

## 고강도 강판 적용에 의한 차체 프론트 사이드 멤버의 경량화에 관한 연구

이상곤\*, 고대철\*\*, 김병민#

### A Study on Weight Reduction of Front Side Member with Application of High Strength Steel

Sang-Kon Lee\*, Dae-Cheol Ko\*\*, Byung-Min Kim#

#### ABSTRACT

This paper is concerned with the weight reduction of front side member of a vehicle considering the application of high strength steel sheet. The influence of steel sheet grade and thickness on the energy absorption, impact load and deformed shape of front side member is investigated by using reverse engineering and FE-analysis. The reverse engineering is applied to obtain 3D model of front side member from B.I.W for the FE simulation. FE analysis is carried out with commercial crash analysis S/W PAM-CRASH. The crashworthiness of front side member is considerably improved with steel sheet strength and thickness increase. From the result of this study the weight reduction in automotive parts for the improvement of the fuel efficiency can be easily achieved with replacing high strength steel without deterioration of crashworthiness.

**Key Words** : Crash analysis(충돌해석), Steel sheet grade and thickness(강판 재질 및 두께), Energy absorption(에너지 흡수), Impact load(충격 하중), Reverse engineering(역공학), FE analysis(유한요소해석)

#### 1. 서론

환경오염이 사회적으로 중요한 이슈로 부각되면서 자동차 업계에서는 배기가스 저감 및 연비 향상에 많은 관심을 가지게 되었으며, 특히 최근에는 차체 경량화를 통한 차량의 연비감소로 환경오염을 억제하는데 많은 노력을 기울이고 있다.<sup>1</sup> 차체 경량화를 위해서는 사용 강재의 두께를 줄이는 것이 주요한 수단이다. 그러나 차체 경량화의 경우

교통 환경의 변화와 차량의 증가에 따른 자동차 사고 유형의 변화를 고려하여 충돌 안전성을 확보할 수 있도록 수행되어야 한다.

차량의 충돌 시 전체 충돌에너지의 약 35% 정도는 프론트 사이드 멤버에 의해 흡수된다.<sup>2</sup> 프론트 사이트 멤버는 차량의 중간 및 앞부분의 차체를 지탱해주는 역할을 하는 동시에 충돌 안전성과 밀접한 관계가 있는 부품으로 단순한 경량화뿐만 아니라 구조 및 강도상의 문제와 조립되는

☞ 접수일: 2006년 4월 12일; 게재승인일: 2006년 7월 26일

# 교신저자: 부산대 정밀정형 및 금형가공 연구소

E-mail: [hmkim@pusan.ac.kr](mailto:hmkim@pusan.ac.kr), Tel. (051) 510-2319

\* 부산대 대학원 정밀기계공학과

\*\* 부산대 동남권부품소재산업협력혁신 연구소

상관 팬널과의 관계를 고려해야만 하는 매우 중요한 부품이다.<sup>2</sup>

지금까지 단순 단면형상의 충돌 부재에 대한 충돌연구는 많이 수행되었다.<sup>3-6</sup> 본 연구에서는 실차에서 추출한 프런트 사이드 멤버에 대하여 적용 강판의 재질 및 두께에 따른 충돌 특성을 평가하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 먼저 역공학(Reverse engineering)을 이용하여 실차 프런트 사이드 멤버에 대한 3D 모델을 확보하였으며, 실제 프런트 사이트 멤버에서 서브 사이즈의 인장시편을 추출하여 그 물성치를 확보한 후 충돌해석을 수행하였다. 충돌해석은 충돌전용 상용 유한요소해석 프로그램인 PAM-CRASH<sup>7</sup> 를 이용하였다. 차체 경량화의 일환으로 프런트 사이드 멤버에 대하여 60DP, 60TRIP 고강도강판에 대하여 두께변화에 따른 충돌특성을 평가하여 실제 적용된 강판 대비 경량화 효과를 평가하였다..

## 2. 역공학을 이용한 프런트 사이드 멤버의 3차원 모델링

Fig. 1 과 2 에 본 연구에서 적용한 실차 프런트 사이드 멤버를 나타내었다.

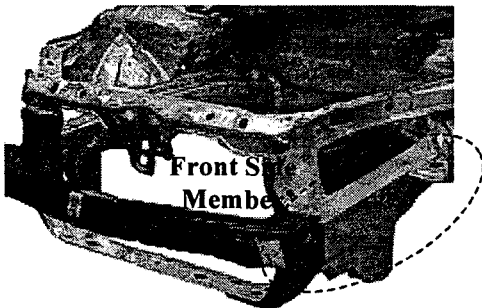


Fig. 1 B.I.W(Body In White)

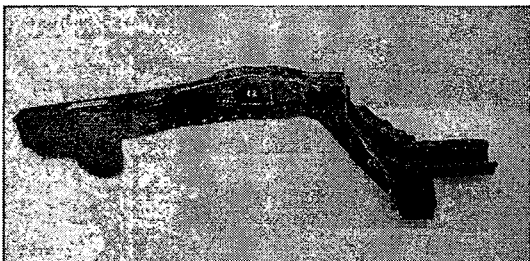


Fig. 2 Front side member

본 연구에서는 Fig. 2 와 같이 실제 프런트 사이드 멤버를 차량의 BIW 에서 분리한 후 3 차원 레이저 스캐닝에 의한 역공학을 이용하여 충돌해석에 필요한 3 차원 CAD 데이터를 확보하였다.<sup>8</sup> Fig. 3 과 Table 1 에 레이저 스캐닝 역공학으로 확보한 프런트 사이드 멤버의 부품과 각 부품명을 나타내었다.

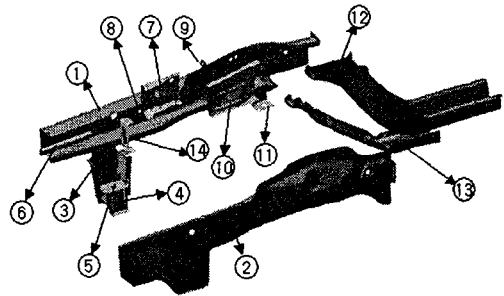


Fig. 3 Front side member

Table 1 Part name of front side member

No.	Part Name
1	Side outer
2	Side inner
3	Lower bracket
4	Lower mount bracket
5	Lower mount boss
6	FR reinforce bracket
7	Inner boss mount boss
8	Inner RR mount boss
9	Inner FR mount boss
10	Inner mount base bracket
11	RR mount bracket
12	Member outer
13	Member outer reinforce
14	Inner reinforce bracket

## 3. 프런트 사이드 멤버의 충돌해석

### 3.1 충돌해석 모델

본 연구에서는 프런트 사이드 멤버 부품 중 충돌 특성에 가장 큰 영향을 미치는 Side inner 와 Side outer 에 대한 충돌 해석을 수행하였다. Fig. 4 에 충돌해석 적용 모델을 나타내었다.

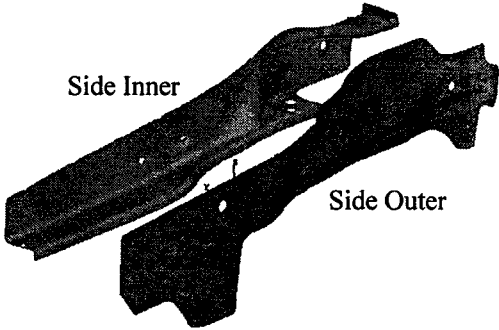


Fig. 4 Side inner and side outer

### 3.2 적용 강판의 물성치 평가

Table 2 에 충돌해석 시 적용된 강판의 재질 및 두께를 나타내었다. 실제 사용된 프런트 사이드 멤버의 재질은 경도측정과 인장시험을 통하여 평가하였다.

Table 2 Steel sheet grade and thickness

No.	Part		Remark
	Side inner	Side outer	
1	HS45(t:2.0)	Mild(t:2.0)	Original
2	60DP	60DP	t : 1.4~2.0
3	60TRIP	60TRIP	t : 1.4~2.0

충돌 해석에 필요한 강판의 물성치는 실제 프런트 사이드 멤버에서 서브 사이즈의 인장시험편을 채취하여 물성치를 확보하였다. Fig. 5 에 충돌 해석에 적용한 Side inner 와 Side outer 의 응력-변형률 선도를 나타내었다.

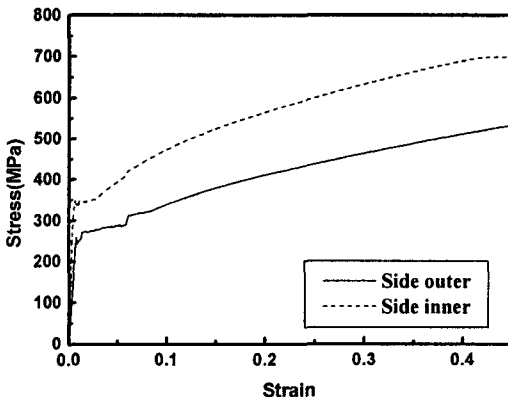


Fig. 5 Stress-strain curve of side inner and outer

차량의 경량화 및 충돌 안전성을 향상시키기 위해서는 강도가 높은 재료를 사용하여 자동차를 제조해야 한다. 특히 자동차 전체 중량의 30% 정도를 차지하는 강판의 고강도화는 차량의 경량화에 있어 매우 중요하다. 높은 강도 뿐만 아니라 다양한 형상의 자동차 부품을 성형하기 위해서는 우수한 성형성도 요구 되는데 DP 혹은 TRIP 강은 이러한 요구에 부응하는 재료로서 현재 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>9-10</sup> 따라서, 본 연구에서는 자동차 경량화 및 충돌 안전성 향상을 위하여 60K 급 DP 및 TRIP 강에 대해 두께에 따른 충돌해석을 수행하여 실제 프런트 사이드 멤버의 물성치를 적용한 경우와 충돌 해석결과를 비교하였다. Fig. 6 은 인장시험을 통해 확보한 60DP 및 60TRIP 강의 응력-변형률 선도이다.

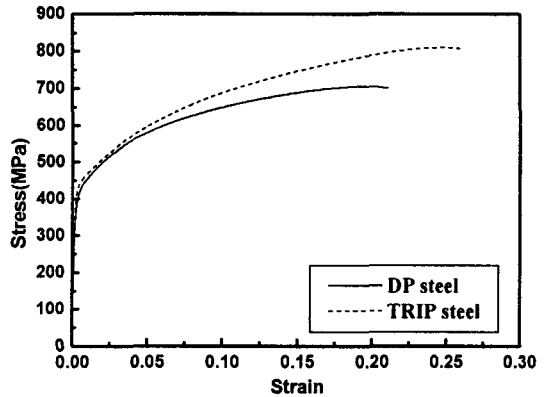


Fig. 6 Stress-strain curve of 60DP and 60TRIP

### 3.3 충돌해석 조건

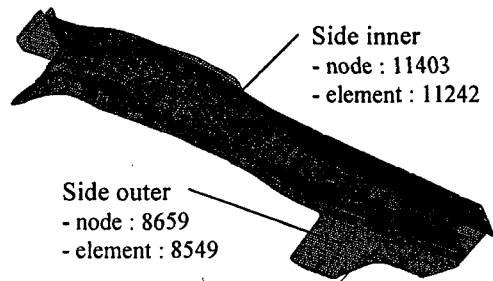


Fig. 7 FE-model of the front side member for crash analysis

충돌해석을 위한 프런트 사이드 멤버의 유한 요소 모델은 Fig. 7 과 같다. 총 19,791 개의 셀요소

와 20,062 개의 절점으로 구성되어 있으며, Side inner 와 outer 는 48 개의 점용접으로 결합되어 있다.

본 연구에서 적용한 프런트 사이드 멤버 충돌 해석을 위한 경계조건은 Fig. 8 에 나타내었다. 차체와 점용접으로 고정된 한쪽 끝단은 고정하고 반대편 끝단에서는 160kg 의 강체가 시속 50km/h 의 속도로 충돌하는 해석을 수행하였다.

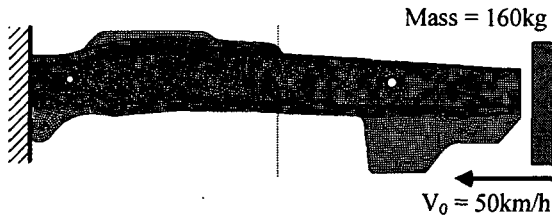


Fig. 8 Schematic diagram for crash analysis

#### 4. 충돌해석 결과 및 고찰

##### 4.1 강판 재질에 따른 해석결과

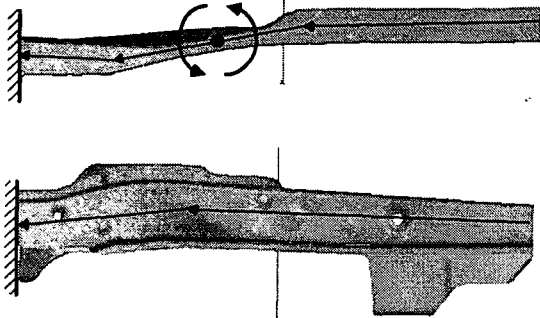


Fig. 9(a) Initial shape of front side member

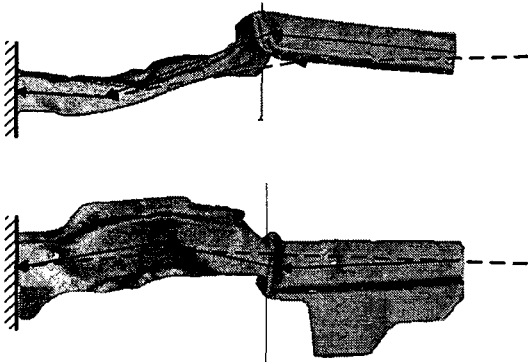


Fig. 9(b) Deformed shape of front side member at 10msec

Fig. 9 는 실제 프런트 사이드 멤버 물성치를 적용한 경우의 충돌 전과 충돌 10msec 후의 변형 형상을 나타낸 것이다. Fig. 9(a)에서 기하학적 형상 및 Side outer 의 전방 플랜지부 등으로 인하여 중앙부에서 모멘트가 증가할 것으로 예상되었으며, Fig. 9(b)의 해석결과에서도 충돌이 시작되는 전반부 접합에 의한 변형보다 중앙부의 굽힘에 의한 변형이 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 이것은 단품에 대한 충돌해석이지만, 충돌 시 프런트 사이드 멤버의 충돌 에너지 흡수를 저하시키는 원인이 될 것으로 사료된다.

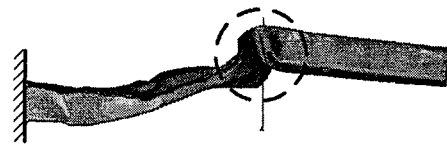


Fig. 10(a) Deformed shape(Original material) at 10msec

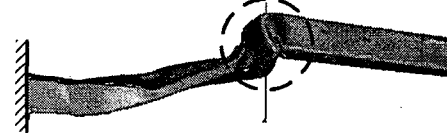


Fig. 10(b) Deformed shape(60DP) at 10msec



Fig. 10(c) Deformed shape(60TRIP) at 10msec

Fig. 10 은 두께 2.0t 강판의 재질에 따른 충돌해석 결과로 10msec 후의 변형 형상을 나타낸 것이다. 기하학적인 형상으로 인하여 재질에 따른 형상 변화는 거의 유사하며 중앙부에서 굽힘에 의한 변형이 주로 발생하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11 은 강판 재질에 따른 프런트 사이드 멤버의 충돌 흡수에너지를 나타낸 것이다. 강도가 높은 60DP, 60TRIP 강을 적용할 경우 동일 두께의 기존 강판에 비해 충돌 흡수에너지량이 높음을 알 수 있다. 충돌에 의한 사이드멤버의 변위에 따른 각 적용 강판에 대한 충돌 흡수에너지량을 Table 3 에 나타내었다. Table 3 에서 알 수 있듯이 기존의 Mild 및 HS45 강판에 비해 60DP, 60TRIP 강을 적용한 경우 충돌 흡수에너지량이 최소 20%이상 향상됨을 알 수 있다.

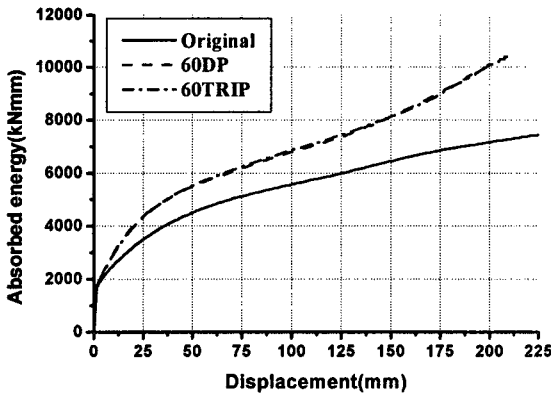


Fig. 11 Absorbed energy with respect to steel sheet grades

Table 3 Absorbed energy(kN·mm) with respect to displacement

Steel grade	Displacement(mm)			
	50	100	150	200
Inner:HS45 Outer:Mild	4510	5590	6460	7170
Inner:60DP Outer:60DP	5500	6790	8150	10100
Inner:60TRIP Outer:60TRIP	5530	6880	8130	10100

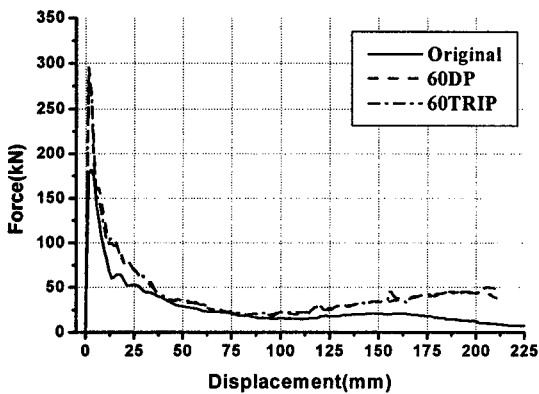


Fig. 12 Impact force with respect to steel sheet grade

Fig. 12 는 강판 재질에 따른 충돌 하중을 나타낸 것이다. 강도가 높은 강판을 적용한 경우가 충돌 하중이 현저히 높으며, 프런트 사이드 멤버의 기하학적 형상으로 인한 중앙부에서의 과도한 굽힘 변형 때문에 충돌 하중은 점차 감소하는 경향

을 나타내고 있다. 따라서, 동일 두께의 강판에 대하여 강도가 높은 강판을 적용할 경우 충돌 안전성 측면에서 보다 유리하다고 할 수 있다.

#### 4.2 강판두께에 따른 해석 결과

동일한 충돌 특성을 갖더라도 적용 강판의 강도를 높일 경우 두께를 감소시킬 수 있으며, 이로 인하여 차체의 경량화에 기여할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 60DP, 60TRIP 강에 대하여 두께를 1.4t 에서 2.0t 까지 0.2mm 간격으로 해석을 수행하여 각각에 대한 충돌 특성을 평가해 보았다.

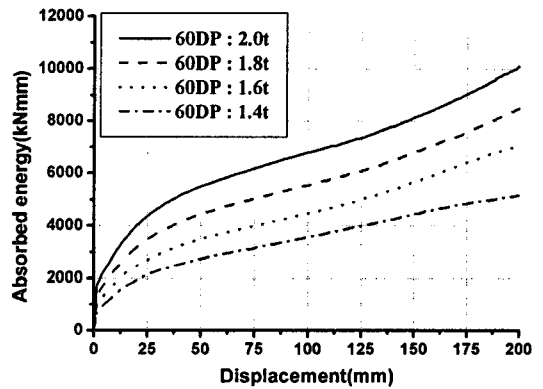


Fig. 13(a) Absorbed energy of 60DP with respect to thickness

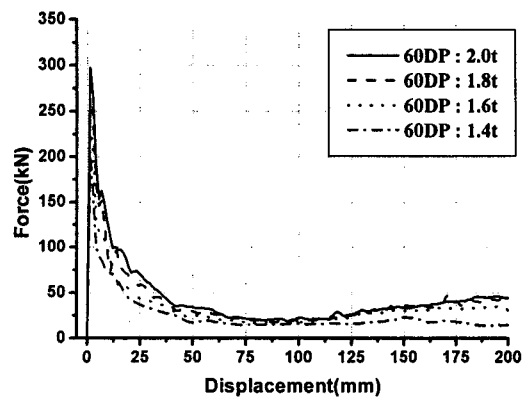


Fig. 13(b) Impact force of 60DP with respect to thickness

Fig. 13 은 60DP 강의 두께에 따른 충돌 흡수에너지량과 충돌 하중을 나타낸 것이다. 동일 재질의 강판에 대하여 두께가 증가할수록 변형에 많은 에너지가 필요하기 때문에 충돌 흡수에너지량과

충돌 하중이 모두 증가함을 알 수 있다.

Fig. 14 는 60TRIP 강 두께에 대한 해석결과로서, 60DP 강 해석결과와 동일한 양상을 나타내었다.

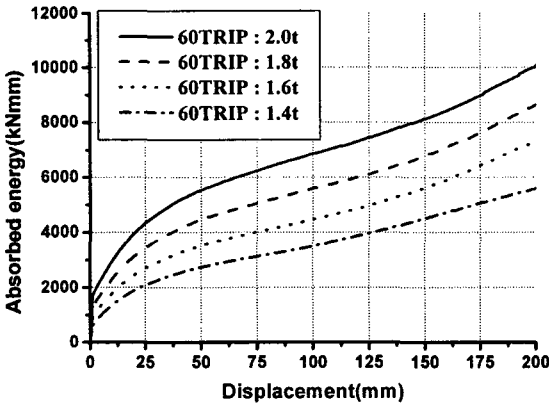


Fig. 14(a) Absorbed energy of 60TRIP with respect to thickness

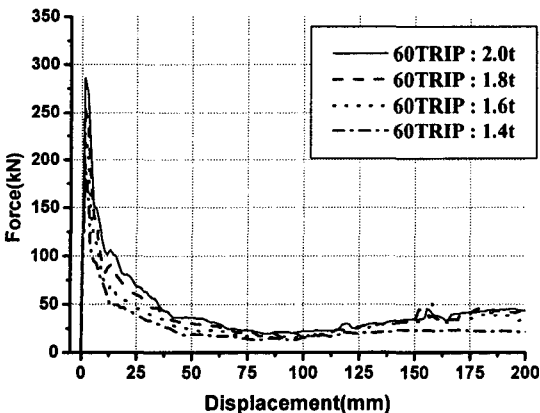


Fig. 14(b) Impact force of 60TRIP with respect to thickness

Fig. 15 는 프런트 사이드 멤버의 실제물성치를 적용한 경우와 60DP, 60TRIP 강을 두께별로 적용한 경우의 충돌 시작 후 150mm 지점에서의 단위질량당 충돌 흡수에너지량을 나타낸 것이다. Fig. 15 에서 Side inner 와 outer 로 60DP, 60TRIP 강을 적용할 경우 Side inner 와 outer 가 각각 HS45 와 mild 급을 적용한 경우에 비해 두께를 2.0t 에서 약 1.425t 까지 감소시켜도 충돌에너지 흡수량이 거의 동일함을 알 수 있다. 따라서 고강도강을 적용할 경우 두

께감소를 통한 차량 경량화가 가능하다는 것을 알 수 있다. Table 4 에 1.425t 의 60DP 혹은 60TRIP 강을 적용할 경우의 경량화 효과를 나타내었다. 60DP 혹은 60TRIP 1.425t 를 적용할 경우 약 29.2% 의 경량화 효과가 있음을 알 수 있다.

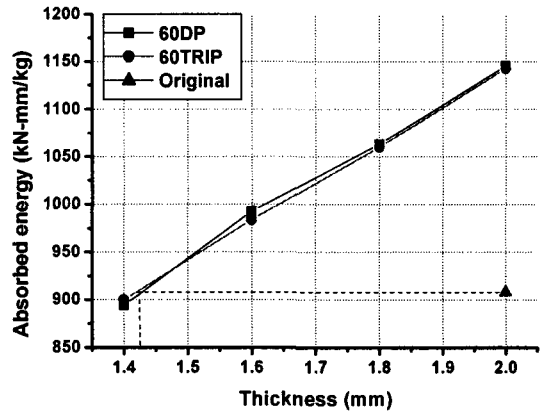


Fig. 15 Comparison of absorbed energy with respect to steel grade and thickness

Table 4 Weight reduction of front side member

	Side inner	Side outer	Weight reduction
Grade	HS45(2t)	Mild(2t)	reference
Weight	7.00kg		
Grade	60DP(1.425t)	60DP(1.425t)	29.2%
Weight	5.04kg		
Grade	60TRIP(1.425t)	60TRIP(1.425t)	29.2%
Weight	5.04kg		

## 5. 결론

본 연구에서는 역공학과 유한요소해석을 이용하여 자동차의 전방충돌 시 대부분의 충돌 에너지를 흡수하는 프런트 사이드 멤버에 대한 충돌해석을 수행하였다. 적용 강판의 재질 및 두께에 따른 충돌 해석을 수행하여 다음의 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 레이저 스캐닝을 이용한 역공학을 적용하여 충돌 해석을 위한 3 차원 모델을 확보할 수 있었으며, 향후 CAE 해석 분야에 유용하게 적용 가능함을 알 수 있었다.

- (2) 프런트 사이드 멤버의 충돌 해석결과 기하학적인 구조로 인하여 붕괴에 의한 변형보다도 중앙부의 모멘트 발생으로 인한 굽힘 변형이 주로 발생함을 알 수 있었다. 이로 인하여 충돌 초기에 급격히 상승한 하중이 굽힘발생 이후 급격히 감소함을 알 수 있었다.
- (3) 동일 두께의 강판에 대하여 강도가 높은 60DP 혹은 60TRIP 강을 적용할 경우 단위질량당 충돌 흡수에너지량이 27%이상 향상되어 충돌 특성이 개선됨을 알 수 있었다.
- (4) 강도가 높은 60DP 혹은 60TRIP 강을 적용할 경우 동일 충돌 흡수에너지량 기준으로 2.0t 두께의 초기 강판을 약 1.425t 까지 감소시킬 수 있으며, 이로 인하여 약 29.2%의 경량화 효과가 있음을 알 수 있었다

High Toughness for Automobile Safety,” KSAE, Vol.8, No.4, pp.141 – 148, 2000.

10. Ryu, S.J., Lee, S.J., Lee, G.H. and Lee, M.Y., “Technical Development using High Strength Steel of TRIP Type on Automobile Parts,” J. of KWS, Vol.20, No.3, pp.302 – 309, 2002.

#### 참고문헌

1. Jo, W.S., Lim, T.W. and Kwon, S.Y., “Light Weight Material for Automobile,” 4<sup>th</sup> Steel Subcommittee’s Symposium of KIM, pp.93 – 105, 1999.
2. Lee, S.H., Jeon, B.H. and Jeon, H.S., “A Study on the Design of Front Side Member for Applied Tailor Welded Blanks,” Transactions of the KSMTE, Vol.10, No.1, pp.51 – 58, 2001.
3. Kim, C.W. and Han, B.K., “Collapse of Thin-Walled Hatted Section Tubes,” KSAE, Vol.2, No.1, pp.65 – 72, 1994.
4. Kim, H.S., Park, S.H., Kang, S.Y. and Han, D.C., “Crashworthiness Improvement of Idealized Vehicle’s Side Rails,” KSAE, Vol.4, No.2, pp.189 – 197, 1996.
5. Cha, C.S., Kang, J.Y. and Yang, I.Y., “Axial Impact Collapse Analysis on Hat-shaped Member by FEM,” J. of KSPE, Vol.17, No.12, pp.129 – 136, 2000.
6. Yamashita, M., Gotoh, M. and Sawairi, Y., “Axial Crush of Hollow Cylindrical Structures with Various Polygonal Cross-Sections Numerical Simulation and Experiment,” J. of Mat. Process. Tech., Vol.140, pp.59 – 64, 2003.
7. PAM SYSTEM International S.A., PAM-GENERIS™ Reference Manual, 2000.
8. <http://steinbichler.de>
9. Lee, K.Y., “The Mechanical Properties and Characteristics of TRIP-assisted Multiphase Steels in