

EN15227에 따른 트램 차량의 장애물 충돌 성능 평가

According to EN15227, crashworthiness analysis of tramway car with two kinds of obstacles (3 tons rigid obstacle vs. 3tons pickup truck)

정지호*[†], 이배화*, 이장욱*, 이강운*Ji-Ho Jeong*[†], BaeHwa Lee*, JangWook Lee*, KangWun Lee*

Abstract: Tramway systems were common used throughout the Europe major cities and other country. But while the decline in the prevalence of an auto-mobile, the advantage (e.g. light investment and tourist feature) of the tramway system became once again visible. Wireless low floor tram development of the starts has emerged as a new public transport in the South Korea. Tramway system is a normal vehicle can be operated inline. So it has a greater probability of a collision with an auto-mobile. In this paper, it has been performed a tramway collision with a 3ton obstacle specified in EN15227. Also it was performed by substituting a collision with an auto-mobile having the same weight of 3ton obstacle. Through a quantitative/qualitative comparison of collision results of the rigid wall and pickup truck respectively, it was validated the effect on the tramway. This study is expected to be able to provide direction for the injury assessment of a passenger on tramway and auto-mobile collision accident.

Keywords : Tramway car, Crashworthiness, 3ton obstacle

초 록 트램은 오랫동안 유럽 및 주요 해외 도시의 교통수단으로 운행되어 왔다. 버스와 비교해 도시 내 교통 혼잡이 현저히 낮으며, 지하철 대비 저가의 건설비용과 도시의 심미적 특성을 더해줌과 관광적인 측면까지 갖추고 있어 국내에도 무가선 저상 트램을 시작으로 주요 광역도시 내 새로운 교통수단으로 대두 되고 있는 실정이다. 하지만 트램은 노면에서 일반 차량들이 운행이 가능하다는 특성 상 다른 타입의 열차와 달리 일반 차량들과 충돌 할 수 있는 개연성이 상당한 교통수단으로 평가된다. 본 논문에서는 유럽의 철도차량 충돌 규정인 EN15227내에 정의된 트램의 충돌 시나리오(3톤 강체 장애물 충돌)를 실제 동일 무게를 가지는 픽업트럭으로 치환하여 충돌안전도를 평가하였다. 충돌 시 강체벽과 픽업트럭 차량과의 정량적/정성적 비교 평가를 통해 실제 사고 시 트램에 미치는 영향성을 분석하였다. 본 연구는 향후 예상되는 트램과 차량 충돌 시 승객의 상해치 평가 연구를 위한 방향을 제시 하여 줄 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 트램, 충돌안전도, 3톤 강체 장애물

1. 서 론

트램 (tramway car)은 19 세기 말부터 20 세기 초반까지 전세계 산업도시에 주요 교통수단으로 사용되었으나 20 세기 중반부터 건설 인프라가 거의 필요하지 않은 버스와 개인 교통수단(승용차)의 발달로 인해 점점 사라졌다. 하지만 급속한 자동차의 보급은

† 교신저자: 현대로템 선임연구원(crash94@hyundai-rotem.co.kr)

* 현대로템 기술연구소

대도시 내 공해, 소음, 차량 정체, 주차공간 부족 등의 또 다른 문제들을 유발 시켰다[1].

지하철을 계획하는 도시들이 많이 생겨났지만, 대형 건설 투자와 건설환경이 문제가 되는 유럽 도시들은 다시 트램을 대안으로 제시 하였다. 트램은 저가의 건설비용과 도시의 기존 관광 환경과의 융화성이 높아 평가 되고 있고, 국내에도 무가선 저상트램을 시작으로 주요 광역도시 내 새로운 교통수단으로 대두 되고 있는 실정이다.

트램은 운행 특성 상 전용 선로 내에 일반 자동차가 운행할 수 있는 환경이며, 이는 일반 차량과의 충돌 사고가 발생할 수 있는 상당한 개연성으로 가지고 있다고 할 수 있다. 본 논문에서는 유럽 충돌 규정인 EN15227[2]의 카테고리 C-IV 차량의 장애물 충돌 시나리오에 대해 평가 하였으며, 트램 차량을 EN15227[2] 규정 내 정의된 3 톤 강체 장애물(이하 ‘3 톤 장애물’ 이라 함)과 실제 3 톤 중량의 픽업 트럭 차량에 각각 충돌 평가 하여 실제 각 결과를 비교 분석 하였다.

2. 본 론

2.1 유한 요소 모델

본 연구에는 모델 개발을 위해 Hypermesh V13.0[3]이 충돌 해석에는 범용 dynamic explicit 소프트웨어인 LS-DYNA v971[4]을 사용 하였다.

2.1.1 트램 (Tramway car)모델

트램의 유한요소 모델은 현대로템 주식회사에서 개발 한 모델을 사용하였으며, Fig 1. 과 같이 5 개의 모듈(module)을 가지는 차량으로 구성되어 있다. 5 개의 모듈은 3 차원 shell 과 solid 요소로 모델링 되었으며, 모듈간 연결부의 관절(articulation)은 일차원 rigid spider 를 이용하여 구현 하였다. 또한 A, B 그리고 E 모듈의 대차는 CG 점에 집중 질량을 사용하여 구현하였다. 충돌 차량의 중량은 EN15227 3.3[2]절의 중량 기준 (공차 + 착석승객의 50%)을 사용하였으며, 차량의 골조 (frame) 무게와 roof 의 중요 기기하중을 제외한 무게는 차량의 언더프레임 (underframe assembly)에 lumped mass 를 사용하여 구현하여 주었다.

차량의 좌표는 길이/폭/높이 방향을 순차적으로 X/Y/Z 축을 사용하였다.

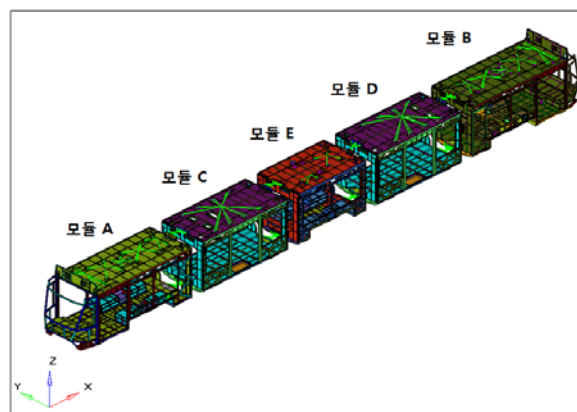


Fig. 1 Finite Element Model of tramway car

2.1.2 3톤 강체 장애물 (3 tons rigid obstacle) 모델

3톤 장애물은 EN15227 Annex C. 4 [2]에 정의되어 있는 대로 트램 전면을 커버하는 크기의 강체벽 (rigid)의 CG 점에 3톤의 집중질량을 사용하여 구성하였다. 장애물의 수직방향 (Z 방향) 자유도는 규정에 따라 구속하였으며, Fig. 2 와 같이 차량과의 각도를 45도 경사지게 위치 시켰다.

2.1.3 3톤 픽업 트럭 장애물 (3 tons pick-up truck obstacle) 모델

3톤 픽업차량의 유한요소 모델은 포드사의 F-250 차량으로 NCAC^(*) (National Crash Analysis Centre of the George Washington University)의 웹사이트에서 무상으로 제공하는 모델에 중량을 보강하여 사용 하였다. Fig. 3 은 F-250 차량의 유한요소 모델을 보여준다.

Note (*): <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>[5]

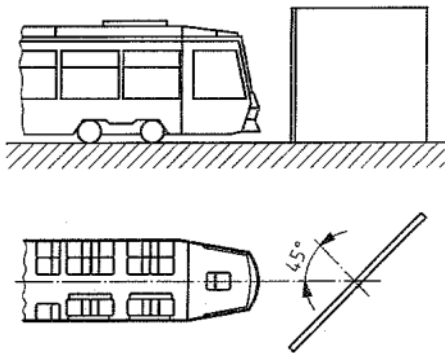


Fig. 2 Tram corner collision obstacle



Fig. 3 FE model of F-250 pick-up truck

2.2 해석 조건 및 충돌 시나리오

2.2.1 3톤 장애물 충돌

3톤 장애물 충돌 시나리오는 Fig. 4 와 같이 트램 전두부에 장애물의 폭방향 (Y 축)의 중심이 트램의 중심과 일치하게 45도 경사로 배치하여 25km/h 의 속도로 충돌 시켰다. 트램 전두부와 장애물 사이에는 접촉면 설정요소 (sliding interface)를 설정하여 주었으며, 마찰계수는 0.57 을 사용하였다.

2.2.2 3톤 픽업 트럭 장애물 충돌

3톤 픽업 트럭 충돌 시나리오는 Fig. 5 와 같이 트램 전두부에 픽업트럭의 측방향과 45도 경사로 배치하여 25km/h 의 속도로 충돌 시켰다. 트램 전두부와 픽업트럭이 충돌이 발생하는 부분에는 3톤 장애물 시나리오와 동일하게 접촉면 설정요소를 설정하여 주었으며, 마찰계수는 역시 동일한 값인 0.57 을 사용하였다. 다만, 픽업트럭의 경우는 차량 전복 가능성이 예측되어 차량에 중력장을 부가하였으며 수직방향 자유도 역시 구속시키지 않았다.

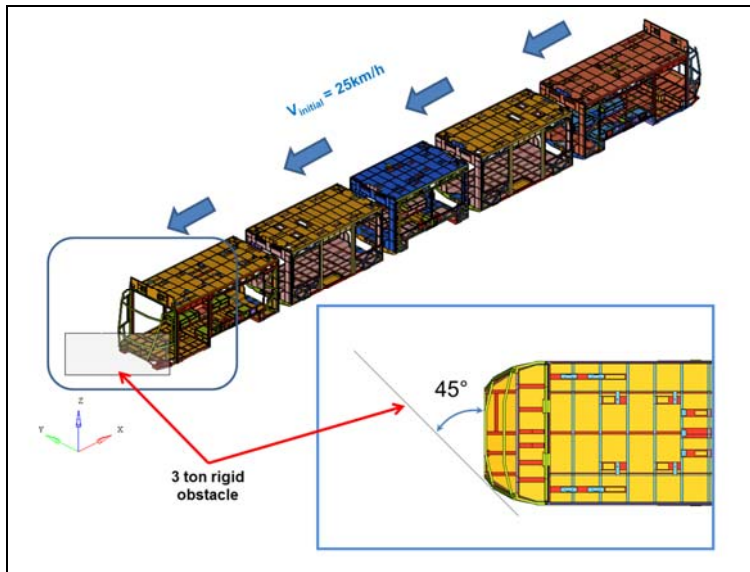


Fig. 4 Schematic Configuration for 3 ton rigid obstacle Collision analysis

2.3 해석 결과

2.3.1 3톤 장애물 충돌

Fig. 5 의 a)는 충돌 시 트램의 영구변형에 의해 발생된 내부에너지 변화를 보여준다. 트램 차량에서 약 45.7kJ 의 에너지가 흡수 되었으며 최대 반력(reaction wall force)는 약 493kN 수준이다. Fig. 6 에서 볼 수 있듯이 충돌 흡수 부위 (A module 전두부) 에만 국부적인 변형만이 발생하였으며, A 모듈의 일부 전두부를 제외하고 차량전체에는 영구변형의 발생이 없는 것을 알 수 있다.

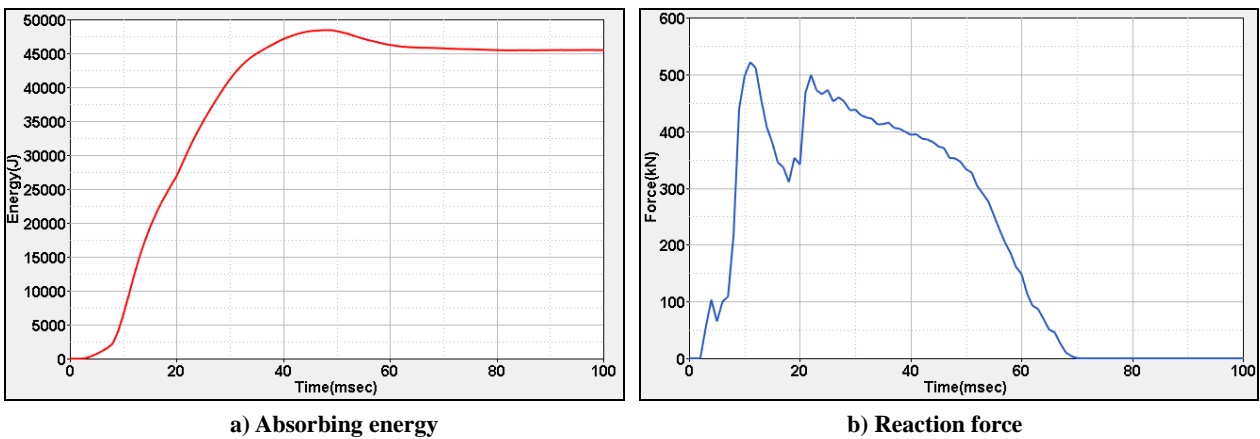
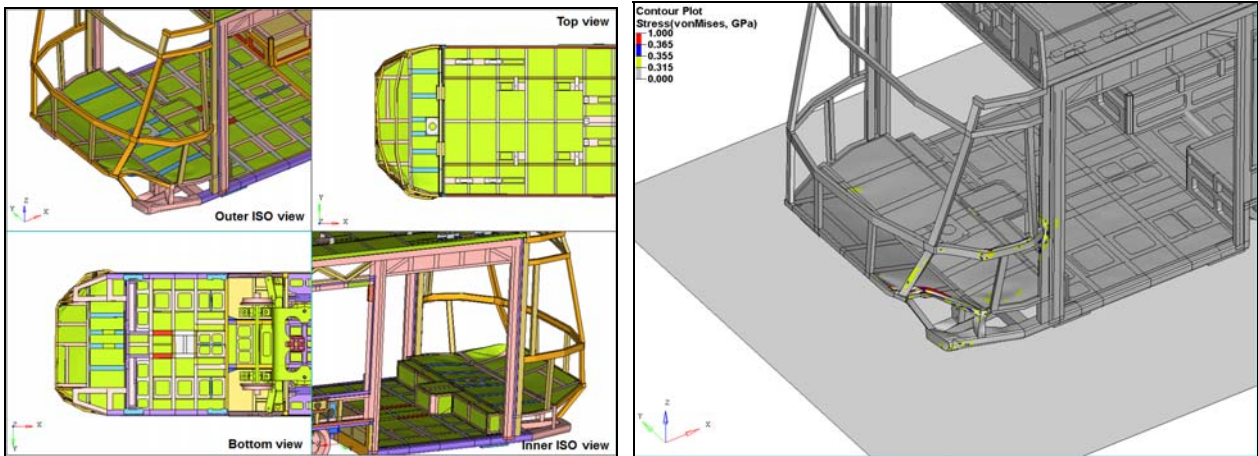


Fig. 5 Collision result curve



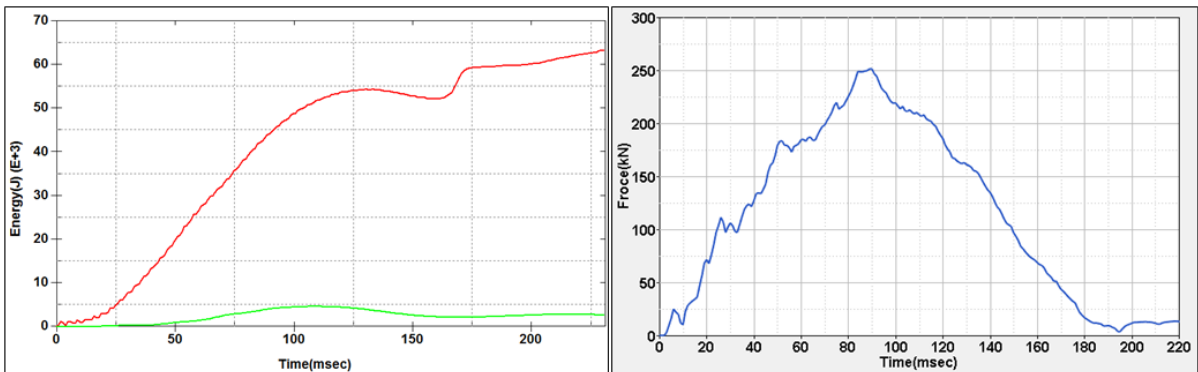
a) multi-view after collision

b) Stress contour of collision area

Fig. 6 Deformed configurations after collision event

2.3.2 3톤 픽업 트럭 장애물 충돌

Fig. 7의 a)는 충돌 시 트램과 픽업트럭에서 영구변형에 의해 발생된 내부에너지 변화를 보여 준다. 트램 차량과 픽업트럭에서 각각 약 2.3kJ와 63.5kJ의 에너지가 흡수 되었으며 최대 반력 (reaction wall force)는 약 251kN 수준이다. Fig. 8 에서 볼 수 있듯이 매우 국부적인 부분 (cab post)을 제외한 차량 전체에 영구변형이 거의 발생하지 않은 것을 알 수 있다.



a) Absorbing energy

b) Reaction force

Fig. 7 Collision result curve

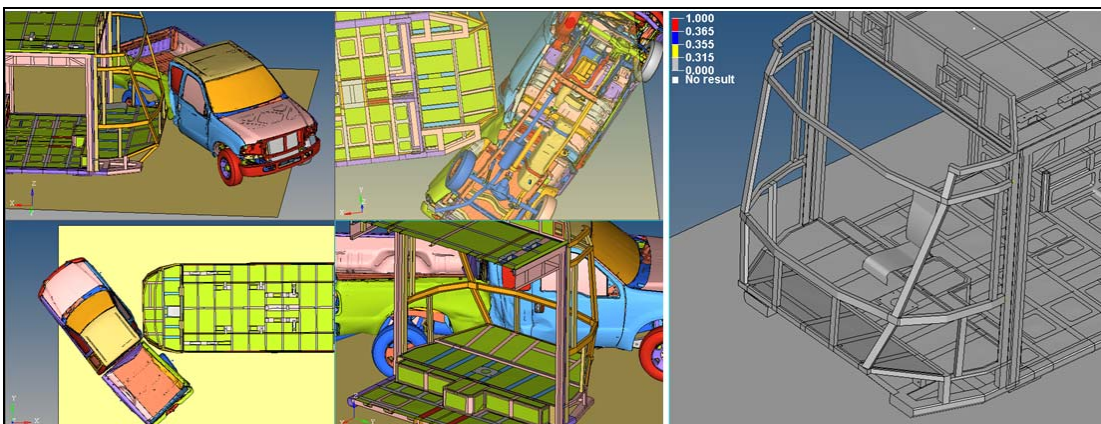


Fig. 8 Deformed configurations & stress contour after collision

3. 결 론

EN15227 C-IV[2] 타입 차량이 트램을 개발하여 25km/h 장애물 충돌을 수행 하였다. 장애 물의타입은 EN15227[2]에 정의된 3톤 장애물과 3톤 픽업트럭을 각각 사용하였다. 충돌 해석 결과 두 가지 장애물 충돌 모두 EN15227[2] 에서 규정하는 운전실 생존공간에 대한 규정은 만족 하는 것으로 확인 되었다. 3톤 장애물 충돌의 경우 충돌 에너지 대부분을 트램 차체의 변형에 사용되었으나, 3톤 픽업 트럭의 경우 트럭 자체의 변형이 주요하게 발생하여 트램 차체의 변형은 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 본 해석 결과를 통해 EN15227[2]에 정의 된3톤 장애물의 경우 실제 충돌사고 환경보다 상당히 보수적으로 정의 되었음을 알 수 있다. 본 연구 결과를 통해 향후 평가가 예상되는 탑승승객의 상해치 분석에 대해서도 EN15227[2]의 규정을 만족하는 수준이라면 상해치도 기준치를 만족 할 수 있을 것으로 사료 된다.

참고문헌

- [1] www.wikipedia.com “History of trams”.
- [2] BRITISH STANDARD BS EN 15227:2008 +A1:2010, “Railway applications – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies”.
- [3] ‘Hypermesh V13.0’ Altair corporation.
- [4] ‘LS-DYNA Applications v971’ Livermore Software Technology Corporation.
- [5] <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>, NCAC((National Crash Analysis Centre of the George Washington University)