

# 전방 차체의 정면 충돌성능 향상을 위한 범퍼 스테이 설계

강성종\*

## Bumper Stay Design for Improving Frontal Crash Performance of Front Body

Sungjong Kang\*

*Key Words* : Front side member(프런트 사이드 멤버), Bumper backbeam(범퍼 백빔), Bumper stay(범퍼 스테이), Reinforcement thickness(보강재 두께), Bead(비드), Octagon section(팔각형 단면)

### ABSTRACT

Front side member of the front impacted vehicle plays a key role in minimizing the impacting load transferred to the compartment. To perform that required function, axial collapse should be dominant during side member crashing and, prior to designing side member, it is crucial to minimize bending moment occurred at the front end. In this study, for FE model of a SUV front body, front impact analyses were carried to find out bumper stay design which effectively develop axial collapse in the side member. As a previous work, the thickness of side member reinforcement were changed. Next, the inner thickness of bumper stay was increased. Also, the bead shape and location were modified. Final front body model showed much more axial collapsed mode and enhanced crash performance. In addition, a stay of octagon section was adopted and that model exhibited distinctive increase in impact energy absorption.

### 1. 서론

고속 정면충돌 시 충돌력의 60-70%가 작용하는 프런트 사이드 멤버(front side member, FRT S/MBR)는 실내로의 충격력 전달을 최소화하기 위해서 변형가능 공간에서 소성변형에 의해 최대한의 충돌에너지를 흡수하도록 설계되어야 한다.<sup>(1,2)</sup> 그러나 정면충돌 시 범퍼 중앙부의 굽힘변형으로 인해 사이드 멤버에 차량 중앙부로 횡력이 작용하게 되고 멤버에 굽힘붕괴가 발생되어 충돌성능을 저하시키게 된다. 압축붕괴를 최대한 유도하기 위해 사이드 멤버에 비드 추가 및 보강재 최적 배치 기술이 적용되고 있으나 충돌성능 향상에 한계가 있다.<sup>(3)</sup> 따라서, 전방 차체의 설계단계에서 사

이드 멤버에 작용하는 굽힘모멘트를 최소화하여 압축 붕괴가 유도되도록 사이드 멤버 전방부에 작용하는 하중의 종류와 방향을 조절하는 설계기술이 중요하며 범퍼 백빔(bumper backbeam)의 굽힘강도 확보와 범퍼와 사이드 멤버 사이에 위치한 범퍼 스테이(bumper stay)의 형상 최적화에 의해 사이드 멤버에 작용하는 굽힘모멘트를 최소화해야 한다.<sup>(4,5)</sup> 본 연구에서는 SUV 전방 차체 모델을 대상으로 먼저 사이드 멤버 보강재 두께(reinforcement thickness) 최적화를 실시하였고, 다음으로 범퍼 스테이 최적화 방안에 대해 연구하였다. 스테이 인너와 아우터 비드칭 두께 적용, 비드(bead) 형상 변화 그리고 팔각형 단면(octagon section)의 스테이를 적용하여 해석을 수행하였다. 충돌성능은 최대하중과 압축변위 300mm까지의 충돌 에너지 흡수성능을 나타내는 평균하중을 검토하였으며 비선형 해석 프로그램인 LS-DYNA를 사용하였다.<sup>(6)</sup>

\* 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부  
E-mail : sjkang@cu.ac.kr

## 2. 기본 모델 해석

### 2.1 해석 모델 구성 및 해석 조건

Fig. 1은 해석 대상 차량의 전방 차체를 나타내며 프론트 사이드 멤버와 범퍼 백빔, 범퍼 스테이 등으로 구성된다. 범퍼 백빔과 범퍼 스테이는 CO<sub>2</sub> 용접되며 프론트 엔드 모듈 마운팅 브라켓을 통해 4곳에 볼트로 체결되어 사이드 멤버에 연결된다.

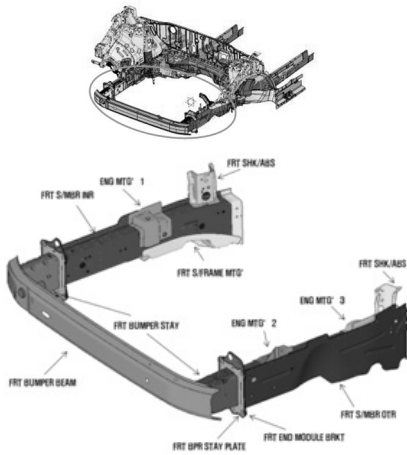


Fig. 1 Front Body

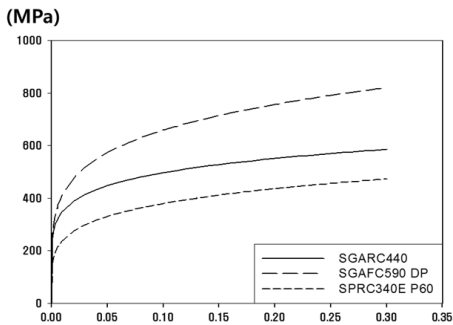


Fig. 2 Material property curves

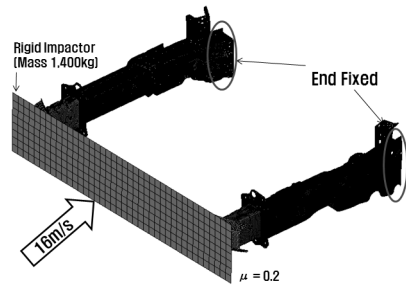


Fig. 3 Analysis model

소재는 사이드 멤버 아우터와 인너에 SGFAC 590 DP, SGARC 440가 각각 적용되었고 스테이는 SPRC 340가 적용되었다. 소재 특성곡선은 Fig. 2와 같다.

Fig. 3은 현 사양인 기본 모델(모델 Base)과 하중 및 경계조건을 나타낸다. 사이드 멤버 직선부 약 720 mm까지 모델링 하였으며 215,000여개의 4절점 셀 요소로 구성하였다. 점용접 부는 실제 용접점 크기를 고려하여 가로 세로 5~6 mm 떨어진 4 절점에서 인너, 아우터를 강체 보요소로 연결하였다.

양 사이드 멤버 끝단 부를 완전 고정하고 전방에 위치한 차량중량을 고려한 1,400 kg의 강체 충돌체 (rigid impactor)에 NCAP 전방 충돌시험 속도 16.0 m/s를 가해 충돌시켰으며 해석에는 인텔 i7 3.4GHz PC 상에서 약 10시간 정도가 소요되었다.

### 2.2 해석 결과

Fig. 4는 기본 모델의 변형 형상을 나타내며 Fig. 5는 하중-변위 선도를 나타낸다. 범퍼 백빔, 범퍼 스테이, 사이드 멤버 앞부분과 중앙부 순서로 붕괴가 발생되었으며 Fig. 4에서와 같이 오른쪽 사이드 멤버 앞부분에서 굽힘붕괴가 조기에 발생하여 이후 하중이 크게 떨어지는 것을 확인하였다. 이는 범퍼 백빔의 굽힘붕괴에 의해 발생하는 횡력에 의해 사이드 멤버 앞부분에 굽힘모멘트가 발생하기 때문이다. 따라서 범퍼스테이와 사이드 멤버 앞부분의 굽힘 변형을 억제시키는 설계가 중요함을 알 수 있다.

Fig. 5에서 1은 범퍼 붕괴, 2는 스테이 붕괴, 3은 사이드 멤버 앞부분 붕괴 그리고 4는 사이드 멤버 중앙부 붕괴를 나타내며 최대하중( $P_{max}$ )과 평균하중( $P_{mean}$ )은 각각 138.63kN, 79.69kN으로 산출되었다.

## 전방 차체의 정면 충돌성능 향상을 위한 범퍼 스테이 설계

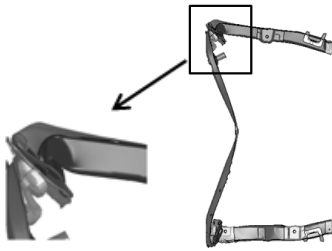


Fig. 4 Deformation at impactor displacement 280mm: Base

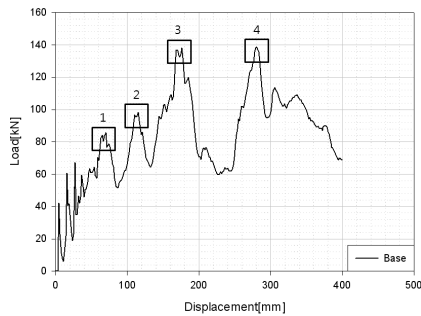


Fig. 5 Load carrying capability: Base

### 3. 사이드 멤버 보강재 두께 변화

프런트 사이드 멤버 앞부분에서 발생하는 초기 굽힘 붕괴를 억제시키고 압축붕괴를 최대한 유도하고자 보강재 두께에 대한 최적안을 검토하였다.

#### 3.1 해석 모델

Fig. 6은 기본 모델의 사이드 멤버 보강재를 나타내며 보강재 두께는 앞(FRT) 0.9mm, 뒤(RR) 1.2mm로 왼쪽(LH), 오른쪽(RH) 사이드 멤버 모두 동일하다. 앞부분의 굽힘붕괴를 지연시켜 압축붕괴를 최대한 유도하기 위해 멤버의 앞 보강재의 두께를 증가시키고 뒤 보강재의 두께를 감소시켜 해석을 수행하였으며 모델 별로 적용한 보강재 두께는 Table 1과 같다.

#### 3.2 해석 결과

Fig. 7은 하중-변위 선도를 나타내며 Table 2는 충돌성능과 중량 변화를 나타낸다. 오른쪽 사이드 멤버의 보강재만 두께를 변경한 경우(모델 REFTH\_A,

REFTH\_B) 상대적으로 약해진 왼쪽 사이드 멤버 앞에서 굽힘붕괴가 심하게 발생하여 평균하중 상승이 미미하였다. 반면, 양 사이드 멤버 보강재 두께를 모두 변경한 경우(모델 REFTH\_C, REFTH\_D) 최대하중과 평균하중이 모두 크게 증가하였다. 모델 REFTH\_D의 경우 중량은 0.22kg 증가하였지만 최대하중과 평균하중이 각각 7.93%, 8.14% 증가하였다. Fig. 8의 변형형상으로부터 기본 모델에 비해 오른쪽 사이드 멤버 앞부분에서 발생했던 굽힘붕괴가 감소하고 대신 압축붕괴가 지배적으로 발생하고 충돌에너지 흡수가 증가함에 의해 평균하중이 크게 향상되었음을 알 수 있다.

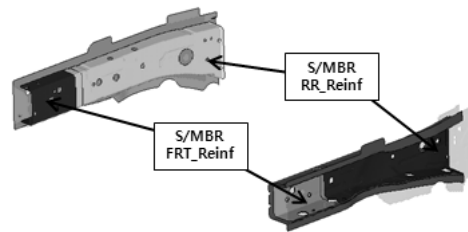


Fig. 6 Reinforcements in front side members

Table 1 Change of reinforcement thickness

Model	RH_Reinf (mm)		LH_Reinf (mm)	
	FRT	RR	FRT	RR
Base	0.9	1.2	0.9	1.2
REFTH_A	1.2	0.9	0.9	1.2
REFTH_B	2.0	0.9	0.9	1.2
REFTH_C	2.0	0.9	1.4	0.9
REFTH_D	2.0	0.9	1.4	1.2

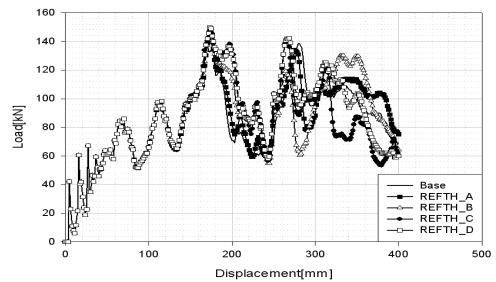


Fig. 7 Load carrying capability: change of reinforcement thickness

Table 2 Analysis results: change of reinforcement thickness

Model	P <sub>max</sub> [kN]	P <sub>mean</sub> [kN]	Weight change [kg]
Base	138.63	79.69	-
REFTH_A	145.20 [+4.74%]	79.69 [0%]	-0.14
REFTH_B	145.68 [+5.09%]	80.45 [+0.95%]	+0.09
REFTH_C	147.77 [+6.59%]	85.15 [+6.85%]	-
REFTH_D	149.62 [+7.93%]	86.18 [+8.14%]	+0.22

※ [ % ] : change rate

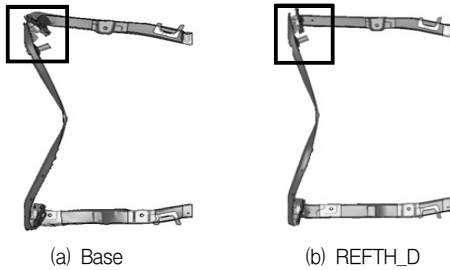


Fig. 8 Deformation at impactor displacement 280mm

## 4. 스테이 두께 변화 및 비드 추가

### 4.1 해석 모델

사이드 멤버의 보강재 두께를 변화시킨 모델 REFTH\_D의 오른쪽 사이드 멤버를 대상으로하여 스테이 인너의 붕괴강도를 증가시키고자 스테이 인너의 두께를 1.8mm에서 2.2mm로 증가시켰다. 또한, 아우터의 압축붕괴를 용이하게 하기 위해 스테이 모서리에 위치한 8개의 노치를 없애고 대신 아우터에 2개의 비드(bead)를 추가하였으며 모델 REFTH\_D의 변형 형상을 고찰하여 뒤쪽 비드를 기존 노치 위치에서 21.5mm 후방 이동시켜 모델 BEAD\_AM을 구성하였다.(Fig. 9)

### 4.2 해석 결과

Fig. 10은 하중-변위를 나타내며 Table 3은 충돌성

능과 중량 변화를 나타낸다. 사이드 멤버 보강재 두께 최적화와 오른쪽 스테이의 인너 두께 보강 및 비드 형상 변경으로 기본 모델 대비 최대하중과 평균하중이 모두 약 12% 증가하였으며, Fig. 11은 오른쪽 스테이에 압축붕괴가 효과적으로 유도됨을 나타낸다.

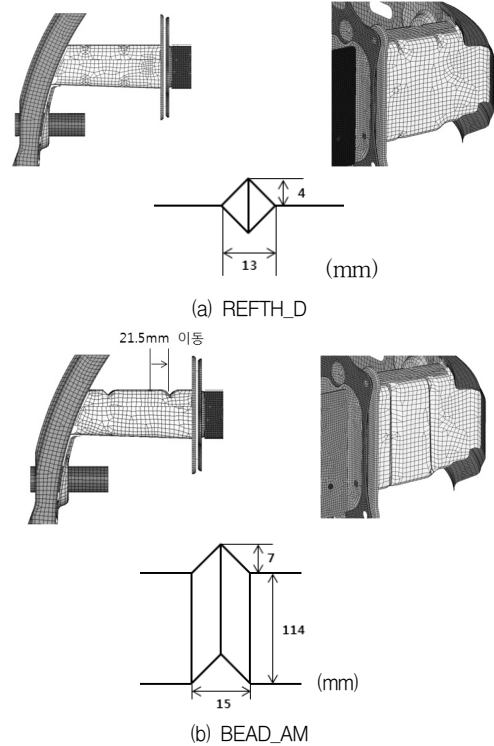


Fig. 9 Change of bead shape and location

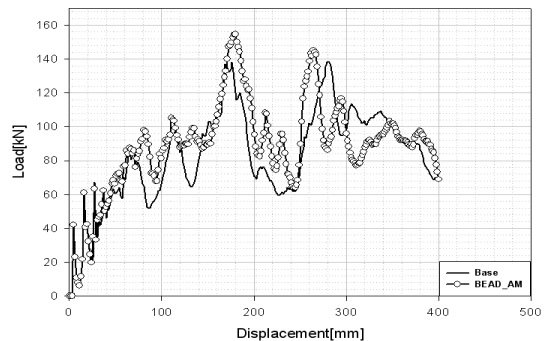


Fig. 10 Load carrying capability: Bead\_AM

Table 3 Analysis results: BEAD\_AM

Model	P <sub>max</sub> [kN]	P <sub>mean</sub> [kN]	Weight change [kg]
Base	138.63	79.69	-
BEAD_AM	154.65 [+11.56%]	89.39 [+12.17%]	+0.31

※ [%]: change rate

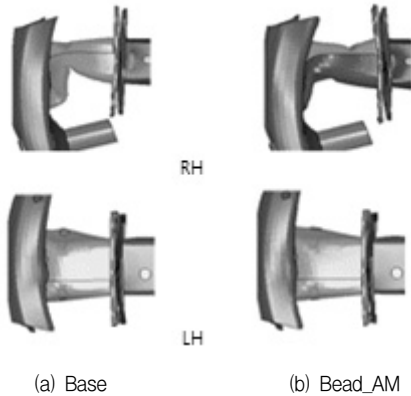


Fig. 11 Stay deformation at impactor displacement 110mm

## 5. 팔각형 단면 스테이 적용

일반적으로 최대하중과 평균하중은 같이 증감하는 경향이 있다. 그러나 최대하중의 경우 어느 한도를 넘게 되면 큰 하중이 차체 후방으로 전달되어 차실을 변형시키고 승객 안전성을 위협하므로 최대하중 증가 없이 최대 충돌에너지를 흡수할 수 있는 구조가 필요하다. 앞서 수행된 직선 부재의 충돌성능 연구결과에서 최대하중 변화 없이 평균하중 향상 효과가 뚜렷하게 나타난 팔각형 단면(octagon section)을 모델 REFTH\_D의 오른쪽 스테이에 적용한 모델(Octagon)에 대해 해석을 수행하였다.<sup>(7,8)</sup>

### 5.1. 해석 모델

Fig. 12는 팔각형 단면의 스테이 형상을 나타낸다. 기존 사각형 단면과 높이, 공간 차지 면적이 거의 같은 팔각형 단면을 스테이에 적용하였으며 인너와 아우터의 두께는 기존 스테이와 같이 1.8mm로 하였다.

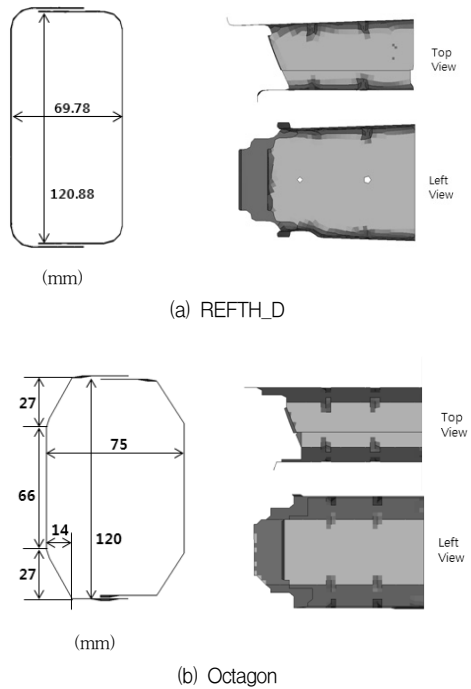


Fig. 12 Octagon section stay

### 5.2. 해석 결과

Fig. 13은 하중-변위 선도를 나타내며 Table 4는 충돌성능과 중량 변화를 나타낸다. Fig. 14의 변형 형상에서 볼 수 있듯 Fig. 4의 기본 모델 변형 형상에 비해 스테이에 압축붕괴가 뚜렷하게 발생함을 알 수 있으며 기본 모델 대비하여 최대하중은 1.11% 감소하였으나 스테이 붕괴 구간인 임팩터 변위 100 mm~200 mm에서 하중이 크게 상승하면서 평균하중이 기본 모델 대비 12.85% 향상되었다.

이는 사이드 멤버 보강재 두께를 최적화하고 스테이의 단면 형상을 팔각형 단면으로 변경하는 것으로도 최대하중 증가 없이 전방 차체의 충돌에너지 흡수 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있음을 나타낸다. 그러나 사이드 멤버 보강재 중량 증가로 인해 최종 중량은 기본 모델 대비 0.24 kg 증가하였다.

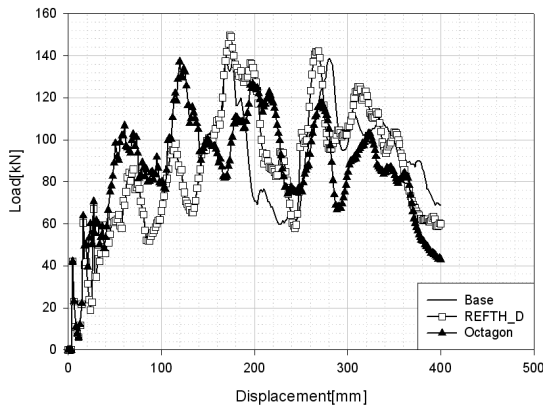


Fig. 13 Load carrying capability: Octagon

Table 4 Analysis results: Octagon

Model	$P_{max}$ [kN]	$P_{mean}$ [kN]	Weight change [kg]
Base	138.63	79.69	-
REFTH_D	149.62 [+7.93%]	86.18 [+8.14%]	+0.22
Octagon	137.09 [-1.11%]	89.93 [+12.85%]	+0.24

※ [%] : change rate

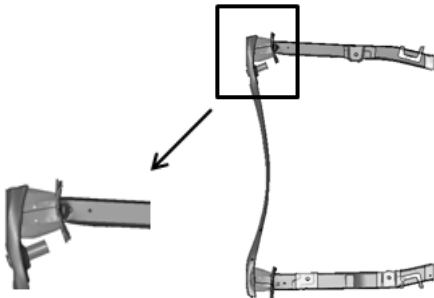


Fig. 14 Deformation at the maximum load: Octagon

## 6. 결론

전방 차체의 정면 충돌성능을 확보하기 위해서는 사이드 멤버 전방부에 작용하는 굽힘모멘트를 최소화하여 압축붕괴가 유도되도록 사이드 멤버 전단에 작용하는 하중의 종류와 방향을 조절하는 설계기술이 중요하다.

양쪽 사이드 멤버의 보강재 두께를 최적화한 경우 기본 모델 대비 중량이 0.22 kg 증가하면서 최대하중은 7.93%, 평균하중은 8.14% 각각 증가하였다.

보강재 최적화 모델에 추가로 오른쪽 스테이 인너 두께를 증가시키고 아우터 비드를 추가하여 위치를 조절한 경우 기본 모델 대비 최대하중 11.56%, 평균하중 12.17% 각각 증가하였다.

보강재 최적화 모델에 추가로 오른쪽 스테이 단면 형상을 팔각형으로 변경한 경우 기본 모델 대비 최대하중은 1.11% 감소하였으나 평균하중은 12.85% 향상되었다. 따라서 사이드 멤버 보강재 두께를 최적화하고 팔각형 단면의 스테이를 적용함에 의해 최대하중 증가 없이 전방 차체의 충돌에너지 흡수성능을 약 13% 정도 효과적으로 향상시킬 수 있다.

이상에서 사이드 멤버 보강재 두께 최적화와 함께 사이드 멤버에 작용하는 굽힘모멘트를 최대한 억제되도록 스테이 형상을 설계함에 의해 전방 차체의 정면 충돌성능을 효과적으로 증대시킬 수 있다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업 “승용 연료전지 차량설계 및 시스템 및 인터그레이션 개발” (주관: 현대자동차)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- (1) Kim, Y. W. and Kim, J. H., 2008, "Crash FE Analysis of Front Side Assembly of Passenger Cars for Management of Collapse Shape Via Variation of Thickness with Reverse Engineering," Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 2, pp. 106~113.
- (2) Kim, J. H., Kim, B. J., Heo, S. J. and Kim, M. S., 2004, "The Crash Energy Absorption Capacity Optimization for the Side-Member of an Aluminum Space Frame Vehicle," Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 5, pp. 94~100.
- (3) Cho, S. H., Kim, H. K., 2011, "The Optimization Engineering of the Front Side Member for A-seg Vehicle," Proceedings of KSAE Conference,

- KSAE11-S0288.
- (4) Shin, J. H., Kim, Y. C. and Kim, H. Y., 2011, "A Study on Vehicle Frontal Structure for Crash Compatibility," Journal of Auto-Vehicle Safety Association, Vol. 3, No. 2, pp. 11~16.
  - (5) Chun, Y. B. and Lee, J. W., 2005, "Case Study on Bumper Stay for Damageability and Repairability Improvement," Transactions of KSAE, Vol. 13, No. 2, pp. 157~161.
  - (6) 2006, LS-DYNA User's Manual Nonlinear Dynamic Analysis of Structure, Version 971, LSTC.
  - (7) Lee, H. B. and Kang, S. J., 2013, "Crash Performance of a Straight Member for Various Section Shapes and Local Reinforcement," Transactions of KSAE, Vol. 21, No. 5, pp. 97~103.
  - (8) Ye, B. W., Oh, S. I., Cho, Y. B. and Sin, H. C., 2007, "Numerical Simulation of Convex and Concave Tubes with Consideration of Strain Rate Sensitivity," Int. J. of Automotive Technology, Vol. 8, No. 2, pp. 193~201.