

〈기술논문〉

## 차체구조물의 부식이 충돌안전도에 미치는 영향에 관한 연구

### The Study on Effect of Collision Safety by Corrosion of Body Structure

박인송\*, 정태용\*\*  
Park, In-song, Chung, tae-yong

#### ABSTRACT

Repair were made for front pillar, center pillar and side-step panel for lightweight vehicles with head-on and 40% off-set collision of 15 km/h in a RCAR standard.

The salt dilution was sprayed and the compression tests were performed for vehicles with and without anti-corrosional treatment after repair.

After 764 hours of salt-dilt sprayed test without using anti-corrosion, the mean penetration depth for corrosion was shown to be 58% of the thickness. The resulyed decrease in bending stiffness by 10~20% can cause reduction of the residual life and crash-absorption capability for damaged vehicles.

The corrosion safety tests showed that the anti-corrosional treatment should be made to improve the safety characteristics for a or damaged car.

주요기술용어 : RCAR(세계자동차수리기술위원회), Used vehicle(중고차량), Vehicle of the style(신차량), Restoration repair(복원수리), Anti-corrosion(방청), Corrosion(부식), Penetration corrosion(관통부식), Front pillar(프런트필라), Center pillar(센터필라), Side step panel(사이드스텝패널)

#### 1. 서 론

최근의 소비자는 안전성(safety) 뿐 만 아니라, 손상성(damageability), 수리성(Repairability)이 고려된 자동차를 요구하고 있으며, 또한 중고차량의 선호도도 높아지고 있어 자동차 사용 기간이 크게 연장되고 있는 실정이다.

자동차 제작에 있어 안전성에 주안점을 둔 자동차는 판매 후 운행중 충돌사고로 인해 손상을

입을 경우 차량별로 승객 안전성은 다소 균일하나 손상성과 수리성은 기술적인 연구가 미흡하여 이에 대한 수리비 차이가 매우 크다. 승용차의 경우 손상성에 영향을 많이 미치는 것은 충돌시 승객의 안전을 지켜주는 내판 구조물의 구조에 따라 좌우되는데 충돌 유형에 따라 충격 에너지를 주도적으로 흡수하여 주는 것은 이를 구성하고 있는 프런트 사이드 멤버(Front side member), 프런트 필러(Front pillar), 센터 필러(Center pillar), 사이드 스텝 패널(Side step panel) 등을 들 수 있다. 그러므로 이러한 부품들은 충돌사고 후

\* 회원, 보험개발원 자동차기술연구소  
\*\* 회원, 국민대학교 기계·자동차공학부

복원 수리시 충돌강성 및 내구성이 유지되도록 패널의 결합방법과 외부 및 내부에 방청이 올바르게 이루어져야 한다.<sup>1,14)</sup>

방청이란 자동차의 내구 신뢰성을 위하여 부식의 발생을 방지, 억제하는 모든 수단과 방법으로 자동차 안전성의 저하를 방지하고 나아가 자동차 수명을 연장하는 데 중요한 역할을 한다. 자동차 부식은 외관부식, 관통부식, 기능부식 등으로 구별된다.<sup>8)</sup>

본 연구에서는 방청효과를 알아보기 위하여 복원수리 후 방청이 이루어진 경우와 이루어지지 않은 경우의 단품시험편에 대해 실험을 통해 부식 안전도를 알아보았고, 실차시험을 신차와 무손상 중고차량을 RCAR(Research Council for Automobile Repairs) 저속충돌시험을 통해 안전도를 알아보았다.<sup>14)</sup>

## 2. 시험 및 방법

### 2.1 단품시험

#### 2.1.1 시험편

본 실험에 사용한 시험편은 승용 자동차의 프론트 필러, 센터 필러, 사이드 스텝 패널로서 Photo. 1은 각각의 시험편에 대한 절단 형태와 복원수리용 접후의 상태를 나타낸 사진이다. 프론트 필러, 센터 필러 및 사이드 스텝 패널의 수리방법은 모두 단차를 준 맞대기 방법을 채택하였다.<sup>3,11)</sup>

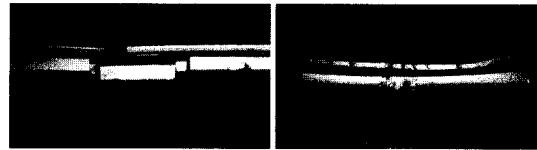
Photo. 2는 각각의 시험편에 대해 실시한 부식 방지 방청작업공정을 나타낸 것이다.

본 실험에 사용된 방청소재와 성분은 중량 대비 tar (13.6%), resin (16%), alcohol (12.7%), kerosens (6.7%), diatomite (13.5%), toluene (10%), ceramic (12%), natural wax (7.5%), borax (5%), binilon (3%)로 구성된 역청질계이다.

프론트 필러, 센터 필러, 사이드 스텝 패널 3종류의 실험대상부품에 대해 위와 같은 복원수리방법과 방청공정으로 제작된 시험편은 Table 1과 같이 방청유무 및 부식실험 유무 그리고 표면도장 유무에 따라 원형을 포함해서 5가지로 구분하였다.

Table 1 The kinds of specimen

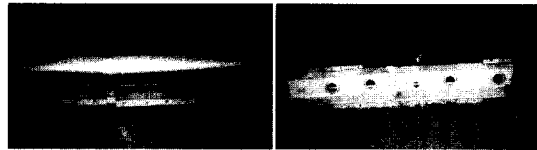
NO. classification	Repair process	Original	Corrosion		Anticorrosion		Painting	
			Yes	No	Yes	No	Yes	No
1	Original	○	○			○	○	
2	Repair 1			○		○	○	
3	Repair 2		○			○	○	
4	Repair 3			○	○		○	
5	Repair 4		○		○		○	



(a) Front pillar



(b) Center pillar



(c) Side step panel

Photo. 1 Damaged parts and repaired parts

#### 2.1.2 단품시험장치

본 시험에 사용된 압축시험장치는 생산기술 연구소에서 제작한 최대하중 10톤 스트로크가 500mm인 압축시험장치로서 유압 실린더 및 피스톤, 하중계(load cell) 및 증폭기, 변위계(LVDT), Crush & Back plate, 데이터 출력 장치로 구성되어 있으며 실물도는 Photo. 3과 같다.

시험장치의 특징은 측면충돌을 재현하기 위해 FMVSS 214 규정에 의거하여 압축봉의 지름을 12인치로 하였다. 그리고 부식실험은 KS D9502, JISZ2371에 의거한 염수분무시험장치를 사용하였다.<sup>9,10,12)</sup>

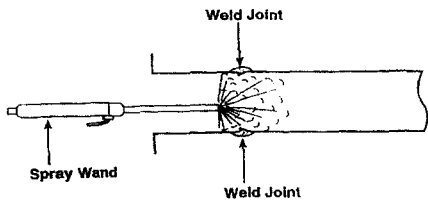
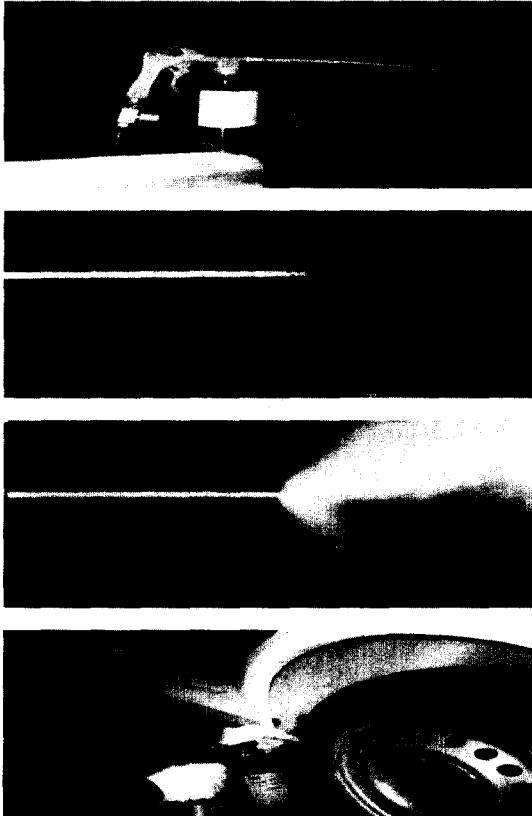


Photo. 2 Anticorrosion process

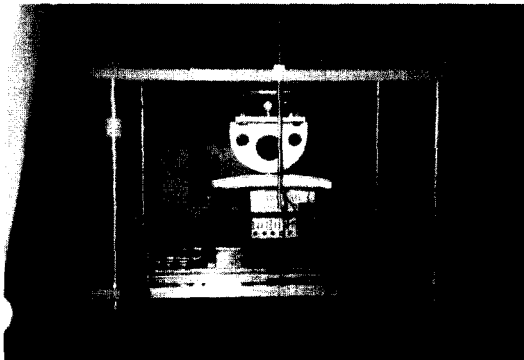


Photo. 3 Experimental equipment and scene of testing

## 2.2 실차시험

### 2.2.1 시험차량

본 연구의 시험차량은 승용중형차급으로 신형차량과 무손상 중고차량(1992년식)으로 충돌 에너지를 주도적으로 흡수하여 주는 프런트 사이드 멤버(front side member)등 내판 구조물의 플랫폼 프레임(Platform Fram) 구조가 유사한 차체로서 동일제작사 동급차량이다.

### 2.2.2 실차시험장치

본 시험에 사용된 충돌시험장치는 고정벽 주행충돌시험장치와 동일한 충돌효과를 발생시킬 수 있는 미국 MGA 사의 15km/h 40% 옙셋전용 펜들럼 충돌시험장치를 사용하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

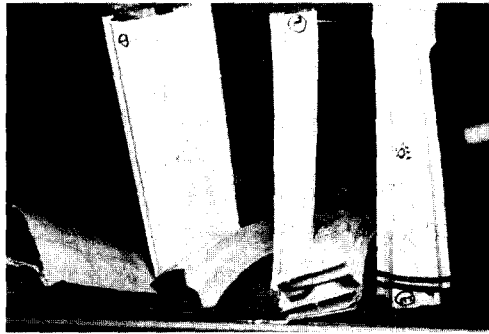
### 3.1 단품시험

#### 3.1.1 염수분무시험

염수분무시험은 자동차제작사의 내·외장 패널의 방청시험기준에 따라 총 764시간 동안 실시하였고 시험편 외부표면의 실험 전 상태와 실험 후 부식상태 판별이 가능한 404시간과 764시간 시점에서 관찰하였다.<sup>9)</sup>

Photo. 4는 시험편의 염수분무시험시간에 따른 방청특성을 나타낸 사진이며, 764시간 경과 후 방청특성을 육안으로 관찰한 결과, 도장을 한 외부표면과 내부의 경우 방청을 한 일부를 제외한 나머지 부분에 심한 부식이 되었음을 확인할 수 있었다.

특히 본 실험에 가장 중요한 것은 차체 폐단면 구조물 즉 프런트 필러, 센터 필러, 사이드 스텝 패널의 복원수리 후 내부표면에 방청처리 한 경우와 하지 않은 경우의 내부식성으로 인한 안전도를 알아보는 것으로 Photo. 5는 시험편 내부 표면에 방청처리 한 사이드 스텝 패널 부위 일부를 절개하여 내부 전체 부식상태를 관찰한 결과를 나타낸 것이다.



(a) Before test



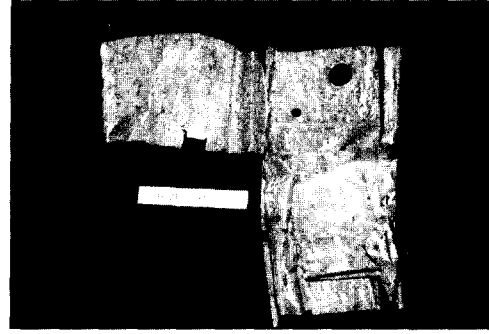
(b) After SST 404 hours



(c) After SST 764 hours

Photo. 4 Inside corrosion condition of anticorrosive side step panel

35 °C, 5 %-NaCl 염수분무 실험의 결과 외면부식상태는 방청제 미도포 시험편에서 480시간에서 도막 부풀음이 발생하였고, 방청제 도포 시험편에서도 480시간에서 도막 부풀음이 발생하였다. 내면부식상태는 방청제 미도포 시험편에서는 24시간 경과 후 확인 결과 적청이 많이 발생하였고, 방청제 도포 시험편에서는 404시간 경과 후 부분 적청이 발생하였다.



(a) Sprayed anticorrosive inside side step panel



(b) No sprayed anticorrosive inside side panel

Photo. 5 Corrosion condition after salt dilution sprayed



(a) Sprayed anticorrosive



(b) No sprayed anticorrosive

Photo. 6 Thickness decrease of steel plate after SST 746 hours (magnification ×50 times)

또한 Table 2와 같이 방청한 사이드 스텝 패널의 염수분무실험 후 부식상태를 세밀히 분석하

기 위하여 아우터 패널(Outer panel)부에 대하여 상세 시험편을 제작하여 두께를 계측하였다. 두께 계측방법은 SST(Spray Salt Test) 764시간 후 부식 생성물 제거 후 Photo. 5와 같이 강판 부식량을 측정된 결과 방청제 미도포 시험편은 원래의 두께 0.67mm와 비교하여 남은 두께가 최저 0.15 mm로 77.3% 감소되었고, 평균 두께는 0.278mm로 58.5% 감소되었다.

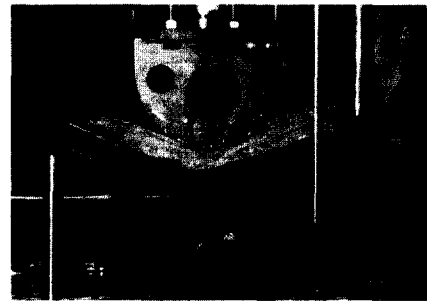
방청제 도포 시험편에서는 방청왁스 제거 후 강판 부식이 없으며 남은 두께는 원형 그대로인 0.67mm이었다.

Photo. 6은 부식으로 인한 강판의 두께 감소량을 알아보기 위해 제작한 사이드 스텝 패널의 상세 시험편을 계측한 후 확대현미경(배율 ×50배)으로 강판의 두께 감소 부위를 찍은 사진이다.

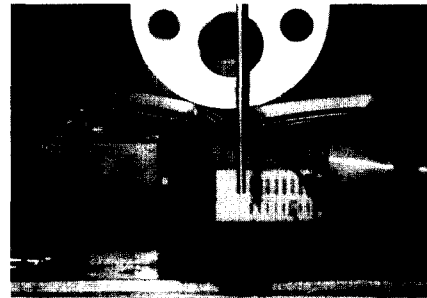
### 3.1.2 굽힘압축실험

굽힘압축실험은 Photo. 7과 같이 준비된 시험편을 각각 한 개씩 실험장치의 지그(jig)에 고정시키고 자유지지상태에서 정적압축굽힘변형이 되도록 하면서 압축특성인 힘, 변위를 데이터 출력장치로 측정하였다.<sup>2,4,6,12-14)</sup>

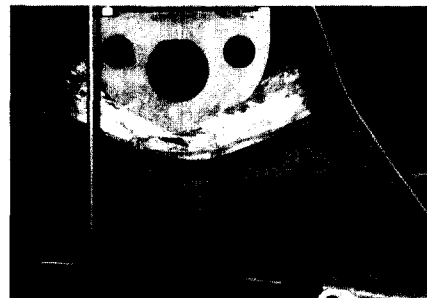
실험대상부품 즉 프런트 필러, 센터 필러, 사이드 스텝 패널 각각의 시험편에 대한 실험 후 변형 특성은 채택된 6가지의 수리방법에 관계없이 유사하였다. 프런트 필러는 일정 충돌이 가해지면 충돌 돌출부 등근면에 바깥쪽 패널이 밀착되기 전에 전체 단면에 꺾임 현상이 발생하였고, 용



(a) A-pillar



(b) B-Pillar



(c) Side step panel

Photo. 7 Bending compression test

접부위는 터지거나 갈라지지 않았다. 센터 필러는 일정 충돌이 가해지면 충돌 돌출부 곡면에 바깥쪽 패널이 밀착되기 전에 전체 단면에 꺾임 현상이 발생하였고, 용접부위는 터지거나 갈라지지 않았으며, 프런트 필러에 비해 수리근접 부위에 시트 벨트 앵커 보강재가 부착되어 있어 선정된 수리부위에 집중압축하중이 부과되어 꺾임 변형이 급격하였다.<sup>13,14)</sup>

사이드 스텝은 바깥쪽 패널이 충돌 돌출부에 밀착되어지면서 굽힘이 발생한 후 다시 안쪽 패널에 변형된 바깥쪽 패널이 완전히 밀착되어진

Table 2 Size and check points of specimen for anticorrosive side step panel

Schematic of side step panel												
	83mm × 40mm											
Size of specimen	<table border="1"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td> </tr> <tr> <td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td> </tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5								
6	7	8	9	10								

후 전체 단면이 굽어지고, 용접부위는 전체적으로 터지거나 갈라지지 않으나 부식처리한 경우는 대부분 끝단에 터짐 현상이 발생하였다. 프론트와 센터 필러에 비해 단면이 크고 중간 보강패널이 없어 일정한 하중에서 바깥쪽 패널만이 변형되어지게 되므로 작은 손상시에는 바깥쪽 패널만 교환수리가 용이해질 수 있는 변형이 발생하는 것을 확인하였다.

또한 안전도를 알아보기 위한 굽힘압축실험 결과로서 프론트 필러, 센터 필러, 사이드 스텝 패널에 대한 힘과 변위 특성곡선 (force-displacement curve)은 Fig. 1(a), (b), (c)와 같다. 이러한 힘과 변위곡선을 분석하여 Table 3과 같은 평균압축하중에 따른 흡수 에너지를 구하였다. 시험 결과로는 프론트 필러의 경우 시험편 1은 평균압축하중이 2367N이었으며 시험편 3은 1938N, 시험편 2는 2206N으로서 방청처리를 하지 않고 부식시킨 시험편 3이 약 268N 정도 안전도가 떨어지는 것으로 나타났다. 시험편 5는 2179N, 시험편 4는 2747N으로서 약 568N 정도 방청처리 한 상태에서 부식시킨 시험편 5가 안전도가 떨어지는 것으로 나타났다.

따라서 시험편 2와 시험편 5는 유사한 안전도를 나타냈으며, 부식시키지 않은 시험편 3이 부식시킨 시험편 4와 시험편 5보다 방청여부에 관

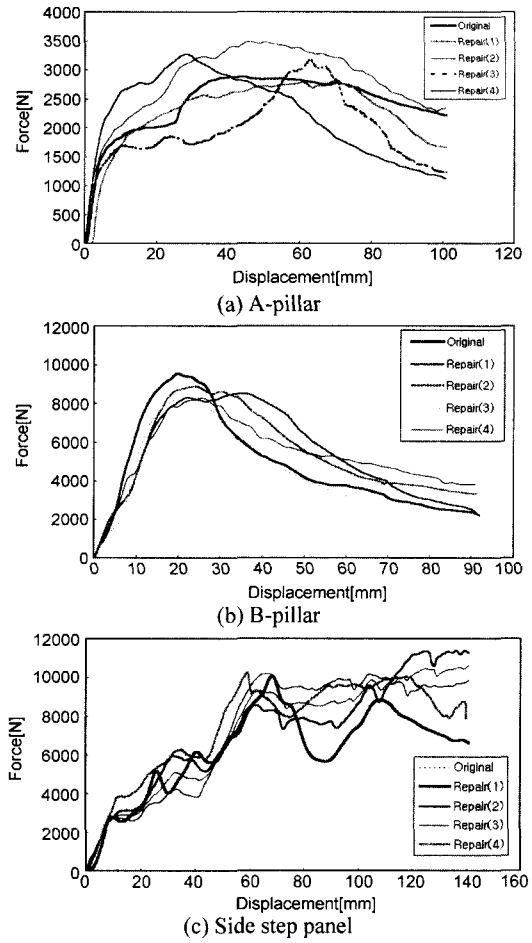


Fig. 1 Force-displacement curve of tested parts

계없이 안전도가 약 568~809N 정도 높게 나타났다. 또한 센터 필러의 경우도 평균압축하중은 시험편 4가 5290N, 시험편 2가 5261N, 시험편 5가 5154N, 시험편 1이 5007N, 시험편 3이 4087N 순으로서 프론트 필러와 동일한 경향의 안전도를 나타냈다.

그리고 사이드 스텝 패널의 평균압축하중은 시험편 4는 7642N, 시험편 1이 7597N, 시험편 5가 7347N, 시험편 2가 7331N, 시험편 3이 7163N 순으로서 시험편 5와 시험편 3이 프론트 필러와 센터 필러의 경향과 다소 차이가 있으나 안전도 값이 큰 차이를 보이지 않고 있어 사이드 스텝 패널 역시 프론트 필러의 경우와 동일한 안전도 경

Table 3 Mean compression load of specimens

Repair process	Parts			
	A-pillar	B-pillar	Side step panel	
Original (Specimen 1)	Pm(N)	2367	5007	7597
	ΔE (J)	239	467	1253
Repair1 (Specimen 2)	Pm(N)	2206	5261	7331
	ΔE (J)	222.7	485.8	1203
Repair2 (Specimen 3)	Pm(N)	1938	4087	7163
	ΔE (J)	195.8	378	1175.4
Repair3 (Specimen 4)	Pm(N)	2747	5290	7642
	ΔE (J)	277.5	490.8	1254
Repair4 (Specimen 5)	Pm(N)	2179	5154	7347
	ΔE (J)	220	478.1	1205

향을 나타내었다.

따라서 본 연구에서 각각의 시험편 부품인 프론트 필러, 센터 필러 그리고 사이드 스텝 패널 모두 방청처리는 부식을 방지하여 안전도를 향상시키고 자동차 수명도 연장시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

### 3.2 실차시험

충돌시험방법은 Photo. 8과 같이 통계적으로 도로상에서 빈번히 발생하는 충돌사고 유형을 기준으로 한 RCAR 저속 정면 15km/h 40% 오프셋 충돌 시험조건을 적용하였고 시험차량중량은 공차중량에 75kg 더미1조를 포함한 중량을 밸리스트를 이용하여 1530kg로 맞추어 실시하였고, 주요손상부품은 신차와 중고차량 모두 프론트 범퍼, 앞패널, 콘덴서, 라디에타, 사이드 멤버, 보닛, 펜더 등으로 복원수리범위는 크게 차이 나지 않았다.<sup>14)</sup>

특히 저속충돌 손상성을 좌우하는 프론트 사이드멤버의 손상형태는 Photo. 9와 같다. 손상형태는 축중심변형으로 다소 위치가 다르나 사이드 멤버 선단으로부터 약 300mm 이내에서 당김 복원작업으로 복원수리가 가능할 정도의 손상을 입었다.

차량무게중심×방향의 감가속도값은 Fig. 2와 같이 신차는 최대 8.9 정도이고, 충돌사고를 입지 않은 무손상 중고차량은 최대 7.48 정도로 나타났다. 일반적으로 신형승용차의 저속 정면 15km/h, 40% 오프셋 충돌에서의 차량무게중심×방향의 감가속도값은 8~13 정도의 분포를 나타내고 있는 것을 고려할 때 본 시험에서 나타난 신형차량과 중고차량의 감가속도값은 크게 차이가 나지 않는 것으로 분석할 수 있다.

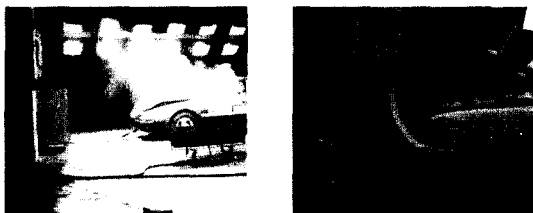
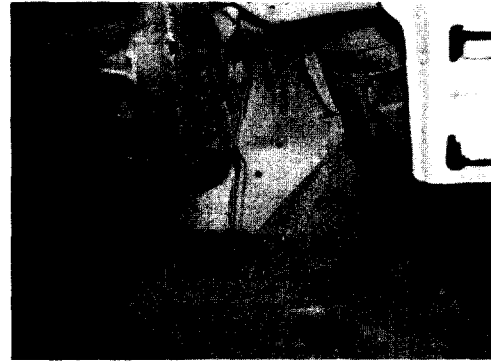
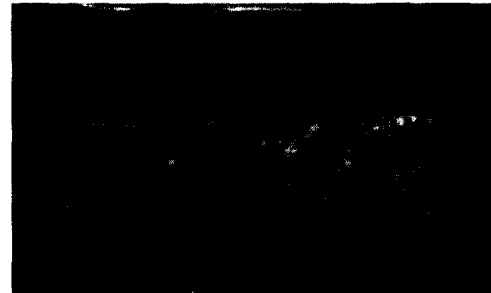


Photo. 8 Low speed collision test in RCAR standard

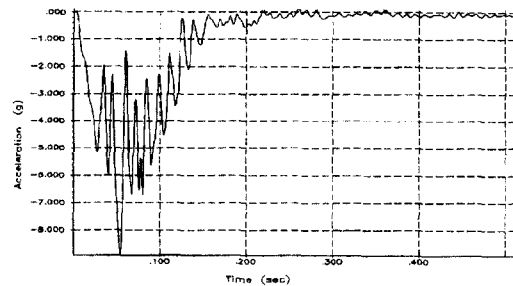


(a) Vehicle of the latest style

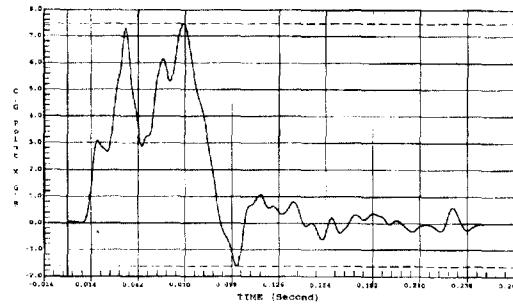


(b) Used vehicle

Photo. 9 The pattern of damaged front side member



(a) Vehicle of the latest style



(b) Used vehicle

Fig. 2 Negative acceleration wave at the center of vehicle weight

따라서 약10년 미만의 중고차량도 충돌사고를 입지 않고 부식이 크게 발생하지 않을 경우 저속충돌사고에서 안전성에 크게 영향을 미치지 않을 수 있음을 알았다.<sup>14)</sup>

#### 4. 결론

단품시험을 통한 프런트 필러, 센터 필러, 사이드 스텝 패널에 대한 복원수리방법별 부식안전도시험과 실차시험을 통한 신형차량과 중고차량의 저속충돌안전도시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 단품시험을 통해서 복원수리 후 방청을 하지 않은 경우 복원수리 직후에는 원형부재와 비교하여 안전도 특성이 크게 변화되지 않았으나, 복원수리 부식을 약 764시간 진행되는 경우 패널 내부에 방청처리가 이루어지지 않으면 판통부식이 최대 0.15mm(77.3%), 평균 0.278mm(58.5%)까지 이루어져 굽힘 강성이 10~20% 정도 저하되어 보증기간에 비해 수명이 크게 감소할 뿐 아니라 충돌흡수능력이 크게 저하될 수 있음을 확인했다.

둘째, 실차시험을 통하여 도로상에서 빈번하게 발생하는 충돌 사고인 RCAR 기준의 저속 15km/h 40% 오프셋 정면 충돌에서 중형승용차의 경우 신차는 차량무게중심 X방향의 감가속도 값이 최대 8.9 정도이고, 약 10년미만 운행한 충돌사고 입지 않은 무손상 중고차량의 감가속도 값은 최대 7.48 정도로서 크게 차이를 나타내지 않는 것으로 분석되었다.

따라서 충돌사고차량의 경우 내판 구조물의 복원수리는 반드시 단면 내부 및 외부에 충돌전상태와 동일하도록 방청처리가 이루어져야만이 충돌안전성 뿐 아니라 차량의 수명도 연장되어 수요가 날로 증가하는 중고차량의 품질을 만

족시킬 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

- 1) Student Manual of Collision Repair 2000 on Inter-Industry Conference on Auto Collision Repair, pp.64-15, 2000.
- 2) 조성도성, 차량 구조물의 충돌 에너지 흡수 부재의 설계 및 해석, pp.3-14, 국민대학교 대학원, 1997.
- 3) 용접·접합공학 편람(Welding Coalescence Engineering of Dictionary), 일본용접학회편, 출판사 과학기술, pp.331-450, 1999.
- 4) 김정호, "차체구조용 박육부재의 압괴특성에 대한 연구," 한국자동차공학회 논문집, 제5권 제3호, pp.25-28, 1997.
- 5) 함병기, "정사각튜브의 동적 평균 압괴 하중 연구," SAE 9637016, 1996.
- 6) 김천욱, "자동차 충돌특성 연구동향," 자동차공학회지, 제18권 제4호, 1996.
- 7) 김지홍, "승용차차체강도설계 연구," 연세대학교 대학원 박사학위논문, pp.8-30, 1999.
- 8) 임우조, 이진열, 부식과 방식, 원창출판사, 8, 18, 19장, 1998.
- 9) M. Nasim Uddin, Materials & Bocy Testing, MIUCA.
- 10) T. Akerstrom, T. Wierzbicki, "Dynamic Crushing of Strain Rate Sensitive Columns," SAE 770592, 1977.
- 11) 차체수리지침서, 기아자동차 서비스 지원부, 1994.
- 12) Code of Federal Regulation 49, PARTS 400 TO 999, Published by the Office of the Federal Register National Archives and Records Administration, Revised as of October, p.554, 1997.
- 13) 式田 昌弘 · 金山 辛雄, 자동차의 강도, 에드텍출판사, pp.183-193, 1995.
- 14) 박인송, "자동차고속충돌과 저속충돌 손상성 수리성 및 수리성에 관한 연구," 국민대학교 대학원, 박사학위논문, pp.113-139, 1999.