

EN15227 및 철도안전법을 적용한 철도차량 장애물제거기 강도평가 Strength evaluation of obstacle deflection according to EN15227 and Railroad Safety Act standard

하흥기*[†], 정지호*, 이장욱*, 박근수*

Hong-ki Ha *[†], Ji-ho Jeong *, Jang-Wook Lee *, Geun-Soo Park *

Abstract The safety is one of the most important design parameter of railway vehicle and lots of research regarding safety have been performed. The railway vehicle has been exposed to a crash with various kind of obstacles just as other transportation fields. However the crash event with on obstacle as it carries a large number of passengers on railway can bring about a serious accident such as derailment and rollover. For this reason the crash scenario with the small and heavy obstacle crash has been established. This paper describes the development process of the obstacle deflector which is one of the requirement from EN15227. Obstacle deflectors which is applied on the front car is designed to get rid of the obstacles such as big animals or small sized automotives. The strength and energy absorbing capacity are required at EN15227 and this paper describes the evaluation result which has been done by FEA.

Keywords : Obstacle, Crash, Obstacle deflector

초 록 철도차량의 설계영역에서 안전은 최우선 과제이며, 그에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 다른 운송분야와 같이 철도차량은 운행 중 각종 장애물과의 충돌 사고 위험에 노출되어 있다. 승객이 많이 탑승한 차량이 장애물과 충돌한다면 탈선이나 전복과 같은 심각한 사고로 인해 큰 피해를 야기할 수 있다. 이러한 이유로 소형 및 대형장애물에 대한 충돌 시나리오가 연구되고 있다. 본 논문에서는 EN15227⁽¹⁾의 요구항목 중 하나인 장애물 제거기의 개발과정을 서술하였다. 장애물 제거기는 동물이나 다른 운송장치들과 같은 장애물을 제거하기 위해 선두차의 앞에 적용한다. 강도 및 에너지 흡수량에 대한 평가는 EN15227⁽¹⁾을 적용하였으며 유한요소법을 사용하여 평가하였다.

주요어 : 장애물, 충돌, 장애물 제거기

1. 서 론

철도차량은 많은 선로구간에서 크고 작은 장애물들에 노출되어 있다. 이러한 장애물들은 작게는 차량의 파손에서 크게는 탈선에 의한 인명피해까지 입히는 안전에 있어 아주 위협적인 것들이다. 이러한 위험요소 중 소형장애물에 대한 위험을 막기 위해 차량의 전두부에 설치하는 것이 장애물 제거기다. 이 논문에서는 국내/외 안전 규격인 EN15227과 철도안전법 안전기준에 관한 지침 중 소형장애물 충돌사고 각분을 적용하여 현재 유럽 차종에 적용중인 장애물 제거기를 유한요소법을 이용하여 정적 및 준정적 강도 평가를 수행하였다.

† 교신저자: 현대로템주식회사 응용기술연구팀(hahk@hyundai-rotem.co.kr)

* 현대로템주식회사 응용기술연구팀

2. 국내/외 평가 기준

2.1 유럽 충돌안전 규격 : EN15227

EN15227에서는 차량을 표 1과 같이 4개의 카테고리로 정의하고 있다. 또한 각 카테고리 별로 표준 충돌 시나리오를 표 2에서와 같이 정의하고 있으며, 장애물 제거기가 포함된 소형장애물 충돌 시나리오는 C-I 및 C-IV 차량에만 해당된다.

Table 1 Crashworthiness design categories of railway vehicles

Category	Definition	Examples of vehicle types
C-I	Vehicles designed to operate on TEN routes, international, national and regional networks (which have level crossings)	Locomotives, coaches and fixed train units
C-II	Urban vehicles designed to operate only on a dedicated railway infrastructure, with no interface with road traffic	Metro vehicles
C-III	Light rail vehicles designed to operate on urban and/or regional networks, in track-sharing operation, and interfacing with road traffic	Tram trains, peri-urban tram
C-IV	Light rail vehicles designed to operate on dedicated urban networks interfacing with road traffic	Tramway vehicles

Table 2 Collision scenarios and collision obstacles

Design collision scenario	Collision obstacle	Operational characteristics of requirement	Collision Speed - km/h				Collision partner and conditions
			C-I	C-II	C-III	C-IV	
1	Identical train unit	All systems	36	25	25	15	Identical train unit
2	80 t wagon	Mixed traffic with vehicles equipped with side buffers.	36	n.a.	25	n.a.	See C.1 for wagon specification
	129 t regional train	Mixed traffic with vehicles with a central coupler	n.a.	n.a.	10	n.a.	See C.2 for representation of regional train
3	15 t deformable obstacle	TEN and similar operation with level crossings	$V_k - 50$ ≤ 110	n.a.	25	n.a.	See C.3 for representation of large obstacle
	3 t rigid obstacle	Urban line not isolated from the road traffic	n.a.	n.a.	n.a.	25	See C.4 for representation of obstacle
4	Small, low obstacle	Obstacle deflector requirements to be achieved	See Table 3	n.a.	See Table 3	n.a.	See also 6.5

Fig. 1과 표3은 장애물 제거기를 평가하기 위한 하중부가 위치 및 건널목 운행속도 별 부가 하중의 크기를 나타낸 것이다. 하중부가 위치는 장애물 제거기 center 및 side에 그림에서 정의된 면적(가로 : 0.5m, 세로 : 0.5m)만큼을 분포하중으로 부가하며 center와 side의 중심간 거리는 750mm 떨어져있으며 부가높이는 레일 상단에서 0.5m이하여야 한다. 또한 표 3에 정의 되지 않은 속도에서는 선형보간을 이용하여 하중 값을 도출한다.

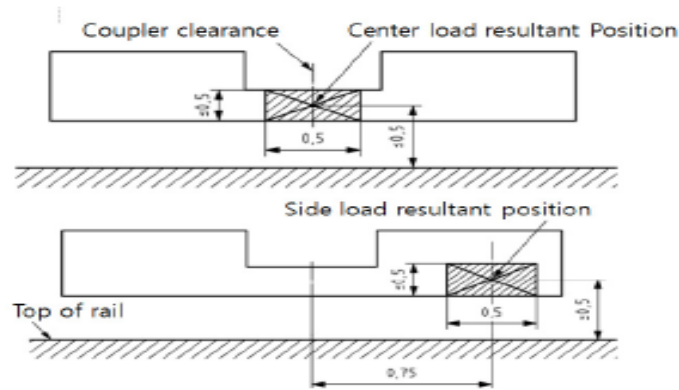


Fig. 1 Obstacle deflection load application

Table 3 Obstacle deflector performance requirements⁽³⁾

	Velocity (km/h)				
	≥ 160	140	120	100	≤ 80
Center load	300 kN	240 kN	180 kN	120 kN	60 kN
Side load	250 kN	200 kN	150 kN	100 kN	50 kN

2.2 철도차량 안전기준에 관한 지침 중 소형장애물 충돌사고각본

철도안전법에서는 장애물 제거기에 대해 EN15227와 동일한 정적 평가 기준을 가지며, 추가로 준정적 하중에 대한 평가항목도 정의되어 있다. 표 4는 건널목 운행속도에 따른 최소 에너지량을 나타낸다. 또한 표 4에 정의 되지 않은 속도에서는 선형보간을 이용하여 최소 에너지량을 도출한다.

Table 4 Minimum absorption energy by operating speed⁽³⁾

	Velocity (km/h)				
	≥ 160	140	120	100	≤ 80
Center load	36 kJ	28.25 kJ	21.5 kJ	14.25 kJ	7 kJ
Side load	30 kJ	24 kJ	18 kJ	12 kJ	6 kJ

3. 정적, 준정적 해석

3.1 유한요소 해석 모델

본 연구를 위해 유럽 타입 차량의 전위 언더프레임 부분과 장애물 제거기 유한요소 모델을 개발하였다. 완성된 모델은 총 201,712개의 절점과 201,418개의 요소로 이루어져 있으며,

요소의 평균 25 by 25mm 크기로 모델링 되었다. 좌표축은 차체 길이방향을 X축, 폭방향을 Y축, 높이방향을 Z축으로 설정하였다. Fig. 2는 정적, 준정적 해석을 위한 유한요소해석 모델을 보여주고 있다.

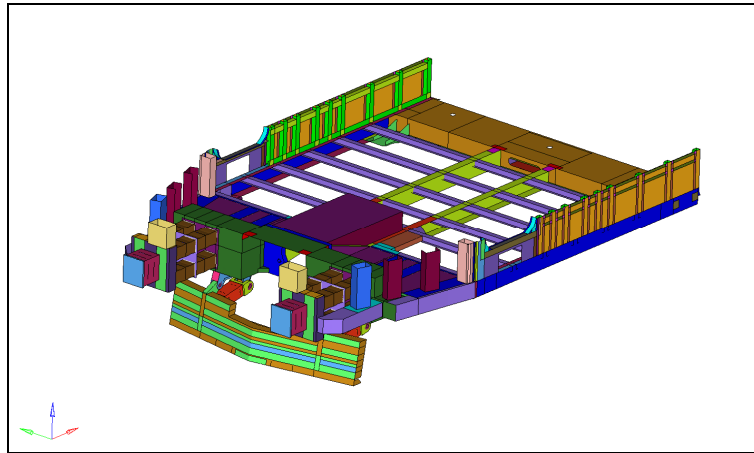


Fig. 2 FE model for obstacle deflector

3.2 경계조건 및 하중조건

해석을 위해 언더프레임 단부의 6 자유도를 구속하여 주었다. 최대운행 속도 140km/h을 기준으로 정적하중 및 준정적 하중을 평가하였다. 정적 하중 조건에서 center에 부가한 하중은 240kN이고, side에 부가한 하중은 200kN이다. 준정적 하중 조건에서 center에서의 최소에너지량은 28.25kJ이며, side에서의 최소에너지량은 24kJ이다.

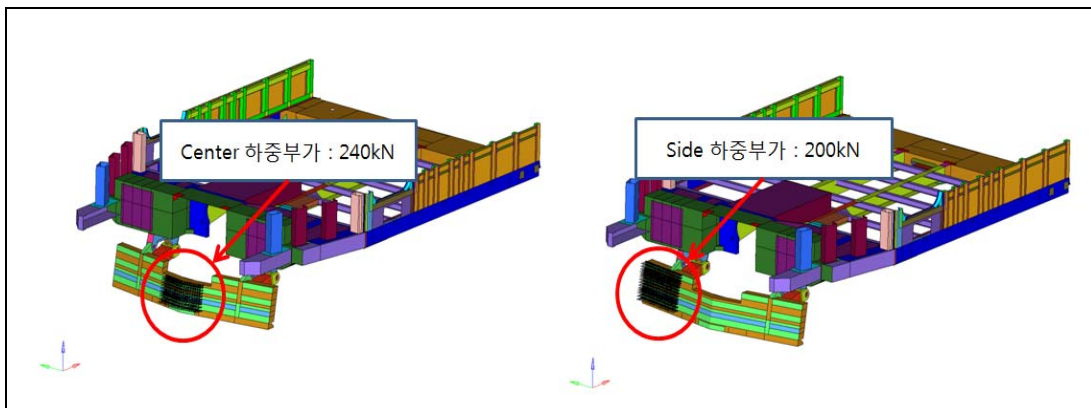


Fig.3 Static load conditions of obstacle deflector

3.3 재질의 기계적 성질

장애물 제거기 및 차체에 사용된 재질의 기계적 성질은 JIS⁽⁴⁾규격을 사용하였으며 다음 표와 같다.

Table 5 Mechanical properties of the material used

No.	Material	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Elongation	References
1	SMA490BP	365	490	206	0.3	15%	JIS G 3114
2	SUS301L-ST	410	760	180	0.3	35%	JIS G 4305
3	SUS301L-HT	685	930	180	0.3	20%	JIS G 4305

4. 정적, 준정적 해석결과

4.1 정적 조건에서의 결과

Center load case

center load 의 정적 해석 결과 응력의 분포는 Fig. 4와 같이 나타났다. 최대응력은 장애물 제거기 전면 plate 하단에서 약 290MPa로 발생하였으며, 이 부분의 재질인 SMA490BP의 허용응력 365MPa이내에 있다.

Side load case

Fig. 5는 side load 의 정적 해석 결과 응력의 분포를 보여준다. 최대응력은 장애물 제거기의 support bracket에서 약 260MPa로 발생하였으며, 이 부분의 재질인 SMA490BP의 항복응력 365MPa이내에 있다.

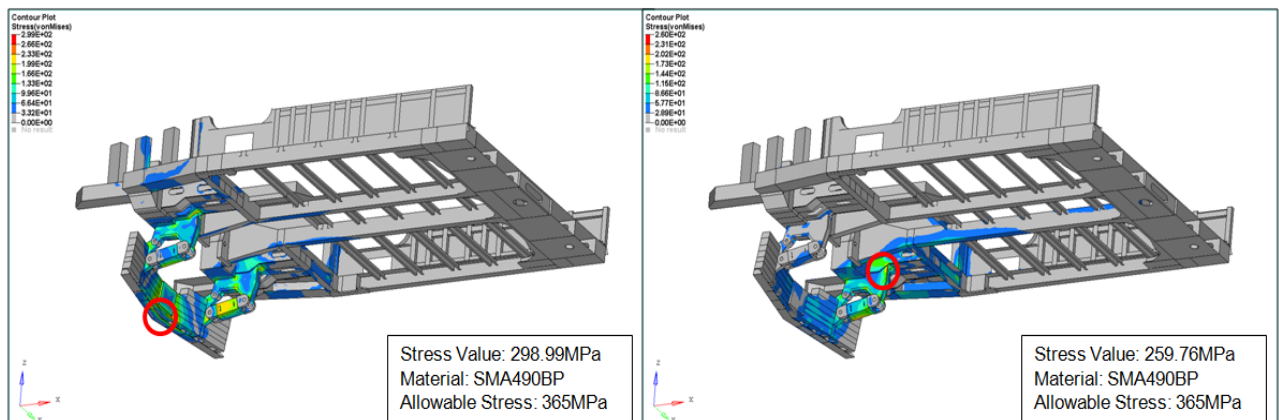


Fig.4 Result stress contour of center load

Fig.5 Result stress contour of side load

4.2 준정적 조건에서의 결과

Center load case

Fig. 6 은 center load 의 준 정적 해석 시 변형 양상을 보여 준다. 설계 의도와 같이 에너지 흡수 튜브에서 최초 변형이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 하중 758kN에서 변형이 55mm 진행 되었을 시 최소 에너지 흡수 조건을 만족한다. 이때 차체 언더프레임과 장애물 제거기와의 연결 부에서 탈락은 발생 하지 않는다.

Side load case

Fig. 7 은 side load 의 준 정적 해석 시 변형 양상을 보여 준다. 하중 부여 방향의 한쪽 에너지 흡수 튜브에서 변형이 발생하여 에너지를 흡수 하는 것을 알 수 있다. 또한 하중 895kN에서 변형이 36mm 진행 되었을 시 최소 에너지 흡수 조건을 만족한다. 이때 역시 차체 언더프레임과 장애물 제거기와의 연결 부에서 탈락은 발생 하지 않는다.

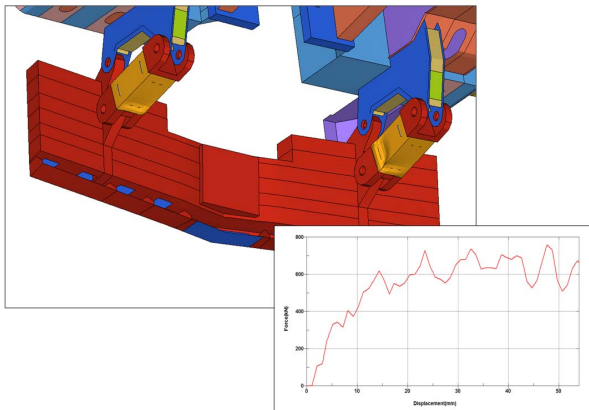


Fig.6 Deformation and F-D curve at center load case

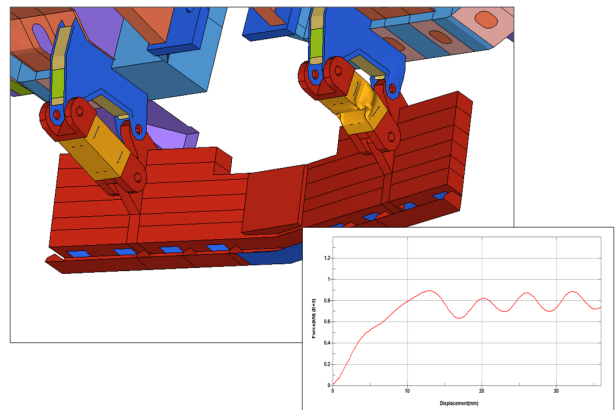


Fig.7 Deformation and F-D curve at side load case

5. 결론

본 연구에서는 EN15227과 철도안전법을 적용하여 장애물제거기에 대한 강도 평가를 수행하였다. 연구에 적용된 장애물제거기는 현재 현대로템에서 유럽으로 수출하는 차종에 직접 적용한 것으로서 국내의 철도안전법을 만족하는지 여부를 평가하였다. 정적 해석을 통해 강도상으로 안전함을 증명하였으며 준정적 해석을 통해 에너지 흡수량을 만족하는 것으로 확인하였다. 따라서 본 연구에서 검증한 장애물제거기는 국내/외 두 사양을 모두 만족하는 것임을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] EN15227, " Railway application - Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies"
- [2] Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, " Guideline on Safety Standards of Rail Vehicle", 2010
- [3] Sangmin Shin, Taesoo Kwon, Hyunseung Jung, Sungkyu Choi, "Analytical Study on Obstacle Deflector using Tension Deformation Mechanism" p1752-1753, 2012
- [4] JIS : "Ferrous Materials & Metallurgy", 1998, Japanese Standard Association