

동일 플랫폼 차량에 대한 저속 충돌시 손상성 수리성에 미치는 영향에 관한 연구

임 종 훈*¹⁾ · 박 인 송¹⁾ · 허 승 진²⁾

보험개발원 자동차기술연구소¹⁾ · 국민대학교 자동차공학 전문대학원²⁾

A Study on Characteristics of Damageability and Repairability with Similar Platform Type at Low Speed 40% Offset Crash Test

Jonghun Lim *¹⁾ · Insong Park¹⁾ · Seungjin Heo²⁾

¹⁾Automobile Technology Department for Korea Automobile Insurance Repair Research & Training Center(KART), 125-1 Susan-2ri, Sulsung-myun, Icheon, Gyeonggi 467-882, Korea

²⁾School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received 7 September 2004 / Accepted 30 October 2004)

Abstract : The damageability and repairability of similar platform type vehicles could be very concerned with design optimization. In all the vehicles crash tested, small size passenger vehicles were weakness in aspect of damageability and repairability. The most critical area appears to be repair cost considering that parts cost is the largest portion of total repair cost segments. Besides repair cost, attaching method of front sidemember and subframe are placed special importance for impact energy absorption and damageability and repairability. So in order to improve damageability and repairability of vehicle structure and body component of the monocoque type passenger vehicles, the end of front side member and front back beam should be designed with optimum level and to supply the end of front side member as a partial condition approx 300mm. The effectiveness of design concept on the 40% offset frontal impact characteristics of the passenger vehicle structure is investigated and summarized.

Key words : NCAP(신차평가제도), D & R index(손상성 수리성 지수), Standard curve weight(공차중량), Axial folding collapse(축중심 접힘 좌굴), Local collapse mode(국부 좌굴 모드), RCAR(Research Council for Automobile Repairs)

1. 서론

오늘날 신규차량 개발 시에는 개념설계, 시작설계, 양산설계 등의 과정을 거치게 되며 보다 완벽한 차량을 적기에 생산하기 위해서 생산 전에 수많은 시작차를 제작하여 다양한 개발시험을 거쳐 개선설계가 이루어지게 된다. 차량의 충돌 안전성 확보를 위한 개발 시험에서도 각 설계 단계별로 각종 충돌

사고를 대비한 실차 고속충돌시험을 거치면서 설계 검증이 하게 된다. 현재 안전성 측면에서는 30mph(48.3kph)의 속도로 차량을 고정벽에 충돌하는 범규상 안전시험과 35mph(56kph)의 속도로 차량의 안전성을 평가하는 신차평가제도(NCAP : New Car Assessment Program)를 도입하여 신규 평가시험을 실시한 후 소비자에게 보다 폭 넓은 차량정보를 제공하고, 자동차제작사로 하여금 자율적 경쟁을 통해 보다 안전한 자동차를 제작하도록 유도하고 있다. 동

*To whom correspondence should be addressed.
jhlim2@kidi.or.kr

시에 고속충돌시험에서 추구하는 안전성 개념과, 15km/h 40% offset 저속충돌시험에서 추구하는 손상성 수리성 개념^{1,3)}과는 RCAR (Research Council for Automobile Repairs) 규정 사항에 보면 손상성 수리성 개선이 차량 안전성 개선에 영향을 미치지 않는다고 규정하고 있다.⁵⁾ 따라서 자동차의 설계 제작에 있어 소비자의 권익을 보호하고 저속 충돌시 손상성 수리성이 양호 하도록 하여 차량의 경제성을 증가 시키며, 고속 충돌사고에서는 차체구조 안전성이 확보된 차량의 설계 제작을 유도하기 위하여 본 논문에서는 서로 동일한 등급의 차량에 대해 어퍼바디의 구조는 다르나 내판골격 플랫폼이 동일한 차량에 대한 충돌특성과 손상성 수리성 성능분석을 위해 15km/h 40% offset 시험 조건으로 충돌시험을 실시하였으며, 충돌특성 비교분석을 통해 차체구조별 충돌 안전특성과 수리비 분석을 통한 수리특성에 관해 비교 분석하여 보았다.

2. 저속충돌 차량평가

도로상에서 빈번히 발생하고 있는 저속충돌 손상성 수리성 평가는 손상된 부위를 복원 수리하여 산출되는 수리비를 신차가격, 속도보정계수, 전·후면 사고빈도, 전·후면 가산지수 등을 감안하여 손상성 수리성 지수(Damageability & Repairability index)를 책정 평가하고 있다.

손상성 수리성 지수는 식 (1)과 같이 각각의 전후면 지수에 전후면 사고빈도를 곱하여 산출한다.¹⁾

$$\text{종합 D.I} = (\text{전면D.I} \times \text{전면충돌가중계수}) + (\text{후면D.I} \times \text{후면충돌가중계수}) \quad (1)$$

$$\text{전면 D.I} = (\text{전면수리비} / \text{신차가격}) \times 100 \times \text{속도보정계수}$$

$$\text{후면 D.I} = (\text{후면수리비} / \text{신차가격}) \times 100 \times \text{속도보정계수}$$

3. 실험장치

본 시험은 손상성 수리성 평가 전용 펜듈럼충돌 시험 장비를 이용하여 수행 하였으며, 시험차량의 설치방향은 충돌벽 전면의 수직면에 $\pm 1^\circ$ 이내가 되도록 위치하고, 전원 스위치는 “ON” 상태에서 기어 위치는 중립으로 하였으며, 시험차량의 중량은 공

차중량(standard curve weight)에 운전자 75kg 무게를 포함하여 시험 중량으로 하였다. 각 부재에 발생되는 감가속도 값을 측정하기 위하여 가속도계(750g, 6.867m/sec²)를 차량의 Air-bag ECU 상단 X,Y,G, LH B Pillar 하단, Front LH 사이드멤버에 장착하였으며, 충돌 barrier에 가진 되는 감가속도 값 및 충돌력을 측정하기 위하여 충돌벽 중앙에 가속도계(1,000g, 9.810m/sec²)와 로드셀(44,000lbs)을 장착 하였다. 또한 충돌 순간의 차체 변형량을 계측하기 위하여 고속카메라(Frame rate : 500fps, resolution : 512 × 480)를 설치하였으며, 시험은 동일 플랫폼 차량에 대해서 충돌속도 15km/h+1-0 (RCAR 기준)의 오차한계 내에서 전면 40% offset 조건으로 실험하였다.

4. 실험결과 및 고찰

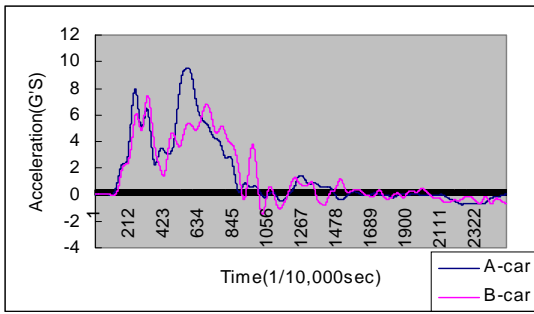
본 시험은 동일 플랫폼을 가진 각각의 승용차량에 대해서 동일한 전면 15km/h 40% offset 시험조건으로 시험을 실시하였다. 각각의 시험차종과 시험조건에 대한 세부항목은 Table 1과 같다. 중형 승용(A&B car), 소형승용(C&D car) 시험차종 공통적으로 사이드멤버 선단 부위에서 축중심접힘변형(Axial folding collapse)이 발생하였으며, 특히 사이드멤버 선단 600mm 부위까지 충격력이 전달된 차종도 있는 것으로 분석되었다.

Table 1 Experimental conditions for crash test

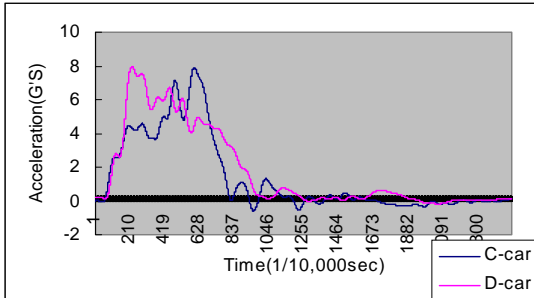
Type	Test vehicle	Test vehicle weight (kg)	Crash speed (km/h)	Vehicle displacement (cc)
Sub frame	A-car	1,535	15.0	1,997
	B-car	1,538	15.05	1,997
Sub frame	C-car	1,346	15.01	1,495
	D-car	1,373	15.1	1,495

4.1 손상특성

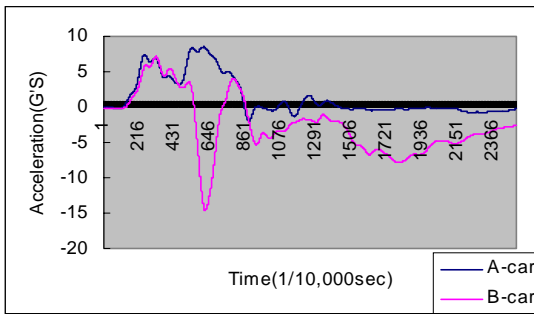
각 차종에 대한 Air-bag ECU Upper X-AXIS, B pillar LH X-AXIS 부위에 대한 최대 감가속도 값을 분석한 결과는 Fig. 1과 같이 Air-bag ECU Upper X-AXIS는 1,997cc 시험차종(A-car, B-car) 평균 8.485G @ 0.043sec를 기록하여 1,495cc 시험차종



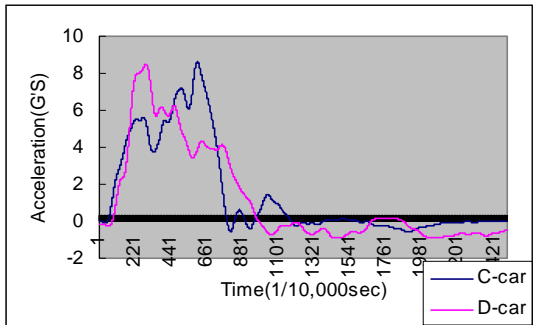
(a) Variation of longitudinal acceleration of Air Bag ECU



(b) Variation of longitudinal acceleration of Air Bag ECU



(c) Variation of longitudinal acceleration of B Pillar LH



(d) Variation of longitudinal acceleration of B Pillar LH

Fig. 1 Variation of longitudinal acceleration of air-bag ECU and B Pillar LH x axis at insurance frontal crash

(C-car, D-car) 평균 7.675G @ 0.0323sec에 비해 약 0.0107sec 늦은 시간에 0.815G의 가속도 값이 더욱 증가하여 차체중량의 증가에 따른 충격 흡수 성능은 크게 차이가 없는 것으로 분석되었다.

B Pillar LH X-AXIS 최대 감가속도는 1,997cc 시험차종(A-car, B-car) 평균 7.825G @ 0.0894sec와 1,495cc 시험차종(C-car, D-car) 평균 8.465G @ 0.0358sec를 비교해 볼 때 차체중량이 적은 차량이 상대적으로 차체중량이 높은 차량에 비해 약 0.0536sec 빠른 시간에 0.64G의 가속도 값이 더욱 증가하여 B Pillar LH 부재에 대한 충격흡수 성능은 중형 차량에 비해 소형 차량이 상대적으로 취약한 것으로 분석되었다.

동일 플랫폼을 공유하는 배기량 1,997cc A와 B 차량의 사이드멤버 손상형태는 Photo. 1과 같이 선단 200 mm 이내에서 축중심점접합변형 손상을 입어 사이드멤버의 손상형태는 매우 유사 하였다. 그러나 동일 플랫폼을 공유하는 배기량 1,495cc C와 D 차량의 사이드멤버의 손상형태는 Photo. 2와 같이 사이드멤버 선단 200mm 부위와, 650mm 부위까지 국부 좌굴(local collapse mode)모드를 나타내어 충격량이 사이드멤버 선단을 지나 휠 하우스 패널까지 전이 되는 것으로 분석되었다.

특히 C, D 차량의 경우 충격량이 에어프론 속업 소버 마운팅 후방까지 전이되어 사이드멤버의 충격 흡수특성이 중형차량에 비해서 현저하게 떨어지는 것으로 분석 되었으며, 따라서, 충돌에너지가 승객 룸 까지 전이되는 것을 막고 전방 충돌안전도 성능 향상을 위해서 연속적인 충격하중의 배분설계 및 다양한 형태의 좌굴세김 설계를 통하여 충격하중의 급격한 변화를 억제 하여야 될 것으로 분석 되었다.²⁾ 각각 시험 차량은 차체RH 부위 휨 변형 발생과 동시에 LH 부위가 내려앉는 변형이 발생되어 손상 형태는 유사한 것으로 나타났다.

일반적으로 충돌 에너지는 특정 부품이나 시스템을 과손시키면서 차체에 흡수되는데¹⁾ 모노코크 바디 승용차량의 경우 범퍼의 성능과 사이드멤버의 선단 100mm 이내의 축중심 점접합 손상형태가 차량의 손상성에 크게 영향을 끼치게 된다.⁵⁾ 특히 소형 C, D 차량(1,495cc)의 경우 충격 에너지가 사이드멤버



(a) Before crash test



(b) After crash test

Photo. 1 Damaged type of front sidemember of A&B car



(a) Before crash test



(b) After crash test

Photo. 2 Damaged type of front sidemember of C&D car

선단에서 적절히 흡수되지 못하고 서브프레임 마운팅 볼트까지 변형되는 손상특성을 보여 주었다.

4.2 수리특성

시험 차종에 대한 수리비를 분석 한 결과 앞범퍼, 본넷, 헤드램프, 라디에이터, 에어컨 콘덴서, 프론

트 사이드멤버 등의 손상이 발생하였으며, 수리비용은 A, B 차종 평균 ₩1,390,724 (A-car: ₩1,374,637, B-car: ₩1,406,812) 이 발생 되었고, C, D 차종 평균 ₩1,311,662 (C-car: ₩1,533,543, D-car: ₩1,089,781) 이 발생하여 평균수리비는 배기량의 차이에 따라 큰 차이는 없는 것으로 분석 되었으나, 동일 플랫폼 C와D 차량의 경우는 두 시험차종 모두 서브프레임 마운팅 체결볼트의 손상 여부에도 불구하고 각각의 부품의 손상 수리특성에 따라서 수리비용의 편차가 큰 것으로 분석 되었다. 특히 C 차량의 경우 photo. 3 과 같이 새시 프레임 선단부와 서브 프레임 체결 마운팅이 손상을 입어 엔진 Ass'y, 크래쉬패드 탈착 및 휠하우스 까지 판금 하는 수리작업이 발생하였다. 따라서 일체형 차체 (Monocoque body) 를 가진 차량에 있어서 손상과 이로 인해 야기되는 수리비를 최소화하기 위해서는 사이드멤버 선단부의 설계 최적화가 선결되어야 하며, 동시에 승객룸(Safety Cage) 에 가진 되는 충격량을 최소화하기 위해 서브프레임 마운트의 고착 방식도 저속 충돌시 충격량을 최대한 분산시키기 위한 방식으로 개선되어야 할 것으로 분석되었다.



Photo. 3 Damaged type of sub-frame bolt of C&D car

프론트 사이드 멤버는 저속 15km/h의 충돌시 선단 300mm 이내에서 충돌에너지를 흡수하여 서스펜션에 변형을 주지 않도록 설계 되어야 하며, 이를 위해서 사이드멤버 선단 300mm 부위를 충돌에너지 흡수영역(Crash zone)으로 설정하여, 엔진 및 서브프레임을 탈거하지 않고 수리 할 수 있도록 하여야 한다.⁷⁾

Table 2는 각각의 시험차종에 대한 수리작업 항목을 나타내었다. 소형 C, D 차량의 경우, 중형 A, B 차량에 비해서 수리작업범위가 서브프레임, 엔진

Ass'y까지로 확대 되었으며, 특히, 동일 플랫폼 C와 D 차량(1,495cc)의 경우에는 서브프레임과 엔진 Ass'y 를 탈착 하는 유사한 수리범위에도 불구하고, 사이드멤버의 손상형태, 앞패널의 체결구조 특성 및 휠 하우스, 콘텐서의 손상 유, 무에 따라서 수리 비용의 편차가 큰 것으로 나타났다.

Table 2 Repair parts of test vehicles

Parts	Car				Remark
	A-car	B-car	C-car	D-car	
Front bumper	X	X	X	X	X:Replacement R:Remove & Install B:Repair
Hood	X	X	X	X	
A-condenser	X	X	X	R	
Radiator	X	X	R	R	
Side Member	X	X	X	X	
Sub-frame	-	-	R	R	
E/G Assy	-	-	R	R	
Wheel house	-	-	B	-	

따라서, 차체 부재의 체결구조 형태 및 조립방법의 개선 등을 통한 손상 수리 특성의 개념이 차체 설계 시작단계 에서부터 직절히 적용되어야 할 것으로 분석 되었다. Fig. 2는 시험차종의 수리비 항목을 나타내었으며, 중형 A,B 차량의 경우 전체 수리비 중 부품과 공임이 차지하는 비율이 각각 63%와 37%로 동일한 결과를 나타낸 반면에, 소형 C 차량의 경우 부품 36%, 공임 64%, 소형 D 차량의 경우 부품 40%, 공임 60%의 수리비 구성항목을 나타내어 소형차량의 경우 약간의 수리비 편차가 있는 것으로 분석 되었다.

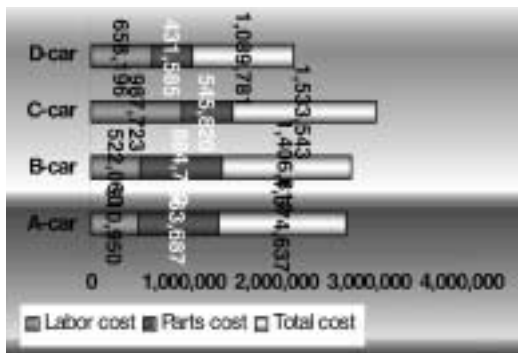


Fig. 2 Repair cost comparison(Unit : ₩)

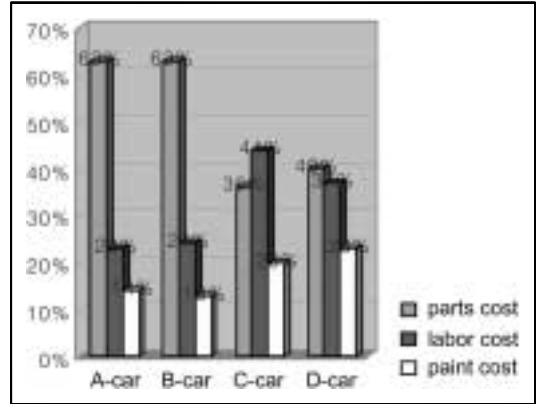


Fig. 3 Repair cost by component

특히, 중형 승용차량의 경우 Fig. 3에 나타난 바와 같이 수리비 중 부품가격이 차지하는 비율이 높은 반면, 소형 승용차량의 경우 수리비 중 공임이 차지하는 비율이 상대적으로 높은 것으로 분석 되었으며, C 차량의 경우 차체부재 체결형태의 취약성 및 사이드멤버의 다단충격 손상발생 등으로 전체 수리비 중 공임이 차지하는 비율이 상대적으로 높아 전체 수리비가 상승하는 결과를 초래 하였다.

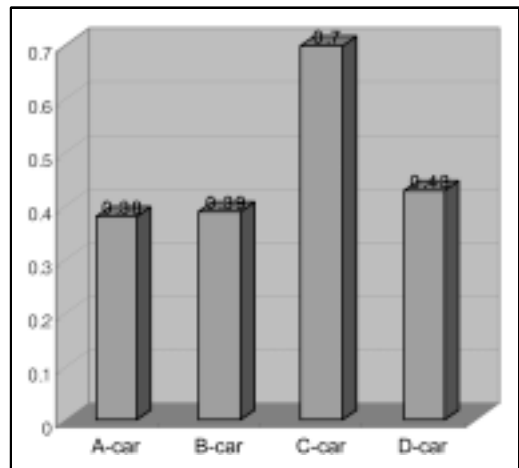


Fig. 4 D&R index of test vehicles

차량별 손상성 수리성을 평가하는 손상성 수리성 지수(damageability & repairability index)는 Fig. 4와 같이 중형 A, B 차량(1,997cc)의 경우 0.38 0.39로 거의 유사한 경향을 나타냈지만, 소형 C, D 차량(1,495cc)의 경우 0.70 0.43의 범위를 나타내어 동일

플랫폼 후속 신차임에도 불구하고 차체구조 및 부품의 손상수리 특성이 크게 개선되지 않은 것으로 분석 되었으며, 부품의 배열형태 및 조립구조, 차체 수리특성에 따라서 손상성 수리성 지수의 편차가 큰 것으로 분석 되었다.

5. 결론

본 논문에서는 차체구조 특성에 따른 동일 플랫폼 차량에 대해 손상성 수리성 관점에서 저속충돌 시험을 수행하였고, 실차 실험결과를 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동일 플랫폼을 공유하는 각각의 A&B (1,997cc), C&D(1,495cc) 차량의 경우 저속 충돌시 센터 플로어 부재는 차체중량의 증가에 따라 충격 흡수 성능에 크게 차이가 없는 것으로 분석 되었으나, B Pillar 하단 부재에 대한 충격흡수 성능은 중형 차량에 비해 소형차량이 상대적으로 취약한 것으로 분석 되었다.
- 2) 동일 플랫폼을 공유하는 차량의 경우에도 차체 부재 체결형태 및 부품의 배치, 배열형태, 조립구조, E/G 룸 Layout에 따라서 수리비 편차 및 손상성 수리성 지수의 편차가 큰 것으로 분석 되었다. 따라서 향후 차량의 설계 초기 단계에서부터 차체 손상수리 특성에 대한 저속 수리비 반영 보험요율 등급책정에 대해 관심을 가져야 할 것이며, 이에 영향을 미치는 수리 빈도가 높은 부품에 대한 부품 가격 및 저속충돌 손상성 수리성 개념이 설계 초기 단계 에서부터 고속충돌 안전성과 함께 면밀한 검토가 이루어져야 할 것이다.

References

- 1) I. S. Park, "Damageability, Repairability of Frame Type Passenger Vehicles at Low Speed 40% Offset Crash Test," Transactions of KSAE, Vol.11, No.5, pp.128-131, 2003.
- 2) B. J. Kim and S. J. Heo, "Crashworthiness Design Concepts for the Improved Energy Absorbing Performance of an Aluminum Lightweight Vehicle Body," Transactions of KSAE, Vol.11, No.3, pp.158 -159, 2003.
- 3) H. Y. Kim, "A Study on the Design of Crash Zone for RCAR Low Speed Impact," KSAE Symposium, pp.131-135, 2003.
- 4) K. Mizuno, K. Wani and H. Yonezawa, "Vehicle Crash worthiness in Full and Offset Frontal Impact Tests," JSAE Review, Vol.24, Issue.2, pp.173-181, 2003.
- 5) Dieter Anselm, The Passenger Car Body, pp.93-96, Vogel, Germany, 2000.
- 6) W. J. Kang and H. I. Bae, "Optimization of an Auto-body Front Structure for Reducing the Repair Cost in Low Speed Crash," 2002 KSAE Spring Conference Proceedings, Vol.II, pp.592-597, 2002.
- 7) B. J. Kim, M. S. Kim and S. J. Heo, "Optimization of a F-125 Aluminum Body Considering Static Stiffness, Vibration and Crashworthiness Constraints," 2003 KSAE Spring Conference Proceedings, Vol.II, pp.1064-1066, 2003.
- 8) H. S. Kim and H. J. Yim, "Structure Borne Durability Design of a Vehicle Body Structure," Transactions of KSAE, Vol.12, No.3, pp.109-110, 2004.