프론트 사이드 멤버의 경사 충돌 성능

강 성 종*

대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

Crash Performance of Front Side Member Impacted with Angle

Sungjong Kang*

Department of Mechanical & Automotive Engineering, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea

(Received 27 June 2013 / Revised 4 September 2013 / Accepted 5 September 2013)

Abstract : Front impacted SUV vehicle shows that the front parts of side members are collapsed by the bending due to the transverse load exerted at the end of side members. Side member models were impacted with various angles in order to study the crash performance according to the impact angle. Even for the small impact angle of 10°, crash performance seriously deteriorated and the deformations for impact angle 15° were similar to those from the front body impact analysis. In addition, the angled front impact analysis for the straight member with hat section was carried out and the effects of inner reinforcement shape on crash performance was investigated.

Key words : Front side member(프론트 사이드 멤버), Impact angle(충돌각), Crash performance(충돌 성능), Hat section member(모자 단면 부재), Inner reinforcement(내부 보강재), Bending collapse(굽힘 붕괴)

1. 서론

프론트 사이드 멤버(front side member, FRT S/MBR)는 엔진 변속기와 서스펜션 부품이 장착되며 정면충돌 시 한정된 변형가능 공간에서 최대한의 충돌 에너지를 흡수하여 실내로 전달되는 충격력이 최소화되도록 설계되어야 한다.^{1,2)}

충돌 시 충분한 충돌 에너지를 흡수하기 위해서는 사이드 멤버에 압축 붕괴가 유도되어야하나 범퍼의 굽힘 변형으로 인해 사이드 멤버에 중앙으로 큰 하중이 작용하고 충돌 방향과 충돌각(impact angle)을 갖는 정면 충돌 거동을 나타낸다.³⁾

따라서 차체 설계 초기 단계에서 프론트 사이드 멤버에 굽힘 모멘트 작용을 최소화하여 압축붕괴가 유도되도록 범퍼 백빔과 스테이 등 사이드 멤버 전방부를 설계하는 것이 중요하며, 아울러 일정 충돌

각 내에서 사이드 멤버의 충돌 성능(crash performance)을 충분히 검토해야 한다. 지금까지 사이드 멤버 충돌 성능에 대한 대부분의 연구는 충돌각이 없는 완전 정면 충돌(이하 정면 충돌)을 가정하여 수행되어 왔으며 경사 정면 충돌(이하 경사 충돌)에 대한 연구가 요구된다.^{4,5)}

본 연구에서는 먼저, 기 수행된 프론트 바디 정면 충돌 해석 변형 형상을 분석한 후 오른쪽(RH)과 왼쪽(LH) 사이드 멤버 모델 각각에 대해 경사 충돌을 수행하였다. 변형 형상을 프론트 바디 해석에서의 사이드 멤버 변형 형상과 비교 분석 하였으며 충돌각에 따른 양 사이드 멤버의 충돌 성능을 검토하였다. 또한, 프론트 사이드 멤버를 모사한 모자 단면 부재(hat section member) 모델들을 대상으로 충돌각을 바꾸어 가며 충돌 해석을 수행하였다. 마지막으로 단면의 내부 보강재(inner reinforcement) 형상을 변화시켜 충돌 성능 변화를 살펴보았다. 충돌 성능

*Corresponding author, E-mail: sjkang@cu.ac.kr

은 붕괴에 대한 최대 저항력인 최대하중 P_{max} 와 일정 변형까지의 충돌에너지를 변형량으로 나눈 평균 하중 P_{mean} 으로 분석하였으며 해석에는 비선형 해석 프로그램인 LS-DYNA를 사용하였다.⁶⁾

2. 프론트 사이드 멤버 경사 충돌 해석

2.1 프론트 바디 정면 충돌 해석

Fig. 1은 SUV 차량의 차체 범퍼 시스템과 프론트 사이드 멤버의 구성을 나타내며 Fig. 2는 해석 모델과 하중 및 경계 조건을 나타낸다. 사이드 멤버 양 끝단 부를 완전 고정하고 1,400kg의 강체 충돌체(rigid impactor)에 NCAP 충돌 시험 속도인 16.0m/s를 가하였다.

Fig. 3은 해석결과인 하중-변위 선도를 나타낸다. 피크 0은 스테이 붕괴와 함께 사이드멤버 선단부 붕괴 발생을 나타내며 피크 2는 사이드 멤버 전방부 붕괴 발생을 그리고, 피크 4는 사이드 멤버 중앙부

붕괴 발생을 각각 나타낸다. Fig. 4는 피크 2와 피크 4에서의 전체 변형 형상을 나타내며, 스테이와 사이드멤버 전방부의 변형형상은 Fig. 5와 같다.³⁾

충돌에 따라 범퍼 백빔 중앙부에 굽힘 붕괴가 발

Fig. 3 Load carrying capability of front body

Fig. 1 Front body

Fig. 2 Front impact analysis model of front body

Fig. 4 Deformation of front body at load peaks

Fig. 5 Deformations of stay and front side member at load peaks in top view

생하면서 범퍼 스테이를 안쪽으로 당기는 하중이 작용하게 되어 결과적으로 사이드 멤버에 굽힘 모멘트가 작용하여 굽힘 붕괴(bending collapse)가 발생됨을 알 수 있다. 이러한 현상은 범퍼 백빔의 굽힘 강도가 부족한 경우에 더욱 심각하게 나타나며 강화되고 있는 충돌 범규 및 시험평가에 대응하기 위해서는 사이드 멤버의 경사 충돌 성능 최적화가 중요하다.

2.2 사이드 멤버 경사 충돌 해석

2.2.1 모델링

프론트 사이드 멤버를 대상으로 끝단을 고정하고 두께 4.6mm의 프론트 엔드 모듈 마운팅 브라켓 및 세이를 모사한 강체판(70mm×115mm)을 선단부에 결합시킨 모델에 강체 충돌체를 0°, 10°, 15°, 20°, 30°의 충돌각으로 충돌시켰다(Fig. 6).

사이드 멤버 한 개에 의한 충돌에너지 흡수량이 전체 충돌에너지의 약 60%에 달하고 양 사이드 멤버가 동일한 성능을 나타낸다고 가정하여 450kg의 충돌체에 충돌속도 16.0m/sec를 가하였다.⁷⁾ 또한, 충돌각이 클 경우에 발생할 수 있는 충돌체와 강체판 사이의 미끄러짐을 억제하고 프론트 바디 해석에서 사이드 멤버 선단부가 횡 방향으로 이동이 자유롭지 못함을 고려하여 충돌체와 강체판의 마찰계수를 일반적인 금속 간 마찰 계수보다 크게 0.4로 정의하였다.

Fig. 6 Analysis model of side members impacted with angle in top view

2.2.2 해석 결과

Fig. 7은 하중-변위 선도를 나타낸다. 충돌각 0°인 경우 피크가 한 개가 나타나나 경사 충돌의 경우에는 초기 두개의 피크가 나타나며 최대 하중이 현격하게 떨어짐을 알 수 있다. 피크 b와 d는 Fig. 3 프론트 바디 하중-변위 선도에서의 피크 2와 4에 각각 대응된다.

Fig. 8과 Fig. 9는 각각 충돌각에 따른 RH, LH 사이드 멤버 변형 형상을 나타낸다. 충돌각 30°의 경우는 강체판과 미끄러짐이 발생하였다. Fig. 5의 프론트 바디 해석 변형 형상과 비교하면 RH 사이드 멤버의 경우 충돌각 20°의 변형과 매우 유사함을 알 수 있으며 LH 사이드 멤버의 경우도 충돌각 20°의 변형과 매우 유사함을 알 수 있다. 충돌각 20°의 경우 RH, LH 사이드 멤버의 최대하중은 각각 108kN, 156kN으로 산출되어 최대 하중의 합이 프론트 바디 해석의 최대 하중 139kN과 비교하여 약 1.9배를 나타내고 있다. 이는 프론트 바디 해석에서는 스테이에 의한 변형이 함께 계속 발생하며 사이드 멤버에 횡 방향의 굽힘 모멘트와 비틀림 모멘트 등이 작용하여 최대 하중 저하에 영향을 미치기 때문이라 판단된다. 또한, 프론트 바디 해석에서는 스테이가 계속 변형되므로 Fig. 7 하중-변위 선도에서 구간 a~d의 변

Fig. 7 Load carrying capability of side members impacted with angle

Fig. 8 Deformation of RH side member in top view

Fig. 9 Deformation of LH side member in top view

위가 동일 변형 구간에 해당되는 Fig. 3의 1~4의 변위보다 약 50mm 정도 짧게 나타났다.

Fig. 10은 사이드 멤버의 경사 충돌 성능으로 최대 하중 P_{max} 과 충돌체 변위 50mm, 100mm까지의 평균 하중 P_{mean_50} , P_{mean_100} 을 나타낸다.

Fig. 10 Crash performance of side members

충돌각 증가에 따라 충돌 성능이 감소됨을 알 수 있으며 충돌각이 10°만 되어도 P_{max} 은 30-40% 그리고 P_{mean_50} 은 15-20% 정도 감소되는 것으로 나타났다. 따라서 사이드 멤버 정면 충돌 성능 예측으로 실차 충돌 시의 사이드 멤버 충돌 성능을 예측하는 것은 큰 오류를 나타낼 수 있으며 차량의 정면 충돌 안전성 확보를 위해서는 먼저 사이드 멤버에 최대한의 압축 붕괴가 유도되도록 사이드 멤버 전방부를 설계하고, 그 다음 사이드 멤버에 대해서 정면 충돌 성능과 함께 경사 충돌 성능 확보가 매우 중요함을 알 수 있다.

3. 모자 단면 부재 경사 충돌 해석

3.1 기본 모델

3.1.1 해석 모델 구성 및 해석 조건

사이드 멤버를 모사한 모자 단면 직선부재를 대상으로 경사 충돌 성능을 검토하였다. 기본 모델(모델 Base)은 Fig. 11과 같으며 가로 70mm, 세로 100mm, 인너 코너 반경 8mm, 아우터 코너 반경 5mm, 플랜지 길이 18mm를 적용하였으며, 부재 길이는 470mm

Fig. 11 Straight member with hat section

Table 2 Material and thickness

Part	Material	Thickness (mm, t)
Outer	SGAFC 590 DP	1.6
Inner	SGARC 440	2.0

Fig. 12 Analysis model of hat section member impacted with angle in top view

이다. 모델은 30,000여 개의 4 절점 셀 요소로 구성하였으며 적용된 소재와 두께는 Table 2와 같다.

부재 선단부에 90mm×160 mm의 강체판을 결합시키고 다른 끝을 완전 고정하였으며 450kg의 강체 충돌체에 경사각을 주어 16.0m/s의 속도로 충돌시켰다. 충돌각은 0°, 10°, 15°, 20°로 변화시켰다(Fig. 12).

3.1.2 해석 결과

Fig. 13은 충돌각에 따른 부재의 하중-변위선도를 나타낸다. 앞서의 사이드 멤버 해석 결과와 마찬가지로 충돌각이 없는 경우 피크가 한 개로 매우 크게 나타나나 충돌각이 있는 경우에는 두 개의 피크가

Fig. 13 Load carrying capability of model Base

Fig. 14 Deformation of model Base at the maximum load and punch displacement 50mm in top view

Fig. 15 Crash performance of model Base

나타나며 두 번째 피크에서 최대 하중이 나타났다. Fig. 14는 최대 하중 H2와 충돌체 변위 50mm에서의 변형 형상을 나타낸다. 피크 H1은 강체판 뒤에서의 붕괴 발생을 나타내며 피크 H2는 끝단부에서의 붕괴 발생을 나타낸다. Fig. 15는 최대 하중과 충돌체 변위 50mm, 100mm까지의 평균 하중인 Pmean_50,

P_{mean_100} 을 나타낸다. 사이드 멤버 해석 결과와 마찬가지로 10° 의 작은 충돌각에 대해서도 최대 하중과 평균 하중이 대폭 감소하며 특히 최대 하중이 38% 감소하였다.⁸⁾

3.2 내부 보강재 추가 해석

부재 단면 사이즈가 정해진 상태에서 경사충돌 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있는 보강 방안에 대해 검토하였다.

3.2.1 해석 모델

SGAFC 590 DP 1.6t의 보강재를부재 전체 내부에 적용하였으며 동일한 단면적(중량 0.904kg)이 되도록 내부 보강재를 형상화 하였다. 보강재 형상과 모델명은 Fig. 16과 같다. 코너가 삼각형 형태인 모델의 경우 삼각형 형태에 따라 3개 모델(Reinf_2A, Reinf_2B, Reinf_2C)을 구성하였다.

Fig. 16 Hat sections with inner reinforcement

3.2.2 해석 결과

Fig. 17로부터 이등변 삼각형으로 코너를 폐단면화 한 모델 Reinf_2C의 경우가 정면 충돌을 포함하여 모든 충돌각에 대해 충돌 성능이 가장 우수하게 나타났다. 10° 경사 충돌의 경우 기본 모델과 비교하여 P_{max} 이 74% 증가되었으며 P_{mean_50} 과 P_{mean_100} 이 각각 199%, 191% 증가하였다. 20° 경사 충돌의 경우도

Fig. 17 Crash performance of hat section models with inner reinforcement

Fig. 18 Deformation of model Reinf_2C at the maximum load and punch displacement 50mm in top view

P_{max} 이 108%, P_{mean_50} 과 P_{mean_100} 이 각각 155%, 189% 증가하였다. 이것은 코너 삼각형 폐단면화에 의해 붕괴 강도가 높아지고 안정적인 붕괴가 연속적으로 발생하기 때문이며 특히 평균 하중이 대폭 증가하였다.

최대 하중과 충돌체 변위 50mm에서 모델 Reinf_2C의 변형 형상을 Fig. 18에 나타냈다. Fig. 14의 기본 모델 변형 형상과 비교하여 안정적인 압축 붕괴가 많이 발생하고 있음을 알 수 있다. 사이드 멤버에 전체 혹은 국부 적용을 하면 사이드 멤버 두께 감소가 가능하므로 차체 경량화에 기여하리라 판단되며 본 연구 결과를 차량 전체 모델을 대상으로 재 검증할 필요가 있다.

4. 결 론

차량 정면 충돌 시 범퍼 백빔의 굽힘 붕괴에 의해 차체 안쪽으로 하중이 작용함에 의해 사이드 멤버에 굽힘 붕괴가 발생하므로 사이드 멤버에 대해서 정면 충돌 성능 보다 경사 충돌 성능을 설계 목표로 하여 최적화하는 것이 현실적으로 중요하다.

사이드 멤버 경사 충돌해석 결과 충돌각 증가에 따라 충돌 성능이 크게 감소됨을 알 수 있으며 최대

하중 감소가 보다 크게 나타났다. 충돌각이 10° 만 되어도 최대 하중이 30-40% 정도 감소됨을 알 수 있으며 평균 하중은 15-20% 정도 감소되는 것으로 나타났다. 따라서 차량의 정면 충돌 안전성 확보를 위해서는 사이드 멤버에 최대한의 압축 붕괴가 유도 되도록 범퍼 백빔과 범퍼 스테이를 설계하고 사이드 멤버에 대해서 별도의 경사 충돌 해석을 통해 충돌 성능을 확보하는 것이 중요하다.

모자 단면 부재에 대해 여러 가지 형태의 보강재 추가에 따른 경사 충돌 성능 변화를 검토한 결과, 코너를 이등변 삼각형 형태의 폐단면으로 한 보강 모델의 경우 기본 모델 대비하여 모든 충돌각에 대해 충돌 성능이 가장 우수하게 나타났으며 10° 경사 충돌의 경우 최대 하중이 74% 증가되었으며 평균 하중은 200% 가까이 증가하였다. 20° 경사 충돌의 경우도 최대 하중이 108%, 평균 하중이 160-190% 까지 대폭 증가하였다. 이것은 코너 삼각형 폐단면화에 의해 붕괴 강도가 높아지고 안정적인 붕괴가 연속적으로 발생하기 때문이며 특히 평균 하중이 대폭 증가됨으로써 차량 사이드 멤버에 효과적으로 적용할 경우 사이드 멤버 경량화에 기여할 것이다.

후 기

이 논문은 2012년도 대구가톨릭대학교 교내연구비 지원에 의한 것임.

References

- 1) Y. W. Kim and J. H. Kim, "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, 2008.
- 2) S. H. Cho and H. K. Kim, "The Optimization Engineering of the Front Side Member for A-seg Vehicle," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.1512-1517, 2011.
- 3) S. J. Kang, Frame Structural Optimization of a Fuel Cell Vehicle, Technical Report, pp.2-4, Catholic University of Daegu, 2011.
- 4) J. S. Kim, J. H. Lim, H. Hur, J. S. Kim and T. H. Jung, "Crashworthiness Evaluation of Asym-

- metric Hat-type Rectangular Tube by Static and Dynamic Test,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.1037-1042, 2004.
- 5) I. Eren, Y. Gür and Z. Aksoy, “Finite Element Analysis of Collapse of Front Side Rails with New Types of Crush Initiators,” Int. J. Automotive Technology, Vol.10, No.4, pp.451-457, 2009.
 - 6) LS-DYNA User's Manual, Nonlinear Dynamic Analysis of Structure Ver.971, LSTC, 2006.
 - 7) G. P. Kim and S. H. Kim, “Assesment of Crashworthiness of an Auto-body with Aluminum Extrusions,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.2343-2348, 2009.
 - 8) J. S. Park, S. H. Park and D. C. Han, “Oblique Collapse of Square Thin Walled Columns,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.537-542, 1999.