

상호 안전성 대응 차체 전방 구조에 관한 연구

신장호* · 김윤창** · 김혜연**

A Study on Vehicle Frontal Structure for Crash Compatibility

Shin, Jangho*, Kim, Yun Chang**, Kim, Hye Yeon**

Key Words : *Compatibility*(상호 안전성), *Self Protection*(자기 보호), *Partner Protection*(상대방 보호), *Structural Interaction*(차체 상호작용), *Car-to-Car Crash*(차대차 충돌)

ABSTRACT

In recent years, rapid-increasing market share of compact cars and SUVs has brought for both consumer and automaker to pay more attention on crash compatibility between the compact passenger vehicles and the light trucks (i.e., Pickups and SUVs). Vehicle compatibility regarding both self and partner protection in frontal crash of different class vehicles is one of hot issues in vehicle safety. Furthermore, it is expected that the amendment of UNECE-Regulation 94 to implement compatibility issues in couple of coming years. In this study, conceptual design of compatibility compliant frontal vehicle structure which subjects to improve the distribution of frontal crash loading and structural engagement between vehicles is introduced. The effects of proposed vehicle structure on both possible candidates (i.e. FWRB, FWDB and PDB) for a compatibility evaluation test procedure and car-to-car crash are also investigated.

1. 서론

최근 들어 외형 크기 및 중량 차이가 큰 이종(異種) 차량간의 정면 충돌 시 양쪽 승객 보호 성능 확보 및 개선은 충돌안전의 중요과제 중 하나로 자리잡고 있다 (Fig. 1).

차량의 상호 안전성(Compatibility) 문제는 1970년대 초부터 경소형 차량의 대량 보급과 더불어서 제기되기 시작하였으며 최근 들어 SUV와 픽업 트럭 보급 대수의 증가에 따라서 다시 한번 대중의 주목을 받기 시작하였다. 북미 NHTSA와 IHRA에서는 이러한 경향에 부응하여 차량간의 충돌 시 발생하는 문제점에 대한 연구를 확대하기 시작하였다.⁽¹⁾⁽²⁾

차대차 충돌 시 충돌에 의한 자기 승객 보호(Self

protection) 성능뿐만 아니라 상대방 차량의 승객 보호 (Partner protection) 성능 평가 확대 시행이 향후 유럽 법규 및 Euro-NCAP에서는 예정되어 있으며 현재 북미에서는 제조사의 자발적 이행안으로 시행 중에 있다.

과거에는 상호 안전성의 가장 중요한 요인으로 차량간 중량비에 관하여 연구가 되었으나 최근에는 중량 차이가 나는 이종 차량간의 정면 충돌 시 저중량 차량 승객의 위험도가 높은 원인으로 차량의 전방 차체 구조 특성이 크게 연관됨을 인지하게 되었다. 오늘날의 차량 상호 안전성은 두 차량의 중량 차이보다 차량전방 구조물의 강성과 충돌 시 각 차량 전방 구조물의 기하학적 상호작용에 주목하여 연구가 진행되고 있다 (Fig. 2).⁽³⁾⁽⁴⁾

본 연구에서는 정면 충돌 시 하중 분산 및 차량간 전방 구조 상호작용 개선을 목적으로 하는 상호 안전성 대응 차체 전방 개념 구조를 제안하였다. 컴퓨터 해석을 이용하여 최근 연구 진행중인 상호 안전성 평

* 현대자동차 안전해석팀

** 현대자동차 플랫폼개발1팀

E-mail : jangho_shin@hyundai.com

가 시험(FWRB, FWDB, PDB)에서의 제안된 차체 전방 개념 구조의 영향도 해석을 수행하였으며 차체 전방 구조물의 초기 상호작용 개선을 확인하였다. 또한 차대차 충돌 해석을 통하여 실제 차대차 충돌시 제안된 차체 전방 개념 구조에 의해 차체 상호작용 개선을 확인하였다.



Fig. 1 Frontal car-to-Car crash (FIAT 500 vs. AUDI Q7); 56kph, 50% overlap ratio of small car

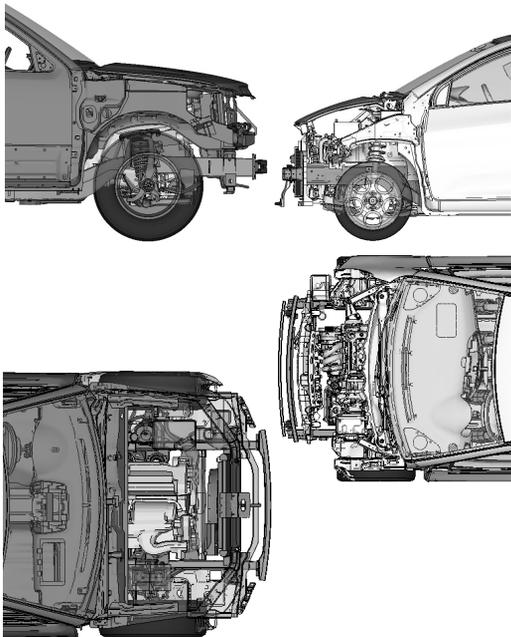


Fig. 2 Geometric alignment of front side member between small passenger car and large SUV

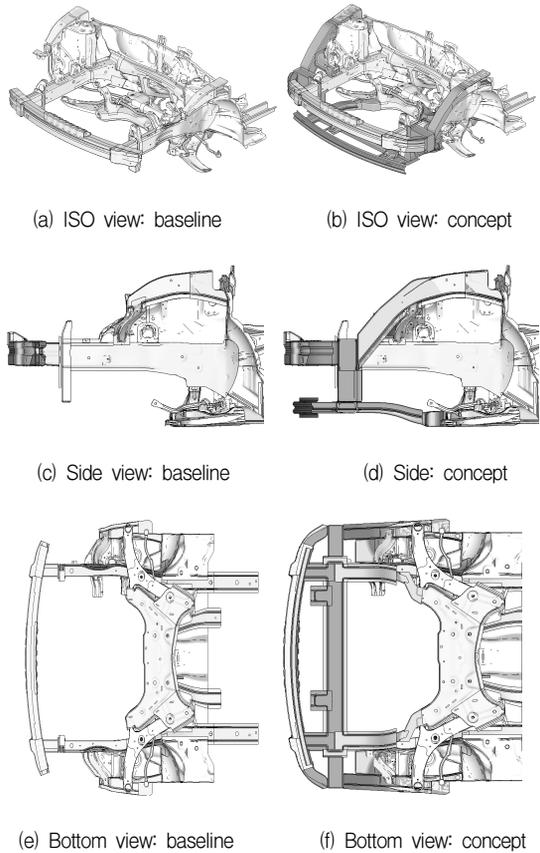


Fig. 3 Baseline and concept design of compatibility compliant vehicle structure

2. 본 론

2.1 상호 안전성 대응 차체 개념 구조

정면 충돌 시 차량 전방 구조물의 강성과 상호작용이 정면 충돌 성능에 가장 큰 영향을 미치는 인자임을 많은 연구 사례에서 보여 주고 있다. 일반적으로 차량 제원이 큰 차량의 정면 충돌 부재는 작은 차량의 충돌 부재보다 높게 위치하는 경향이 있다. 또한 크기가 다른 차량간 디자인 레이아웃의 차이에 의해 정면 충돌 부재간 수직 높이의 차이가 발생한다. 차대차 정면 충돌 시 차량의 충돌 부재가 높이 차이에 의해 서로 어긋났을 경우 상호작용 불량으로 충분한 충돌 에너지 흡수를 하지 못하는 경우가 발생하게 된다. 게다가 정면 충돌 부재간 상호작용의 불량은 승객실의 변형을

크게 증가 시키는 결과로 이어지게 된다.⁽⁵⁾

Fig. 3는 현재 차체 전방 구조와 정면 충돌 부재간 상호작용의 개선을 목적으로 하는 상호 안전성 대응 차체 개념 구조를 나타낸다. 상호 안전성 대응 차체 개념 구조는 그림에서 보는 바와 같이 구조물간 연결성을 개선하였으며 lower member가 추가되었다. 또한 전방 back beam은 좌우로 연장되어 fender apron과 연결된 구조를 갖는다. 충돌 초기에 상호작용을 개선시키기 위해 lower member는 길이 방향으로 전방 끝단까지 최대한 연장되었다. 현재 차체 전방 구조에서는 대부분의 충돌 하중이 주 충돌 부재인 front side member에 집중된다. 하지만 제안된 차체 구조에서는 충돌 부재의 추가 및 연결성 개선으로 인하여 충돌 하중 전달 경로가 증가되어 현재의 차체 전방 구조에 비해 보다 균일한 충돌 하중 분포를 갖는다. 이는 차체 구조의 균일성(homogeneity)이 향상 되었음을 의미한다. 상호 안전성 대응 차체 개념 구조의 또 다른 특징은 차대차 충돌시 주 충돌 부재(일반적으로 front side member)가 서로 어긋났을 경우에도 추가된 충돌 부재와 연결성 개선에 의한 차체 구조물 간 상호작용의 개선이다.

추가된 lower member 및 부재간 연결성 개선의 효과를 확인하기 위해 상호 안전성 평가 시험으로 연구 진행중인 FWRB(Full Width Rigid Barrier), FWDB(Full Width Deformable Barrier), 그리고 PDB(Progressive Deformable Barrier) 시험의 컴퓨터 해석을 수행하였다.⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾

2.2 상호 안전성 평가 시험

2.2.1 Full Width Rigid Barrier 시험

FWRB 시험에서는 가로 125mm, 세로 125mm의 크기를 갖는 고해상도 로드 셀들이 사용되었다. 로드 셀 배리어의 지상고는 80mm이며 이는 IHRA (International Harmonized Research Activities) Phase 1a에서 권장된 높이이다. 차량의 충돌 속도는 현재 정면 NCAP 시험과 동일한 56kmph로 설정되었다.⁽⁶⁾

Fig. 4은 AHOF(Average Height of Force)-변위 선도를 나타낸다. 충돌후 차량이 400mm 변형할 때까지의 AHOF(AHOF400)는 현재 차체 구조의 경우 451mm였으며 lower member가 추가된 차체 개념 구조의 경우 387mm로 낮아졌다. 전방 back beam과 fender apron의 연결 및 차량 전방까지 연장된 lower

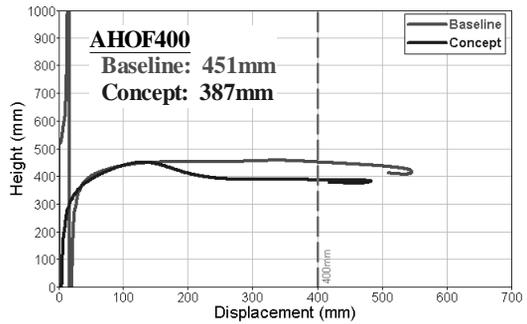


Fig. 4 AHOF-displacement curves

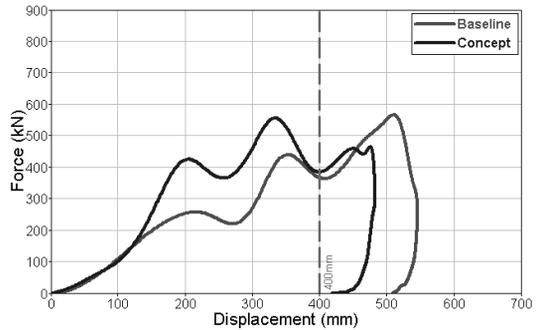


Fig. 5 Total barrier force-displacement curves

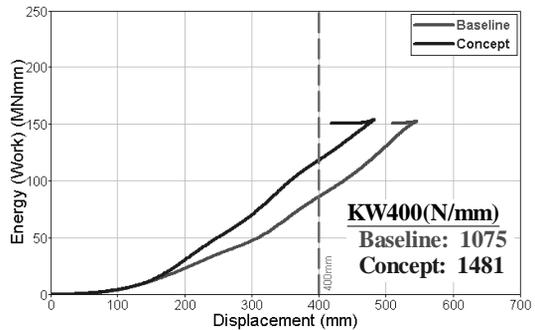


Fig. 6 Internal energy-displacement curves

member로 인하여 차량이 400mm 변형할 때까지의 total barrier force와 등가 차체 강성(KW400)값이 증가하였다(Figs. 5 와 6). 이는 충돌 초기 차체 전방 구조의 강성이 증가되었음을 의미한다.

2.2.2 Full Width Deformable Barrier 시험

FWDB 시험에서 사용된 deformable honeycomb 구조는 강성이 다른 두개의 적층 구조를 갖는다.⁽⁷⁾ 첫번째 layer는 강도 0.34MPa의 알루미늄 honeycomb 구조물이며 두번째 layer는 강도 1.71MPa의 알루미늄

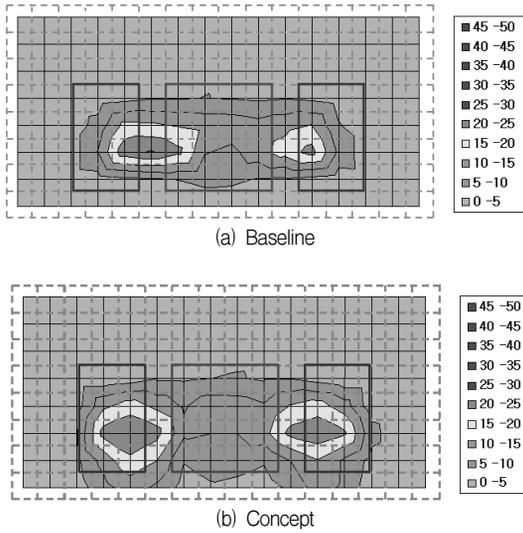


Fig. 7 Peak load cell distributions

honeycomb 구조물로 이루어져 있다. 차량의 충돌 속도는 FWRB 시험과 56kph로 동일하다.

Fig. 7는 현재 차체 구조와 제안된 상호 안전성 대응 차체 개념 구조의 peak load cell force 분포도를 나타낸다. 두 가지 구조 모두 주 충돌 부재가 위치해 있는 영역 근처에서 최대값을 보임을 알 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 현재 차체 구조보다 상호 안전성 대응 차체 개념 구조의 peak load cell 분포가 더 넓게 나타났다. 이는 상호 안전성 대응 차체 개념 구조가 하중 분포 측면에서 보다 더 균일함을 의미한다. 더욱이 지면으로부터 가까운 row 1과 row 2에 lower member에 의해 현재 차체 구조에서는 나타나지 않았던 하중이 작용하였다.

Table 1는 차체 구조 상호작용 평가 영역(row 2 ~ row 5)의 HSI(Horizontal Structural Interaction)과 VSI(Vertical Structural Interaction)를 나타낸다.

Structural Interaction Criteria는 영역별 하중의 편차(deviation)이며 0에 가까운 값을 가질수록 하중의 편차가 적음을 나타낸다. 이는 곧 차체 구조가 균일성(homogeneity)이 우수함을 의미한다.

Table 1에서 보여주는 바와 같이 상호 안전성 대응 차체 개념 구조의 outer support parameter(row 3 및 row 4) 값이 낮아졌다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 현재 차체 구조보다 상호 안전성 대응 차체 구조의 수

Table 1 Structural interaction criteria : horizontal structural interaction

	Baseline		Concept	
	Center Support	Outer Support	Center Support	Outer Support
Row 5	0.0	0.5	0.0	0.8
Row 4	0.0	2.5	0.3	1.0
Row 3	1.4	2.4	3.0	0.4
Row 2	0.0	0.6	2.6	0.1

Table 2 Structural interaction criteria : vertical structural interaction

	Baseline		Concept	
	Minimum Support	Load Balance	Minimum Support	Load Balance
Row 5	49.5	0.5	58.8	0.4
Row 4	0.0		0.0	
Row 3	0.0		0.0	
Row 2	42.8		0.0	

평 균일성이 우수함을 의미한다. Table 2에서는 lower member의 추가 및 lower member에 의한 충돌 하중의 발생으로 row 2의 minimum support 값이 0으로 낮아졌음을 알 수 있다.

FWDB 시험에서도 FWRB 시험과 마찬가지로 상호 안전성 대응 차체 구조의 lower member의 유무가 뚜렷이 나타났다. 또한 lower member의 위치 및 lower member에 의한 충돌 하중 지지 효과도 확인할 수 있었다.

2.2.3 Progressive Deformable Barrier 시험

본 연구에서 PDB 시험의 충돌 속도 및 overlap 조건으로는 각각 60kph 및 50%로 설정하여 수행하였다.⁽⁸⁾ 현재 널리 적용중인 ODB 시험 조건과 다른 점은 barrier 구조, 충돌 속도 및 overlap 비율이다.

현재 차체 구조를 갖는 차량 및 상호 안전성 대응 차체 개념 구조를 갖는 차량의 충돌 후 PDB 변형 형상을 Fig. 8에 나타내었다. PDB의 최종 변형 형상에는 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 두 가지 차체 구조의 경우 모두 엔진과 변속기가 barrier 변형 최종 형상에 가장 큰 영향을 주기 때문이다. 실제로 충돌 초기에 lower member가 차체 상호작용에 중요한 역할을 하더라도 barrier 변형 최종 형상에는 엔진과 변속기에 의

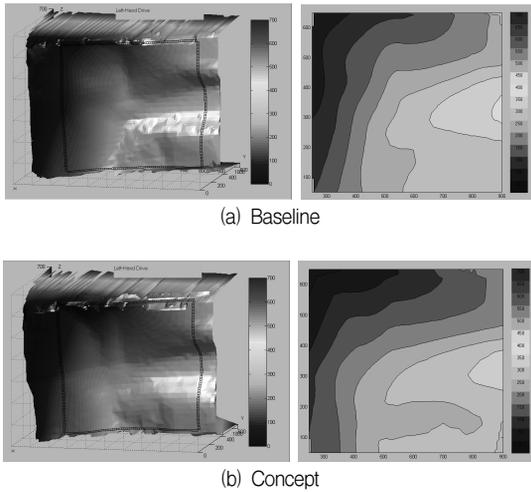


Fig. 8 PDB deformations

해서 ‘회석’되어 버리는 현상이 발생함을 의미한다.

Table 3는 각 차체 구조 경우에 대해 ADOD (Average Depth of Deformation), AHOD(Average Height of Deformation), 그리고 maximum barrier deformation을 나타낸다. 상호 안전성 차체 개념 구조의 경우 AHOD는 소폭 낮아졌다. Lower 하중 전달 경로 유무는 상호 안전성 측면에서 중요한 요소로 작용한다. 그럼에도 불구하고 AHOD 값은 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 AHOD만으로는 상호 안전성 측면에서 중요한 역할을 하는 lower member의 유무를 판정 할 수 없음을 의미한다. ADOD 값 또한 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 PDB 시험에서는 ADOD는 차체 전방 구조의 특징 보다는 차량의 질량에 주로 영향을 받음을 알 수 있었다.

PDB 시험에서 제안된 상호 안전성 대응 차체 구조의 효과는 뚜렷이 나타나지는 않았다. PDB 시험은 barrier의 최종 변형 형상만 가지고 평가하기 때문이다. PDB 시험은 차체 상호작용을 향상시키는 차체 구조물의 유무를 확인 할 수 있는 추가적인 평가 파라미터가 필요하다.

Table 3 Partner protection parameters for PDB

	Baseline	Concept
ADOD(mm)	246	227
AHOD(mm)	322	310
Dmax(mm)	407	372

2.3 정면 차대차 충돌

Fig. 9는 중형 승용차(1465kg)와 소형 승용차(1060kg)의 정면 편심 차대차 충돌을 나타낸다. 각각의 차량은 56kph의 충돌 속도를 가지며 편심율은 소형차 기준으로 50%이다. 기본 차량과 개념 구조 차량의 차체 전방 구조를 Fig. 10에 나타내었다. 기본 차량의 경우 중형/소형차 모두 충돌 시 에너지를 흡수하는 프론트 사이드 멤버를 가지고 있다. 개념 구조 차량(중형차)의 경우 충돌 시 차체 상호작용을 개선하기 위해 로워 멤버가 추가되었으며 범퍼 백 빔이 차량 폭 방향으로 넓어졌으며 펜더와 연결되었다. 기본 차량의 차대차 충돌 시 Fig. 11 (a),(c)에 보는 바와 같이 수직 및 수평 방향으로 차량들의 프론트 사이드 멤버의 기하학적 위치가 어긋나게 된다. 결과적으로 각 차량들의 주 충돌 부재인 프론트 사이드 멤버는 충돌 에너지를 흡수하지 못하고 소형차량의 언더 라이드가 발생하게 된다. 개념 구조를 갖는 차량의 차대차 충돌 시에는 동일한 소형차의 언더 라이드가 발생하더라도 로워 멤버 및 기존 대비 넓어진 범퍼 백 빔 덕분에 개선된 차체 상호작용을 나타낸다(Fig. 11 (b),(d)). 차대차 충돌 시 본 연구에서 제안된 차체 개념 구조에 의해 각 차량의 충돌 부재가 기하학적으로 어긋나더라도 충돌 초기 차체 상호 작용에 매우 효과적임을 확인하였다.

3. 결론

본 연구에서는 상호 안전성 대응 차체 전방 개념 구조를 제안하였으며 컴퓨터 해석을 이용하여 최근 연구 진행중인 상호 안전성 평가 시험 및 현재 시행중인 상품성 시험에서의 충돌 영향도 해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 충돌 부재의 추가 및 연결성 개선으로 인하여 충돌 하중 전달 경로가 증가되어 균일한 충돌 하중 분포 및 차대차 충돌 시 차체 구조물 간 상호작용의 개선을 목적으로 하는 상호 안전성 대응 차체 전방 개념 구조를 제안하였다.
- 2) FWRB 및 FWDB 시험에서 상호 안전성 대응 차체 구조의 lower member의 유무가 뚜렷이 나타났으며 lower member의 위치 및 lower member에 의한 충돌 하중 지지 효과도 확인 할 수 있었다.
- 3) PDB 시험에서는 제안된 상호 안전성 대응 차체

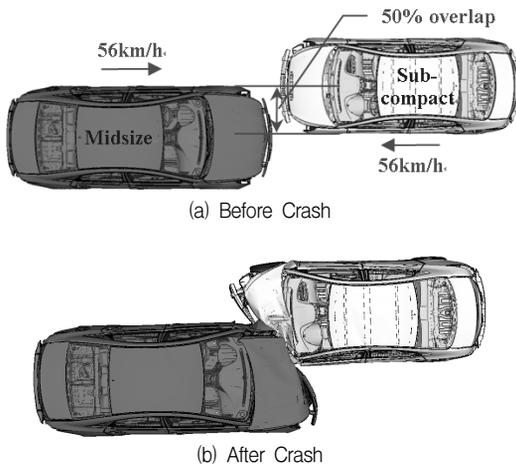


Fig. 9 Frontal car-to-car crash (both vehicles at 56km/h with 50% overlap of subcompact car)

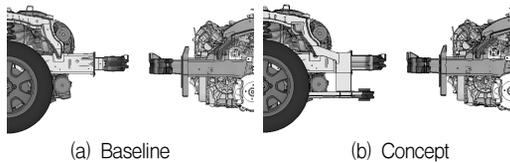


Fig. 10 Geometric alignment of vehicles

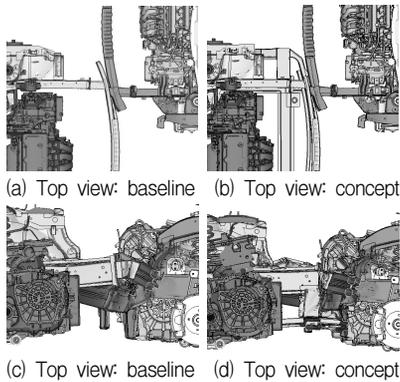


Fig. 11 Structural Interactions of frontal car-to-car crash ; (a),(b): @10ms, (c),(d): @25ms

구조의 효과는 뚜렷이 나타나지는 않았다. 이는 PDB 시험은 barrier의 최종 변형 형상만 가지고 평가하기 때문이다. PDB 시험은 차체 상호작용을 향상시키는 차체 구조물의 유무를 확인 할 수 있는 추가적인 평가 파라미터가 필요하다.

- 4) 정면 차대차 충돌 해석을 통하여 제안된 상호 안전성 대응 차체 구조에 의한 충돌 초기 차체 상호작용 개선을 확인하였다.

참고문헌

- (1) 2007, "Car Crash Compatibility and Frontal Impact," EEVC WG15 Final Report.
- (2) Patel, S., et al., 2007, "NHTSA's Recent Vehicle Crash Test Program on Compatibility in Front-to-Front Impacts," 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Paper No. 07-0231.
- (3) Wykes, N., et al., 1998, "Compatibility Requirements for Cars in Frontal and Side Impact," 16th International Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Paper No. 98-S3-O-04.
- (4) Edwards, M., et al., 2001, "The Essential Requirements for Compatible Cars in Frontal Collisions," 17th International Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Paper No. 158.
- (5) 2008, Kleinwagen gegen Geländewagen: Audi Q7 vs. Fiat500 Crash Test, <http://www.adac.de>.
- (6) O'Reilly, P., 2005, "Status Report of IHRA Compatibility Working Group," 19th International Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Paper No. 365.
- (7) 2007, FWDB Test Protocol v3.0.
- (8) 2006, PDB Test Protocol v2.3