

저속40%오프셋 충돌시험을 통한 프레임형 승용차량의 손상성 · 수리성에 관한 연구

박인송¹⁾ · 정태용^{*2)}

보험개발원 부설 자동차기술연구소¹⁾ · 국민대학교 기계 · 자동차공학부^{*2)}

Damageability, Repairability of Frame Type Passenger Vehicles at Low Speed 40% Offset Crash Test

Insong Park¹⁾ · Taeyong Chung^{*2)}

¹⁾Korea Automobile Insurance Repair Research & Training Center(KART), 125-1 Susan2ri Sulsung-myun Ichon City,
Gyeonggi-do 467-880, Korea

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

(Received 14 September 2002 / Accepted 28 May 2003)

Abstract : For the purpose of evaluation the damage repairability of a Frame Type Passenger vehicle which experienced a Low Speed 40% Offset front and rear Crash Test, tests were made according to the RCAR testing procedures. Test results concluded ; (1) The deceleration at C.G(center of gravity) of 6.9~11.39 was similar to that for the vehicle. The airbag system was found to affect neither the passenger's safety nor the savings of the repairing costs. (2) In order to improve the repairability of the Frame Type Passenger vehicle after collision should be a higher crash performance of the bumper on the RCAR standards.

Key words : RCAR(Research Council for Automobile Repairs : 세계자동차수리위원회), Frame type passenger vehicle(프레임형 승용차량), Damageability(손상성), Repairability(수리성), Damageability index(손상성 지수), Head injury criteria(머리상해기준), Dummy(인체모형), Injury(상해), Abbreviated injury scale(상해 등급), Cabin chassis mounting bolt(캐빈 새시 마운팅 볼트), After service parts(정비보수용 부품)

1. 서론

자동차의 증가로 인한 사회적 비용이 많이 발생하여 사회적 문제로 대두되고 있는 실정이다. 그 범위는 인명이나 차량 및 대물 그리고 환경에 이르기까지 폭넓은 대책이 요구되어 여러 산업분야에서 이를 감소시키기 위한 노력이 이루어지고 있다. 특히 국내의 경우 급변하는 사회변화와 함께 충돌사고로 인한 차량 복원수리비 요소도 차량 선호도의

한축으로 작용하고 있어 손상성 수리성 분야도 관련업계가 깊은 관심을 가져야 할 시기임이 틀림없다. 또한 국내의 차량 판매가 승용차량 위주에서 프레임형 다목적 차량의 선호도가 높아져 두드러진 판매실적과 함께 충돌사고도 증가하고 있다. 특히 프레임형 다목적 차량의 충돌사고에서는 승객 상호 안전도 향상에 시급히 초점을 맞추어야 할 것으로 판단되며 더욱 시급한 것은 손상차량의 복원수리비가 전년대비 약 30%증가한 차량대물 전체수리비 1조 2천억(2000년 통계)⁶⁾으로 프레임형 다목적 차량의 증가가 전체 복원수리비 증가의 한 요소로 작용

^{*}To whom correspondence should be addressed.
tychung@kookmin.ac.kr

하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 프레임형 승용차량의 저속충돌 특성을 알아보고 이로 인한 손상성 수리성 및 이에 따른 복원수리비 증가요인에 대해서 분석하여 보았다.

2. 손상성 수리성 평가기준과 활용

충돌사고는 다양한 형태로 발생하지만 유형별로 사고비율을 나타내어 보면 정면 40.5%, 후면 25.8%, 측면 (좌측 16.2%, 우측 15.6%) 31.8%로 분류된다.³⁾ 그러므로 정면과 후면 충돌사고 비율이 전체의 약 66.3%를 차지하고 있어 이러한 조건에서의 사고율 감소와 수리비 절감 대책이 요구된다고 할 수 있다.

따라서 세계수리기술위원회(RCAR)에서는 Fig. 1 과 같이 도로상에서 빈번히 발생하는 충돌사고를 기초한 전·후면 15km/h 40%오프셋 손상성 수리성 평가 충돌시험 기준을 정하여 각국의 관련 유관기관들이 활용하고 있다.^{1,4,13)}

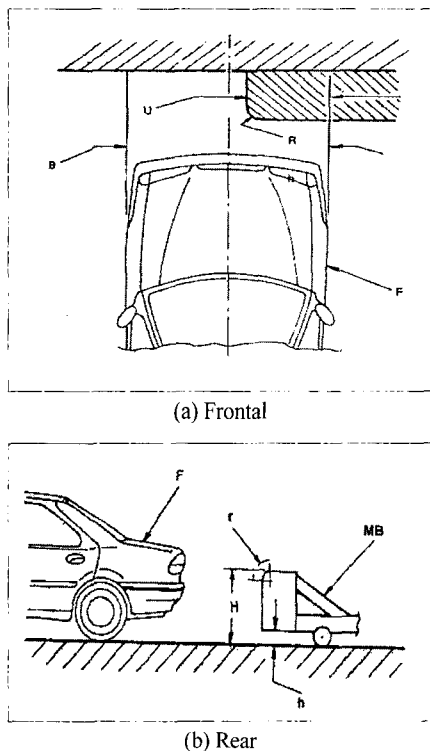


Fig. 1 RCAR offset 40% frontal and rear moving barrier crash test

Table 1 RCAR crash test specifications

항목구분	시험기준
충돌방향	전·후면 40% Off Set
충돌속도	저속 15km/h
충돌벽	정면: 고정벽 후면: 이동벽(규격품)
시험차량중량	공차중량+인체모형(75kg)
타이어압력	제조사 출하시 압력
인체모형	탑재 (75KG × 1개) (※ Ballast 대체 가능)
가속도센서	C.G-Point (X,Y,Z) B필라 하단 (X)
핸드브레이크	정·후면: open

일반적인 RCAR 손상성 수리성 평가 충돌시험은 Table 1의 시험조건에 따라 수행되어지며 수리방법은 복원수리표준 5조건에 의거하여 실시하고, 수리항목별 수리절차는 자동차제작사의 정비 매뉴얼을 기초로 한다.¹⁵⁻¹⁸⁾

손상성 수리성 지수산출은 식 (1)과 같으며 수리비는 손상부위별 수리절차를 거쳐 복되며 부품가격과 작업시간 그리고 공임을 합산한 후 부위별 연간 사고율을 곱하여 산출한다.

$$\text{정면 } D.I = \frac{\text{정면손상수리비(공임+부품비)}}{\text{신차가격} \times \text{시험속도}} \times 100$$

$$\text{후면 } D.I = \frac{\text{후면손상수리비(공임+부품비)}}{\text{신차가격} \times \text{시험속도}} \times 100$$

$$\text{종합 } D.I = \text{정면 } D.I \times \text{정면사고율} + \text{후면 } D.I \times \text{후면사고율} \quad (1)$$

저속충돌 손상성 수리성 평가절차에 따라 책정된 결과는 신차출고와 동시에 보험사의 자기차량담보 보험요율차등화에 반영되어 지며 또한 소비자의 차량구매정보로 이용되어져 제작사 차량 판매에 크게 영향을 미치는 요소로 작용하게 된다.

3. 실험장치

본 연구에 사용된 충돌장비는 Fig. 2와 같이 미국 MGA사 제품으로 저속충돌 손상성 수리성 평가 전용 펜듈럼 충돌시험장비이다. 장비사양은 암의 길이 4500mm, 충돌벽의 중량 2725kg, 최대 충돌속도 약 30km/h 이다. 정면충돌시험은 Table 1과 같이 시험자동차를 준비한 후 충돌벽 전방에 정렬시키고, 충돌시험장비를 고정벽 충돌시험과 동일한 충격력을 발생시키는 정면충돌모드(Equivalent mode)로 전

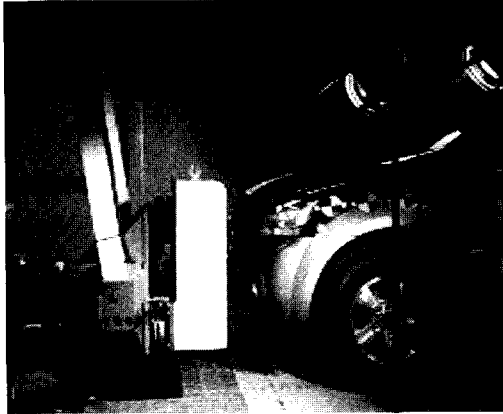


Fig. 2 The installation of crash test to fixed wall

환시킨 후 경사각 센서에 의해 지시되는 값으로 충돌벽을 원치 조정스위치를 이용하여 일정한 높이로 들어 올려 시험한다. 충돌시험속도 측정은 충돌지점 약 15mm 전방에 1조의 레이저 속도 측정장치를 설치하였다. 충돌순간의 충격력을 알아보기 위해 충돌벽에 로드셀(2,500lbs)을 중앙과 양쪽 각각 1개씩 모두 3개와 충돌벽 중앙에 가속도계 100g 1개를 설치하였다.

또한 충돌시 시험차량의 충돌에너지 흡수력을 파악하기 위해 차량무게 중심에 가속도계(750g)를 x, y, z 방향으로 3개를 부착하고, LH와 RH "B" 필라하단에도 x 방향으로 각각 1개씩을 부착하였다. 그리고 이로인한 시험차량의 변형량을 파악하기 위해 시험차량 전방부에 주요 변형량 계측점을 선정하여 충돌전·후에 계측하였다.

4. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 RCAR 기준에 따라 시험차량 중량을 맞추어 시험을 실시하였다. 본 연구의 시험차량에 대한 시험조건은 Table 2와 같다. 특징으로는 대부분의 시험차량 손상정도는 유사하였으나 일부시험차량의 경우 새시 프레임 캐빈볼트가 변형이 되었고, RCAR에서 권고하고 있는 15km/h에서 안전성 향상에는 영향을 미치지 못하고 수리비 증가에만 영향을 주는 에어백이 일부차량에서 전개되었다.

Table 2 Experimental conditions for crash test

Vehicle	Standard	Total vehicle weights (kg)	Crash speed (km/h)	벨리스트 중량 (kg)
A-car	15km/h 40% offset frontal and rear barrier crash	2036	15.56	75
B-car		2050	15.5	75
C-car		2143	15.05	75
D-car		2085	15.17	75

4.1 손상성 고찰

Fig. 3은 본 연구에서 나타난 프레임형 승용차량의 외형상의 손상형태로서 매우 소손상임을 알 수 있다. 이다. 일반적으로 충돌시 운동에너지는 특정 부품이나 부속시스템을 파손시키면서 흡수된다. 승용차량과 마찬가지로 프레임형 승용차량의 경우도 자동차의 특성 및 구조에 따라 차이는 조금 있었으나 충격에너지의 흡수경로는 유사하였다. 프레임형 승용차량의 충돌흡수 경로는 충격에너지가 차량 내 부방향으로 전파되어 감에 따라 부품이 충격을 흡수하면서 휘고 좌굴되는데 부품순으로 보면 앞범

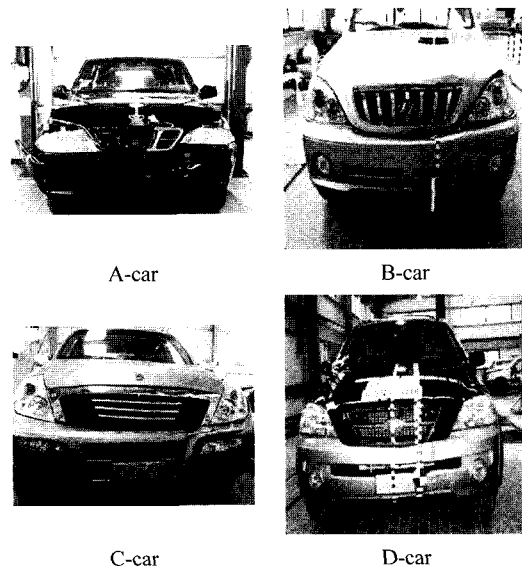


Fig. 3 Damaged of 15km/h 40% offset frontal impact test for passage vehicle

퍼, 백빔, 새시프레임선단부, 캐빈마운팅 볼트 순으로 나타났다. 이것은 승용차량의 손상 경로인 범퍼, 백빔, 범퍼스테이, 사이드멤버선단부, 앞패널 로어 멤버와 업퍼멤버 순과는 다소 차이가 있었다. 손상 부품은 크게 범퍼, 앞패널, 라디에이터, 에어컨컨덴서, 냉각팬, 사이드멤버, 휠더, 휠하우스, 본네트 등이었다.

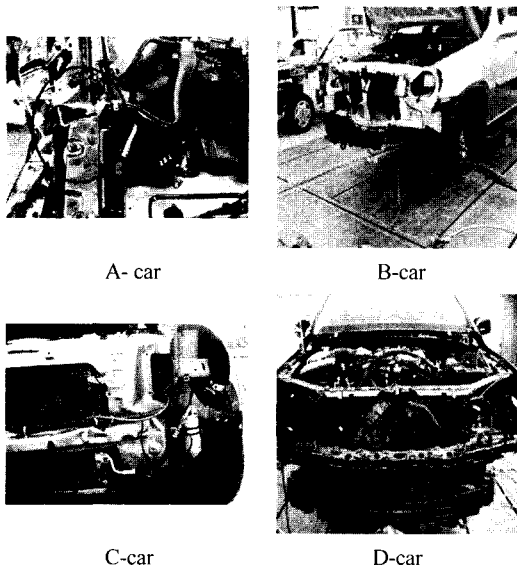


Fig. 4 Damaged type of front bumper and front end chassis frame

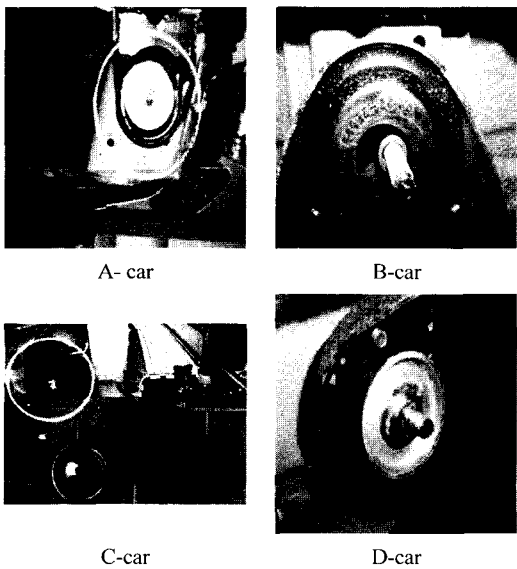


Fig. 5 Damaged type of Cabin bolt

특히 일체형 차체의 승용차량의 경우 저속정면충돌 손상성에 크게 영향을 미치는 것은 범퍼의 성능과 사이드멤버의 손상형태로서 사이드멤버가 무손상 또는 최소 선단 100mm이내서 축 중심 접합 손상이 이루어질 때 손상범위가 작게 된다. 그러나 프레임형 승용차량의 경우는 Fig. 4와 같이 새시프레임이 A-차량을 제외한 B. C. D 차량은 모두 전혀 손상이 발생하지 않고 범퍼와 범퍼백빔 그리고 Fig. 5와 같이 캐빈마운팅 볼트가 마운팅 러버 함께 충돌반대방향(Y반향)으로 변형되는 손상특성을 보여주었다.¹¹⁻¹³⁾

일반적으로 저속충돌 15km/h 40%옵셋 충돌에서의 승용차량의 승객 안전도는 차량 무게중심 위치 (Body-C.G.)에서 x방향의 가속도값이 6.1~15.5 정도일 때 HIC 가 약 10~25 정도이고, 흉부 변위량은 약 4~13mm, 흉부가속도는 9g~17g 정도로서 충돌 순간을 고속으로 촬영한 필름을 분석한 결과 저속정면충돌에서 안전띠에 의해 인체모형이 구속된 경우 모두 머리카락이나 흉부가 조향핸들에 부딪히지 않고 안전띠 구속이 있으면 머리카락이 조향핸들에 부딪힐 수 있으며, HIC 값은 비슷한 값으로 나타내어 머리상해기준인 HIC의 경우 법규 요건은 1,000이하이지만, 저속충돌의 경우 이에 크게 못 미치며 특히 Hybrid III 인체모형에서 측정된 HIC에 대한 뇌상해의 생명위험 가능성은 HIC가 400이하에는 1%이하로 나타남으로 저속충돌에서의 10~25대 수준의 HIC 값은 위험 가능성이 매우 낮으며, 9~17g로 나타난 흉부가속도 역시 AIS 3이상의 상해가능성이 0.25%이하로 분석되어 저속충돌에서 머리와 흉부의 상해가능성은 매우 낮아 승객의 안전성에 영향을 주지 않는 것과 같이 본 연구에서 나타난 프레임형 승용차량의 경우도 Fig.6, Table 3 에서와 같이 차-

Table 3 Variation of resultant acceleration of Body C.G. and Side sill of B-plr. lower at frontal crash

	Position	Direction	A-car	B-car	C-car	D-car
Acceler- -ation (g's)	Body -C.G.	X	6.9	16.49	14.73	11.39
	Side sill of B-plr. lower	X	8.0	14.32	14.25	15.47

량 무게중심 위치(Body-C.G.)에서 x방향의 최대 가속도값도 충돌 후 0.1초 이내에서 0.6.9~16.49 정도로서 승용차량과 동일한 특성을 지니고 있는 것으로 분석된다.⁸⁻¹¹⁾

따라서 수리비 최적화를 위한 캐빈마운팅 볼트 및 마운팅 러버에 대한 손상성 개선이 필요함을 알았다.

4.2 수리성 고찰

충돌 손상차량의 수리비 관리는 설계 초기부터 이루어져야만 한다. 일반적으로 차량의 설계는 안전성 및 성능 충족에 개발의 초점이 맞추어져 있기 때문에 실질적으로 저속충돌사고가 발생하면 손상으로 인한 수리비 발생이 크다 할 수 있다. 이러한 요소는 고객 불만족으로 작용하여 차량 판매에 크게 영향을 미치게 된다. 따라서 RCAR에서는 이러한 차량의 수리비를 자기차량담보 보험요율 차등화 요소로 사용하고 있다. 손상부품에 대한 수리 및 교환 탈착 판단기준은 외관조사 결과 뿐 아니라 작업 시간, 부품가격, 수리기술능력, 수리장비성능 등을 고려하여 설정된다. 본 연구에서의 각 차량별 주요 부품에 대한 수리내역은 Table 4와 같다.¹⁴⁻¹⁸⁾

차량별 손상성 수리성을 평가하는 D.I지수를 식 (1)을 이용하여 측정된 결과 그 분포는 약 0.16~0.31 정도를 나타냈으며 특히 C-차량의 경우는 신차가격이 타차량에 비해 30%이상 높아 지수가 낮게 나타

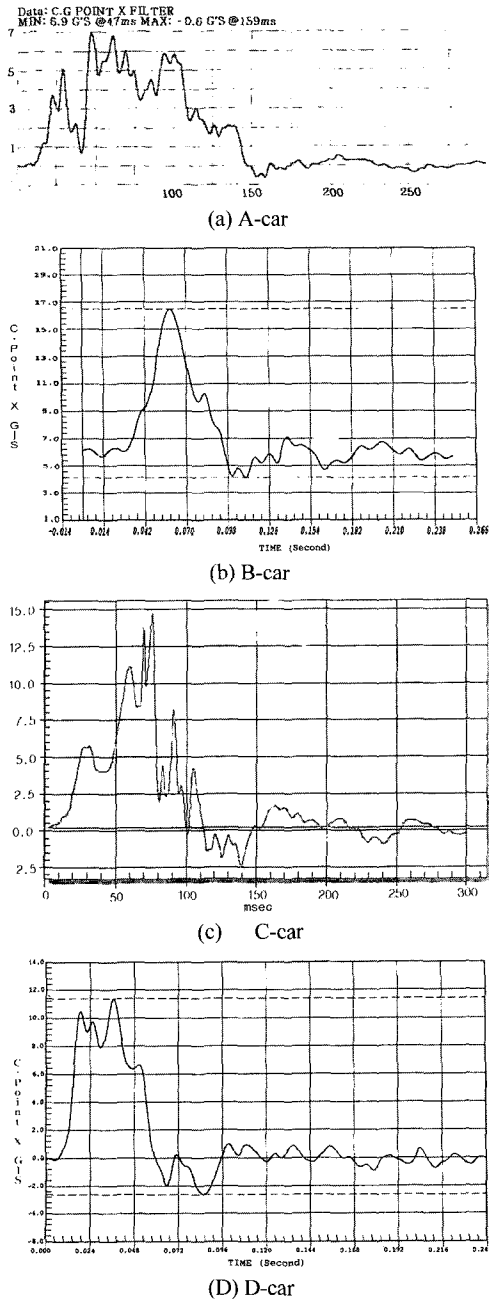


Fig. 6 Variation of longitudinal acceleration of body C.G. at frontal crash

Table 4 Repair contents of test vehicle and new car price rate

부품	차량	수리내역			
		A-car	B-car	C-car	D-car
앞범퍼		교환	교환	교환	교환
본네트		교환	교환	교환	교환
앞패널		교환	판금	교환	교환
헤드램프		교환	교환 탈착	교환 탈착	탈착
웬다		탈착	-	판금	판금
휠하우스		판금	-	-	-
콘덴서		교환	탈착	교환	탈착
라데에타		교환	탈착	교환	교환
프레임선단		수리	수리	수리	수리
프레임앞세이		-	수리 (중손상)	수리 (중손상)	수리 (대손상)
캐빈		-	탈착	탈착	탈착
캐빈마운팅볼트		-	판금 (2개)	판금 (2개)	판금 (3개)
기타		-	-	-	-
신차가격비율(%)		100	104	137	101
정비수가 적용		표준수가			
D.I 지수		0.31	0.20	0.16	0.16

났으며 A-차량의 경우는 부품가격이 타차량에 비해 고가로 구성되어 수리범위가 클수 있는 캐빈볼트가 무손상인데도 불구하고 수리비가 높았다. 그리고 B-차량의 경우는 D-차량과 손상범위가 유사했으나 에어백전개로 인해 수리비가 증가되어 D.I 지수가 크게 상승되었다. 또한 손상이 크게 차이가 있는데도 D-차량과 C차량이 같은 것은 C-차량이 신차가 격이 높아 이러한 현상이 나타났다.

따라서 전체적으로 프레임 승용차량의 경우 캐빈 마운팅볼트의 손상은 캐빈앗새이 및 엔진탈착 등 부대 작업이 많이 발생하여 수리비증가에 크게 영향을 미치는 것으로 분석되었고 동일모델의 경쟁차량일 경우 신차가격이 손상성 지수에 크게 영향을 미치므로 이에 대한 설계 초기단계부터의 저속충돌 수리비 반영 보험요율등급 책정에 관심을 가져야 한다.

4.3 부품가격과 작업시간이 수리비에 미치는 영향에 관한 고찰

통계에 의하면 일반적으로 수리비는 공임과 부품 가격으로 구성되는데 부품가격이 차지하는 비율이 약 50~60%를 차지하며 특히 소손상일 경우는 더욱 부품가격 비율이 높게 작용한다. 따라서 프레임형 승용차량의 경우 저속충돌로 인한 작업빈도가 많이 발생하는 수리비에 크게 영향을 미치는 고가의 주요부품 범퍼, 앞패널, 본네트, 앞패널, 헤드램프, 에어컨컨덴서, 라디에터 등으로서 부품가격을 시험차종별로 분석한 결과 범퍼는 약 40%, 앞패널 약 35%, 본네트 약 80%, 헤드램프 40%, 에어컨컨덴서 약 48%, 라디에터 약 33% 등으로 매우 큰 차이를 보였다. 또한 작업시간은 미국이나 유럽과는 달리 국내의 경우 보험사 적용하고 있는 작업시간, 정비업체가 적용하고 작업시간, 자동차제작사가 적용하고 있는 작업시간으로 분리 적용하고 있어 보험수가 대비 각각 20%~40%정도 수리비산출에 큰 이점이 작용하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 동일한 작업항목의 작업이 수행되더라도 작업시간의 차이를 보이고 있는 현 정비수가체계를 선진국가와 같이 단일화가 필요하고 이에 대한 관련업체간의 개선노력이 시급한 것으로 나타났다.

5. 결론

프레임형 승용차량의 저속충돌시 손상성 수리성을 평가 결과는 다음과 같이 얻었다.

1) 프레임형 승용차량의 저속 15km/h 40% 오프셋 정면충돌에서 차량의 "B" 필라 하단에서의 최대 감가속도값은 각각 약8.0~15.47이고 차량 무게중심(C.GPoint)에서의 최대 감가속도값은 약6.9~11.39로서 승용차량의 감가속도 값과 유사한 경향으로 나타났고, 손상성 지수는 0.16~0.31로서 소형 승용차량에 비해 2배 정도 낮았으나 대상 차량별 차이는 2배이상으로 나타나 이에 영향을 미친 수리빈도가 높은 부품에 대한 부품가격 및 신차가격책정이 설계초기단계에서 안전성 및 성능과 함께 면밀한 검토가 필요함을 알았다.

특히 프레임형 승용차량에서 저속 15km/h 40% 오프셋 정면충돌 에어백이 전개는 승객의 안전성 뿐 아니라 수리비절감에도 효과가 없었으며 또한 프론트 새시 프레임 앗새이와 캐빈 마운팅하는 볼트의 손상을 막을 수 있는 구조와 수리용이성 개선이 요구됨을 알았다.²⁾

Reference

- 1) "Evaluation Mmanual of Damageability and Repairability for Low Speed 15km/h 40% Offset Crash Test," RCAR, 1992.
- 2) S. J. Hea, "Study on the Collision Analysis of Vehicle Structure, Korea Institute of Industrial Technology," pp.6-40, 1992.
- 3) W. J. Kang, H. I. Bae, "Study on the Low Speed Crash Test of Front Body Structure Optimization for Repair Cost," 2002 KSAE Spring Conference Proceeding, pp.592-597, 2002.
- 4) C. L. Magee, P. H. Tornton., "Design Consideration in Energy Absorption by Structural Collapse," SAE 78043, 1978.
- 5) "Recommended Practice on Optimizing Damageability, Repairability and Serviceability and Theft Deterrence," SAE J1555, p.5, 1985.
- 6) "The Statistics of Automotive Insurence Report in Korea," KIDI, pp.56-60, 2000.
- 7) "RCAR Annual Report," RCAR, pp.45- 24 1996.

- 8) "Federal Motor Vehicle Safety Standard No.208 Occupant Crash Protection," Part571 49CFR, pp.455-456, 1994.
- 9) "Regulation No.94 Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles with regard to the Protection of the Occupants in the event of a Frontal Collision," E/ECE/324E/ECE/TRANS/505, pp.9-10, pp.17-23, 1995.
- 10) A. J. Watte, "Low Speed Automobile Accidents," Lawers & Judges Publishing Company, Inc. pp.1-76, 1996.
- 11) J. A. Pike, "Automotive Safety Anatomy, Injury, Testing & Regulation," NHTSA, pp.69-72, pp.57-60, 1990.
- 12) S. H. Backaitis, "Biomechanics of Impact Injury and Injury Tolerances of the Head-Neck Complex," SAE PT-43, pp.309-313, 1993.
- 13) J. A. Newman, "Head Injury Criteria in Automotive Crash Testing," SAE 801317, pp.1-4, 1980.
- 14) R. M. Morgan, "Thoracic Trauma Assessment Formulations for Restrained Drivers in Simulated Frontal Impacts," SAE 942206, pp.19-20, 1994.
- 15) J. A. Ribbens, "Designing for Optimum Damageability, Repairability and Insurability How Repair Costs Relate to Insurance Costs," SAE 94049, pp.4-5, 1994.
- 16) I. S. Park, "A Study on the Vehicle Safety at Speed Crash and the Vehicle Damageability and Repairability at Low Speed Crash," A Thesis for a Dotorate, pp.40-60, 1999.
- 17) K. H. Kim, "Study of Head and Neck Injury Characteristics by Improved Injury Criteria for Occupant Crash Protection," A Thesis for a Dotorate, pp.10-45, 2000.
- 18) Anselm, Passenger Body, Vogel, pp.86-97, 1998.
- 19) Parts Catalogue and Mainternance Guide Book, of TERACAN, Hyundai Moters, 1998.
- 20) Parts Catalogue and Mainternance Guide Book, of SSORENTO, Kia Moters, 2002.
- 21) Parts Catalogue and Mainternance Guide Book, of REXTON, Ssangyoung Moters, 2001.
- 22) Parts Catalogue and Mainternance Guide Book, of MUSSO, Ssangyoung Moters, 1999.