승용차 정면 사고 차량의 프레임 수리 작업 후 차체 강성변화 해석에 관한 연구

김성호*, 조행묵*, 박대호**, 최복길***, 전성식**

*공주대학교 기계공학과, **공주대학교 기계자동차공학부,***공주대학교 전기전자제어공학부

e-mail:8902ksh@daum.net, hmcho@kongju.ac.kr, tigerpark@kongju.ac.kr,
bgchoi@kongju.ac.kr, sscheon@kongju.ac.kr

After repairing the frame of the vehicle in front of the passenger car accident A Study on the Analysis of Body Stiffness Variation

Sung ho Kim*, Haeng Muk Cho*, Park Dae Ho*,
Choi Bok Gil***, Cheon Sung Sik**
*Department of Mechanical Engineering, Kongju National University,
**Div. of Automotive Engineering, Kongju National University,
***Div. of Electric, Electronic and Control, Kongju National University

요 약

자동차가 사람들의 중요한 이동 수단이 되면서 자동차를 이용하여 이동시 사고의 발생 빈도가 높으며 사고가 발생하면 자동차가 손상되어 수리 시 에는 자산 가치가 하락되거나 수리 후 안전에 대한 우려가 발생되어 분쟁이나 소송이 발생하는 등 안전과 가치 하락으로 인한 문제가 대두되고 있다. 주요 부위 손상 사고의 경우, 수리 후 자동차의 가치가 하락되거나, 차량 성능 및 안전에 대한 우려가 발생되어 수리 차량에 대한 불신과 불안감으로 이어진다. 자동차는 사고가 발생하면 차체의 골격이나 프레임 등 차체 변형이 되는 부분을 수리 시 충돌 발생이나 변형 부분의 상태에 따라서 부품을 탈거하여 차체의 변형 부분을 판금이나 절단 후 용접 작업을 실시하여 복원 수리를 한다. 본 실험과 해석 에서는 내수 시장에서 운행 중인 준중형 승용 차량 1대를 선정하여 차량의 도면과 재질 및 관련 데이터를 활용하여 실제 차량과 동일한 방법으로 전방충돌 시험을 진행하였다. 시뮬레이션을 통해 실차 충돌 시와 동일한 충돌 시 손상 부위와 상태를 확인하였으며, 충돌 수리 후의 차량 상태를 상용 프로그램인 ANSYS LS-DYNA 시스템 을 통하여 해석 후 분석하였다. 사고 후 프레임을 절단하고 용접한 좌, 우측 프레임에 재사고 발생시 차량의 상태 변화 해석을 통해 인장강도와 F-D선도, 상대 변위에 대하여 사고 전후 차체의 강성 변화를 비교하여 격락손해의 요인이 발생 하는지 여부 및 안전성에 대하여 신차와 수리 후 재사고 발생 시 수리 차량의 변화를 연구하였다.

주요기술용어 : Accident history(사고 이력), Body damage(차체 손상), Body repair(차체 수리), Deformation(변형), Depreciation(가치 하락), frontal accident (전면사고) Front frame(프런트 프레임), Re-accident(재사고), Welding(용접)

1. 서론

자동차가 사람들의 중요한 이동 수단이 되면서 자동차를 이용하여 이동시 사고의 발생 빈도가 높으며 사고 시 자동차가 손상되어 수리 시 에는 자산 가치가 하락 되거나 수리 후 안전에 대한 우려가 발생되어 분쟁이나 소송이 발생 하는 등 안전과 가치 하락으로 인한 문제가 많이 대두되고 있다. [1,2] 주요 부위 손상 사고의 경우, 수리 후 자동차의 가치가 하락되거나 차량 성능 및 안전에 대한 우려가 발생되어 수리 차량에 대한 불신과 불안감으로 이어진다. 자동차는 사고가 발생하면 차체의 골격이나 프레임 등 차체 변형이 되는 부분을 수리 시 충돌 발생이나 변형 부분의 상태에 따라서 부품을 탈거하여 차체의 변형 부분을 판금이나 절단 후 용접 작업을 실시하여 복원 수리를 한다. 차체의 손상이 경미한 사고는 손상된 부품의 간단 수리 및 교환을 통해 원래의 차량 상태 및 성능을 유지하는데 어려움이 없지만, 차체의 골격이나 프레임 등 차체 변형이 되는 주요부의 손상 사고인 경우 수리 차량에 대한 불신 및 불안감을 표출하며 격락손해의 소송으로 진행되는 경우가 많이 발생한다. [2]

본 실험에서는 내수 시장에서 차량의 판매 빈도가 높은 준중형승용차 1대를 선정한 후 차량에 장착된 차체의 재질과 도면 및 관련 데이터를 활용하여 실제 차량과 동일한 방법으로 정면충돌시험을 진행하였다. 시뮬레이션을 통해 실차의

충돌 시험과 동일하게 충돌 후 손상 부위와 차량의 상태를 확인하였고, 상용 소프트웨어인 하이퍼 웍스와 LS-DYNA로 유한 요소 해석을 통해 충돌 수리 후 상태를 분석하였다.

사고 후에 발생하는 차량의 상태 변화와 변형에 대하여 해석하였고 변위 및 변형률과 F-D 선도 등을 근거로 차체의 강성 변화를 해석하고 판단하였다.

2. 정면충돌 시험 및 평가

2.1 정면충돌시험

자동차 충돌시험과 관련된 연구는 다양한 방법과 형태로 검토를 진행 하였고 한국의 경우에는 KNCAP 규정을 두고 1999년부터 충돌 시험을 실시하고 결과를 공표(국토교통부)한다 이는 자동차안전도에 대한 정보를 소비자에게 제공하고 제작사로 하여금 안전도가 높은 자동차를 제작하도록 유도하기 위한 목적으로 새로 출시되는 신차에 대해 자동차의 충돌안전성 등 안전도를 평가하는 제도이다.

한국의 충돌시험은 자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 시행세칙에 의거하여 한국의 경우에는 KNCAP 규정을 두고 56.3±0.8km/h의 속도로 고정벽면에 정면충돌 시킨다. [3.)] 금번 연구에서는 KNCAP 규정에 의거하여 시험과 평가를 실시 하였다

2.2 시험조건

고정 충돌벽 전면에는 19±1mm 두께의 합판을 부착하여 시험하며 인체 모형을 시험자동차의 지정 착석위치에 각각 착석시킨 후 시험자동차의 진행방향에 수직인 고정 충돌벽에 56.3±0.8Km/h의 속도로 시험자동차를 정면충돌시키며 시험자동차를 시험 속도까지 이르게 한 장치로부터 고정 충돌벽 전면 60mm 이내에서 풀어져야 한다. 이때 시험자동차의 충돌속도는 고정 충돌벽 전면의 1.5m 이내에서 2대 이상의 속도 측정 장치를 이용하여 측정한다[3)]

[그림 1] 자동차 정면 충돌 실제 사진 (From KNCAP)

2.3 평가 방법

정면충돌 안전성에 대한 평가는 상해등급, 충돌 시 문 열림 여부, 충돌 후 문 열림 용이성, 충돌 후 연료장치의 연료누출 여부 등 4개 사항으로 평가 하며 충돌안전성외에 보행자 안전성과 사고예방 안전성 등을 판단하여 가중치를 부여하거나 안정성 점수를 합산하여 종합점수화 한 후 종합 등급으로 평가 후 공표 한다 [3)]

3. 유한요소 해석

[그림 2] 유한요소 해석 모델링 요약

자동차의 충돌 해석을 유한요소 해석으로 평가시 에는 실험 대상인 자동차와 충돌 시험기구나 장치, 시험 방법에 따라서 모델링을 실시하고 메시, 질점, 노드를 평가 대상 차량에 모델링을 실시 한 후 해석한다. 이때 모델링에 입력되는 값이 올바르게 되어야만 좋은 결과를 도출할 수 있다. 해석에 대한 결과를 산출하는 것은 통상적으로 그래프와 수의 값으로 표출되며, 충돌 시험에서는 시뮬레이션을 통하여 강성 변화, 강도 변화, 변형량 등을 실차 충돌 테스트의 결과와 비교하여 충돌 시험 결과를 분석하고 예측한다.

금번 실시한 유한 요소 해석 에서는 CAD 데이터 및 해석을 위한 모델링을 실시 후 시험 방법과 물성의 특성과 인장시험의 변수를 적용하였고, 충돌 영상과 실차에서의 충돌시험 데이터를 비교 검증하여 시험 방법에 준하여 평가 및 분석을 실시하였다

실험 및 해석에 적용된 차량의 제원은 아래와 같다

[표 1]차량 제원

Specification	Vehicle
Weight (Kg)	1170
Engine Type	1.8L L4
Tire Size	195/60 R15
LxWxH (mm)	4511x1745x1482
Wheel Base (mm)	2610
Wheel Track (mm) Frt/Rr	1483/1493
CG Reward of Frt Wheel C/L (mm)	1069

3. 인장 시험

차량에 적용된 프레임과 동일한 부품으로 시험하기 위하여

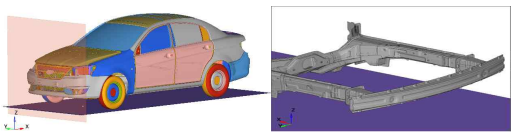
실제 차량의 서비스센터에서 프레임을 구매하여 차체 부위와 동일한 곳에서 재질과 위치를 확인하고 절단 및 용접 작업 후에 강도가 변화되는지의 여부를 확인하기 위하여 15년차 숙련된 작업자가 용접을 하여 정비시에 적용된 방법과 동일하게 용접작업을 실시하여 인장 시험을 진행하였다.

4. 해석에 의한 시험 검증

실제 차량의 KNCAP 테스트 방법을 이용하여 모델링 및 검증을 진행하였으며 동일한 테스트 방법으로 해석을 실시한 후 오차 범위를 확인 시, 유사한 형태로 결과가 발생하는 것을 확인하였다. 충돌시험은 전방 충돌에서 충돌 후 변형량에 대한 실차의 결과 값과 해석 차량의 모델링 후 테스트를 진행하여 확인하였다. 실차 대비 다소의 오차가 발생하지만, 이는 해석 차량에서 배리어의 재질 특성을 충돌부의 해석에서는 리지드로 표현하는바 동일하게 적용할 수 없어 발생하는 것으로 판단된다. 내장재와 플라스틱 부품이나 고무 부분을 탈거한 상태에서의 해석으로, 철판으로만 되어 있는 A-Piller 부분과 다소의 차이가 발생함을 확인하였고 실차에서는 변형량을 3차원 거리 측정기를 이용하여 측정한 데이터로 오차가 발생할 가능성은 희박하다고 판단된다.

5. 정상 차량과 수리 후 재사고 차량의 속도별 변형량과 힘

정상 차량과 수리 후 차량이 운전중 사고가 발생하면 차체에 문제가 발생할 것으로 예상되어 정상차량과 수리 후 차량을 모델링하여 속도별로 충돌 해석을 진행하였다. 고정벽에 15KPH, 30KPH, 56KPH 전면 충돌을 하였으면 차량 모델은 정상차량, 운전석 프런트 프레임 용접 차량, 운전석와 보조석 프런트 프레임 용접 차량을 진행 하였다. 변형량과 힘을 확인하기 위하여 테스트 부품인 프런트 프레임의 사고 수리 후 용접된 차량을 이용하여 비교한 결과이다.

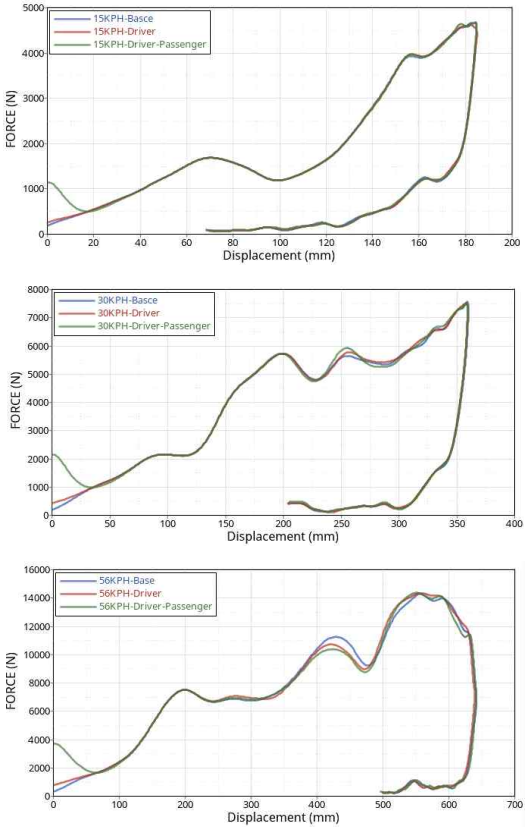


[그림 3] 고정벽 정면 충돌 . 프레임 모델링

5.1 Force vs Displacement 비교

속도별 충돌 테스트 시 차량 변위량과 힘을 비교 시 정상차량와 수리 후 차량의 프런트 프레임은 15 km/h 속도에서는 에너지 흡수 능력(Force) 및 변위량에서 차이가 없으나, 30 km/h 에서는 차이가 발생하는 것을 확인 할 수 있었으며, 50km/h에서는 변화가 확연히 발생하는 것을 볼 수 있었다.

[표 2 3.4] 15-30-56 km/h - F D 선도



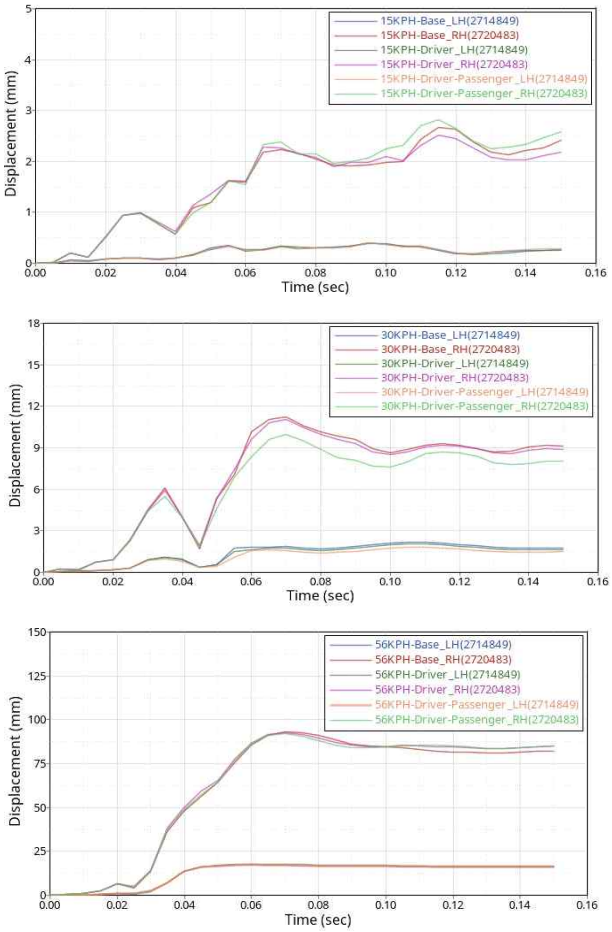
5.2 속도별 충돌 해석

15km/h 속도에서는 범퍼 빔의 변형이 발생은 하나, Stay가 하중을 지지해 줌으로 프런트 프레임에 변형이 발생 하지 않는 것을 확인 할 수 있었으며, 30km/h 속도에서 Stay가 변형을 함으로 프런트 프레임에 영향을 미치는 것을 확인 하였다. 56km/h에서는 정상차량이나 수리 후 차량이나 마찬가지로 프런트 프레임이 심하게 변형 되는 것을 확인 할 수 있었다. 30km/h 이상일 때에서 변화가 발생하며 프레임의 변형으로 차체가 무너지는 것을 유추해 볼 수 있다. 이것은 기존보다 에너지 흡수율이 작다는 것을 의미하며 속도가 높아진 상태에서 사고가 발생하면 탑승객의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단된다.

5.3 변위 (Displacement)

정상차량의 프런트 프레임 차량과 사고 후 수리 차량의 프레임에 용접한 차량의 충돌 시험 후 상대 변위를 판단해 보았다. 해석에서는 node 2720483 에서 용접 차량과 정상 차량의 변위 부분에 대한 상대 변위를 판단한 결과, 정상 차량의 변위량이 용접 차량의 프레임보다 강함을 알 수 있었고, 상대 변위에서는 유리함을 확인하였다.

[표 5. 6. 7] 15-30-56 Km/h Displacement
정상차량 vs 운전석 vs 운전석.조수석 용접차량



6. 결 론

본 연구에서는 국내에 출시된 준중형 모노코크 바디 차량의 사고 후 프런트 프레임 부위 수리 시, 프런트 프레임을 절단 용접 작업을 실시하였다. 일반적인 정비 운전석 ,조수석에 용접을 실시하였고, 수리한 차량의 사고 이전 정상 상태와 사고 수리 후의 충돌 강성을 F-D 선도와 변위량을 비교 판단하였다. 최근 이슈화 되는 사고 후 수리 차량의 손해에 대한 격락손해 여부와 안전성에 미치는 영향의 여부를 확인하기 위해 인장 시험 및 유한요소 해석을 통하여 비교 시험 및 해석을 실시한 결과를 요약해 보면,

1) 용접 부위에 대한 인장 강도 시험 시, 정상 차량의 소재와 용접 후 소재의 강도가 20% 정도 저하됨을 확인하였다.
2) 사고 차량의 프런트 프레임을 용접 후 강성의 변화에 대한 해석 시, 용접 후 강성이 30 km/h에서 감소됨을 확인할 수 있었다.
3) 사고 차량의 프런트 프레임 용접 후 에너지 흡수율 변화에 대한 해석 시, 15km/h 조건에서는 변화가 미미하나, 30~56km/h에서 용접의 에너지 흡수율이 증가 되었다.
4) 사고 수리 후 재충돌 사고가 발생 시에는 15~30 km/h 조건에서는 크게 영향이 없지만, 30km/h 이상의 속도로 재사고 발생 시 에는 탑승객에게 피해를 줄 수 있을 것으로 판단된다.
5) 사고 부위를 완벽하게 수리한다고 해도 강성이나 변형량, 변위, F-D 선도로 판단 시, 정상 차량과 수리 후 차량은 차이가 발생하며 이는 사고 복원 시 차체의 강성 변화로 격락손해의 이유로 판단할수 있다.

References

[1] Sung Ho Kim, Haeng Muk Cho
"A Study on the Analysis of Stiffness Variation in the Re-accident after Repair of Passenger Car Loop and A.B. Pillar Area" IJ MERR 2021.05.08

[2] In song park, Taw young Chung
"Damageability, Repairability of Frame Type Passenger Vehicles at Low Speed 40% Offset Crash Test" Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers v.11 no.5,pp. 127 - 133, 2003, 1225-6382,

[3] KNCAP http://www.kncap.org

[4] Ho-Sung Song, Yu-Yong Kim, Ryu-Gap Lim
"Determination of the Properties of Structural Steel for gricultural Tractor Roll-over Protective Structure by Tensile Test and Finite Element Analysis" Journal of the Korean Society of Mechanical Technology v.21 no.5,pp. 808- 817, 2019, 1229-604x,

[5] Dragos Sorin Dima, Dinu Covaciu
"Vehicles Frontal Impact Analysis Using Computer Simulation And Crash Test " International Journal of Automotive Technology, 2019, pp.655 - 661