

## 기관차용 대용량 충돌에너지 흡수용 사이드버퍼 개발

**Development of the mass storage crash energy absorbing side buffer for locomotives**이장욱\*<sup>†</sup>, 정지호\*, 김승택\*, 이강운\*, 권태수\*\*, 정현승\*\*J.W. Lee \*<sup>†</sup>, J.H.Jeong \*, S.T.Kim \*, K.W.Lee \*\*, T.S.Kwon \*\*, H.S.Jeong \*\*

**Abstract** Recently, the crashworthiness requirements and standards are variously released world widely and the passive crashwothiness design are requested. In this paper, the high capacity of crash energy absorbing element which is to be applied to the locomotives has been studied and developed. As the strength requirement for the proof load is severe for the locomotives, the side buffer type is needed to be attached on the car extreme end .This concept is to protect the carbody structure with buffer to absorb all the required energy. The absorbers are developed by real crash test and finally the crashworthiness analysis with full carbody structure has been analyzed according to EN15227 C-I standard.

**Keywords :** Locomotive, side buffer, EN15227, crashworthiness

**초 록** 철도차량 충돌안전도에 대한 법규 및 규격이 전세계적으로 발효되어 이에 대한 철도차량의 충돌안전 설계가 요구되고 있다. 본 연구의 목적은 기관차에 적용되는 대용량 충돌에너지 흡수부재를 개발하여 차량의 단부에 설치함으로써 국내 철도안전법 및 유럽의 충돌안전 규격을 만족할 수 있도록 하는 것이다. 기관차는 차체의 강도가 강하여 차체 끝단부에 설치된 흡수부재가 모든 충돌에너지를 받도록 설계하는 것이 합당한 방법이다. 본 연구를 통해 충돌 시 차체의 변형 없이 충돌흡수부재에서 모든 충돌에너지를 받는 개념의 흡수부재를 개발하였고 실물 제작을 통한 충돌시험 입증까지 완료하였다. 끝으로 실제 기관차에 본 흡수부재를 모델링하여 적정성을 최종충돌해석을 통하여 검증하였다.

**주요어 :** 기관차, 사이드버퍼, 충돌에너지, EN15227

## 1. 서 론

최근 들어 전세계적으로 철도차량 분야에 충돌안전도 설계를 요구하는 법규 및 규격이 발효되어 국가 및 운영처에서 본 규격의 충돌안전요구사항을 요구하고 있다. 충돌안전도설계는 사전에 충돌을 방지하는 능동적 방식(active crashworthiness)의 요구사항이 있고 충돌 후 차체에서 승객 및 기관사를 보호하는 수동적(passive crashworthiness) 방식이 있다. 본 연구는 수동적 요구방식(passive crashworthiness)인 충돌 후 차체에서 승객 및 기관사를 보호할 수 있는 구조를 위해 차체 끝단부에 충돌에너지흡수부재를 개발 적용한 후 기관차 모델에 적용하여 유럽규격 및 철도안전법 요구사항에 따라 평가하였다.

† 교신저자: 현대로템 응용기술연구팀(leejw@hyundai-rottem.co.kr)

\* 현대로템 응용기술연구팀

\*\* 철도기술연구원

## 2. 본 론

### 2.1 충돌흡수부재 요구조건

#### 2.1.1 충돌흡수부재의 흡수에너지 요구조건

기관차의 중량에 따라 충돌에너지 흡수부재의 용량이 정해진다. 기관차는 유럽의 충돌안전규격 및 철도안전법 일반철도 기술기준에 의거 표준편성의 열차를 후미에 편성구성하여 충돌안전도 평가를 하도록 정의 되어 있다. 즉, 기관차의 중량 및 표준편성 객차의 중량 및 에너지 흡수량을 고려하여 기관차의 충돌흡수용량을 설정하였다. 우리나라의 기관차의 구성을 보면 132톤 및 88톤급의 기관차 두 종류가 주류를 이루므로 두 기관차의 필요 흡수에너지를 계산하여 각각 2MJ(양쪽 두개 적용, 개당 1MJ, 이하 1MJ급) 및 1.5MJ(양쪽 두개 적용, 개당 0.75MJ, 이하 0.75MJ급) 이 필요한 것으로 계산되었다.

#### 2.1.2 충돌흡수부재 압괴강도 및 제원

충돌흡수부재의 평균 압괴강도는 2,000KN으로 설정하였으며 이 하중은 차체의 주요부위에 영구변형을 일으키지 않는 강도이다. 즉 1MJ급 충돌에너지 흡수부재는 압괴길이가 500mm로 계산되며 0.75MJ 급 흡수부재는 압괴길이가 350mm로 선정되었다.

#### 2.1.3 충돌흡수부재 기타 요구조건

충돌흡수부재는 정길이방향 하중 뿐 아니라 타고오름 방지장치가 요구된다. 즉, 40mm 수직방향 오프셋 충돌조건에도 그 역할을 할 수 있어야 한다.

### 2.2 충돌흡수구조의 개발

#### 2.2.1 충돌흡수장치의 구조

충돌흡수부재는 압괴강도가 균일하며 흡수효율이 높은 확관튜브타입의 흡수방식을 사용하였다. 충돌에너지 흡수구조는 anti-climber, punch guide, trigger tube, expansion tube 등으로 구성되어있고 Figure 1 에 형상을 나타내었다.

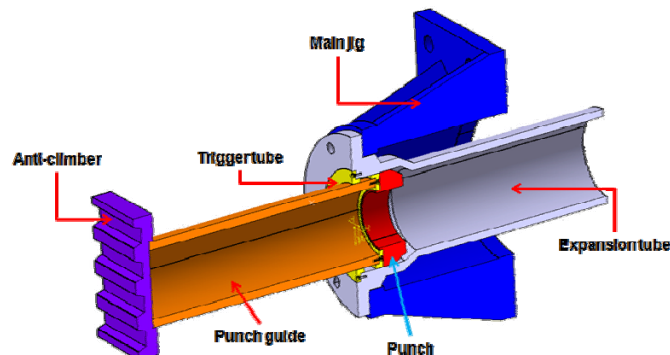


Figure 1. 충돌흡수부재 구조 개략도

### 2.2.2 흡수부재 유한요소 해석

붕괴하중의 적정성 평가를 위해 정적 해석을 수행하였다. 붕괴 적정 수준이 2,000kN에 도달 될 때까지 적절한 설계 변경을 수행하였다. 설계의 적정성을 위한 해석 결과를 Figure 2에 나타냈고 붕괴하중이 2,000kN으로 나타내는 것을 확인하였다.

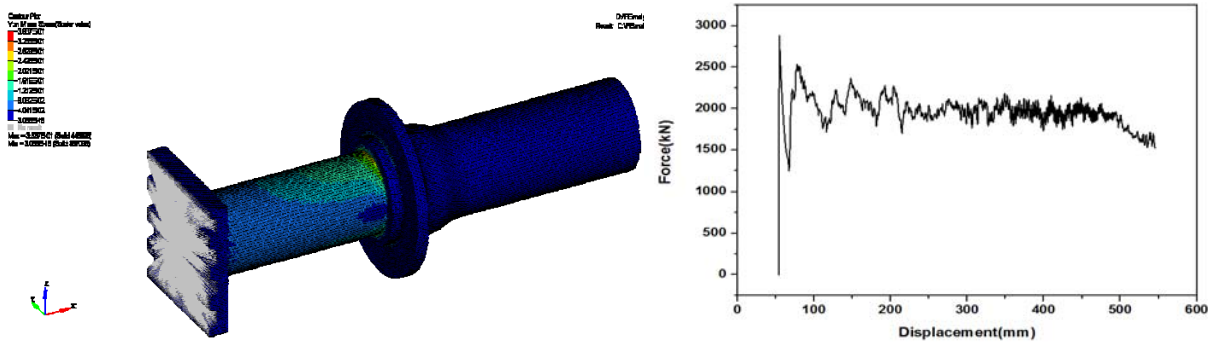


Figure 2. 유한요소 해석 결과(1MJ급)

### 2.2.3 흡수부재의 실험적 평가

유럽의 충돌안전 규격(EN15227, C-I)<sup>[1]</sup> 및 철도안전법 일반철도 기술기준<sup>[2]</sup>에 의거 충돌에너지 흡수부재의 실험적 평가를 실시하였다. 시제품은 두가지 타입 (1MJ급, 0.75MJ급)으로 제작이 되었으며 두가지 외에 40mm 오프셋 충돌시험을 실시 하였다. 충돌시험은 한국철도기술연구원 소재 충돌시험 시설에서 수행하였으며 충돌시험 결과 요약은 표1과 같다. Figure 3에 충돌시험체에 대한 형상을 나타내었으며 Figure 4에 시간별 충돌시험사진을 수록하였다. 시험은 모두 해석과 유사한 하중으로 측정되었으며 충돌에너지 흡수량도 모두 만족하였다. Figure 5에 충돌에너지 흡수부재 오프셋 시험결과를 하중변위 및 하중 에너지 선도로 나타내었다.

Item	Performance requirements	0.75 MJ grade	1 MJ grade
Steady-state force	2,000 KN ± 5%	Satisfactory	Satisfactory
Total stroke	less than 425 mm (0.75 MJ grade) less than 550 mm (1 MJ grade)	Satisfactory	Satisfactory
40mm offset crash	Same performance with normal condition	Satisfactory	Satisfactory
Shear strength	no permanent deformation with a vertical force of 150 kN	Satisfactory	Satisfactory

표1 충돌흡수부재 시험 요약표



Figure 3 충돌시험체 형상 및 충돌시험 결과 사진

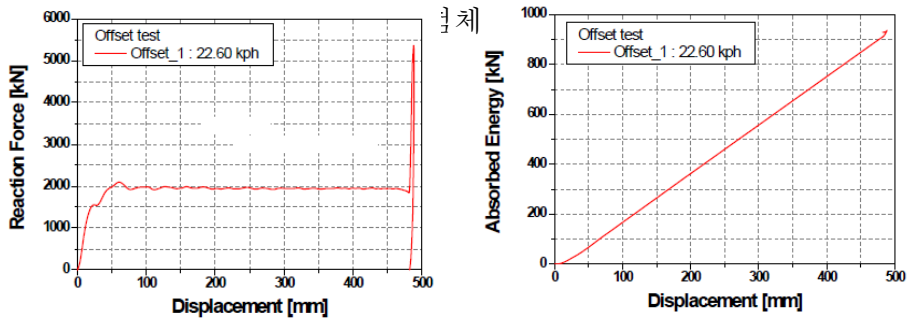
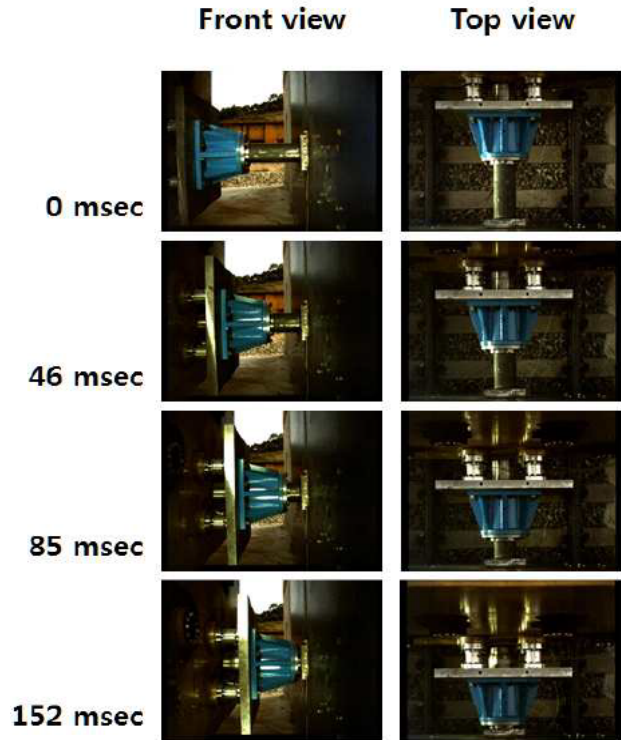


Figure 5 40mm 오프셋 충돌시험 결과

## 2.3 기관차 모델 적용 최종 충돌해석 평가

### 2.3.1 기관차 모델 적용 최종 충돌해석 모델링

개발된 충돌에너지 흡수부재를 특성곡선을 이용하여 기관차 모델에 적용한 후 유럽규격(EN15227, C-I) 및 철도안전법 일반철도 기술기준에 따라 정면충돌해석 시나리오의 충돌해석 평가를 실시하였다. 기관차의 중량은 132톤으로서 1MJ급 충돌에너지 흡수부재를 적용하였다. 기관차의 후미부는 표준열차편성으로 구성하였다. 기관차는 연결기는 10km/hr까지 충격에너지를 흡수할 수 있는 용량이 탑재되었으며 연결기 시험결과 곡선을 최종 해석 모델에 적용하였다. 모델의 특성상 1/2모델을 적용하였으며 연결기 사이드버퍼 및 후미 표준편성차량은 1-D BEAM 요소로 모델링 되었으며 차체는 3-D SHELL 요소로 구성하였다. 충돌시나리오 1번인 정면 충돌 시나리오를 적용하였고 이는 동일편성간 36km/hr 충돌 조건이다. 충돌해석에 쓰인 모델링 및 충돌조건을 Figure 6에 나타내었다. 충돌해석의 효율성을 위해 정면충돌조건은 등가충돌조건인 고정벽 18km/hr 충돌로 치환하여 평가하였다.

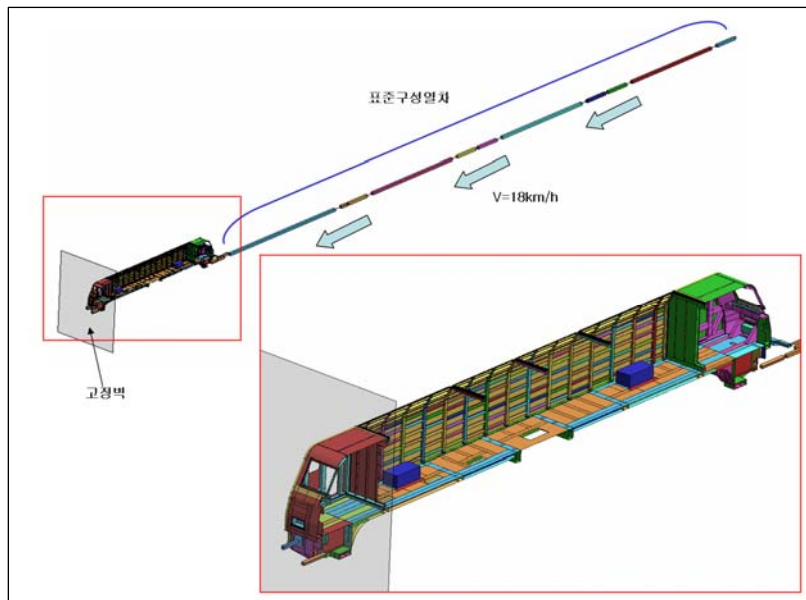


Figure 6 기관차 최종 충돌해석 평가 모델 및 충돌조건

### 2.3.2 기관차 모델 적용 최종 충돌해석 결과

개발된 충돌에너지흡수부재를 적용하여 최종 충돌해석을 평가한 결과 모든 에너지를 연결기와 충돌에너지 흡수부재가 흡수하는 것으로 나타났다. 최초 전두부의 자동 연결기가 고정벽과 충돌이 발생된 후 약 100mm의 압축 행정이 발생 후 shear-off 된다. 연결기 탈락 후 전두의 사이드 버퍼의 충돌이 순차적으로 이루어 지며 약 490mm 압축 행정 후에 후두 사이드 버퍼가 표준구성 열차의 첫번째 차량과 충돌이 발생한다. 충돌 시 발생하는 모든 운동에너지는 연결기와 사이드 버퍼에서 모두 흡수 된다. 충돌해석 결과 에너지 선도 및 변형형상을 Figure 7 에 나타내었다. 차량의 중앙부 감속도는 철도안전법이 요구하는 5g 이하인 3.4g로 나타났으며 흡수부재 이외에 차체에는 영구변형이 발생하지 않았다.

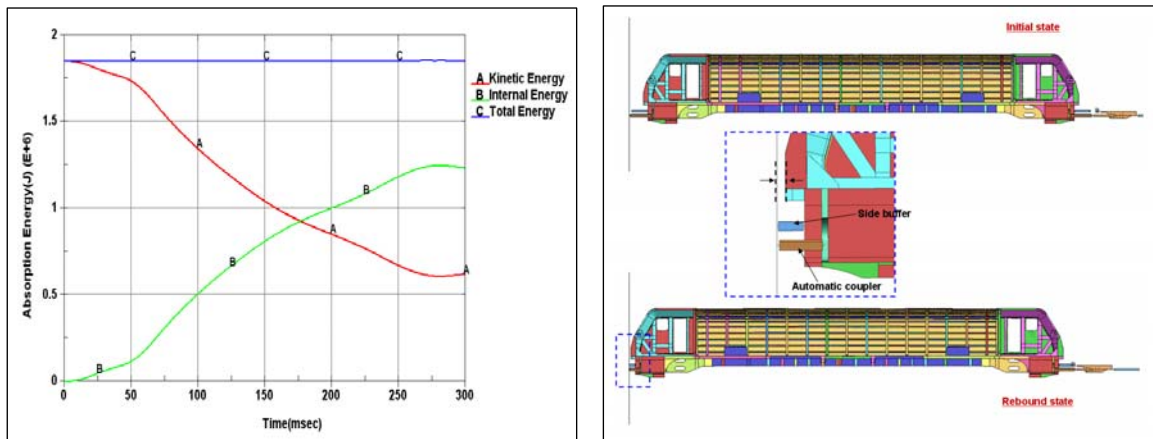


Figure 7 충돌에너지 흡수곡선 및 충돌 후 양상

### 3. 결론

유럽규격 및 철도안전법이 요구하는 기관차 충돌안전설계를 위하여 대용량 충돌에너지 흡수부재를 개발하였으며 해석 및 시험입증을 완료하였다. 또한 이의 유효성을 위해 기관차 실물 모델에 적용하여 정면충돌시나리오에 대한 충돌해석 평가를 실시한 결과 유럽규격 및 철도안전법을 만족하는 결과를 얻었다.

### 참고문헌

- [1] EN15227 Railway applications – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies
- [2] 철도안전법 철도차량 기술기준 Part 41, 2014.