

EN15227을 적용한 저상트램의 충돌 안전성 평가

Evaluation of Crashworthiness for Tram According to EN15227 Standard

박경창*, 조현직*, 이장욱*†, 박근수*

Kyoung-Chang Park*, Hyun-Jik Cho*, Jang-Wook Lee*†, Guen-Soo Park*

Abstract Tram is becoming one of the most popular means of transportation in Europe because of its advantage such as accessibility and eco-friendly. Meanwhile the trams are operated with other kinds of road transportations, the accident can be happened not only with itself but also with other road vehicles. Accordingly the crashworthiness design needs to be complied with recently released standard EN15227. This paper describes the crashworthiness assessment according to EN15227. There are two kinds of crash scenario and two kinds of criteria for each. The first scenario : A front-end colliding between two identical trams at 15km/h. The second scenario : A front colliding into a 3ton road-crossing obstacle placed on the railway at 25km/h with an incidence of 45 deg. Explicit FEA has been used for the evaluation.

Keywords : tram, EN15227, crashworthiness

초 록 유럽에서 트램은 접근성 및 친환경성이 뛰어난 대표적인 교통수단이다. 트램은 전용 철로를 이용하는 일반 철도 차량과는 달리 다른 교통 수단 (버스, 승용차 및 화물차 등) 과 교차되어 운용 되면서 기존의 철도 차량보다 높은 이용자 편의성을 가지고 있으나, 다른 교통 수단에 대한 충돌 사고 발생 확률이 높다. 본 논문은 국토해양부 개발사업을 통해 설계 및 제작된 무가선 저상트램을 대상으로 국외 충돌안전 기준인 EN15227 사양을 적용하여 충돌안전성능을 평가를 수행하였다. 충돌안전성능 평가에 사용된 충돌 시나리오는 정면충돌과 경사면의 소형장애물과의 충돌이다. 본 연구를 통해 국내에서 개발된 무가선 저상트램의 충돌안전성능은 EN15227의 설계기준에 만족함을 확인하였다.

주요어 : 저상트램, EN15227, 충돌안전성

1. 서 론

20세기 후반부터 급격한 산업화와 가속화된 도시의 인구 집중현상으로 인하여 도시간의 교통량이 급속도로 증가함에 따라 도로 교통량이 한계에 도달하고 자동차 및 항공기에 의한 교통수단의 단점이 부각되었다. 특히 자동차의 급증으로 인한 교통 체증과 배기가스 및 소음

† 교신저자: 현대로템 기술연구소 (leejw@hyundai-rotem.co.kr)

* 현대로템 기술연구소

등의 환경공해는 물론 교통사고에 의한 인명 및 경제적, 사회적 손실 등의 문제가 전세계적으로 심각한 문제로 등장하였다. 철도는 정시성, 안정성, 대량 수송성, 에너지 절감성, 저공해성, 고속성과 아울러 쾌적한 대중교통수단으로서 새로운 관심을 끌게 되었다.^[1] 저상트램은 전용선로 뿐만 아니라 일반도로상의 타 교통수단과 혼용운행 가능한 친환경 교통수단으로 주목 받고 있으며, 현재 국내에서는 실용화 단계의 연구를 수행 중이다. 본 연구는 국토해양부의 연구개발사업을 통해 개발된 무가선 저상트램의 충돌안전성능 평가를 위해 대표적인 해외 충돌안전도 설계규정인 EN15227에 의거해 해석 및 평가를 수행하였다.^[2]

2. EN15227에 의한 충돌안전도 평가

2.1 모델개요

충돌 해석에 사용된 무가선 저상트램의 유한요소모델은 Fig. 1과 같다. 본 해석에 적용한 충돌사고 시나리오는 EN15227에 명시된 정면충돌 사고 시나리오(충돌 시나리오 1)와 3톤 소형장애물과의 경사면 충돌사고 시나리오(충돌 시나리오 2)이다. 정면충돌 사고 시나리오에 사용된 모델은 폭방향 대칭의 1/2 모델로 구성 되었으며, 경사면 충돌사고 시나리오의 경우 충돌 후 전두부 변형의 비대칭성을 고려하여 전체 모델로 구성하였다. 차량을 구성하는 주요 전장품, 기기, 대차 및 탑승객은 1차원 질량요소로 모델링에 반영하였고, 구조체는 솔리드와 셸 요소를 이용하여 3차원 형상을 구현하였다. 모델을 구성하는 총 요소의 개수는 1/2 모델을 기준으로 솔리드 요소 3,120개, 셸 요소 476,753개 그리고 절점 471,550개이다. 충돌 안전도 해석은 유한요소 동역학 해석 프로그램 LSTC社의 LS-DYNA 971을 사용하여 수행 하였다.

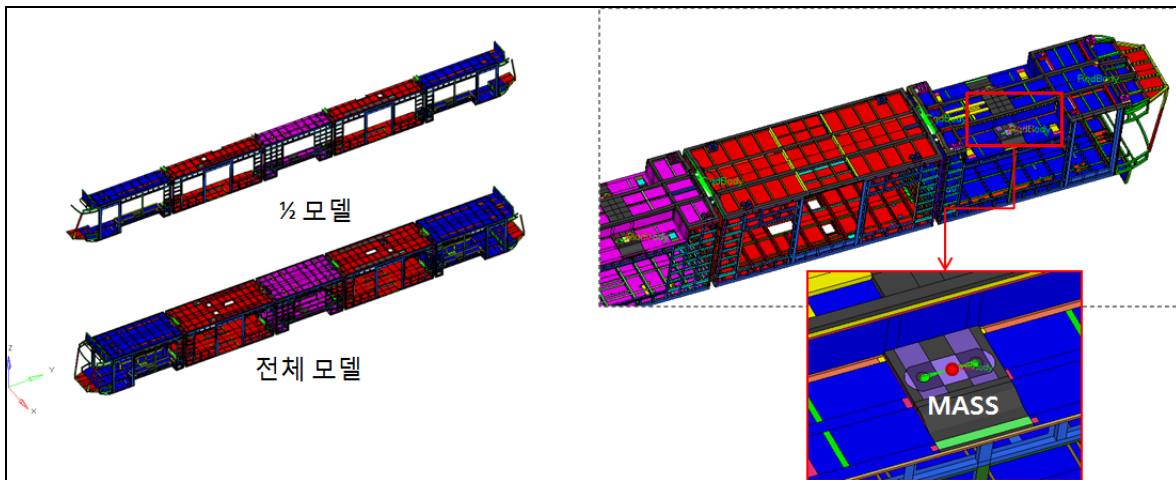


Fig. 1 Finite element model for crashworthiness with bogie mass

본 연구대상인 무가선 저상트램의 설계 제원은 Table 1과 같고, 적용재질에 대한 기계적 특성은 Table 2와 같다.

Table 1 Design description of the Tram train[unit : mm]

Car Type	A	B	E	C	D	비고
차체 길이	6,650		5,100	6,700		총길이 : 31,800
차체 폭	2,450		2,450	2,450		
차체 높이	3,400		3,400	3,400		
대차 중심간 거리	11,450					A~E 와 E~B 공통

Table 2 Properties of materials [unit : MPa]

재질	항복강도	인장강도	연신율(%)	비고
SMA490BP	≥365	≥490	15	End frame, Center sill
SS400	≥245	≥400	17	Floor, Door Post, Bolster etc.
SPA-H	≥345	≥481	22	Side frame, Closure

2.2 해석조건

충돌안전성 평가에 사용된 충돌 시나리오는 유럽의 표준규격인 EN15227 에 의거하였으며, 해석조건에 해당하는 표준 충돌사고 시나리오는 Table 3 과 같이 정의하고 있다.

Table 3 Crashworthiness scenarios for EN15227 requirement

충돌 시나리오	충돌대상	충돌속도	비고
1. 정면 충돌	동일 편성 차량	15km/h	차체 폭방향 기준 대칭의 1/2 모델
2. 45도 경사면 충돌	질량 3톤의 45도 경사면을 가진 이동벽(장애물)	7.5km/h	3톤 장애물은 강체로 구성하며, 길이 및 폭 방향 거동

2.3 충돌안전도 평가

Fig.2 는 충돌 시나리오 1 충돌 과정의 에너지를 나타낸 것이며, 전체 운동에너지의 변화가 5 % 이내로 안정적인 해석결과를 나타내고 있다. 충돌 시 최대 흡수 에너지는 1/2 모델 기준 0.48 MJ 이므로, 전체 모델 시 약 0.97MJ 이 흡수되었다. 각 충돌 시나리오 조건 별 충돌 전후의 변형형상은 Fig. 3 과 같이 전두부 구조의 압괴 변형을 통해 충돌에너지가 흡수됨을 알 수 있었다. 충돌에너지 흡수량을 살펴보면, 시나리오 1 에서는 1/2 모델 기준 약 34kJ 의 에너지를 흡수 하였고, 시나리오 2 는 약 47kJ 의 에너지를 흡수 하였다. 에너지-변형량 결과곡선은 Fig. 4 에 나타내었다. 차체에 발생하는 충격력을 살펴보면 충돌 시나리오 1 에서는 1/2 모델 기준 약 400kN 의 최대 하중이 발생 하였으며, 충돌 시나리오 2 에서는 약 175 kN 의 최대 하중이 발생하였다. 충돌 시 차체구조에 발생하는 충격력 결과곡선은 Fig.5 와 같다. Fig.6 은 각 충돌사고 시나리오 조건 시 전두부 변형량을 나타낸 것이며, 최대 변형량은 충돌 시나리오 1 조건에서 길이 방향으로 약 329.0 mm 발생하였다. 해당 변형량은 판정기준인 Fig.7 은 각 시나리오 별 승객 공간의 길이 변형량을 측정한 그래프이다. 최대

변형량은 충돌 시나리오 2 에서 약 4.9mm 가 측정 되었다. Fig.8 은 각 충돌 시나리오 별 시간-속도 그래프를 이용한 평균 감속도 결과곡선이며, 시나리오 1 에서는 0.36 g, 시나리오 2 에서는 약 0.19 g 를 나타내었다. EN15227 에서 요구하는 주요 평가항목별 해석결과를 종합하면 Table 3 과 같다.

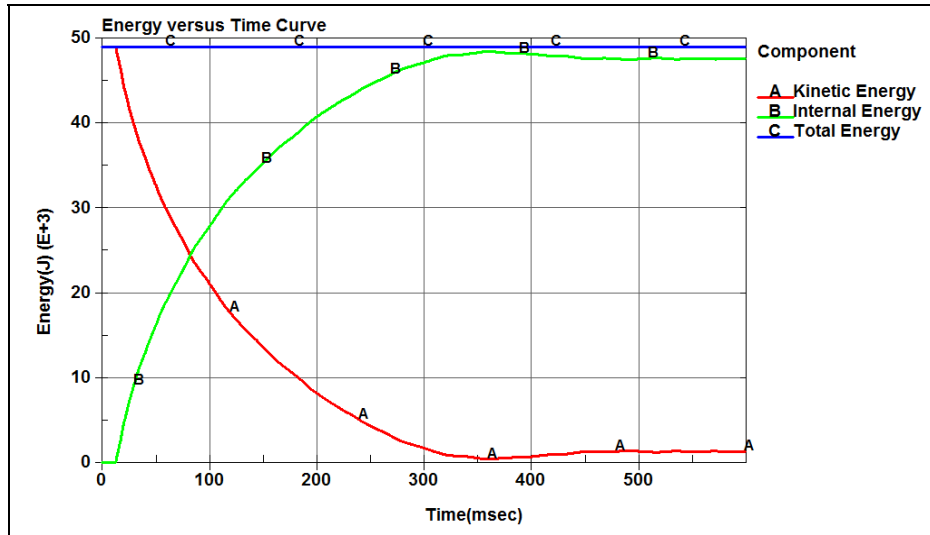
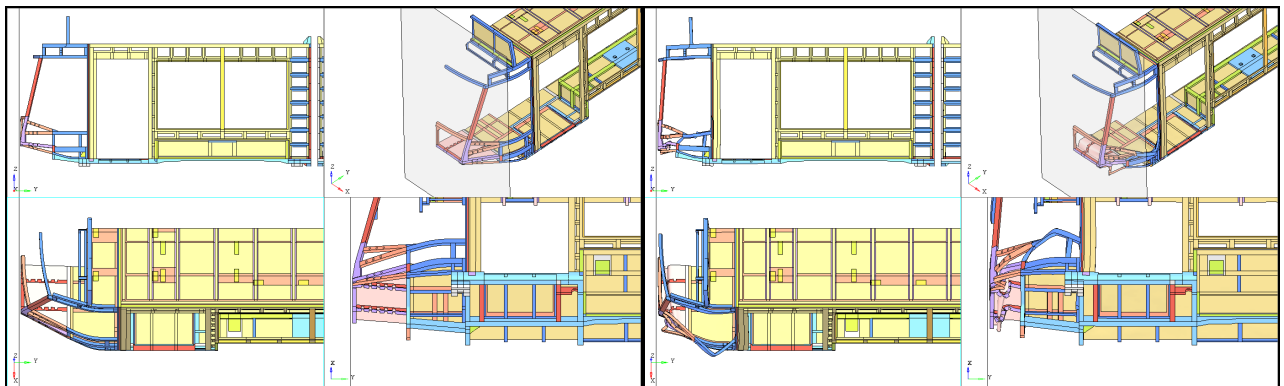
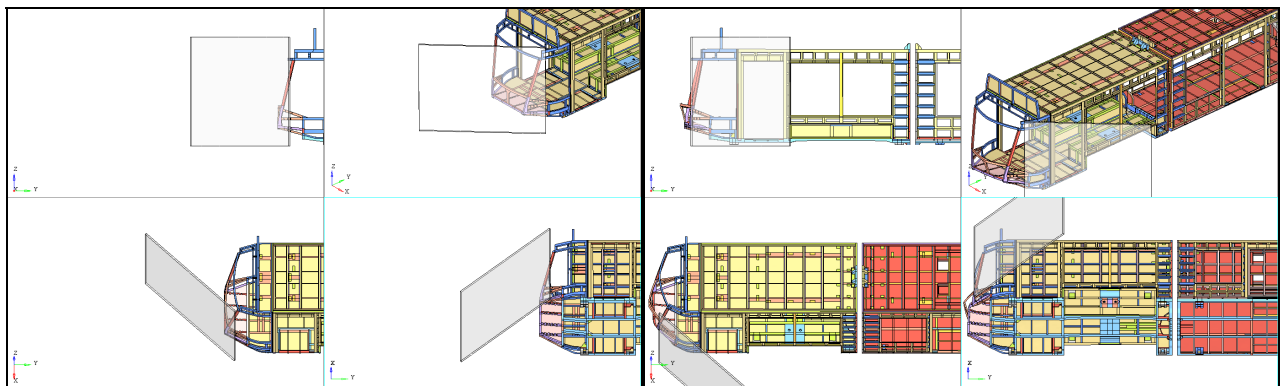


Fig.2 Energy versus time curves of scenario 1



(a)scenario 1



(b)scenario 2

Fig.3 Before/after collision shapes

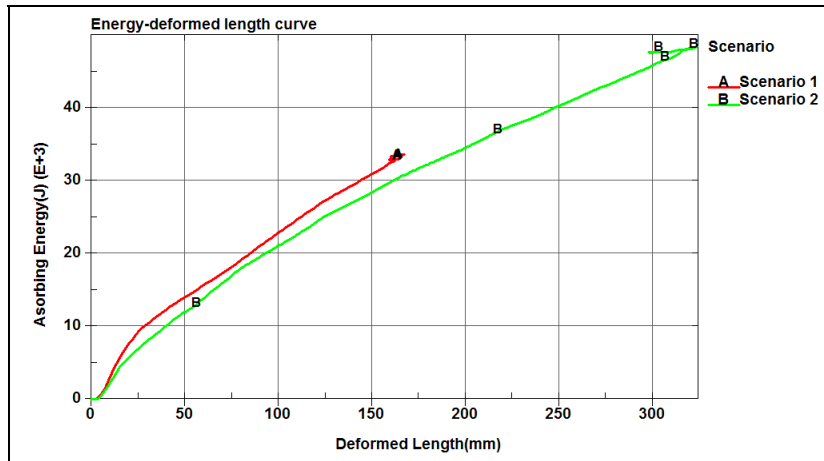


Fig.4 Absorbing energy versus deformed length curves

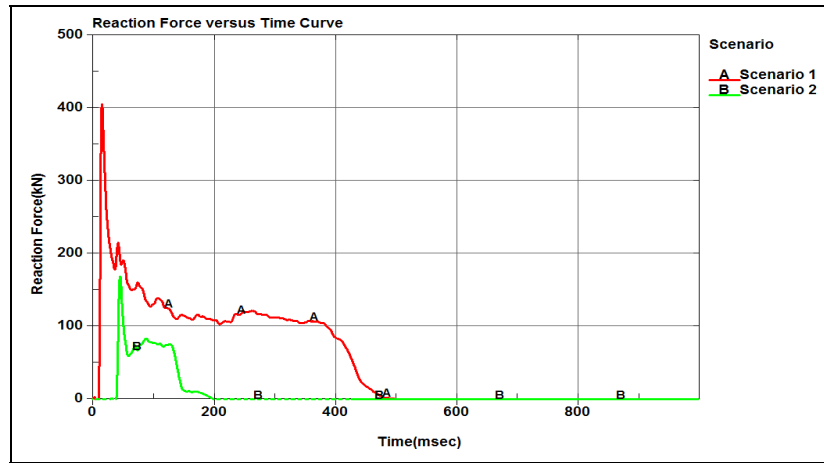
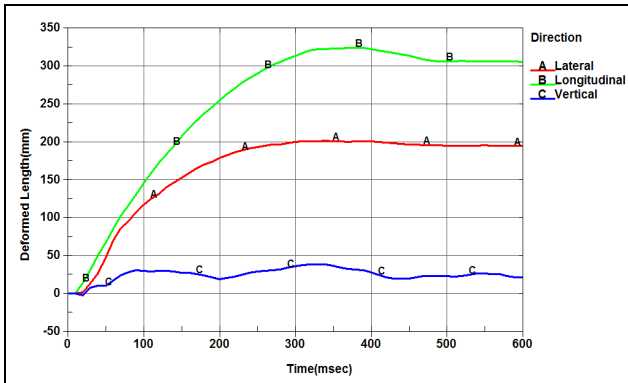
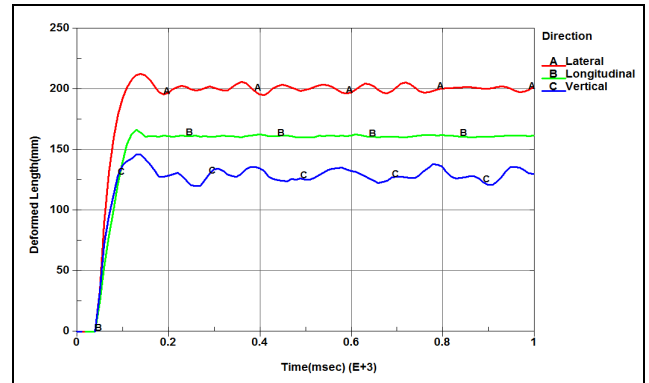


Fig.5 Reaction force versus time curves



(a)scenario 1



(b)scenario 2

Fig.6 Deformed length versus time curves of survival space for driver

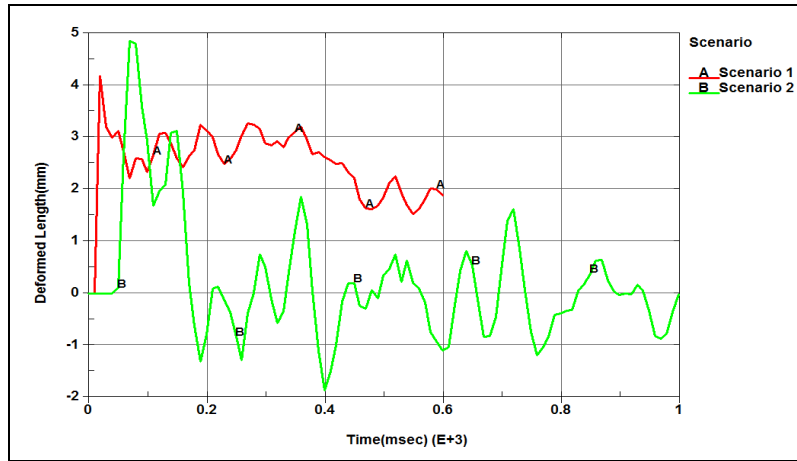


Fig.7 Deformed length versus time curves of passenger space

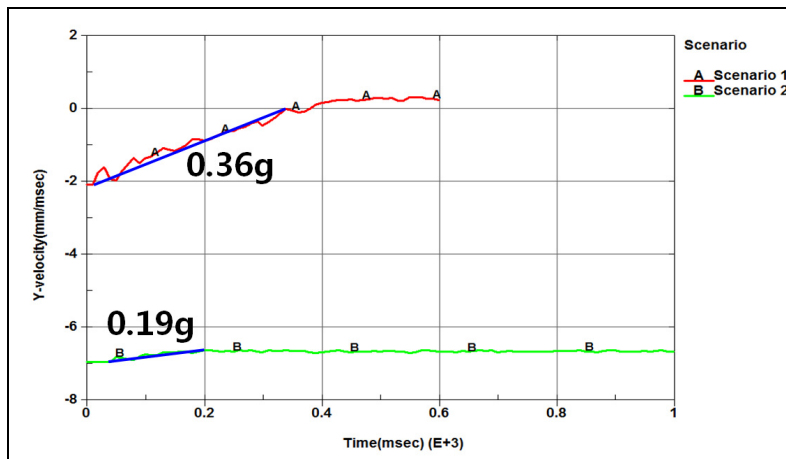


Fig.8 Average deceleration curves at the passenger space

Table 3 Summary of analyses results

해석 결과		충돌 시나리오		평가기준	비고
		1	2		
흡수 에너지		0.97 MJ	0.33 MJ	-	충돌 시나리오 1
최대 반력		800 kN	175 kN	-	
변형량	운전실	329 mm (길이방향)	214 mm (폭방향)	길이, 폭 : 0.75 m 이상 높이 : 80 % 이상	- 설계치수 1) 길이: 1,430mm 2) 폭 : 1,205mm 3) 높이 : 2,038mm
	승객공간	4.2 mm	4.9 mm	5 m 당 50 mm(5m 이상인 경우) 또는 전체길이의 10% 중 작은 값(45.9 mm)	길이방향 설계치수 : 4,595mm
평균 감속도		0.36 g	0.19g	Scenario 1 : 5g Scenario 2 : 7.5g	-

3. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 국내에서 연구개발 된 무가선 저상트램을 대상으로 해외 충돌안전 설계기준인 EN15227에 의거한 해석 및 평가를 수행하였다.

- 해석결과 국내에서 연구개발 된 무가선 저상트램은 EN15227의 평가기준인 운전자 보호 공간 및 승객탑승공간의 변형량 제한조건을 만족하였고, 승객탑승부의 평균 감속도 기준도 만족함을 확인하였다.

- 추후 타 교통수단과의 혼용운행 시 발생할 수 있는 피해를 저감시키기 위한 추가 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 김유일, 1997, “고속 열차의 충돌 안전도 해석 기술 현황” , Journal, *대한기계학회*
- [2] Marco ANGILERI, 2007, "A New Impact Scenario for P-V Tram Certification", *European LS-DYNA User's Conference*.
- [3] BS EN15227, 2008+A1:2010, "Railway applications -Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies", British Standard.