한 자동차용 부품 개발

이승희*, 전병희**, 김현영*

*강원대학교 대학원, ** 인덕대학, *** 강원대학교

Development of Automotive Part using Tailor Welded Blanks

Seung-Hee Lee *, Byunghee Jeon **, Heon-Young Kim ***

* Graduate School, Kangwon National University

** Dep't of Mech. Design and Prod. Engng., Induk Institute Technology

*** Dep't of Mechanical Engineering, Kangwon National University

In this study, the subframe of passenger car is developed by typical analysis and crash simulations. According this results, energy absorption and barrier force is very important to control passenger safety and deformation shape. For that purpose, it is most effective to absorb energy more tailor welded blanks(TWB) subframe than non-TWB.

The subframe with TWB is simulated, in which reduced stamping parts, weight reduction and cost down.

Key Words : Subframe, Crash simulation, Tailor Welded Blanks, Barrier Force

1.서론

현재 생산되는 승용차의 각종 부재는 많은 경우가 판재 성형 제품이며 판재 성형 법에 의해 생산된 제품은 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 소비자 부품 등에도 널리 쓰이고 있다. 승용차 부품 중 프레스를 이용한 성형 제품은 현재 국내에서 많이 생산되고 있다. 이러한 방법에 의해 생산된 제품은 부품 하나로 쓰이지 않고 여러 부품이 결합된 형태의 단품으로 제작·사용되기 때문에, 각 부품은 용접을 이용하여 이음을 하게 된다.

본 연구의 목적은 Tailor Welded Blanks (TWB) 기술을 적용하여 승용차용 부품을 개발하는 것이다. 연구에 사용된 부품

(sub-frame)은 선진 각국에서 승객 안전성 향상을 위하여 자동차에 충돌에 대한 각종 법규를 강화하고 있고, 이로 인한 강성확보를 위하여 우물정(井)자 형상을 지닌 제품으로 설계되고 있다. Sub-frame 은 주행 시 노면의 불 균일함으로 전달되는 진동과, 급정지·출발시 엔진의 회전방지, 충돌 시 승객 룸 공간의 확보를 통한 승객 보호 등을 위하여 새로운 규격에 적합한 승용차 부품 생산을 위해 업체에서 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다. Sub-frame은 22개의 부품으로 구성되어 있으므로써 새로운 기술을 적용 생산이 가능 할 경우 공정감소, 경량화, 강성향상, 소재수율 증가, 공정 수 감소 등으로 인하여 생산원가 절감 등⁽¹⁾에 많은 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각되므로 TWB를 이용한 설계기술 개발이 필수적이라고 판단된다.

2 Sub-frame의 유한요소 해석

2.1 해석 및 경계조건

구조해석에서는 세밀한 형상보다는 거시적인 형상 즉, 전체적인 외관 결과 값에 의존하고, 충돌 해석에서는 그 형상에 크게 영향을 받을 뿐 아니라, 요소의 형상과 개수, 크기도 민감한 반응을 하므로 유한 요소 해석을 위한 모델링 시에 신중을 기해야 한다. 본 연구에 사용된 sub-frame을 각 부품별로 유한 요소모델링을 하여 조합한 형태를 Fig. 1에 나타냈다. 해석에 사용된 sub-frame은 크게 22개의 부품이 모여 하나의 구조물로 완성되어, 차체 구조물에서 엔진을 지지하고 충돌 시 에너지를 흡수하며, 승객을 보호하는 역할을 하고 있다. 최초의 sub-frame의 형태는 center member와 cross member의 형태로 조립된 T-type⁽¹⁾이었으나 자동차 안전 기준이 강화되면서 우물 정(井) 형태로 바뀌었고, Fig. 1에 나타난 바와 같이 많은 부재들로 이루어져 있어 상호간의 결합의 형태도 복잡하게 되었다.

Table 1 Element and nodal point No. of sub-frame

		No. of node	No. of element	thickness (mm)
Right	U-plate	1015	979	2.3
	B-plate	790	726	
Left	U-plate	999	936	2.3
	B-plate	739	679	
No.1	U-plate	688	620	2.3
	B-plate	623	551	
No.2	U-plate	879	595	2.0
	B-plate	174	168	
	bracket	90	72	
Reinf.	U-plate	1137	1247	2.6
	B-plate	1294	1294	
C M B	U-plate	298	126	2.0
	B-plate	240	258	
	bush	112	289	
G·B		432	382	2.6
Total		9710	8819	

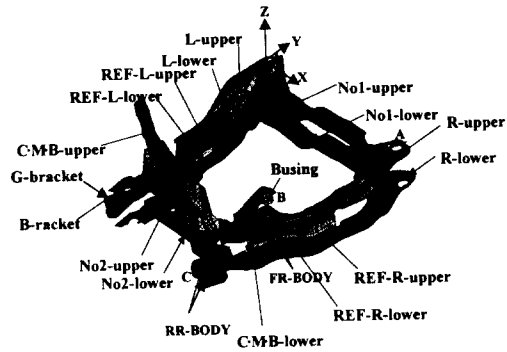


Fig. 1 Sub-frame of Passenger Car

Table 2 Boundary Conditions

		Brake	Curve	Bump	Max. Load
Fx	FR-body	-639.6	-58.2	-134.0	-334.6
	RR-body	-220.1	-7.8	-49.7	-119.1
Fy	FR-body	-1191.1	594.6	-660.5	-952.1
	RR-body	977.0	3.8	185.7	494.5
Fz	FR-body	87.1	277.9	279.2	141.1
	RR-body	80.7	0.5	39.8	106.2

Table 2는 완성차에서 직접 측정된 값으로 각 절점에서 측정된 분력을 나타낸 것이다. Sub-frame 단품해석에서 Fig. 1에서 보이듯이 A, B, C 부분은 x, y, z 방향의 변위를 구속하였으나 회전이 가능하도록 하였다. Fig. 1에서 보이는 FR-BODY, RR-BODY에는 힘의 고른 입력을 위해 주변의 절점에 분력을 입력하지 않고, 강체 요소를 사용하여 한 절점에 입력함으로써⁽⁶⁾ 나누어 입력 시 발생할 수 있는 일정 부위의 응력 집중 현상이 완화되는 효과가 발생할 수 있도록 입력하였다. 부품별 용접처리는 일반적으로 용접부 재질의 Young's modulus가 일반재질에 비해 2.5~3배정도 높다고 알려져⁽²⁾ 있으므로

로 강제요소를 이용하여 용접 효과를 부여 하였다.

유한요소 해석 결과 Fig. 2 ~Fig. 3을 보면 No.1과 No.2에는 영향을 거의 나타내지 않았고, 엔진을 지지하는 좌·우 부재의 하중점에 과도한 변위가 발생하였고, 이 부분에서 집중응력이 발생됨을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 이 부분에서 상대적인 단면2차 모멘트가 작아졌을 뿐만아니라 s자 형상의 외형에서 지지점으로부터 멀리 위치하고 있으므로 구조적인 가장 취약부이라는 것을 알 수 있다. Sub-frame을 설계할 경우 취약부를 미리 파악하여 해당부분에 보강재를 사용하여 보강을 하거나 TWB를 이용하여 취약부에 두께가 두꺼운 재료를 사용한 제품의 설계가 요구됨을 알 수 있었다.

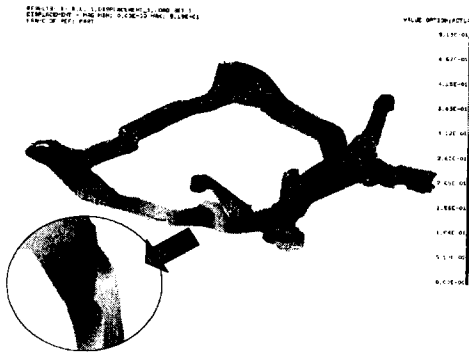


Fig. 2 Displacement Distribution

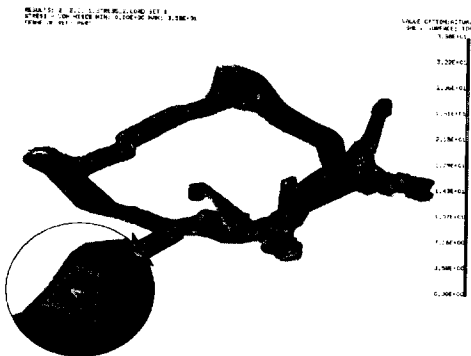


Fig. 3 von-Mises Stress Distribution

Table 3 Analysis Result of non-TWB

	Brake	Curve	Bump	Max. Load
Displacement	0.519	0.210	0.214	0.338
Max-Stress	35.6	12.1	13.5	23.3
Von-Mises	-8.87	-6.38	-4.25	-7.14
Strain	35.8	12.8	13.6	22.7
	8.03	0.813	0.954	3.16

Sub-frame의 각 부분의 구조적인 역할과 응력 상태를 파악하고, 경량화를 위한 일환으로 non-TWB 모델의 구조해석을 하였다.

특히, sub-frame 강성을 파악하기 위해 각 부분의 단면 2차 모멘트를 계산하였고, Fig. 4에 보이듯이 이를 기초로 하여 TWB를 이용한 부품설계의 기초로 삼았다. Fig. 1의 No.2에 보이듯이 중량을 기준 0(zero)으로 했을 때 좌우 230mm구간에서 값이 상승되는 것을 Fig. 4 볼 수 있다. 이는 보강재가 있기 때문인 것으로 판단되며 이를 구조적으로 수정하기란 매우어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 단면의 전체적인 형상의 변화가 적고 단면2차 모멘트가 큰 좌우 120mm (전체길이 240mm) 구간에서 $t=1.4, 1.6\text{mm}$ 일 때인 2가지경우에 대한 해석을 실시하였다.

Left & Right 부분은 Fig. 1에서 RR-body부분의 y 좌표가 0(zero)인 부분을 기준으로 정하였을때 길이 방향을 나타낸 것으로서 536mm~336mm값이 커진 것은 이 부분에 보강재가 있고 폭(b) 방향보다는 길이(h)에 더 많은 영향을 받기 때문인 것으로 생각한다.

본 해석에서 No.1 부분은 구조해석 상에서 응력과 변위에 대한 영향이 미소하므로 TWB 적용을 위한 부품으로 선정을 하지 않았다.

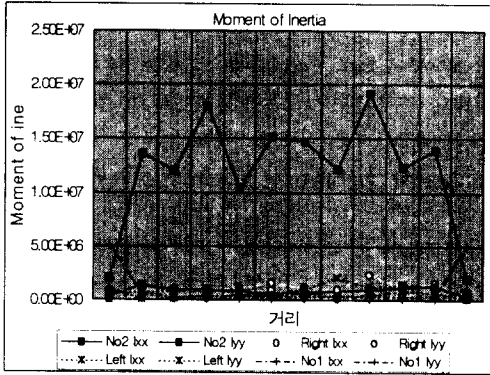


Fig. 4 Moment of inertia each part

Table 5 No.2 Analysis Result of t=1.4mm

	Brake	Curve	Bump	Max. Load
Displacement	0.635	0.303	0.303	0.418
Max-Stress	40.7 -12.5	27.3 -17.2	28.7 -8.85	30.2 -8.86
Von-Mises	38.6	28.6	25.4	27.2
Strain	42.2	8.44	15.2	15.6

Table 6 Analysis Result of Left · Right member thickness t=2.6mm

	Brake	Curve	Bump	Max. Load
Displacement	0.608	0.282	0.306	0.404
Max-Stress	34.7 -10.0	27.9 -13.8	27.9 -8.09	27.4 -7.18
Von-Mises	42.6	25.0	24.9	26.9
Strain	8.47	3.84	5.46	5.51

Table 7 Weight reduction of No.2

	Flat (2mm)	Arch (2mm)	Arch (1.6mm)	Arch (1.4mm)
무게(kg)	1.32	0.98	0.79	0.69
경량화율(%)	0	25.48	40.386	47.84

Table 8 Weight reduction of Left & Right member

		non-TWB	t=3.0 mm	t=2.6 mm	t=2.0 mm
무게 (kg)	Left	4.615	3.559	3.085	2.373
	Right	4.539	3.308	2.867	2.206
	Total	9.154	6.867	5.952	4.579
경량화율 (%)	Left	-	22.88	33.15	48.58
	Right	-	27.12	36.83	51.40
	Total	-	24.98	34.98	49.97

이상의 TWB 적용 model 해석 결과를 Table 5~ 8에 나타냈듯이 SAPH38P 강판을 사용했을 때 Von-mises 값이 항복점 보다 높게 분포되었으나 이는 하중 입력 점(hole)의 가장 자리에 위치한 절점의 일부분에서 발생되고 있다. 이러한 현상은 절점의 위치조정을 함으로써 항복점 이하로 최대응력을 감소시킬 수 있으며 구조적인 해석에는 안전함을 알 수 있다. No.2는 3번(non-TWB, t=1.4, 1.6mm)의 해석에서도 값의 변화가 나타나지 않는 부분으로서 제품결합의 구조적인 문제와 충돌 시 안전성에 문제가 발생되지 않을 경우 경량화를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. Left와 right 해석의 경우 3가지 (t=2.0, 2.6, 3.0mm) 모델에 대하여 해석을 수행하였고 이 결과 left 부분의 중앙부에서 변위 및 집중 응력이 발생하였다. 이러한 결과는 정면충돌이나 off-set 충돌 시 sub-frame의 변형모드를 조절하기 위하여 인위적인 취약부 설계를 한 것으로 해석되며, 이러한 효과는 충돌 시 엔진이 승객 룸 안으로 돌출 되는 것을 방지하는데 중요한 역할을 한다. 또한, 구조해석에서 사용된 non-TWB, left와right에 TWB를 적용시킨 3가지 등, 4가지 model 대해 충돌 특성 평가를 실시하였다. 자동차의 주행성, 제동성, 안전성 3가지 특성중 인간의 생명과 가장 관계가 깊은 안전성을 만족하기 위해 각국에서는 많은 노력을 기울이고 있다. 본 연구에서도 이러한 세계 각국의 충돌 특성에 대한 법규를 만족하기 위하여 non-TWB 구조해석 model을 이용하여 sub-frame의 단품 충돌 해석을 실시 하였다. 경계조건으로는 Fig. 1의 A, B,

C점의 z 방향을 구속하였고 30mph 속도로 barrier에 충돌 시켰다. Off-set 충돌은 barrier와 sub-frame을 50% off-set하여 충돌 실험을 실시하였다.

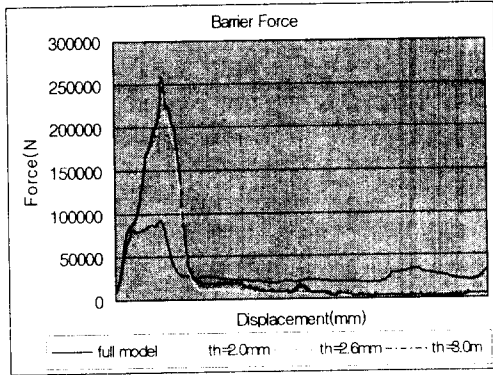


Fig. 5 Barrier force(N) of front crash

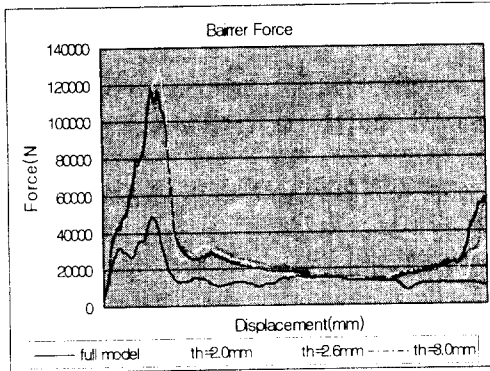


Fig. 6 Barrier force(N) of off-set crash
이상의 해석결과를 종합하면 Table 9와 같다.

Table 9 Crash simulation results of subframe

	non-TWB	t=2.0	t=2.6	t=3.0
Front	92 kN	251 kN	233 kN	258 kN
Off-set	49 kN	129 kN	115 kN	118 kN

3. 결론

본 연구에서는 non-TWB 모델을 이용하여 TWB 모델의 평가모델로 사용하였으며, 이들 결과를 이용하여 기존의 22part의 부품을 18개의 부품으로 설계를 하였으며, 이는 공정감소 및 재료수율을 확대함으로써 해당부품의 생산비 절감효과를 얻을 수 있었다. 이들의 일련의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(가) No.2는 충돌을 하였을 경우 에너지 흡수효과 및 barrier force에 미치는 영향이 미소하므로 설계 시 경량화 효과가 뛰어나고 가공이 용이하게 설계를 한다.

(나) Left와 right의 중앙부는 매우 취약하므로 이 부분에 보강판을 추가하였다. 이를 개선하기 위한 레이저 용접 판재를 이용하여 3가지의 모델 중 보강판 두께를 3mm로 한 것이 강성이 강하며 변형이 적었다.

(다) 충돌 에너지 측면에서 판단 할 때 보강판 두께가 2.6mm로 한 것이 좋은 결과가 얻어졌다.

(라) Left와 right는 plastic hinge가 되도록 설계를 한 부분이며 전방충돌에 대한 이 부분의 강성향상은 barrier force가 증가하게 되므로 이와의 연관 관계를 고려한 설계가 요구된다.

(마) Off-set충돌시 sub-frame의 변형형상은 엔진룸 내부에 유지되어야 하므로 이를 고려한 설계가 요구되며, 이러한 특성을 고려한 해석결과 두께가 3.0mm 모델이 우수하였다.

(바) 충돌해석시 TWB가 non-TWB 모델보다 barrier force 측면에서 볼 때 정면충돌은 2.5배, off-set 충돌시에는 2.3배정도 크게 나타났다.

참고문헌

- (1) 전병희, 김낙수, 이형일 "Shell 형 경량 Suspension System 개발", 1997, 공기반과제
- (2) ASP Programming "An Overview of Tailored-Blanks and their Technology", 1993
- (3) Kumar Bhatt, Gary Neiheisel "Forming of Tailor-Welded Blanks" 1994 ERC/NSM Report
- (4) 홍주표, 김현영, 오수익 "Formability Study on Weld Line Location and Movement of Laser-Tailor Welded Blanks", '97 춘계학술대회 논문집
- (5) 전병희, 조홍수, 오수익, June K. Lee "Tailor Welded Blanks를 이용한 S-rail의 성형", '97 춘계학술대회 논문집
- (6) 김현영, 최광용, 김관희, 조원석 "레이저 용접 차체의 유한요소 모델링과 성형해석" '97 춘계학술대회 논문집