

승용차량에 대한 경트럭 및 SUV의 공격성 연구

김 관 희* · 박 인 송

보험개발원 자동차기술연구소

Research on Aggressivity of Light Truck Vehicle and SUV to Passenger Vehicle

Guanhee Kim* · Insong Park

Korea Insurance Development Institute, 125-1 Susan-ri 2, Sulseong-Myeon, Icheon, Gyeonggi 467-882, Korea

(Received 25 March 2009 / Accepted 15 April 2009)

Abstract : When two cars impact each other, it is usually known smaller vehicle's passenger likely to be more seriously injured than bigger one's. Generally it is known that SUVs and Light Truck Vehicles (LTVs) are bigger and heavier than passenger vehicles and their drive height such as bumper rail and side member, and front end stiffness are higher than those of passenger vehicles. Because of these characteristics the occupants of passenger vehicle struck by SUVs or LTVs are more likely to experience severe injury or fatal injury. To evaluate SUV and LTV's aggressivity to passenger vehicle, SUV to passenger vehicle and LTV to passenger vehicle head-on crash test have been carried out. And finally the way how to reduce incompatibility between SUV and LTV and passenger vehicles is suggested.

Key words : SUV(스포츠 유틸리티 차량), LTV(경트럭), Drive height(주행 높이), Car to car crash(차 대 차 충돌), Crash compatibility(충돌 상호 안전성), Aggressivity(공격성)

Nomenclature

HIC : head injury criteria, g
F : force, kN
M : moment, Nm

Subscripts

T : tension
E : extension
Z : vertical direction
Y : lateral direction

1. 서론

주 5일제의 확대 시행에 따른 여가활동에 대한 관심증가로 SUV(RV차량 포함)의 판매량이 지속적으로 증가하여 2000년 이후 승용차량 내수판매의 약 40%를 점유하고 있다.¹⁾ 최근 자동차 세제변경 및 유류비 증가로 인해 판매 추이가 다소 둔화되기는 하였으나 자동차 제작사의 지속적인 신차 출시로 인해 당분간 일정수준의 판매율을 유지할 것으로 예상된다.

SUV차량은 일반적으로 승용차량에 비해 주행 높이(범퍼 및 사이드 멤버 높이 등)가 높고, 중량이 무거우며 전면의 강성이 크다. 이러한 요소는 SUV와 승용차량 간의 충돌 상호안전성에 대한 문제를 야기시키고 또한 승용차에 대한 공격성을 증가시키는

*Corresponding author, E-mail: kimguanhee@hanmail.net

요인으로 작용한다. 외국의 몇몇 연구에서는 SUV 전면 기하학적 형상이 승용차량에 대한 공격성을 증가시키는 요인임을 강조하고 있다.^{2,3)}

또한 경트럭은 상용차로 분리되어 2008년에야 신차안전성평가 프로그램에 포함되어 자기차량 탑승자의 안전성 확보도 미흡한 실정이다.

서로 다른 차종간의 충돌에서 자기차량 탑승자 보호성능과 상대차량에 대한 공격성을 평가하기 위해 중형승용차량과 SUV, 경트럭에 대해 차 대 차 정면충돌 시험을 실시하였다.

2. 공격성 시험방법

차량중량 및 충격력 흡수부재의 높이 차이에 따른 차량의 공격성을 평가하기 위해 동일한 중형 승용차량을 SUV와 경트럭에 대해 50km/h, 50% offset 으로 정면충돌시험을 실시하였다.

또한 충돌 시 탑승자의 부상 위험도를 분석하기 위해 운전석에 충돌시험용 인체모형인 Hybrid III 50th percentile 남성 더미를 탑재하여 각 신체부위별 부상위험을 평가하였다.

더미에서 측정된 데이터와 함께 충돌 시 승객룸의 변형정도(충돌 시 차체가 승객룸 안으로 침입하는 정도)와 구속장치 적정성 및 더미 거동을 평가하여 차량의 탑승자 보호성능에 대해 종합적인 평가를 실시하였다.

2.1 시험 대상 차량

본 연구를 위해 중형승용차량과 SUV, 중형승용차량과 경트럭(1톤 트럭)에 대한 충돌시험을 실시하였다. Table 1에 연구에 사용된 차량을 나타내었다.

Table 1 Vehicle to be tested

Passenger car (P.C) vs SUV	
P.C 1	SUV
P.C vs LTV	
P.C 2	LTV

또한 시험차량의 제원을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Vehicle specification

Vehicle type	P.C 1	SUV	P.C 2	LTV
Model year	2006	2006	2006	2006
Weight (kg)	1,453	1,599	1,461	1,744
Width (mm)	1,810	1,800	1,810	1,740
Height of bumper (mm)	453	468	447	597
Height of side member (mm)	490	515	481	390

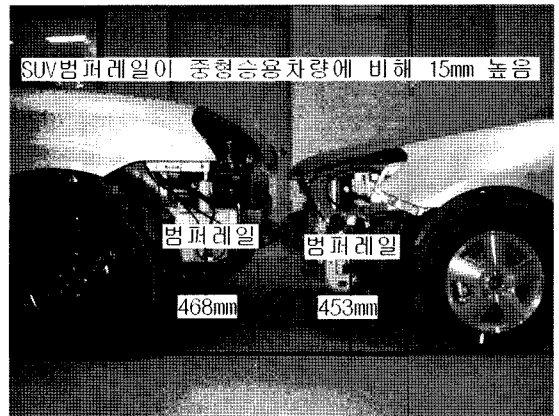


Photo. 1 Front end mismatch between passenger vehicle and SUV

Photo. 1에 나타난 것과 같이 충돌 시 충돌에너지를 흡수하는 부재인 범퍼레일이 SUV가 중형승용1보다 약 15mm 높은 위치에 장착되어있음을 알 수 있다.

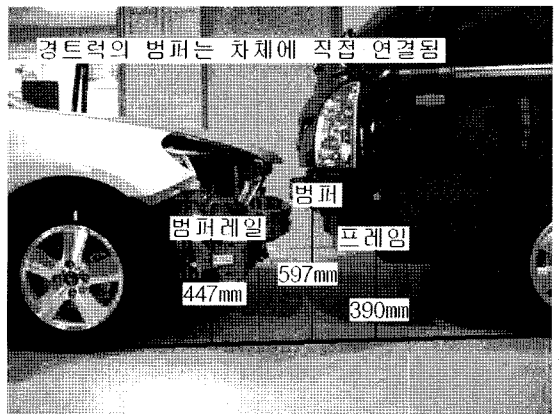


Photo. 2 Front end mismatch between passenger vehicle and light truck vehicle

경트럭의 범퍼레일은 중형승용차의 범퍼레일보다 약 150mm 높게 장착되어 있다. 그러나 경트럭의 범퍼레일은 사이드멤버에 고정되지 않고 차체에 직접 고정되어 고속충돌 시 충돌 에너지를 흡수하기에 부적합하다(Photo. 2 참조).

2.2 시험 유형

두 대의 차량이 서로 마주보고 50km/h의 속도로 주행하다 정면으로 충돌한다. 이 때 중형승용차의 전폭을 기준으로 50% offset으로 충돌하기 때문에 SUV는 50.3%, 경트럭은 52%가 겹쳐지게 된다.

이러한 50km/h, 50%offset 차 대 차 정면충돌 시험유형은 EEVC Working Group11(1994년)에서 56km/h, 40% offset 고정벽 정면충돌 시험을 가장 잘 대표하는 차 대 차 충돌시험유형으로 선정한 것이다.⁴⁾

2.3 결과 분석 방법

더미에 기록된 데이터를 기초로 한 인체상해 위험도와 충돌 시 승객룸 내부로 찌그러드는 차체 변형량 그리고 구속장치 및 더미거동에 대한 평가를 종합적으로 실시하였다.

이러한 분석방법은 차 대 차 충돌 시 충돌상호안전 연구를 위한 다른 문헌에서도 사용된 방법이다.⁵⁾

2.3.1 인체상해 위험도⁶⁾

신체 부위를 머리와 목, 가슴, 왼쪽 다리와 발, 그리고 오른쪽 다리와 발의 내 부분으로 구분하여 더미 데이터에 근거하여 1등급, 2등급, 3등급, 그리고 4등급으로 평가하였으며, 1등급이 탑승자 상해위험이 가장 낮다.

Table 3 Injury criteria for head and neck

Body region	Parameter	IARV	1-2 rating	2-3 rating	3-4 rating
Head and Neck	HIC-15	700	560	700	840
	Nij	1.0	0.8	1.0	1.2
	Tension (kN)	3.3	2.6	3.3	4.0
	Compression (kN)	4.0	3.2	4.0	4.8

Table 4 Injury criteria for chest

Body region	Parameter	IARV	1-2 rating	2-3 rating	3-4 rating
Chest	Acceleration (3ms,g)	60	60	75	90
	Compression (mm)	-50	-50	-60	-75
	Compression rate (ms/s)	-8.2	-6.6	-8.2	-9.8
	Viscous criteria (m/s)	1.0	0.8	1.0	1.2

Table 5 Injury criteria for right and left leg

Body region	Parameter	IARV	1-2 rating	2-3 rating	3-4 rating
Leg and Foot	Femur load (kN)	-9.1	-7.3	-9.1	-10.9
	Knee-tibia displacement (mm)	-15	-12	-15	-18
	Index	1.00	0.80	1.00	1.20
	Tibia load (kN)	-8.0	-4.0	-6.0	-8.0
	Foot acceleration (g)	150	150	200	260

$$HIC15 = \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a_r dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \tag{1}$$

where a_r : head resultant acceleration(g)

$$NTE = \frac{+F_z}{6806} + \frac{-M_y}{135} \tag{2}$$

2.3.2 차체 구조 안전도⁷⁾

충돌 시 차량의 footrest, 왼쪽과 오른쪽 계기판, 브레이크 페달, 왼쪽/중앙/오른쪽 toepan, A-pillar가 승객룸으로 찌그러드는 양을 측정하여 등급을 결정한다. 계측한 값이 서로 다른 등급에 포함될 경우에는 더 많은 계측값이 포함된 등급을 최종 등급으로 결정한다.

2.3.3 구속장치 및 더미 거동⁸⁾

충돌 시 구속장치(안전벨트, 에어백 등)가 탑승자를 보호하기 위해 적절하게 작동했는지, 또한 승객이 차량 내부의 단단한 부분과 접촉했는지의 여부를 고속카메라 필름을 분석하여 등급을 결정한다.

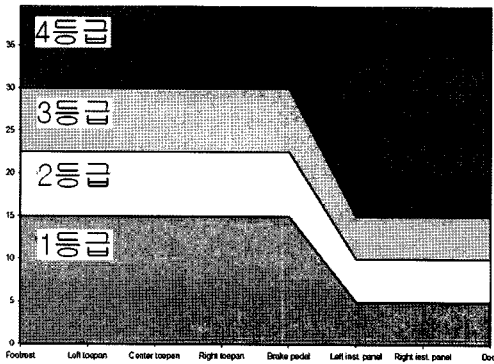


Fig. 1 Guideline for structural rating

3. 공격성 평가결과

이종 차종간의 정면충돌 시 중량 및 충격력 흡수 부재의 높이 차이에 의한 상대 차량에 대한 공격성 및 자기차량 탑승자 보호성능을 평가하기 위해 중형승용차량과 SUV, 중형승용차량과 경트럭의 정면 충돌시험을 실시하였다.

3.1 머리와 목 상해 위험도

충돌 시험 시 운전석에 탑재한 더미에 기록된 데이터를 Table 6과 7에 나타내었다. P.C1과 SUV의 충돌에서, P.C1 탑승자의 머리상해위험(HIC-15)이 SUV 탑승자에 비해 약 82% 높고 목에 걸리는 인장하중도 55% 정도 높다. 이러한 결과는 SUV의 중량이 P.C1에 비해 약 10%정도 높은 것에 기인한 것으로 분석된다.

Table 6 Head injury measure

Parameter	P.C 1	SUV	P.C 2	LTV
3ms Acc.(g)	71.1	48.8	50.0	57.9
HIC_15	404.6	222.6	220.8	323.5
HIC_max	687.9	365.4	471.0	513.9

Table 7 Neck injury measure

Parameter	P.C 1	SUV	P.C 2	LTV	
Tension (N)	1,660	1,080	1,362	3,023	
Compression (N)	20	160	72	83	
Nij	TE	0.26	0.13	0.14	1.18
	TF	0.26	0.27	0.27	0.62
	CE	0.00	0.05	0.1	0.02
	CF	0.00	0.08	0.00	0.02

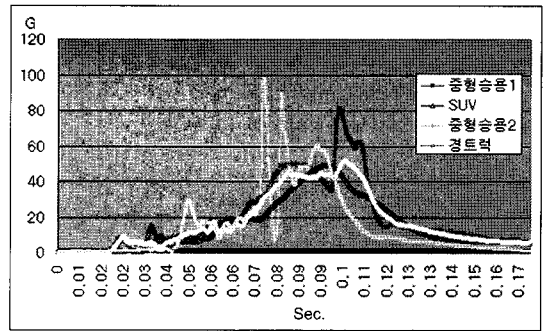


Fig. 2 Head acceleration-resultant

P.C2와 LTV의 충돌에서는 LTV 탑승자의 머리상해위험(HIC-15)이 P.C2 탑승자에 비해 47% 높고 목에 걸리는 인장하중도 약 2배 정도 높다. 중량이 약 20% 정도 무거운 LTV 탑승자의 머리와 목 상해위험이 높게 나타난 것은, P.C2의 사이드멤버 높이가 LTV보다 약 10cm 높은 원인에서 기인한 것으로 차대 차 정면충돌에서 탑승자의 머리와 목 상해위험은 두 차량의 중량차이 보다는 주행높이 차이의 영향이 더 큰 것으로 분석된다.

3.2 가슴 상해 위험도

각 시험차량의 운전석에 탑재한 더미에 기록된 가슴 상해 위험도는 Table 8과 같다. 가슴 상해 위험도는 4개 차종 모두에서 기준값을 초과하지 않는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 충돌 시 더미의 상체가 안전벨트 등의 구속장치에 의해 적절하게 구속되었음을 의미한다.

가슴 부상 위험 파라메타는 4개 차종에서 유사하게 나타났다. 그러나 중형승용차량과 충돌한 경트럭 탑승자의 가슴 압축량이 매우 작게 나타났는데, 이는 상대적으로 차고가 높은 LTV의 하단을 P.C2가 충격하여 더미의 머리 부분이 앞으로 숙여져서

Table 8 Chest injury measure

Parameter	P.C 1	SUV	P.C 2	LTV
Acc. (3ms,g)	45.7	43.7	38.3	35.1
Deflection (mm)	-32.92	-20.82	-30.76	-8.7
Deflection rate (m/s)	-1.63	-2.59	-1.65	-1.1
Viscous criteria (m/s)	0.16	0.09	0.15	0.03

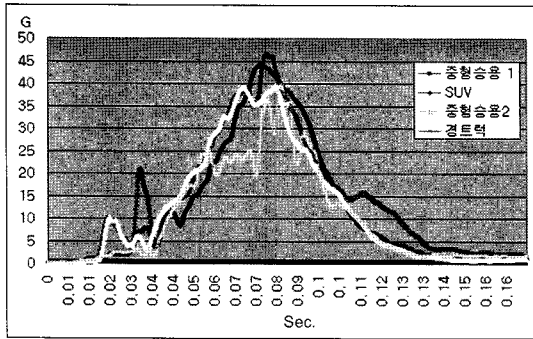


Fig. 3 Chest acceleration of driver dummy

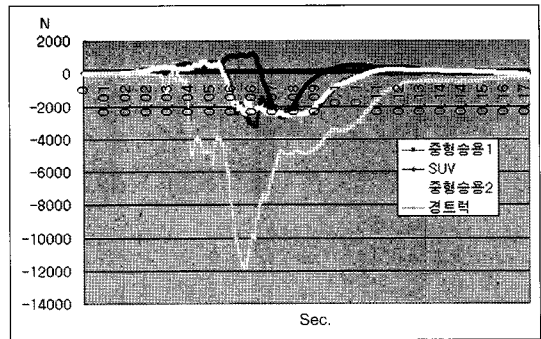


Fig. 4 Left femur load of driver dummy

안전벨트에 의한 디미의 가슴 압축이 적게 발생한 것으로 분석된다.

3.3 다리와 발 상해 위험도

충돌에너지 흡수부재(범퍼레일 및 사이드멤버)가 겹쳐지는 P.C1과 SUV의 충돌에서 P.C1 탑승자의 대퇴부 하중이 SUV 탑승자에 비해 약 22% 높고, 발 가속도도 33%~2배 정도 높게 나타났다. 이러한 결과는 충돌에너지 흡수부재의 높이가 일치하는 경우 탑승자의 상해위험은 상대 차량의 중량에 영향을 받는다는 사실을 보여준다.

반면 충돌 에너지 흡수부재가 겹쳐지지 않는 P.C2와 LTV의 충돌에서는 LTV 탑승자의 대퇴부 하중이 70%~5배 정도 높게 나타났다. 이러한 결과는 차 대 차 충돌에서 탑승자의 대퇴부 상해위험은 상대차량의 중량보다는 구조적 특성(에너지 흡수부재의 높이 차이)이 더 큰 영향을 미친다는 사실을 보여준다. LTV 탑승자의 왼쪽 발 가속도가 P.C2 탑승

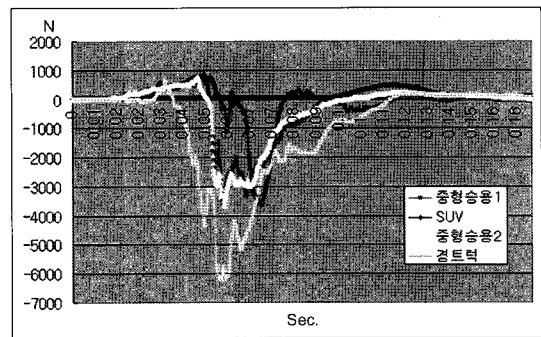


Fig. 5 Right femur load of driver dummy

자 보다 5배 높게 나온 반면 오른쪽 발 가속도는 P.C2 탑승자가 2.5배 높게 나타났는데, 이는 에너지 흡수부재의 높이차이로 인해 두 차량 탑승자의 하체 부상위험이 모두 증가하는 현상을 보여준다.

3.4 차체 구조 안전도

중형승용과 SUV의 충돌에서는 탑승자의 부상위험을 가중시킬 정도의 차체 변형(운전석 내부로의 침입)이 발생하지 않았으나, 중형승용과 경트럭의 충돌에서는 경트럭의 전반적인 변형이 크게 나타났고 중형승용의 경우 상대적으로 낮은 위치의 침입량이 크게 나타났다.

P.C1이 중량은 10% 무거운나 충격에너지 흡수부재의 높이가 겹쳐지는 SUV와 충돌하는 경우 SUV보다 침입량은 약간 증가하나 탑승자의 상해를 증가시킬 정도는 아니다. P.C2가 중량이 약 19% 무거우며 충격에너지 흡수부재가 낮은 LTV와 충돌한 경우 P.C2의 침입량은 탑승자의 상해위험을 증가시키지 않는 범위에 있는 반면 LTV의 침입량은 크게

Table 9 Leg and foot injury measure

Parameter		P.C 1	SUV	P.C 2	LTV	
Femur load (N)	left(L)	-3,270	-2,680	-2,552	-11,882	
	right(R)	-3,650	-3,656	-3,665	-6,237	
Index	L	up	0.24	0.32	0.36	0.72
		down	0.38	0.19	0.33	1.62
	R	up	0.59	0.35	1.01	0.92
		down	0.64	0.29	1.71	0.77
Tibia load(N)	L	-1,058	-164	-935	520	
	R	2,020	-1,058	-5,926	-1,398	
Foot acc.(g)	L	110.59	83.41	115.95	580.45	
	R	271.13	127.48	461.81	181.37	

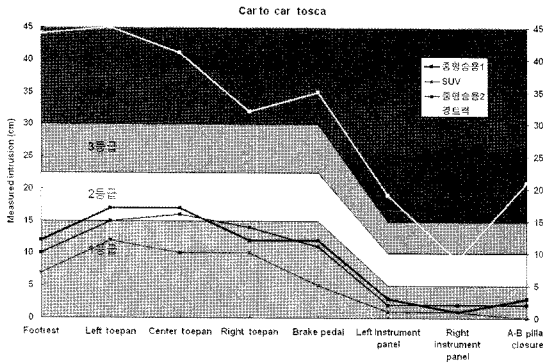


Fig. 6 Vehicle structure

증가하여 탑승자의 상해위험을 가중시킬 수 있다. 이러한 현상을 통해 차 대 차 충돌에서 중량보다는 에너지 흡수부재의 높이 차이가 차체 침입량에 더 큰 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다.

3.5 구속장치 및 더미거동

SUV와 충돌한 중형승용차량의 운전석 더미는 에어백과 충돌 후 운전대와 충돌하였고 이로 인해 머리 가속도 80.8g가 발생하였으며, 운전대가 운전자 쪽으로 과도하게 침입하였다.

중형승용과 충돌한 경트럭에는 에어백이 장착되어 있지 않아 운전석 더미의 머리가 운전대에 충돌하였고 이로 인해 99.4g의 머리 가속도가 발생하였고 운전대가 과도하게 침입하였다.

3.6 차량 별 탑승자 보호성능

50km/h, 50% offset 정면충돌 시 각 차량의 탑승자 보호성능을 Table 9에 나타내었다.

Table 10 Occupant protection rating

	P.C 1	SUV	P.C 1	LTV
Head and Neck	2	1	1	3
Chest	1	1	1	1
Leg and Foot(L)	1	1	1	4
Leg and Foot(R)	4	1	4	4
Structure	1	1	1	4
Restraints	2	1	1	4
Combination	2	1	2	4

4. 결론

- 1) 차 대 차 정면충돌 시 상대 차량 탑승자의 부상위험에 영향을 미치는 요소는 중량차이 보다는 전면의 기하학적 형상(충격에너지 흡수부재의 높이 차)이다. 중량이 무겁고 주행높이가 높은 SUV와 충돌한 중형승용차량탑승자의 머리와 목, 다리의 부상위험은 SUV보다 높았으나 중량은 무거우나 주행높이가 낮은 경트럭과 충돌한 중형승용차량탑승자의 머리와 목 부상위험은 경트럭보다 낮았다.
- 2) 정면충돌 시 충격력 흡수부재가 충돌하지 않고 상대차량의 차체에 충돌하는 경우에는 두 차량 탑승자의 하체 부상위험이 증가한다. 중형승용차량과 경트럭의 충돌에서 두 차량의 운전석에 탑재한 더미에 기록된 하체 부상위험은 모두 기준값을 초과하였다.
- 3) 이러한 결과를 통해 SUV 및 경트럭의 충격력 흡수부재높이를 승용차 수준으로 낮춤으로써 차 대 차 정면충돌 시 상대 차량에 대한 공격성뿐만 아니라 자기차량 탑승자 보호성능도 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 그러므로 SUV 및 경트럭의 충격력 흡수부재높이를 승용차 수준으로 제한하는 제도가 도입되면 차 대 차 정면충돌에서 발생하는 중상 또는 사상자를 많이 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

References

- 1) Korea Automobile Manufacturers Association, Korea Automobile Industry, p.43, 2000.
- 2) F. Hartemann, J. Y. Foret-Bruno, C. Thomas and C. Tarriere, "Influence of Mass Ratio and Structural Compatibility on the Severity of Injuries Sustained by the Near Side Occupants in Car-to-Car Side Collisions," SAE, Warrendale, Pennsylvania, USA, pp.235-259, 1979.
- 3) P. Frei, R. Kaeser, R. Hafner, M. Schmid, A. Dragan, L. Wingeier, M. H. Muser, P. F. Niederer and F. H. Walz, "Crashworthiness and Compatibility of Low Mass Vehicles in Collisions," SAE, Warrendale, Pennsylvania, USA, pp.119-128, 1992.

- 4) R. W. Lowne, EEVC Working Group 11 Report on the Development of a Front Impact Test Procedure, pp.1-20, 1994.
- 5) B. O'Neill and S. Y. Kyrnchenko, "Crash Incompatibilities Between Cars and Light Trucks; Issues and Potential Countermeasures," SAE, Warrendale, Pennsylvania, USA, pp 1-10, 2004.
- 6) Insurance Institute for Highway Safety, Frontal Offset Crashworthiness Evaluation Guidelines for Rating Injury Measures, pp.1-9, 2004.
- 7) Insurance Institute for Highway Safety, Frontal Offset Crashworthiness Evaluation Guidelines for Rating Structural Performance, pp.1-3, 2002.
- 8) Insurance Institute for Highway Safety, Frontal Offset Crashworthiness Evaluation Guidelines for Rating Restraints and Dummy Kinematics, pp.1-10, 2004.