

EN15227 규격을 만족하는 트램 용 충돌흡수부재 개발 연구

A development study of collision energy absorbing structure for tramway car as meet the EN15227 standard

정지호^{*†}, 이배화^{*}, 이장욱^{*}Ji-Ho Jeong^{*†}, BaeHwa Lee^{*}, JangWook 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. Conventional tramway car is articulation-based joint-connection type, and the application of a device capable of reducing the injury of passengers and drivers in a collision has a weak feature that is limited to the foremost front module. In this paper, there have developed a universal collision absorbing member which meets the collision standard of EN15227 (restriction that collision absorption mechanism only can be applied to cab end of front module). This suggests the direction of the development of the collision - absorbing member of the tram vehicle, which is expected to have many domestic and foreign demand.

Keywords : Tramway car, EN15227, Crash absorbing member, Overriding

초 록 트램은 오랫동안 유럽 및 주요 해외 도시의 교통수단으로 운행되어 왔다. 버스와 비교해 도시 내 교통혼잡이 현저히 낮으며, 지하철 대비 저가의 건설비용과 도시의 심미적 특성을 더해줌과 관광적인 측면까지 갖추고 있어 국내에도 무가선 저상 트램을 시작으로 주요 광역도시 내 새로운 교통수단으로 대두되고 있는 실정이다. 일반적인 트램은 아티큘레이션(articulation)을 이용한 교절 연결타입 방식으로 충돌 시 승객 및 운전자의 상해를 저감할 수 있는 장치의 적용이 최 선두 모듈 전두부에 국한되는 취약한 특징을 가지고 있다. 본 논문에서는 연결기 및 단부에 충돌흡수 메커니즘을 적용할 수 없는 제약을 고려한 유럽충돌규격인 EN15227[3]의 충돌규정을 만족하는 범용 충돌흡수부재를 연구개발 하였다. 이는 향후 국내/외 많은 수요가 예상되는 트램차량의 충돌흡수부재 개발의 방향성을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 트램, EN15227, 충돌 에너지 흡수 부재, 타고오름

1. 서 론

트램(tramway car)은 Fig 1과 같이 보통 5개 모듈이 아티큘레이션을 이용해 편성을 구성한다 (3개 모듈로 운행도 가능). 상기 방식으로 운행되기 때문에 차량 간 또는 일반 자동차와의 충돌 시 운동에너지를 흡수 할 수 있는 구간이 선두 차량의 전두부에 국한되는 설계특성이 있다. 즉, 충돌 시 모든 에너지를 차량 전두부에서 대부분을 흡수해야 한다. 또한 트램의 전 두 버퍼들은 유럽의 몇 개 기업에서 독점으로 제공하고 있어 차량의 제작사의 입장에서는 금액적인 부분에 상당한 부담이 되고 있다. 따라서 향후 국내에서 많은 수요가 예측되는 트램 차량의 충돌에너지 흡수부재의 개발이 시급한 상황이다. 본 논문에서는 철도안전법[2]

과 유럽 충돌규정인 EN15227[3] 내의 카테고리 C-IV차량의 평가기준을 만족하는 충돌흡수 부재의 연구개발 및 분석평가 하였다.

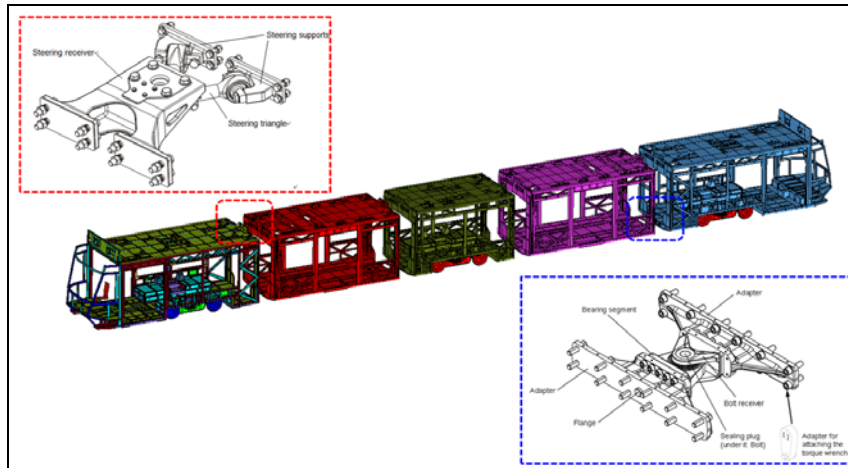


Fig. 1 Articulation of Tramway car

2. 본 론

2.1 충돌 에너지 계산

충돌흡수부재를 개발하기 앞서 하기 하기와 같이 트램의 충돌에너지를 고려해 흡수에 필요한 에너지를 계산 하였다. 차량무게는 기 실적이 있는 개발 차량의 무게를 사용하였다.

- ✓ Applied collision mass =
Empty vehicle mass + 50 % of seated passenger = 45,874.4 kg
- note: specified in EN15227:2008
- ✓ $E_{\text{required}} = 45,874.4 \times (2.083 \text{ mm/msec} (7.5 \text{ km/h}))^2 / 2 = 100 \text{ kJ}$
- ✓ Collision energy per each unit;
 $E = F(200 \text{ kN, Max.}) \times D(250 \text{ mm}) \geq 50 \text{ kJ}$

2.2 유한 요소 모델

본 연구에는 모델 개발을 위해 모델링은 Hypermesh V14.0[4]를, 충돌해석에는 범용 dynamic explicit 소프트웨어인 LS-DYNA v971[5]을 사용 하였다.

2.1.1 트램 (Tramway car)모델

트램의 유한요소모델은 현대로템 주식회사에서 개발한 모델을 사용하였으며, Fig 1.은 5 개의 모듈(module)을 가지는 차량으로 구성된 트램 차량을 보여준다. 5 개의 모듈은 3 차원 shell 과 solid 요소로 모델링 되었으며, 모듈간 연결부의 관절(articulation)은 일차원 rigid spider 를 이용하여 구현하였다. 또한 A, B 그리고 E 모듈의 대차는 CG 점에 집중 질량을 사용하여 구현하였다. 충돌차량의 중량은 EN15227 3.3[3]절의 중량 기준 (공차 + 착석승객의 50%)을 고려하였으며, 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.

2.1.2 충돌 흡수 부재 모델

Fig 2 와 같이 압괴특성이 다른 총 4 가지 모델을 선정하여 case study 를 진행하였다. 4 가지 모델 중 사각튜브 타입 모델과 캡슐 타입이 효율성이 가장 좋았고, 그 중 제작성이 가장 용이한 사각튜브 타입을 최종으로 선정하였다.

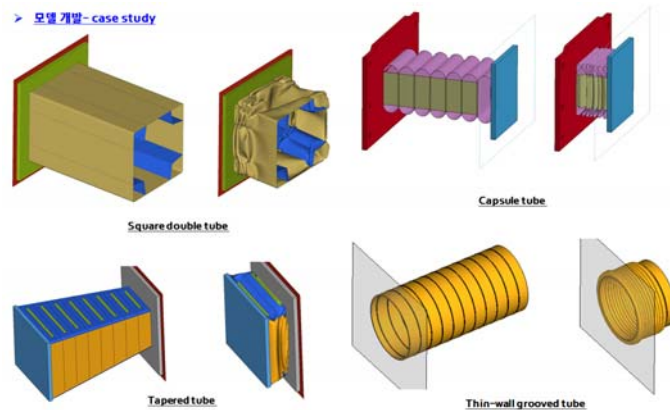


Fig. 2 Case study of energy absorbing structure

트램은 일반 전동차 대비 차체강도가 낮으므로, 흡수부재의 역시 상대적으로 낮은 압괴 하중이 요구된다. 이 때문에 트램 용 흡수부재는 낮은 붕괴하중으로 인해 offset 충돌 시 일반적으로 흡수부재에 생기는 버클링 현상이 발생하였다. 이에 버클링 현상을 개선하기 위하여 Fig 3 과 같이 guide centre beam 을 적용하여 개선하였다. 또한 모델의 초기 peak force 를 저감하기 위하여 도입부(trigger)에 R15 홀을 적용하였다. 사용재질은 A5083 을 적용하였다.

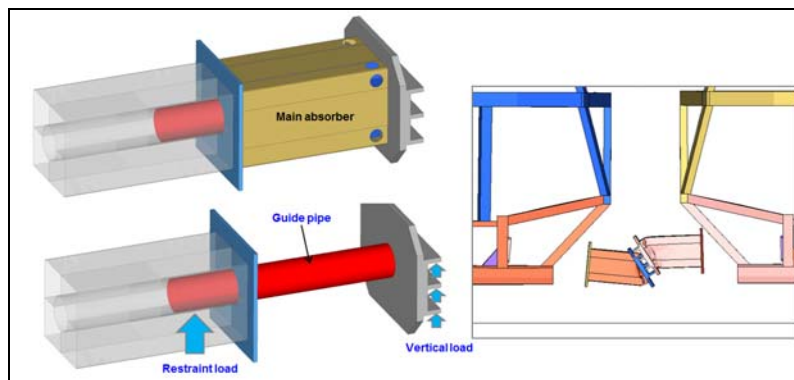


Fig. 3 Guide centre beam of energy absorbing structure for square double tube

Fig 4 는 압괴충돌 해석거동을 보여주고 있다. 압괴 시 최대 및 평균 붕괴하중은 각각 284kN 과 211kN 이다. 하기 결과 선도와 같이 force 의 상하 하중편차가 평균하중을 기준으로 상당히 적은 것을 알 수 있다. 즉, 충돌 에너지의 효율성이 상당히 좋다고 판단

된다.

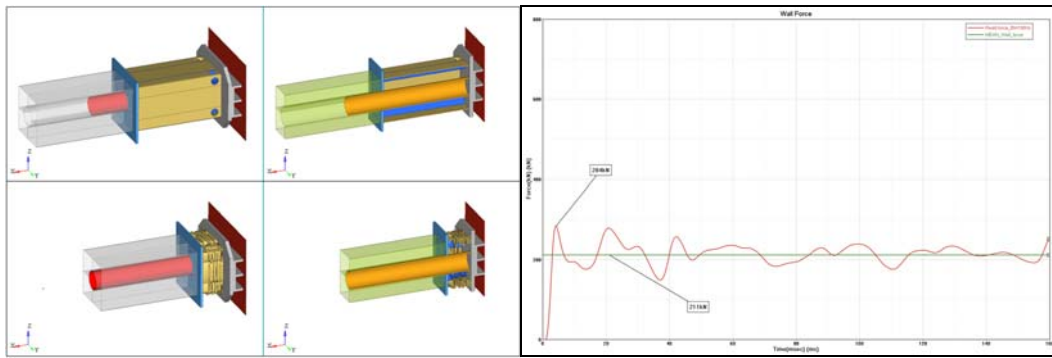


Fig. 4 Deformed configurations & F-t curve of energy absorbing structure for square double tube

2.3 철도안전법 및 EN15227 평가

트램은 철도안전법과 EN15227[3]의 카테고리C-IV에 속하며 하기와 같은 충돌 시나리오를 가지고 있다.

- A. 동일 편성 차량 15km/h 정면 충돌 (정지 차량 미 제동)
- B. 차량 간 40mm offset 15km/h overriding
- C. 3톤 소형 장애물 25km/h 충돌

상기 3가지 충돌 시나리오 중 본 논문에서는 가장 악조건인 시나리오 B에 대하여 해석 평가 하였다.

2.3.1 시나리오 B 평가 모델

시나리오 B의 평가를 위해 Fig 5와 같이 모델은 구성하였다. 차량은 대차를 포함한 full 모델을 사용하였으며, 아티클레이션은 1차원 강체 요소(NRB)를 사용하여 구현하였다. 개발 모델과 차량의 인터페이스를 맞추기 위하여 차량과 흡수부재 사이에 dummy 튜브를 사용하였다.

또한 EN15227에 정의되어 있는 overriding 모드를 구현하기 위하여 충돌 차량과 피 충돌 차량 사이에 40mm offset을 적용하여 주었다. 타고오름 현상을 구현하기 위하여 해석 시스템 전체에 중력장을 적용하였으며, 레일면은 강체 고정벽을 사용하여 구현하였고 마찰계수는 EN15227에 정의되어 있는 바와 같이 zero friction을 사용하였다.

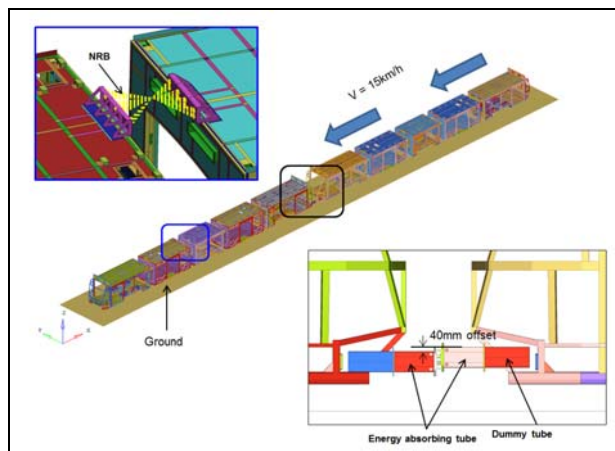


Fig. 5 General configuration of scenario B

시나리오 B 해석 결과, Fig 6의 선도에서 볼 수 있듯이 충돌과정에서 약 170.6kJ (개당 약 43kJ)의 에너지가 흡수 되었으며, 최대 및 평균 하중은 약 553kN과 443kN이 발생하였다. 충돌 에너지의 거의 대부분을 전두 흡수부재가 흡수 하였으므로 Fig 7과 같이 차체의 영구 변형은 발생 하지 않음을 알 수 있다. 또한 Fig 8의 좌측 선도과 같이 충돌 및 피충돌 차량의 선두 전/후 휠셋의 수직 방향 변위는 최대 1.7mm 이며, 우측선도의 1차 충돌 net force를 이용하여 가속도를 계산 한 결과 약 1.0g 이내 인 것을 알 수 있다.

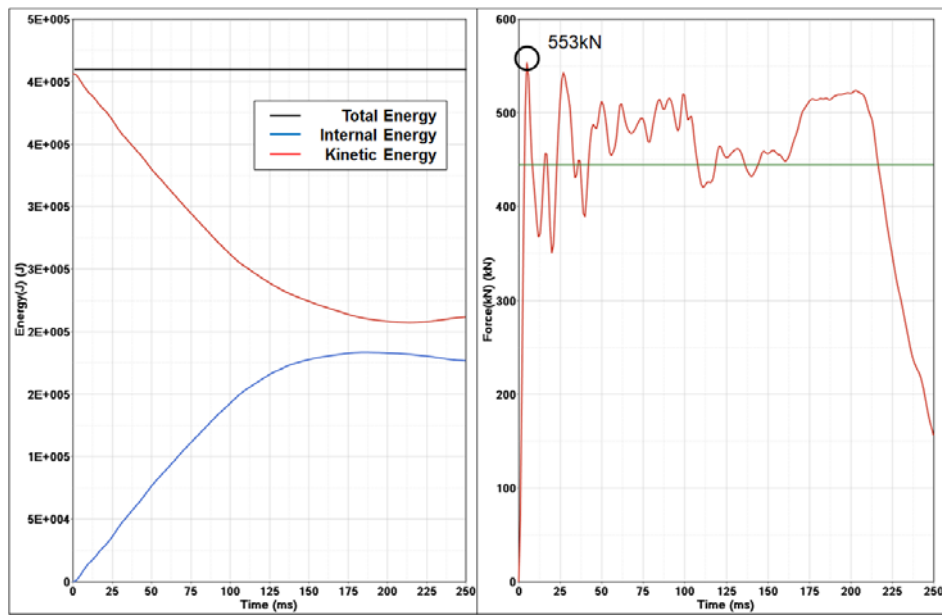


Fig. 6 Global energy curve & F-t curve of Scenario A



Fig. 7 Multi-view of deformed configuration for Scenario

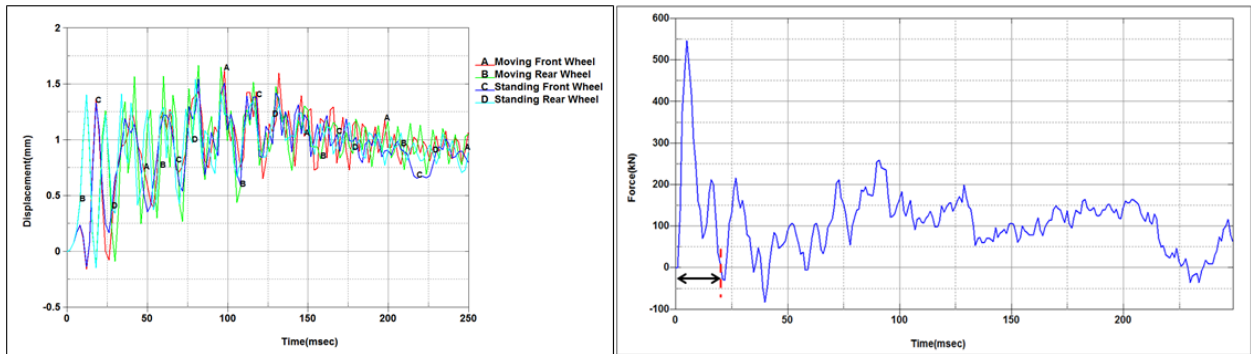


Fig. 8 Vertical displacement and Internal force of Front car

3. 결 론

트램 차량의 충돌흡수부재를 개발하여 EN15227 [3] 의 가장 worst case 인 overriding 조건을 평가하였다. 평가 결과 신규 개발 충돌흡수부재 적용 시 차량 자체의 영구변형은 발생하지 않으며, 생존공간/탈선여부/감가속도 규정을 모두 만족하고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 본 연구의 충돌흡수부재는 트램 차량의 충돌안전을 만족하기 위한 개발 및 연구 사례로 활용 될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] www.wikipedia.com “History of trams”.
- [2] 철도차량기술기준 Part 52. 도시철도차량(노면전차) 기술기준
- [3] BRITISH STANDARD BS EN 15227:2008 +A1:2010, “Railway applications – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies”.
- [4] ‘Hypermesh V14.0’ Altair corporation.
- [5] ‘LS-DYNA Applications v971’ Livermore Software Technology Corporation.
- [6] 한국철도학회 2016년 춘계학술대회, “EN15227에 따른 트램 차량의 장애물 충돌 성능 평가” 정지호 외 3명