

Spring-Mass 모델을 이용한 차대차 부분정면충돌 모델링

임재문* · 이광원**

Car-to-Car Offset Frontal Impact Modeling using Spring-Mass Model

Jaemoon Lim*, Kwangwon Lee**

Key Words : Spring-mass model(스프링-질량 모델), Car-to-car offset frontal impact crash(차대차 부분정면 충돌), Compatibility(상호안전성)

ABSTRACT

The objective of this study was to construct the spring-mass models for the car-to-car offset frontal impact crash. The SISAME software was utilized to extract the spring-mass models using the data from the offset frontal crash test. The spring-mass model of the passenger car could effectively approximate the crash characteristics for the offset frontal barrier impact and the car-to-car offset frontal impact scenarios.

1. 서론

충돌사고시 승객보호 성능을 향상시키기 위하여 세계 각국에서 NCAP(New Car Assessment Program)을 시행하고 있다. EuroNCAP, KNCAP, JNCAP 등은 정면충돌시험에서 완전정면충돌시험(Full frontal crash test)과 부분정면충돌시험(Offset frontal crash test)을 모두 수행하고 있다. 일반적으로, 완전정면충돌시험은 에어백이나 안전벨트의 성능에 의해 영향을 받으며, 부분정면충돌시험은 차체의 강성에 의해 영향을 받는다.

다양한 형태의 정면충돌 시험 방법은 신규 출시되는 자동차의 승객보호 성능 및 자동차 구조가 지속적으로 개선되는데 큰 공헌을 하고 있다. 반면에, 자동차 구조의 개선은 자동차의 강성(Stiffness)이 전반적으로 상승할 수 있으므로 차대차 충돌시에 상대방차 탑승자의 승객보호 성능에 좋지 않은 영향을 미칠 수도 있다. 즉, 크기가 작은 경형 또는 소형차 등이 중·대형차와 충돌할 때 더욱

심각해질 수 있다.

Carrera 등은 SISAME를 이용하여 5개의 Mass 요소와 14개의 Spring 요소로 구성된 부분정면충돌 Spring-mass 모델을 개발하였다.⁽¹⁾ Cheva 등은 비선형 유한요소해석을 사용하여 10개의 Mass 요소와 20개의 Spring 요소로 구성된 부분정면충돌 Spring-mass 모델을 개발하였다.⁽²⁾ Han 등은 튜브 타입 요소의 압축 특성을 이용하여 7개의 Mass 요소와 23개의 Spring 요소로 구성된 부분정면충돌 Spring-Mass 모델을 개발하였다.⁽³⁾ Lim은 SISAME를 이용하여 4개의 Mass 요소와 9개의 Spring 요소로 구성된 부분정면충돌 Spring-mass 모델을 개발하였다.⁽⁴⁾ 차대차 완전정면충돌에 관한 Spring-mass 모델은 소개된 문헌이 있으나,⁽⁵⁾ 차대차 부분정면충돌에 관한 Spring-mass 모델이 소개된 문헌은 아직까지 찾아볼 수 없었다.

본 논문에서는 Spring-mass 모델을 이용하여 차대차 부분정면충돌시 대상 차량의 상호안전성(Compatibility)을 검토하고자 한다. 차대차 부분정면충돌에 관한 Spring-mass 모델은 참고문헌 [4-5]에 제시된 방법을 토대로 모델링 방법을 개발하였다.

* 대덕대학교 기계설계과

** 기술보증기금

E-mail : jmlim@ddc.ac.kr

2. Spring-mass 모델 구성 및 검증

Spring-mass 모델은 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)에서 개발한 SISAME (Structural Impact simulation And Model Extraction) 프로그램을 사용하여 구성하였다.⁽⁶⁾

본 논문은 각각의 자동차에 대해 부분정면충돌에 관한 Spring-mass 모델을 구성하여 검증하고, 검증된 모델을 이용하여 차대차 부분정면충돌에 관한 Spring-mass 모델을 구성하는 절차로 이루어져 있다.

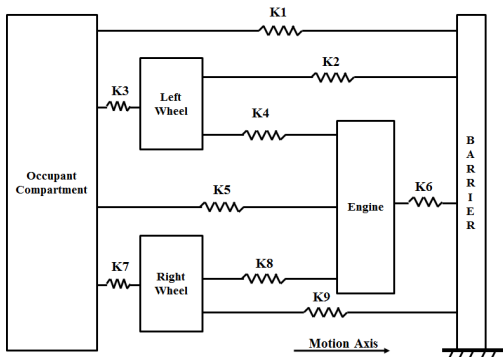


Fig. 1 Spring-mass model for the offset frontal impact

Fig. 1은 부분정면충돌을 해석하기 위하여 구성된 Spring-mass 모델이며, Fig. 2는 차대차 부분정면충돌을 해석하기 위한 Spring-mass 모델이다. SISAME를 이용한 Spring-mass 모델을 구성하기 위해서는 실차충돌 시험 데이터가 필요하며, 본 논문에서는 NHTSA의 부분정면충돌 데이터를 사용하였다.⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾

모델을 구성하기 위해서는 시험차에 부착된 가속도계에서 측정된 가속도 데이터와 고정벽에 부착된 로드셀(Load cell)에서 측정된 하중 데이터가 필요하다. 가속도계는 차체의 좌/우 B 필라, 엔진의 상/하 지점, 좌/우 타이어의 디스크 브레이크 캘리퍼에 부착되었다.

Spring-mass 모델을 구성하는 절차는 2단계로 구성되어 있다. 1단계에서는 고정벽에서 측정된 하중과 차체의 좌/우 B 필라, 엔진의 상/하 지점, 좌/우 타이어의 디스크 브레이크 캘리퍼 위치에서 측정된 가속도 데이터를 이용하여 Occupant compartment, Engine 및 좌·우 Wheel 부분의 무게를 추정하여 산출한다. 2단계에서는 1단계에서 산출된 무게와 Occupant compartment, Engine 및 좌·우 Wheel 부분의 가속도 데이터를 이용하여 각각의

Spring을 구성하는 힘-변형 곡선을 추정하여 산출한다. Mass 요소의 무게와 Spring 요소의 힘-변형 곡선을 구하는 과정에서 SISAME는 반응표면법에 기반을 둔 최적화기법을 이용한다.⁽⁶⁾

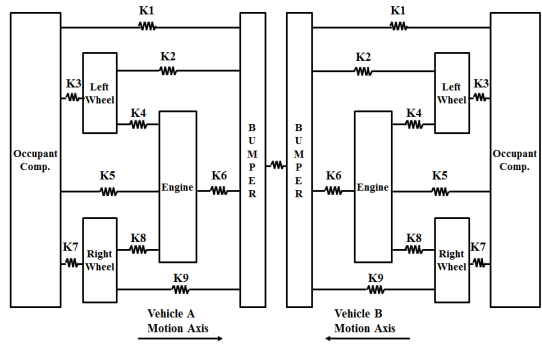


Fig. 2 Spring-mass model for the Car-to-Car impact

부분정면충돌 모델은 Mazda6(MY2007)와 Ford500(MY2007)의 40% 부분정면충돌 시험결과를 이용하여 구성하였다.⁽⁷⁾⁻⁽⁸⁾ Table 1은 시험차량의 사양 및 고정벽 충돌속도를 나타낸 것이다.

Table 1 Specification of tested vehicle

Vehicle	Weight	Engine displacement	Impact velocity
Mazda6	1,599.4 kg	2,300 cc	56.0 km/h
Ford500	1,905.0 kg	3,000 cc	55.9 km/h

Fig. 1과 Fig. 2에 나타낸 각 자동차의 Mass 요소의 무게와 Spring 요소의 힘-변형 곡선을 산출하고 차대차 부분정면충돌 해석을 수행하였다. Table 2에는 각 자동차의 Mass 요소의 무게를 나타내었으며 Fig. 3에서 Fig. 11에는 Spring 요소의 힘-변형 곡선을 나타내었다.

Table 2 Weight of mass elements

Vehicle	Occ.	Engine	Wheel L/R	Bumper
Mazda6	1148	285	48	70
Ford500	1557	300	24	70

차대차 부분정면충돌을 위한 Spring-mass 모델의 검증은, Mazda6와 Ford500 각각의 차대차 부분정면충돌 해석을 통해 B 필라의 가속도 곡선이 동일하게 나오는지

Spring-Mass 모델을 이용한 차대차 부분정면충돌 모델링

검토하였다. 또한, 각각의 B 필라 가속도 곡선이 시험결과와 일치하는지도 확인하였다. Fig. 12는 범퍼 모델을 구성하기 위해 범퍼의 가속도를 가정한 것이다. Fig. 13

과 Fig. 14에는 Mazda6와 Ford500의 B 필라에서 부분정면충돌 해석 결과와 시험결과를 비교하여 나타내었다. 여기에서 부분정면충돌 해석 결과는 차대차 부분정

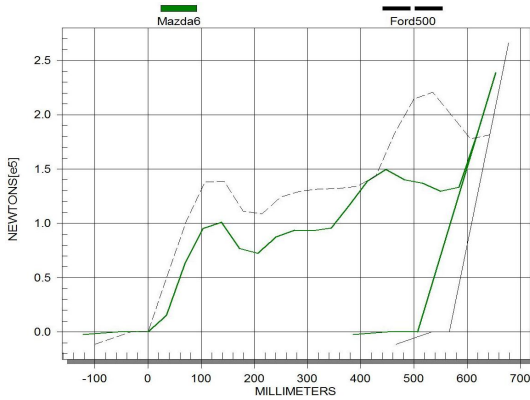


Fig. 3 Force-deflection curve of spring K1

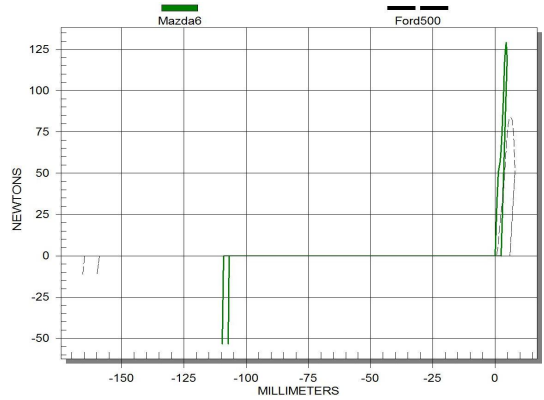


Fig. 6 Force-deflection curve of spring K4

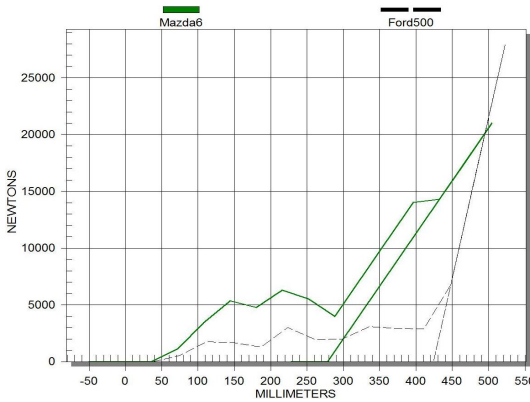


Fig. 4 Force-deflection curve of spring K2

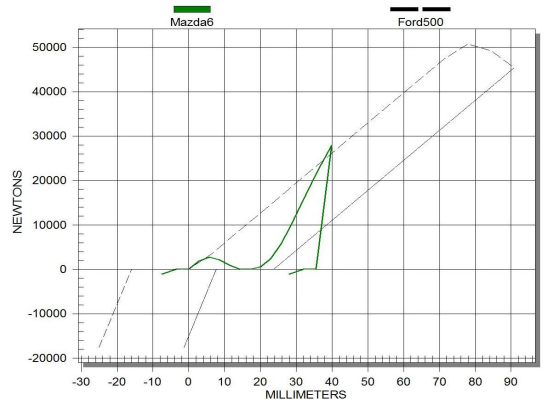


Fig. 7 Force-deflection curve of spring K5

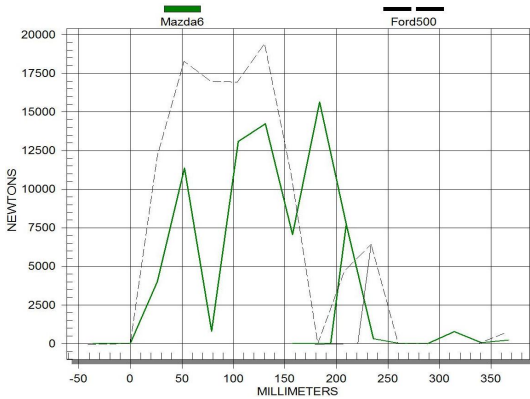


Fig. 5 Force-deflection curve of spring K3

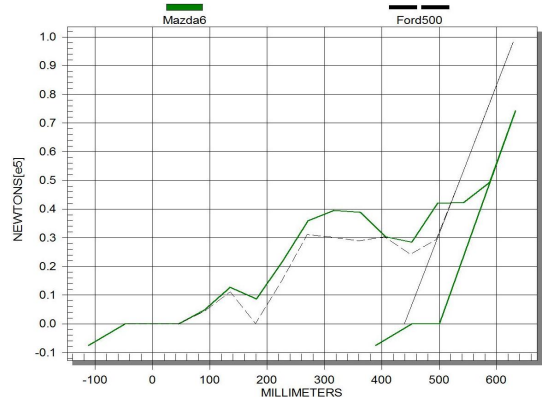


Fig. 8 Force-deflection curve of spring K6

면충돌 해석에서 구한 결과이다. Mazda6와 Mazda6 및 Ford500와 Ford500 각각의 차대차 부분정면충돌 해석 결과는 잘 일치하였기 때문에 하나의 데이터로 충돌시험

결과와 비교한 것이다. 충돌시험 결과와 해석결과의 비교에서, 일부 피크가 차이 나는 부분도 있지만 전체적인 경향이 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

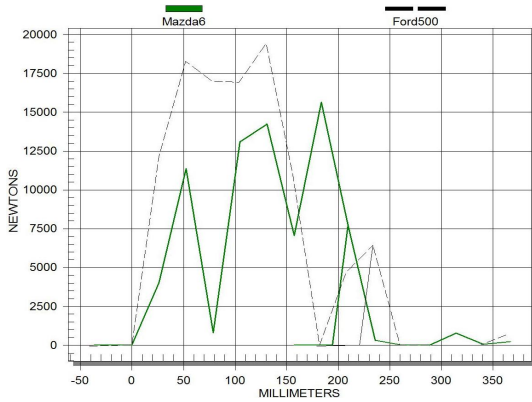


Fig. 9 Force-deflection curve of spring K7

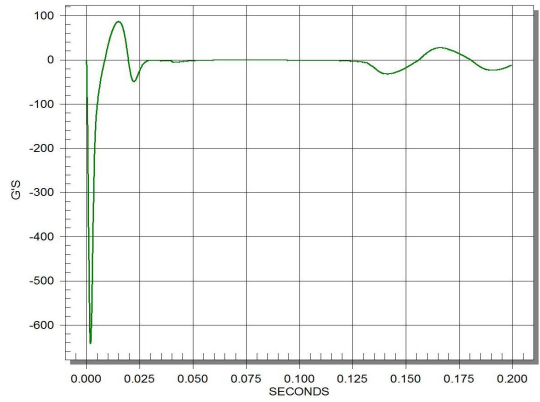


Fig. 12 Bumper acceleration data

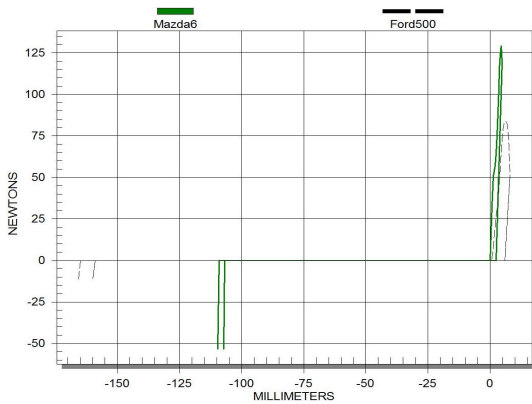


Fig. 10 Force-deflection curve of spring K8

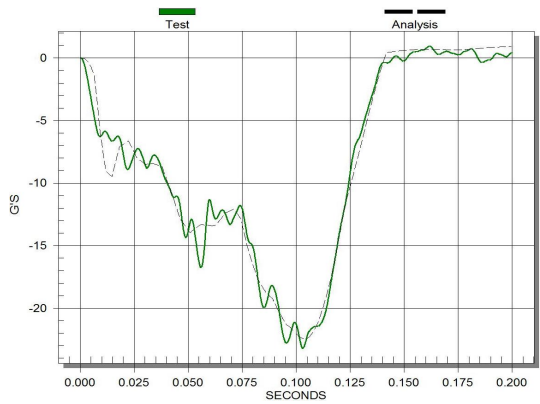


Fig. 13 B-pillar acceleration curve of Mazda6

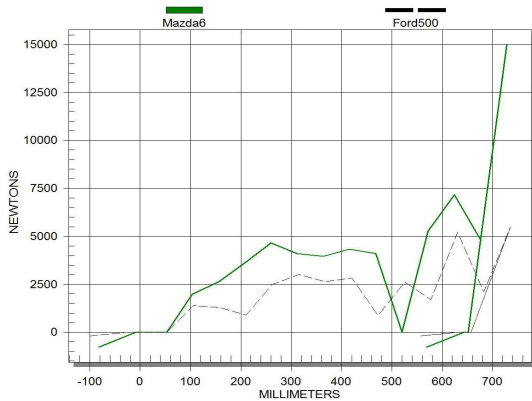


Fig. 11 Force-deflection curve of spring K9

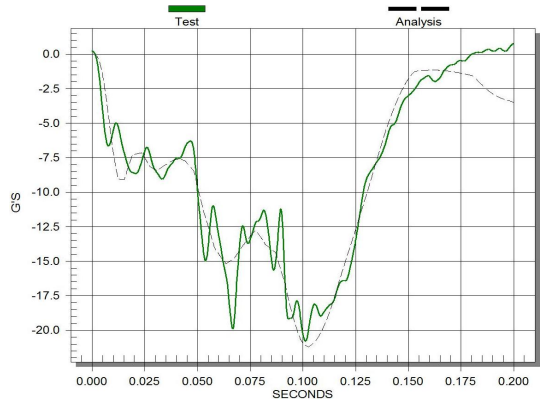


Fig. 14 B-pillar acceleration curve of Ford500

3. 차대차 부분정면충돌 해석

Mazda6와 Ford500의 상호안전성을 확인하기 위하여 차대차 부분정면충돌의 해석을 수행하였다. Fig. 15는

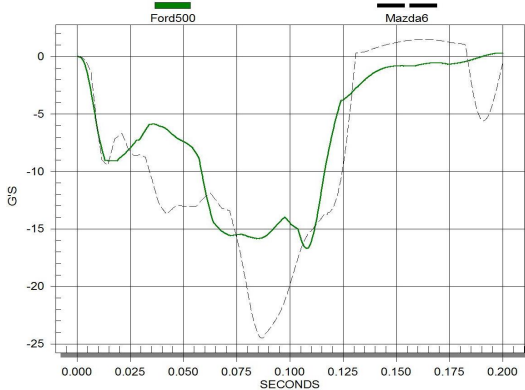


Fig. 15 B-pillar acceleration curve of Ford500 and Mazda6

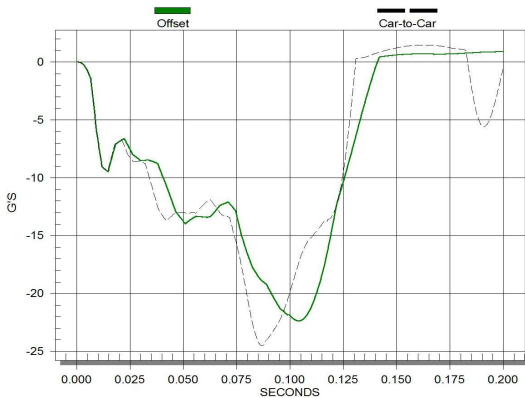


Fig. 16 B-pillar acceleration curve of Mazda6

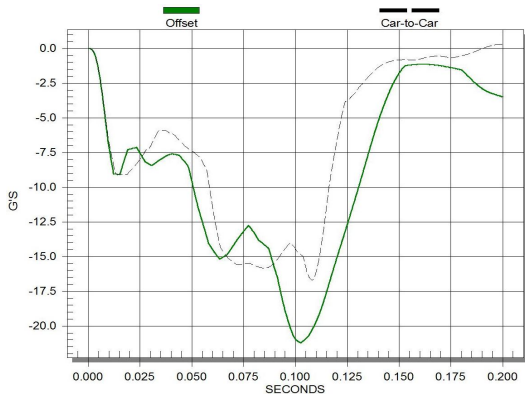


Fig. 17 B-pillar acceleration curve of Ford500

Mazda6와 Ford500의 B 필라의 가속도곡선을 비교하여 나타내었다. Fig. 15에서 볼 수 있는 것과 같이, 상대적으로 가벼운 차량인 Mazda6의 가속도곡선의 피크가 Ford500에 비해서 8g 정도 더 크게 나온 것을 알 수 있다.

Fig. 16과 Fig. 17은 Mazda6와 Ford500 각각의 부분정면충돌 해석결과와 차대차 해석결과를 비교한 것이다. Fig. 16에서 보는 것과 같이, Mazda6는 차대차 충돌시에 부분정면 충돌시보다 가속도곡선의 피크가 3g 정도 더 커진 것을 확인할 수 있다. Fig. 17에서 보는 것과 같이, Ford500은 차대차 충돌시에 부분정면 충돌시보다 가속도곡선의 피크가 4.5g 정도 더 작아진 것을 확인할 수 있다. Fig. 16과 Fig. 17에서 보는 것과 같이, 차대차 충돌시에는 중량이 작은 차의 경우는 고정벽 충돌시보다 B 필라의 가속도곡선의 크기가 증가하고, 중량이 큰 차의 경우에는 고정벽 충돌시보다 B 필라의 가속도곡선의 크기가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

B 필라의 가속도곡선의 피크값의 크기가 증가하는 경우 탑승객의 상해치가 증가할 것으로 예상할 수 있지만, 어느 정도 증가할 것인지 정확하게 예측하는 것은 쉽지 않다. 차대차 부분정면충돌 상황에서 각 차량에 탑승한 탑승객의 상호안전성을 검토하기 위해서는 인체모형을 별도로 모델링할 필요성이 있다.

4. 결론

본 연구에서는 SISAME 소프트웨어와 NHTSA에서 수행한 40% 부분정면충돌 시험결과를 이용하여 중형승용차와 대형승용차의 Spring-mass 차대차 부분정면충돌 해석모델을 개발하였다. Spring-mass 해석모델은 시험결과와 잘 일치하는 경향을 나타내었다.

또한, 차대차 충돌 시 상호안전성을 연구하기 위하여 Spring-mass 모델을 이용한 차대차 부분정면충돌 해석모델을 개발하였으며, 중형차와 대형차 각각의 고정벽 부분정면충돌 시험결과 및 해석결과를 통하여 차대차 충돌 해석 모델을 검증하였다.

차대차 정면충돌 해석결과를 통해, 중형차의 가속도곡선의 피크는 증가하고, 대형차의 가속도곡선의 피크는 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

차대차 부분정면충돌 상황에서 각각의 차량에 탑승한 탑승객의 상해치를 비교 검토하기 위해서, 향후 인체모형도 고려한 차대차 부분정면충돌 해석 모델을 구성하여 상호안전성을 검토하고자 한다.

참고문헌

- (1) A. C. Carrera, S. G. Mentzer and R. R. Samanda, 1995, "Lumped-parameter modeling of frontal offset impacts," SAE Paper, No. 950651.
- (2) W. Cheva, T. Yasuki, V. Gupta and K. Mendis, 1996, "Vehicle development for frontal/offset crash using lumped parameter modeling," SAE Paper, No. 960437.
- (3) B. K. Han, H. Jung and J. H. Kim, 2003, "Developing the LMS model for frontal offset impact analysis," Trans. of the KSAE, Vol. 11, No. 1, pp. 211~216, (Korean).
- (4) J. M. Lim, 2015, "A Consideration on the Offset Frontal Impact Modeling Using Spring-Mass Model," I. J. of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, Vol. 9, No. 8, pp. 1160~1165.
- (5) 임재문, 정근섭, 2015, "Spring-Mass 모델을 이용한 차대차 정면충돌 모델링," 한국자동차안전학회 논문집, 제7권, 제2호, pp. 8~14.
- (6) <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/database/veh/>.
- (7) NHTSA, 2006, "40% Offset Vehicle to Deformable Barrier Crash Test of a 2007 Mazda 6 4-door sedan," DTS-TRC-06-007, Final Report.
- (8) NHTSA, 2006, "40% Offset Vehicle to Deformable Barrier Crash Test of a 2007 Ford500 SEL 4-door sedan," DTS-TRC-06-006, Final Report.