Tailor Welded Blanks를 이용한 승용차용 Sub-frame의 설계기법 연구

전 병 희
인덕대학 기계설계과
(접수 1999. 11. 17. / 채택 2000. 5. 31.)

A Study on the Development of Sub-frame Design Using Tailor Welded Blanks

Byung-Hee Jeon
Induk Institute of Technology
(Received November 17, 1999 / Accepted May 31, 2000)

Abstract : The sub-frame of passenger car begins to be used widely for the safety of passengers. Conventional design of the sub-frame comprises 22parts, and it requires quite complicated production processes. In this papers, the sub-frame is designed with TWB(Tailor Welded Blanks) to improve stiffness, to reduce weight and to simplify the manufacturing process. To design the proper structure, structural analysis and crash analysis are executed about the conventional design and TWB applied design. A prototype TWB applied sub-frame is manufactured using mash-seam welded TB(Tailored Blanks). Comparing with the conventional sub-frame, the TWB applied sub-frame has 30% weight reduction and 17% increasement of structural stiffness in average.
Keywords : Finite Element Analysis(유한요소해석), Sub-frame, TWB(Tailor Welded Blank), Passenger car (승용차), Moment of inertia(관성2차모멘트)

1. 서 론

승용차용 sub-frame[1]은 선진 각국에서 승객 안전성 향상을 위하여 자동차에 충돌에 대한 각종 법규강화에 대비할 목적으로 장착하고 있고, 이로 인한 강성확보를 위하여 우물정(井)자 형상을 지닌 제품으로 설계되고 있다. Sub-frame은 주행시 노면의 불균일함으로 전달되는 진동과, 급정지·출 발시 엔진의 회전방지, 충돌 시 승객 룸 공간의 확보를 통한 승객 보호 등을 위하여 새로운 규격에 적합한 승용차 부품생산을 위해 업체에서 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다. Sub-frame은 22개의 부품으로 구성되어 있으므로 새로운 기술을 적용 생산이 가능 할 경우 공정감소, 경량화, 강성향상, 소재수율 증가, 공정수 감소 등으로 인하여 생산원가 절감 등의 많은 효과를 기대할 수 있다.

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 소비재 부품 등에도 널리 쓰이고 있다. 승용차 부품 중 프레스를 이용한 판재 성형법에 의한 제품은 여러 부품이 결합된 형태의 단품으로 제작·사용되기 때문에 각 부품은 용접을 이용하여 결합을 하게 된다.

과거 40년 동안 두께가 비교적 적은 구조물사이의 연결은 주로 점(spot)용접에 의한 방법이 많이 사용되어 왔다. 최근에 이러한 구조물의 용접에는 열 영향부, 용접강도, 용접속도 및 작업의

bhjeon@mail.induk.ac.kr

용이성에 대한 유용성에 의해 레이저 용접 방법이 도입되고 있다. 이러한 레이저 용접 방법은 크게 두 가지로 구별되며 하나는 과거에 사용된 점용접의 대체용으로 사용하는 것이며 다른 하나는 Tailor Welded Blanks(TWB)[2~4]로 사용하는 것이다.

기존의 자동차용 제품의 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. 이때 용접방법에 따라 레이저 용접과 메쉬심(Mash seam) 용접으로 구분되기도 한다. 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 이유로는 소재에 따른 용접의 어려움, 용접선의 이동에 따른 성형의 어려움과 용접부의 강도평가에 관한 연구 부족, 그리고 금형 설계의 어려움 등이 있다. 이에 대한 TWB의[5~7]체계적인 연구는 국내외적으로 다양한 형태로 연구되고 있고, 현재 국내 자동차업체에서 일부 부품에(sub-frame, center floor panel, B-pillar 등) 적용하고 있다.

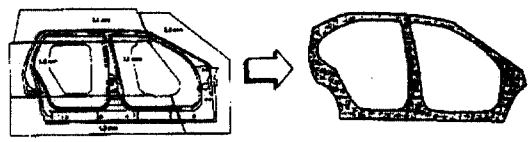


Fig. 1. Basic Diagram in TWB (Body Side Panel)

본 연구에서는 운행 중 엔진을 지지하는 부품이며, 그 강성은 굽힘의 효과가 지배적인 sub-frame을 단면2차 모멘트를 이용하여 설계하였다. 강성평가로는 sub-frame 부품의 유한요소 구조해석, 에너지 흡수율과 지지력(barrier force)은 FMVSS 208 규정에 따른 충돌해석을 하여 설계된 제품을 평가하였다. 이러한 평가 기준을 토대로 각 부품의 강성향상, 경량화, 공정감소 및 해석기법에 관하여 연구하였다. 본 논문에서는 승용차용 sub- frame의 각 부품에 대하여 brake,

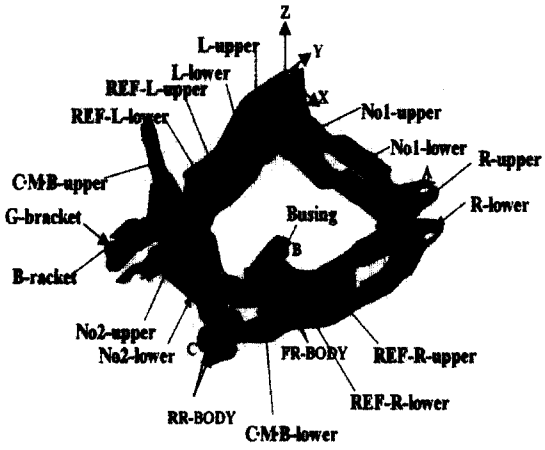


Fig. 2. Sub-frame of passenger car

Table 1. Structural analysis model

	No. 1 Thickness (mm)	No. 2 Thickness (mm)	Left Thickness (mm)	Right Thickness (mm)	No.2 Shape
non-TWB Thickness	2.3	2.0	2.3	2.3	Arch
	2.3	2.0	2.3	2.3	Flat
T W B Thickness	2.3	1.4	2.3	2.3	Arch
	2.3	1.6	2.3	2.3	Arch
	2.3	2.0	2.0	2.0	Arch
	2.3	2.0	2.6	2.6	Arch
	2.3	2.0	3.0	3.0	Arch

curve, bump, belgian road의 4가지 하중조건을 적용하여 TWB를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 또한 각 부품의 두께를 변화하여 강성향상 및 경량화 영향을 정량적으로 평가하였다.

2. 구조해석

승용차용 sub-frame은 크게 22개의 부품이 모여 하나의 구조물로 완성되며, 차체 구조물에서 엔진을 지지하고 충돌시 에너지를 흡수하여 승객을 보호하는 역할을 하고 있다. 최초의 sub-frame의 형태는 center member와 cross member의 형태로[1] 조립된 T-type이었으나 자동차 안전 기준이 강화되면서 우물 정(井) 형태로 바뀌어 가고 있는 추세이며 특히 많은 부재들로 이루어져 있어 상호간의 결합의 형태도 복잡하다.

본 논문에서는 sub-frame을 각 부품별로 조합하여 유한요소 모델을 구성하였으며 이를 Fig. 1에 나타냈다. TWB 적용성 평가를 위하여 탄성 구조해석을 수행하였으며, No. 1, No. 2, left, right의 두께에 따른 6가지 경우에 대하여 유한요소해석을 수행하였다.

Table 2. No. of Element and Node

		No. of node	No. of element	Thick. (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 (2EA)	90	72	
Reinf.	U-plate (2EA)	1137	1247	2.6
	B-plate (2EA)	1294	1294	
Center Member	U-plate (2EA)	298	126	2.0
	B-plate (2EA)	240	258	
	Bush (2EA)	112	289	
G-point Bracket (2EA)		432	382	2.6
Total		9710	8819	

Table 3. Material properties

	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	K (MPa)	n	R	ν
SAPH38-P	276.91	501.84	629.60	0.184	1.030	0.29
SAPH41-P	315.27	518.93	669.07	0.165	1.168	0.29

또한 부재의 형상 변경에 따른 변형특성을 파악하기 위하여 Non TWB인 경우 No. 2의 형상을 Arch 및 Flat인 경우에 대하여 모델을 선정하였으며 이들의 계산 모델과 각 부재의 두께는 Table 1과 Table 2와 같다. 해석에 사용된 소재는 SAPH38-P와 SAPH41-P로서 일반적인 자동차 구조용 열연압연강판이다. 이 소재의 인장시험을 통하여 Table 3과 같은 소재의 물성치를 얻었다.

경계조건은 완성차업체에서 엔진 및 각종부품 이정상상태에서 조립되어 작동될 경우에 해당부분에서 직접 측정된 값을 사용하였다. 측정된 각 부분의 경계조건을 Table 4에 나타내었다.

Sub-frame 단품해석을 위한 유한요소 모델의 경계조건은 Fig. 3에서 보이듯이 A, B, C 부분은 x, y, z 방향의 변위를 구속하였으나 회전이 가능하도록 하였다.

하중조건으로는 승용차가 35mph로 진행을 하다가 급제동 시 감속비 약 0.8G에 해당하는 경우인 brake, 주행 중 좌측으로 회전할 경우의 curve, 주행도중 bump를 통과할 경우 및 비포장길(belgian)을 주행할 경우의 4가지이며 Table 4에 이들 하중조건을 나타내었다. 이들의 하중조

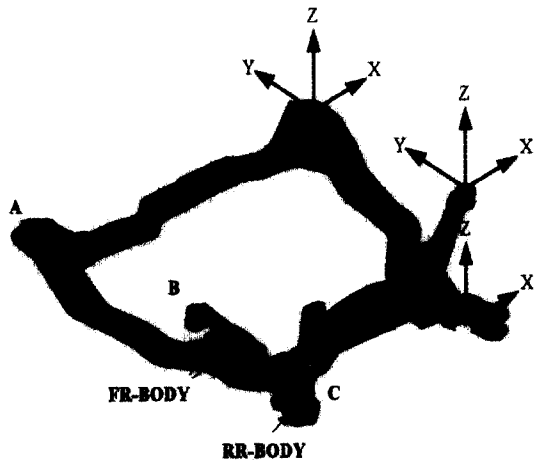


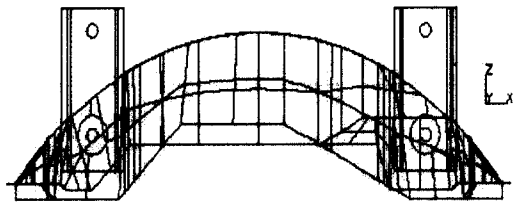
Fig. 3. Boundary conditions

Table 4. Force Boundary Conditions

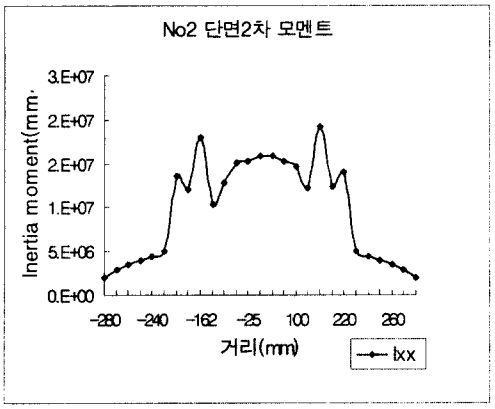
		Brake	Curve	Bump	Belgian Road
Fx	FR-body	-639.6	-58.2	-134.0	-334.6
	RR-body	-220.1	-7.8	-49.7	-119.1
Fy	FR-body	-1191.1	594.6	-660.5	-952.1
	RR-body	977.0	3.8	185.7	494.5
Fz	FR-body	87.1	277.9	279.2	141.1
	RR-body	80.7	0.5	39.8	106.2

건은 각 주행조건을 MADIMO를 이용한 시뮬레이션 결과를 이용하여 각종 규제하중치중 최대하중 값을 사용하였다.

Fig. 2에서 보이는 좌측부품(FR-body), 우측부품(RR-body)에는 힘의 실제현상과 유사한 조건의 경계조건을 부과하기 위하여 강체 요소를 사용하여 엔진의 무게중심부에 하중을 부과하였고, 강체요소들의 반력이 sub-frame에 가해지도록 하였다. 부품별 용접처리는 일반적으로 용접부 재질의 항복강도가 일반재질에 비해 2.5~3



(a) Cross-section of No. 2 part



(b) Moment of inertia

Fig. 4. Moment of inertia at No. 2

배정도 높다고 알려져 있으므로 구조해석시 강체요소를 이용하여 간접적인 용접 효과를 부여하였다.[8]

자동차의 차체 및 샤시 부품은 굽힘하중 또는 모멘트를 주로 받고 있으므로 설계시 이를 고려하여야 한다. 따라서 No. 2 부재의 형상을 결정하기 위하여 기존 모델의 강성을 평가하고, 이를 이용하여 신 모델을 설계하기 위하여 각 단면에서의 단면 2차 모멘트를 계산하였으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 이 결과 계산된 단면 2차 모멘트는 비슷하나 그 형태가 유일하게 존재하지 않으므로 정해진 엔진룸 내부의 공간을 고려하여 2가지 경우에 대한 구조해석을 수행하였다.

No. 2 부분의 형상에 따른 구조해석 결과를 Table 5와 Table 6에 나타내었다. 해석결과 Flat 형의 부재가 Arch 형의 부재보다 약 3 % 정도의 강성이 향상되었으며 4가지의 하중 조건에서

Table 5. Results of flat type sub-frame

	Brake	Curve	Bump	Belgian Road
Displacement (mm)	0.497	0.196	0.213	0.328
von-Mises (kgf/㎟)	35.2	12.5	13.6	22.8

Table 6. Results of archt type sub-frame

	Brake	Curve	Bump	Belgian Road
Displacement (mm)	0.519	0.210	0.214	0.338
von-Mises (kgf/㎟)	35.8	12.8	13.6	22.7

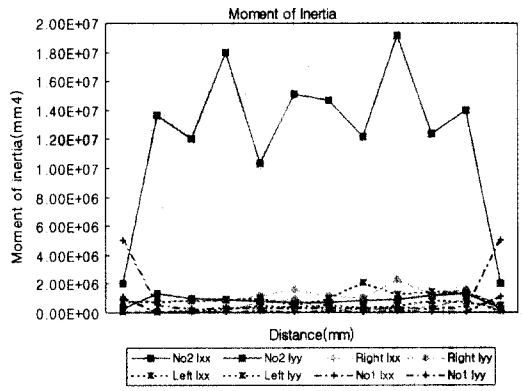


Fig. 5. Moment of inertia each part

비슷한 결과가 얻어졌다. 따라서 No. 2 부분의 부재는 기계적 강성의 측면에서 2가지 형상 중 어느 것을 사용하여도 무방하나 승용차의 경우 조립성 및 충돌시 부재의 강성보다는 엔진룸의 변형특성이 중요하므로 flat보다는 arch를 사용함이 타당하다.

본 논문에서 No. 1 부분은 구조해석 상에서 응력과 변위에 대한 영향이 미소하므로 TWB 적용을 위한 부품으로 선정을 하지 않았으며 각종 부재의 단면 2차 모멘트는 Fig. 5에 나타내었다.

Left와 right의 TWB 적용설계를 하기 위하여 Fig. 5의 결과를 적용하였으며, left 및 right의 부재의 형상 및 두께를 결정하고 이들을 이용하여 유한요소 모델을 선정하였다.

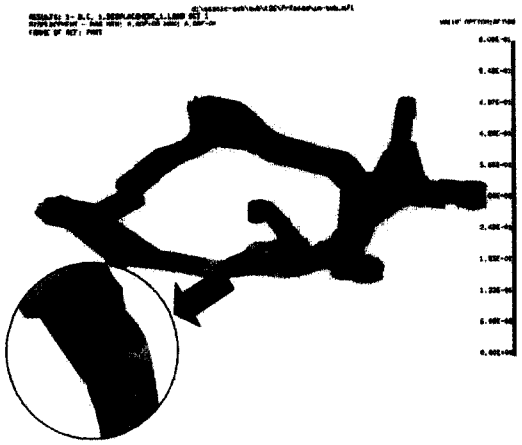


Fig. 6. Displacement distribution (2.6mm)

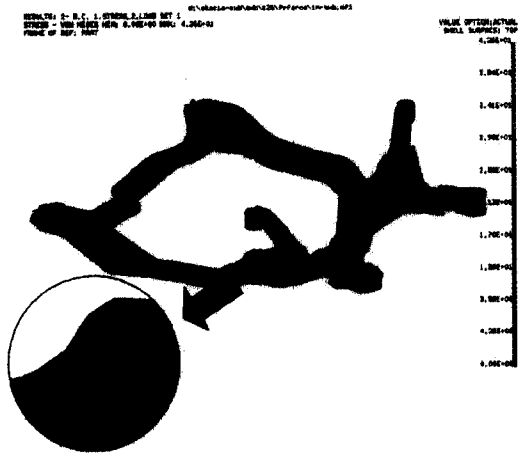


Fig. 7. von-Mises stress distribution (2.6mm)

Fig. 6와 Fig. 7과 같이 유한요소 해석 결과 No. 1과 No. 2에는 영향을 거의 나타내지 않았고, 엔진을 지지하는 좌·우 부재의 하중점에 과대한 변위가 발생하여, 이 부분에서 집중응력이 발생되었다. 이러한 현상은 이 부분에서 상대적인 단면 2차 모멘트가 작아졌을 뿐만 아니라 S자 형상의 외형에서 지지점으로부터 멀리 위치하고 있으므로 구조적으로 가장 취약하기 때문이다.[4] 따라서 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.[9,10]

No. 2의 TWB 적용설계를 위하여 Fig. 5에서 나타낸 단면 2차 모멘트를 이용하여 TWB 적용위치 및 소재의 두께를 선정하였다.

No. 2의 해석 결과 1.4 및 1.6mm인 경우의 최대 변위 및 von-Mises응력은 1 % 정도의 차이가 발생되었으며, 이 부분은 구조적으로 매우 안정된 부분이므로 경량화 및 원가절감을 위하여 두께 1.4 mm의 소재를 사용하는 것이 바람직 할 것이다. 이상의 구조해석 결과를 Table 7과 Table 8에 나타내었다. No. 2의 경량화 및 경량화율을

Table 7. No. 2 analysis result of t=1.4mm

	Brake	Curve	Bump	Belgian Road
Displacement (mm)	0.635	0.303	0.303	0.418
von-Mises (kgf/㎟)	38.7	28.6	25.4	27.2

Table 8. No. 2 analysis result of t=1.6mm

	Brake	Curve	Bump	Belgian Road
Displacement (mm)	0.635	0.303	0.303	0.418
von-Mises (kgf/㎟)	40.7	27.3	28.7	30.2

Table 9. Weight reduction of No. 2

	Arch (2㎜)	Flat (2㎜)	Arch (1.6㎜)	Arch (1.4㎜)
Weight(kgf)	0.98	1.32	0.79	0.69
Weight Reduction (%)	0	34 증가	19.4	29.6

Table 10. Results of right and left parts thickness 2.0 mm

	Brake	Curve	Bump	Belgian Road
Displacement (mm)	0.608	0.282	0.306	0.404
von-Mises (kgf/㎟)	42.6	25.0	24.9	26.9

Table 11. Results of right and left parts thickness 2.6 mm

	Brake	Curve	Bump	Belgian Road
Displacement (mm)	0.791	0.413	0.438	0.532
von-Mises (kgf/㎟)	46.8	36.5	37.2	35.9

Table 12. Results of right and left parts thickness 3.0 mm

	Brake	Curve	Bump	Belgian Road
Displacement (mm)	0.530	0.232	0.258	0.351
von-Mises (kgf/㎟)	40.3	20.4	20.1	25.5

Table 9에 나타내었다. No. 2는 Arch 형인 경우 19.4 %의 경량화가 가능하다.

앞에서와 같이 단면 2차 모멘트 해석을 좌·우 부재에 실시하여 TWB를 적용한 제품의 유한요소해석을 한 결과 두께가 2.0을 기준으로 할 때, 2.6, 3.0 mm로 증가함에 따라 강성이 각각 25 %, 35 % 증가하였다. 좌·우 부재의 TWB 적용모델의 해석 결과를 Table 10, Table 11과 Table 12에 나타내었다.

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. 좌·우 부품해석의 경우 3가지(t=2.0, 2.6, 3.0mm) 모델에 대하여 해석을 수행한 결과 좌측 부분의 중앙부에서 변위 및 집중 응력이 발생하였다. 이러한 결과는 정면충돌이나 off-set 충돌 시 sub-frame의 변형모드를 조절하기 위하여 인위적인 취약부 설계를 한 것으로 고려되며, 이러한 효과는 충돌시 엔진이

Table 13. Weight reduction of left & right member

		Non TWB	t=3.0 mm	t=2.6 mm	t=2.0 mm
Weight (kgf)	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
Weight Reduction (%)	Left	-	22.88	33.15	48.58
	Right	-	27.12	36.83	51.40
	Total	-	24.98	34.98	49.97

승객 룸 안으로 돌출 되는 것을 방지하는데 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.[1)]

이들의 해석 결과 좌·우측 부품의 두께는 6 mm가 기존모델에 비교하여 약 30%의 경량화 효과가 발생되며 강성도 우수함을 알 수 있었으며 이들의 결과는 Table 13에 나타내었다.

구조해석 결과에서 brake인 경우가 변위 및 응력이 가장 높았으며 sub-frame 설계시 기존의 규제치중 이를 기준으로 강성평가를 할 경우 해석시간을 크게 단축할 수 있을 것이며 설계기간 단축 등으로 인한 경제적인 효과가 클 것이라고 판단된다.

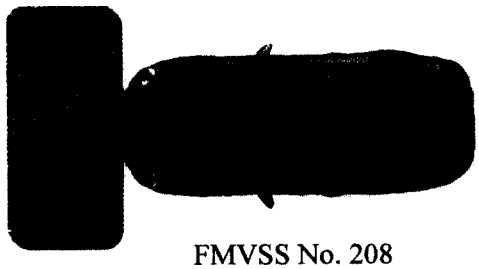
3. 충돌해석

정면충돌의 해석은 탄소성 유한요소해석으로 수행하였다. 사용된 소재의 물성치는 구조해석시와 동일하다. 또한 소재의 유동응력식은 $\bar{\sigma} = K(\bar{\varepsilon})^n$ 을 사용하였다. 여기서 K 는 강도계수, n은 가공경화지수 이다.

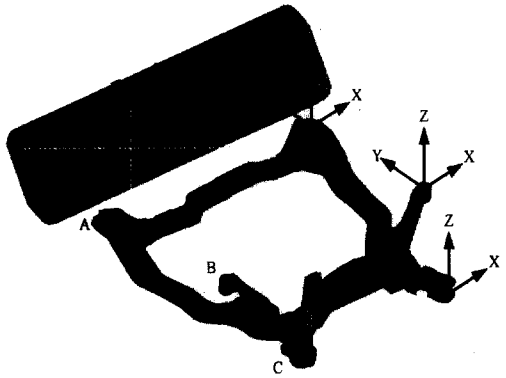
경계조건은 Fig. 8 에서와 같이 다른 부품이 결합되는 A,B 부분을 Z방향으로 구속하였고, C 부분은 모두 구속하였다. 그리고 barrier는 FMVSS 208조의 조항에 맞게 900Kg의 질량을 30m/h (13400mm/s)의 속도로 -Y방향으로 속도 경계조건을 주어 해석을 실시하였다.

해석은 구조해석 시 취약한곳으로 나타난 좌우부품의 하중점에(Fig. 6, Fig. 7) TWB를 적용하여 이 부분의 두께를 2.0mm, 2.6mm 3.0mm의 3가지로 변화시키면서 수행했다.

두께변화에 따른 내부에너지 해석결과를 Fig. 9에 나타내었다.

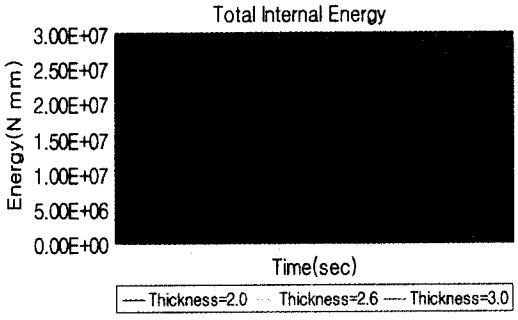


(a) Front Crash

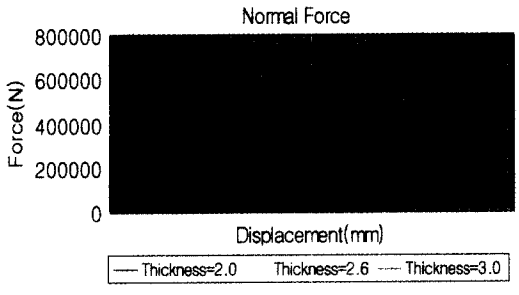


(b) Front Crash of Sub-frame Part

Fig. 8. Front Crash Model



(a) Total Internal Energy



(b) Barrier Force

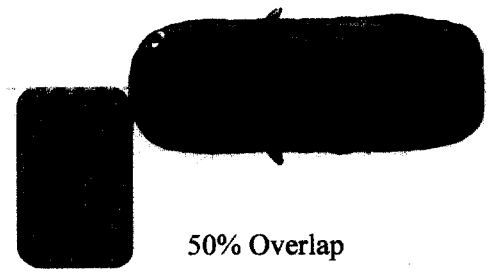
Fig. 9. Results of Front Crash Simulation

에너지 흡수량은 2.0mm의 소재를 사용한 경우가 2.6mm를 사용한 경우보다 더 높은 결과를 나타내고 있다. 이는 변형도중 부품자체의 접촉(self contact)으로 인해 접촉면적이 증가하여 넓은 영역에서 소성영역이 발생했기 때문이다. 이러한 현상은 충돌부재의 변형특성에 따라 발생된다. Barrier force는 소재의 두께 증가에 따라 함께 증가하였다.

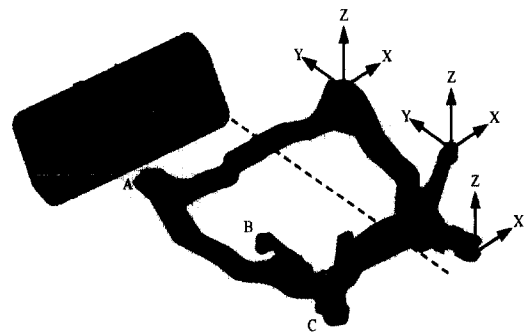
Offset 충돌은 자동차 안전에 대해 가장 중점적으로 수행되고 있는 충돌 시험[1]이며, 인체의 상해치와 밀접한 관계를 가지고 있다. Offset 충돌 경계조건을 Fig. 10에 나타내었다. 질량과 속도 경계조건, 소재의 두께는 정면충돌과 같다.

해석결과 두께가 두꺼울수록 에너지 흡수를 많이 하였으나, 그 편차는 매우 작았다. 이는 굽힘에 대한 저항력은 소재의 두께보다는 단면의 형상에 많은 영향을 받기 때문이다. 따라서 제품설계에 있어서 형상설계가 중요하다는 것을 알 수 있다.[11]

Barrier force 는 두께가 3.0mm인 경우가 가장 높게 나타났다.(약 2.6배) 하지만 기존부품에 비해 강성이 지나치게 높아지면, 부품간에 균형이



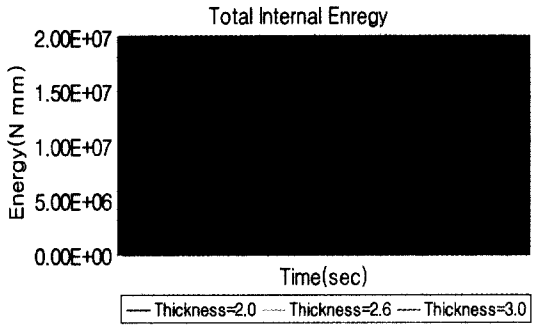
(a) Offset Crash



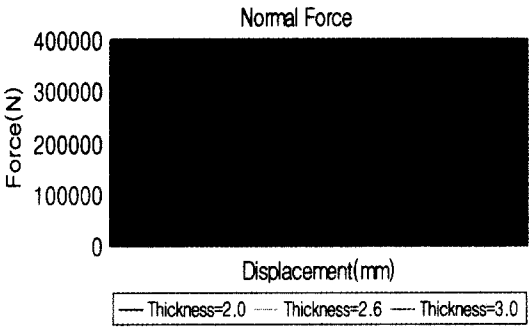
(b) Offset Crash of Sub-frame Part

Fig. 10. Offset Crash Model

맞지 않게 되므로 과도한 강성향상은 피하는 것이 좋다. 따라서 해석 결과로는 2.6mm의 소재를 사용하는 것이 적합할 것으로 판단된다. Fig. 11에 offset 충돌 해석결과를 나타냈으며, Table 14에 각 충돌해석 결과의 barrier force를 나타내었다.



(a) Total Internal Energy



(b) Barrier Force

Fig. 11. Results of offset Crash Simulation

Table 14. Results of Crash Simulation

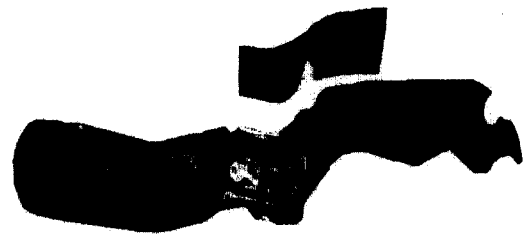
	Thickness (mm)	Barrier Force (KN)
정면충돌	Non TWB	92
	2.0	233
	2.6	258
	3.0	251
Offset 충돌	Non TWB	49
	2.0	115
	2.6	118
	3.0	129

4. 시제품 제작

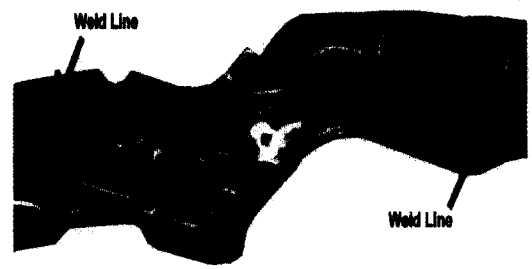
연구 결과의 현장 적용성을 판단하기 위해 실제 제품에 TWB를 적용하여 시제품을 제작하였다.

메쉬심 용접을 사용한 소재를 이용하여 제작하였고, Fig. 12(a)는 제작된 sub-frame의 좌측 부품이다. 윗부분의 작은 부품은 기존 제품(Non TWB)에서 사용된 보강판을 나타낸다. Fig. 12 (b)는 확대하여 용접선을 나타내고 있다. 용접선의 선정은 Fig. 5에서 나타난 단면2차 모멘트의 분포와 구조해석과 충돌해석 결과를 적용하였다. 하중점 부근에서 안전도가 떨어지므로 이 부위에 용접선을 선정하여 강성을 향상하고, 단면 2차 모멘트의 분포에 따른 소성힌지를 구성하여 충돌시 안전도 향상을 도모했다.

보강판은 3개의 부품으로 구성되어 있다. TWB를 적용함으로서 기대되는 효과는 보강판에 해당하는 3개의 부품이 감소되고(좌우 6개의 부품 감소), 이에 수반되는 공정이 줄어든다. 보강판을 제작하기 위한 금형과 용접 및 조립 등 여러 가지 공정이 줄어드는 효과를 가져온다. 또한 강성이 향상되므로 안전도에 기여한다. 뿐만 아니라 부품의 감소에 의한 중량감소와 제품의 단가 하락 등 여러 가지 부대 효과가 기대된다.



(a) Left Member and Reinf.



(b) TWB Part

Fig. 12. TWB Applied Left Member

5. 결 론

본 논문에서는 TWB 기술을 적용한 승용차용 sub-frame 부품의 유한요소 구조해석을 통하여 각 부품의 강성향상, 경량화 및 해석기법에 관하여 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) No. 2 부분의 flat형상과 arch형상에 대한 구조해석 결과 변형특성을 고려할 때 flat보다는 arch를 사용함이 타당하다. 또한 TWB를 적용한 arch 형인 경우 19.4 %의 경량화가 가능하다.

(2) 좌·우측 부품의 두께는 2.6 mm가 기존의 Non TWB 모델에 비교하여 약 30%의 경량화 효과가 발생되며 강성의 경우도 우수하였다.

(3) 구조해석 시 하중조건 중 brake인 경우가 변위 및 응력이 가장 높았으며 sub-frame 설계 시 이를 기준으로 강성평가를 수행하면 설계기간 단축 등으로 인한 경제적 효과가 클 것이라 판단된다.

(4) 충돌해석 결과 전방충돌시 12.6%, off set 충돌시 22.8%의 강성증가가 나타났다.

(5) 시제품을 제작하여 그 적용 가능성을 평가하였다.

(6) 향후 TWB 성형 시 용접선의 이동과 용접부 평가에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글 : 이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원된 것으로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1) 전병희, 김낙수, 이형일, "Shell형 경량 Suspension System 개발", 공업기술기반과제, 1997.
2) 전병희, 조홍수, 오수익, June K. Lee "Tailor Welded Blanks를 이용한 S-rail의 성형", 춘계학술대회 논문집, 1997.
3) Kumar Bhatt, Gary Neiheisel "Forming of Tailor-Welded Blanks" 1994 ERC/NSM Report.
4) 오수익, 전병희, 김헌영, "메쉬심 용접판재를 이용한 Side Rail 개발", 중기거점기술개발사업, 1998.
5) ASP Programming "An Overview of Tailored-Blanks and their Technology", 1993.
6) 홍주표, 김헌영, 오수익, "Formability Study on Weld Line Location and Movement of Laser-Tailor Welded Blanks", '97 춘계학술대회 논문집.
7) 김헌영, 최광용, 김관희, 조원석, "레이저 용접 차체의 유한요소 모델링과 성형해석", 춘계학술대회 논문집, 1997.
8) 전병희, "Tailor Welded Blanks의 용접부 기계적 특성 평가 및 승용차용 부품의 설계 기법 연구", 학술진흥재단, 1999.
9) 오수익, 전병희, 김헌영, "레이저 용접판재를 이용한 승용차용 Door Inner Panel 개발", 중기거점기술개발사업, 1998.
10) 오수익, 전병희, 김헌영, "레이저 용접판재를 이용한 Floor Panel 개발", 중기거점기술개발사업, 1998.
11) 오수익, 전병희, "Tailor Welded Blanks를 이용한 차체설계 기준연구", 한국자동차공학회, 1997.