

유한요소 해석을 이용한 승용차 측면 사고로 B필러 수리 차량의 재사고시 차체의 강성 변화 해석

김성호, 조행묵
공주대학교 기계자동차공학부
Email: 8902ksh@daum.net, hmcho@kongju.ac.kr

Analysis of changes in stiffness of car body in case of re-accident of B-pillar repaired vehicle due to side accident of passenger car using finite element analysis

Sung ho Kim, Haeng Muk Cho

Department of Mechanical Engineering, Kongju National University

요 약

최근 출시되는 차량은 사고 및 피해를 경감하는 시스템이 많이 적용되어 있다. 충돌을 대비하기 위해 전, 후방에서 접근하는 차량의 알림 경보 장치와 위급 시 자동으로 정지하는 긴급 제동장치 등이 적용되었고, 사고를 회피하고 피해를 경감시키기 위한 다양한 기술이 차량을 안전하게 운행하기 위해 적용되어 있다. 전, 후방 사고에 대비한 대응 기술은 많이 발전 하였지만 측면 사고의 경우에는 사고를 회피할 수 있는 기술의 적용이 어렵고 측면에서 접근하여 추돌하는 사고를 예견하고 회피하는 것은 매우 어렵다. 측면 사고는 필러의 강성이나 도어, 에어백 장치 등으로 탑승자를 보호한다. 사고가 발생하면 차체의 변형이 발생하며 정비소에서 수리를 실시한다. 손상 부위를 절단한 후에 새로운 부품을 장착하여 용접하는 방법으로 수리한다. 이는 차체의 주요 부위의 손상으로 수리 후 차량의 가치 하락 및 안전에 대한 우려가 발생된다. 실차 수리 후 필러와 외판의 강성 변화를 판단하기 위해 실차와 동일한 작업 방법으로 용접 후 인장강도 시험을 하였다. 필러 강성 시험과 동일한 방법으로 상용 프로그램을 통해 시뮬레이션을 진행하여 해석하고 분석하였다. 수리 후의 차체 구조 변화를 평가하고, 이를 통해 측면 충돌 수리 후 차체의 강성 변화가 탑승객의 안전 및 차량의 가치 하락에 미치는 영향이 있는지의 여부를 판단하였다.

주요기술용어 : Accident history(사고 이력), B-pillar(B필러), Body damage(차체 손상), Body Repair(차체 수리)
Crash Simulation(충돌 해석), Deformation(변형), Depreciation(가치 하락)
Re-accident(재 사고), Side Pannel(측면패널), Welding(용접)

1. 서 론

자동차가 이동의 편의성을 제공하는 장치로 발전하면서 운행이 증가하였다. 또한 최근에 출고되는 차량은 차체의 크기가 대형화되고 있고 신기술이 적용된 차량이 증가하면서 탑승자의 안전을 확보하고 전, 후방 사고를 예방하기 위한 첨단 안전장치가 개발되어 적용되었다.

사고 및 피해를 경감하는 안전장치 시스템이 많이 적용되어 있으며, 충돌을 대비하기 위해 경보 장치와 위급 시 자동으로 정지하는 긴급 제동장치 등이 적용되었다. 사고를 회피하고 피해를 경감시키기 위한 다양한 기술 등이 차량을 안전하게 운행하기 위해 적용되어 있다. 전, 후방 사고에 대비한

대응은 많이 발전하였지만 측면 사고의 경우에는 사고를 회피할 수 있는 기술의 적용이 어렵고 측면에서 접근하여 추돌하는 사고의 방지를 예견하고 회피하는 것은 매우 어렵다.¹⁾

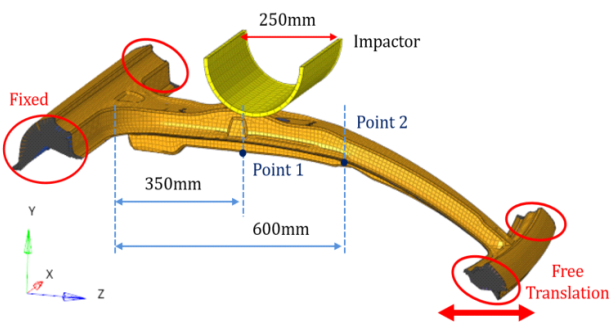
측면 사고는 필러의 강성이나 도어, 차체의 내/외판, 에어백 장치 등으로 탑승자를 보호한다. 사고가 발생하면 차체의 변형이 발생하고 정비소에서 수리를 실시한다. 손상 부위가 발생하면 변형 부위를 판금 장비로 교정하거나 절단한 후에 새로운 부품을 용접하여 장착하는 방법으로 수리한다. 이는 차체의 주요 부위의 손상으로 수리 후 차량의 가치 하락 및 안전에 대한 우려가 발생된다. 실차 수리 후 강성 변화를 판단하기 위해 실차와 동일한 부품을 용접 후 인장강도 시험을

하였다. 필러의 강성 시험과 동일한 방법으로 상용 프로그램을 통해 시뮬레이션을 진행하여 해석하고 분석하였다. 수리 후의 차체 구조 평가를 실시하고, 이를 통해 측면 충돌 수리 후 차체의 강성 변화가 탑승객의 안전 및 차량의 가치 하락에 영향을 미치는 요소가 있는지를 판단하였다.^{2,3)} 측면 충돌 사고 후 수리 차량에서 운행 중 재 사고가 발생하는 경우를 가정하여 수리한 차량의 승객의 안전과 필러의 강성 변화 여부를 처음 출고 당시의 차량 상태와 비교하여 판단해 보고자 차체의 내/외관 패널의 인장강도 시험을 통하여 얻은 결과를 해석에 적용하여 관련 연구를 진행하였다.

2. 자동차 측면 충돌 테스트

2-1. 측면 충돌 테스트

차량의 측면 충돌 테스트는 차량의 측면으로 충돌 사고 시 사망 및 부상을 방지하기 위해 바디 부위의 안정성을 알아보도록 60km/h의 속도로 중량 1,400kg인 측면 충돌 이동벽을 진행 방향과 자동차의 길이 방향 중심선이 90도가 되도록 자동차의 운전자 측 옆면에 수직 방향으로 충돌시킨 후, 탑승객인 운전자석 성인 남성 인체모형과 2열 탑승자석에 6세, 10세 어린이의 인체모형의 상해를 판단하며 성인은 머리, 가슴, 가슴, 복부, 치골을 어린이는 머리, 목, 가슴을 측정해 상해 정도를 판단한다.^{4,5)}



(Fig1: B Pillar 테스트)

2-2. B Pillar 테스트

자동차의 측면안전은 B Pillar의 강성으로 충돌사고 발생 시 탑승객의 안전을 확보하는 중요한 구조로 강성을 유지하여야 탑승객의 생존을 유지할 수 있다. B Pillar는 내/외관과 레인포스로 구성되어 있으며 필러의 강성 시험은 지름 250mm의 임팩터를 이용하여 350mm와 600mm 지점에서 강체의 변위를 판단한다.

2-3. 측면 충돌 후 자동차 수리 방법

자동차의 측면은 사이드 패널과 A, B, C Pillar, 도어 등으로 구성되며 측면 충돌 시 차체와 탑승객과의 거리가 작아 탑승객의 안전을 위한 차체의 강성 유지가 매우 중요하다.^{2,3)}

차량의 바디인 차체는 통상 400여 개의 바디 부품이 용접과 실링 등으로 일체화되어 있다. 자동차 측면은 사이드 패널과 필러의 부품이 통상 80개 정도로 조립되어 있으며, 필러 부위는 충돌 시 안전을 위해서 차체의 두께를 증대하고 여러 장의 철판을 굴절하고 용접하여 측면 충돌 시 차량 내 탑승객의 안전을 유지토록 하여야 하는 바 충돌 후 수리 작업 시 차량의 손상 정도에 따라 복원 작업에 세심한 주의가 필요하다.

2-3. 측면 패널 및 필러 손상 수정 작업 방법

도어 및 내장재를 탈거한 후 패널의 용접 부위를 드릴이나 천공기를 이용하여 용접 부위를 제거한다. 패널의 손상 부위를 확인 후 장비를 이용하여 견인하여 교정이 가능하면 교정 작업을 실시하며, 교정 불가 시 절단 작업 후 신품으로 같은 크기로 절단하여 용접 작업을 실시한다. B Pillar 교환 작업 필요시 상부와 하부의 매칭 부위에서 절단하거나 필러의 중앙에서 A, C Pillar 중간 부를 절단하여 내/외측을 용접하여 조립한다. 외관 웬더 부위는 신규 적용 부품을 드릴로 홀을 만들고 동일 부위 동일 개소로 용접으로 조립 후 용접 부위는 차량의 외관 및 미려를 위해 그라인딩 작업을 실시하고 차체의 누수 및 방음을 위해서 실링 작업을 실시한다. 차체의 표면을 퍼티로 굴곡 부위나 용접 부위 메꿈 작업 후 도색 작업을 실시한다.



(Fig2: 파손차량 수리 작업)

3. 시험

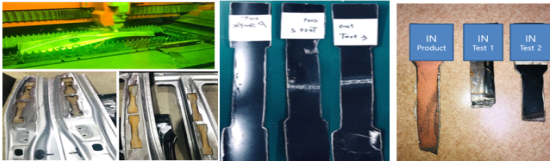
3-1. 차량 제원

(표1 : 시험차량 제원)

Specification	Vehicle
Weight (Kg)	1170
Engine Type	1.8L L4
Tire Size	195 / 60 R15
L-W-H (mm)	4511-1745-1482
Wheel Base (mm)	2610
Wheel Track (mm) Frt / Rr	1483 / 1493
CG Reward of Frt Wheel C/L (mm)	1069

3-2. 인장 시험

차량의 B Pillar와 동일한 부품으로 시험하기 위하여 실제 차량의 애프터서비스 마켓의 부품을 구매하여 시료를 획득하고 용접 및 시험을 실시하였다. 재질과 변형 발생 여부 및 형태를 확인하였으며 시편의 열적 변형 및 치수의 정확도 향상과 노치의 제거를 위해서 최대한 열적 부하가 발생하지 않도록 가공하여 인장시험을 실시하였다.



(Fig3 : 인장시험 준비용 시편 제작 및 시험 결과)

(표2 : 내/외판 용접 후 인장강도시험 결과)

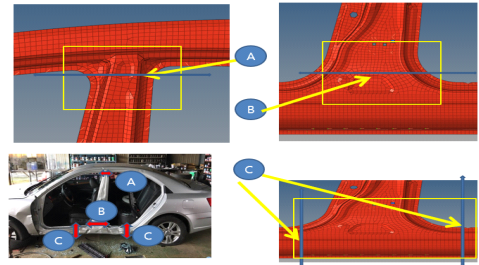
	Yield strength (N/mm)		Tensile strength (N/mm)		Elongation (%)	
	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner
Product	228	497	265	596	41.2	16.8
Test 1	180	432	225	455	37.3	21.1
Test 2	180	297	218	363	16.7	21.3
Average	180	364	221.5	409	27	21.2
Product / Weld	79%	73%	84%	69%	65%	126%

4. 유한 요소 해석

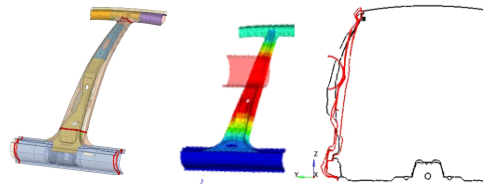
유한요소 해석을 위해 B Pillar 시험 방법과 차량에 적용된 각 부품의 물성과 인장시험, 변수를 적용하였고 시험 방법 기준에 적합하게 분석하고 평가를 실시하였다. 모델링 초깃값의 질량, 두께, 총중량 등을 신차의 상태와 동일하게 적용하여 해석을 적용하였다. 유한 요소 해석에서 B Pillar 테스트의 해석 모델은 시험조건과 동일하게 구성하였다. CAE 구성에서 변수 적용 시 잔류 응력은 무시하였다. 정상 차량과 수리 후 차량을 비교하여 변형량을 확인하고 안전성과 탑승객에 미치는 영향을 판단하였다.

4-1. 해석에 의한 시험 검증

실제로 정비소에서 수리한 차량이 재 사고를 발생하게 하도록 하여 필러의 강성을 테스트 하는 것은 차량 시험 특성상 적용하기에 매우 어렵다. 때문에 필러 수리에 대한 작업 범위와 작업 방법을 결정하고 영역 선정 등 많은 대상과 차량으로 시험이 필요하지만, 해석에서는 B-Pillar impact test 방법을 이용하여 모델링 및 검증 작업을 수행하였고, 동일한 시험의 테스트 방법을 적용하여 해석을 실시하여 오차 발생 여부를 확인하였다. 모델링 후 신뢰성 확보 차원에서 B Pillar의 변형 여부를 확인한 결과 해석에서의 편차가 거의 발생하지 않았으며 양호한 결과로 표출되었다. 실차 대비 약간의 오차는 발생하지만, 이는 해석 차량에서 재질 특성을 충돌부의 해석에서 동일하게 적용하기에는 어려운 점이 있어 발생하는 것으로 판단된다.



(Fig4 : B Pillar 실차 용접 내/외판 용접 수리 부위)



(Fig5 : B Pillar 용접부위, 충돌시험 모델링)

4-2. 정상 차량과 수리 후 차량의 변형량 비교

(표3 : 정상부품 대비 수리 차량의 필러 변형량 측정 결과)

	Impactor Point 350mm Y - Displacement(mm)	Impactor Point 600mm Y - Displacement(mm)
정상상태	96.99	103.96
A,B 외판	97.72	103.78
A,B 내-외판	97.72	103.83
A,C 외판	97.72	103.79
A,C 내-외판	97.71	103.83

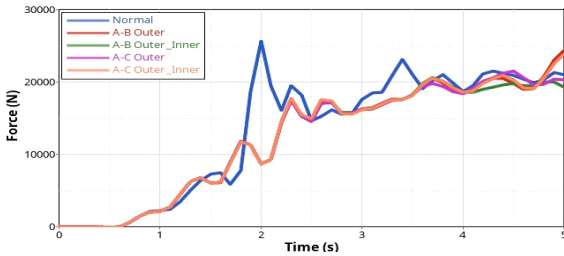
사고 후 복원을 위하여 필러의 SPOT 용접 부분을 탈거한 후 CO2 용접으로 작업한 차량의 변형량을 비교해 보았다. 350mm 높이에서는 0.73-0.74mm의 변형이 크게 발생하였고 600mm 높이에서 0.18-0.17mm의 변형이 발생하였다.

정상 차량의 변형량에 비하여 수리한 차량에서 변형량이 증가하여 사고 수리 차량이 재 사고가 발생하면 변형이 증가함을 알 수 있었고 600mm에서의 변형량은 내/외판의 중간에 레인 포스가 출고 시와 동일하게 장착되어 추가 손상이 다소 작게 발생할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

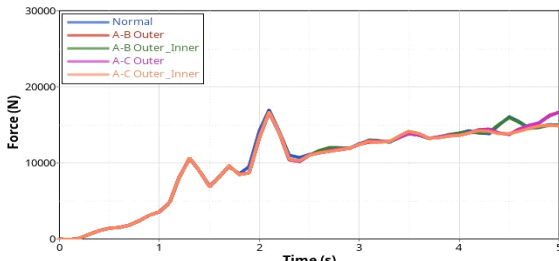
4-3. 정상 차량과 수리 후 차량의 Contact Force 비교

(표4 : Impact point에서 Contact Force 시험 결과)

	Impactor Point 350mm Contact Force (N)	Impactor Point 600mm Contact Force (N)
정상상태	25609	16957
A,B 외판	24407	16694
A,B 내-외판	20571	16678
A,C 외판	21481	16625
A,C 내-외판	23792	16632



(Fig6 : 350mm / B Pillar Impact Contact Force)



(Fig7 : 600mm / B Pillar Impact Contact Force)

Impact Contact Force를 B Pillar 350mm 높이와 600mm 높이에서 비교한 결과 정상 차량 대비 Contact Force가 350mm 높이에서 Force는 정상 차량 대비 내/외판의 용접 차량에서 상당히 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

350mm 높이에서 최대 5038(N)이 작아지며 600mm 높이에서는 332(N)이 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Pillar의 내/외판을 용접으로 수리하면 처음 출고 당시의 차량에 대비하여 Impact Contact Force, 즉 하중을 지탱하는 힘이 낮아지는 것으로 특히 차량의 아랫부분의 힘이 좋지 않은 상태를 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 준중형 승용차 모노코크 바디 차량의 사고 후 필러 부위가 변형되는 차량의 필러 절단 후 교환 작업을 실시한 것으로, 통상적으로 수리 작업을 실시하는 방법을 적용하였다. 용접 부위를 드릴로 가공하여 구멍을 만들고 패널을 탈거한 후 새 제품을 CO2 용접으로 작업하거나 변형된 필러를 절단하여 재 용접하여 도장과 마무리 작업을 한다.

이전 RCAR에서 실차의 필러를 실제로 용접 수리 후 충돌 시험을 실시한 데이터에서는 수리 차량이 정상 차량에 비해 손상이 많이 발생한 경우가 있었다. 금번 해석에서의 데이터를 판단 시 수리 차량은 정상 차량 대비 손상이 심하게 발생되며, 정상 상태와 사고 수리 후의 충돌 강성을 인장강도와 B Pillar의 변형량 Impact Contact Force 대하여 해석한 결과를 요약해 보면

- 1) 인장강도는 정상 차량에서 보다 용접 후 차체에서 20% 정도 약화 되는 것을 확인하였다. 이는 충돌 사고 시 차체의 강성이 정상 차량보다 수리 차량에서는 낮아질 수 있다고 판단된다.
- 2) B Pillar 용접 후 수리 차량과 정상 차량의 변형량을 비교

해 보았다. 350mm 높이에서는 0.73-0.74mm의 변형이 크게 발생하였고, 600mm 높이에서는 0.18-0.17mm의 변형이 발생하였다. 정상 차량의 변형량에 비하여 수리 차량에서의 변형량이 증가하여 사고 후 수리 차량에서 재 사고가 발생하면 변형이 증가함을 알 수 있었고, 높이 600mm의 실험 해석에서는 레인 포스가 출고 시와 동일하게 장착되어 손상이 다소 작게 발생할 수 있는 것을 확인하였다.

3) Impact Contact Force를 B Pillar 350mm 높이와 600mm 높이에서 비교한 결과 정상 차량 대비 Contact Force가 350mm 높이에서 Force는 정상 차량 대비 내/외판의 용접 차량에서 상당히 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

Pillar의 내/외판을 용접으로 수리하면 처음 출고 당시의 차량에 대비하여 Impact Contact Force, 즉 하중을 지탱하는 힘이 낮아지는 것으로 특히 차량의 아랫부분에서 force가 약해지는 상태를 알 수 있었다.

References

- 1) Guanhee Kim, Jonghun Lim, Jangho Lim, Insong Park Chongdu Cho "Evaluation of Occupant Protection of Passenger Vehicles at IIHS Side Impact Transactions of KSAE, Vol. 22, No. 1, pp.46-51. 2014
- 2) Yuong-Kyu Han, Se-Ryong Baek, Jun-Kyu Yoon, Jong-Han Lim "A Study on Side Impact from Car-to-Car using Finite Element Analysis The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC) Vol. 15, No. 3, pp.201-209, Jun. 30. 2015.
- 3) HYUNHO PARK "A study on the side impact characteristics for reduction of occupant injuries Journal of Korea Society of Automotive Engineers(KSAE) v.17 no.5 , pp.45-53 .1995
- 4) DugJoong Kim, Jaeyoung Lim, Byeunggun Nam, HeeJune Kim "Design and Manufacture of Automotive Hybrid Steel/Carbon Fiber Composite B Pillar Component with High Crash worthiness" International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology 2021 8 :547 - 559
- 5) Hwang, Y.T., Lim, J.Y., Nam, B.G., and Kim, H.S., "Analytical Prediction and Validation of Elastic Behavior of Carbon-Fiber Reinforced Woven Composites," Composites Research, Vol. 31, No. 5, 2018, pp.276-281.