

고속철도차량 충돌 및 탈선 안전도 평가 연구

High-speed Railway Vehicle Collision and Derailment Safety Evaluation Research

이 찬 우*
Lee, Chan Woo

ABSTRACT

From the research which it sees the safety regarding a high-speed railway vehicle collision and a derailment evaluation research it an example and executed. Japan, France, Germany and Spain, Italy and with our country together it compared a high-speed railway vehicle collision of the high-speed railroad operating nation and derailed relation safety standard and safety against the evaluation system trade name comparison it analyzed. The research which it sees it led and the accident instance against the hazard analysis against the collision and a derailment of the high-speed railway vehicle and a risk evaluation together and a high-speed vehicle collision and derailed it cannot prevention plan from hereafter domestic comparison it analyzed forecast it presented.

1. 서론

본 연구에서는 고속철도차량 충돌 및 탈선에 대한 안전도 평가 연구를 사고 사례 중심으로 실시하였다. 고속철도 운용 국가인 일본, 프랑스, 독일 그리고 우리나라에 대한 고속철도 차량 충돌 및 탈선 관련 안전기준을 비교하여 안전도 평가 체계에 대해 상호 비교 분석하였다. 본 연구를 통하여 고속철도 차량의 충돌 및 탈선에 대한 위험분석 및 위험도 평가에 대한 사고 사례를 함께 비교 분석하여 향후 국내에서 예상치 못한 고속차량 충돌 및 탈선 예방 방안을 제시하고자 한다.

2. 외국 고속철도 운용국가에서의 충돌 및 탈선 사고 사례 분석 및 비교

2.1 일본 고속열차 충돌 및 탈선 사고 사례

일본은 1964년 10월 東京-新大阪 東海道 신칸센 515.4km에 대한 신칸센 열차 운영을 시작한 이래 현재는 山陽신칸센 新大阪-博多간 553.7km, 東北신칸센 東京-盛岡-八戸 간 593.15km, 上越신칸센 東京-新潟 269.5km, 北陸신칸센 高崎-長野 간 117.4km 그리고 2004년 3월에 개통되어진 九州신칸센 新八代-那覇中央 126.8km이 상업 운행 중에 있다. 일본 국토교통성에서는 철도사고를 철도운전사고라하고 열차사고와 기타사로 분류하고 있다. 열차사고는 열차충돌사고, 열차탈선사고 및 열차화재사고로 분류하고 기타사고로는 건널목장애사고, 도로장애사고 철도인신장애사고 및 철도물손사고 등 총 7가지로 분류하고 있는데 본 연구에서는 고속열차인 신칸센 열차의 충돌 및 탈선사례에 가운데 대표적인 사고를 분석해 보면 다음과 같다. 처음으로 鳥飼基地열차 탈선 사고는 1973년 2월 21일 大阪府 大阪運轉所 鳥飼基地에서 출고 중 회송열차에서 탈선한 사고이다. 이 사고는 사상자는 발생하지 않았지만 신칸센개통 이후 처음으로 발생한 중대 사고이다.¹ 1995년 1월 17일 오전 5시경에 발생한 兵庫縣 남부에서 발생한 阪神 대지진에 의한 山陽신칸센은 아주 막대한 피해를 입게 되었다. 이 경우에는 열차가 영업운행 전 이었기 때

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정희원

문에 신칸센 열차의 탈선은 없게 되었다. 신칸센 열차의 첫 번째 충돌 사고는 1999년 6월 27일 山陽신칸선 小倉-博多간 福岡 터널을 시속 220 km/h로 주행 중인 히카리 신칸센 열차에 약 200kg급의 콘크리트 조각이 낙하하여 사고열차의 천장이 대파되는 사고가 발생하였고, 동일 노선 北九州 터널에서 1999년 10월 9일 유사한 사고가 발생하였다. 이들 사고는 신칸센 열차가 열차 이외의 물체에 의한 수직낙하 충돌 사고가 발생한 것으로 장대터널 구조물 건전성에 대한 평가시스템이 한층 강화되는 계기가 되었다. 하지만 이 경우의 열차 승객에 대한 사상자는 발생하지 않았다. 이후에도 山陽신칸선에서는 터널 이외에도 고가차도에서의 연속되는 콘크리트 낙하 사고가 1996년 7건, 1997년 10건, 1998년 21건, 1999년 11건 등 총 49건이 발생하여 이에 대한 안전대책을 철저히 세우게 되는 계기가 되었다. 신칸센에서의 열차 충돌 사고는 1999년 9월 27일 오전 4시경 山陽신칸선 新神戸계-西明石에서 정차중인 보수용차(12량) 신칸센 차량이 또다른 보수용차(8량)와 충돌하여 총3량이 탈선하는 사고가 발생하였고 이 사고로 추돌 받은 사고 차에 타고 있는 사람 30명이 부상을 당하는 사고가 발생하였다. 또한 1999년 9월 24일 16시 경에 山陽 신칸선 新大阪-博多 구간에서 태풍에 의해 넘어진 나무에 고다마 열차가 충돌하는 사고가 발생하였지만 승객 사상자는 발생하지 않았다. 또한 가장 최근인 2005년 4월 27일 東北신칸선인 이바라키현 미노리마치의 하토리 역 부근 건널목에서 JR 조반선 고속열차 6량 중 5량이 탈선하여 승객 2명이 숨지고 30여명이 다치는 사고가 발생하였다. 이 사고로 인해 신칸센 열차의 탈선 및 충돌에 의한 승객 사망 사고는 처음 발생하게 되었다.

2.2 프랑스 고속열차 충돌 및 탈선 사고 사례

프랑스는 1983년부터 2000년 사이의 TGV 고속열차 운행 시 철도 운행에 큰 장애를 일으킨 탈선 및 충돌 사고 사례를 살펴보면 표 1과 같다.

표 1 프랑스 TGV 열차 탈선 및 충돌사고 사례²

발생일시	장소	개요	사고원인	피해정도
1988.09.23	PN. Voiron	80톤 특수도로차량이 건널목정지, 100km/h 속도로 충돌, 기관차 탈선	트럭 고장에 의한 건널목 충돌 탈선사고	기관사 1명 및 승객 1명 총 2명 사망 60명 부상
1992.12.14	Macon-Loche 역 LGV 남동선	270 km/h로 사고역 통과 시 평면찰상에 의한 관절대차 1개 탈선	급제동에 따른 차륜플랫찰상발생	27명 승객 부상
1993.12.21	Haute Picardie역 LGV 북선	폭우 후 2번 선로 아래 커다란 구멍 발생부위 통과 시 충격발생, 이후 운전 제동 이후 마지막 4개차량과 후부동력차량 탈선	노반 하부의 불안정으로 인한 탈선	승객 1명 부상
1995.08.10	Vitre부근 PN 172 건널목	트럭이 Paris-Brest 구간 건널목에서 정지, 140 km/h 속도로 차량과 충돌	트럭 고장에 의한 건널목 충돌사고	승객 2명 부상
1997.09.25	B i e r n e , Dunkerque 남쪽 10km	TGV 7119가 건널목에 고장 차량에 130 KM/H 속도 충돌, 객차 4량 탈선	트럭 고장에 의한 건널목 충돌 및 탈선사고	기관사 및 승객 6명 부상
1997.11.19	Laval 부근 Neau의 D140번 도로	건널목에 고장으로 정지해 있던 차량과 140km/h로 충돌, 1개 대차 탈선	트럭 고장에 의한 건널목 충돌 및 탈선사고	기관사 및 승객 6명 부상
1998.05.09	네덜란드 남부 Hoeven 근처	건널목을 무리하게 횡단하는 트럭과 충돌, 트럭운전자 사망, 열차동력차 및 선두부 2량객차탈선	보호시설 없는 건널목에 트럭 무단 횡단 사고	1명 사망, 승객 6명부상
1998.11.28	Guipavas 근처 303 건널목	건널목에 정지한 트럭과 충돌	트럭이 건널목 정지에 따른 충돌	없음
2000.06.05	LGV 북유럽선 Croisilles 근처	290km/h 주행 중 선행 동력차 동력장치 리액션링크 대차분리로 인한 비정상진동발생, 200km/h 감속 이후 3개 대차 탈선	전동 구성품 고장에 따른 이상진동 감지에 대한 기관사 조치 미흡	승객 14명 부상

TGV 열차의 충돌 사고는 대부분이 건널목에서의 트럭과의 충돌사고이고 열차 주행 중 탈선 사고는 선로 노반 불안정에 따른 것과 동력장치 파손에 의한 것으로 나타나고 있다.

2.3 독일 고속열차 충돌 및 탈선 사고 사례

독일 고속열차 ICE 열차의 탈선 사고는 1998년 6월 4일 11시경 독일 하노버시 서북부 Eschede에서 발생하였다. 사고 발생 차량은 ICE 884열차로 시속 200 km/h로 운행하던 도중 세 번째 탄성 차륜이 파손되면서 탈선, 마침 사고열차가 통과하던 위치의 교량 교각에 열차가 충돌하여 교량 상판이 붕괴되고 뒤따르던 객차가 연이어 탈선 및 충돌이 발생하는 대형사고가 발생하였다. 이 사고로 약 100명의 승객이 사망하고, 88명의 승객이 부상을 당하는 대형 열차 사고이다. 이 사고는 독일이 고속열차 ICE를 1991년 운행 이후 발생한 최악의 열차 사고로 기록되었다. 사고 열차의 차량별 사고 상황을 살펴보면 표 2와 같다.

표 2. ICE 884 사고열차 의 차량별 사고 상황²

차량편성 번호	차량 종류	사고 현황
0	동력차	궤도를 이탈하지 않고 비상제동에 의해 2km 전진 후 정차
1	객차 2등실	탈선, 교량을 300m 지나쳐 정지
2	객차 2등실	탈선, 교량을 300m 지나쳐 정지
3	객차 2등실	교량에 충돌
4	객차 2등실	궤도 바깥의 숲으로 튕겨 들어감
5	객차 2등실	교량의 추락부에 의하여 파괴되고 반쪽으로 갈라져 한 쪽은 100m 전진 후 정지
6	객차 2등실	무너져 내린 교량에 매몰, 가장 피해가 큼
7	객차 2등실	무너져 내린 교량에 매몰, 가장 피해가 큼
9	서비스 카	무너져 내린 교량에 매몰, 가장 피해가 큼
10	식당차	무너져 내린 교량에 매몰, 가장 피해가 큼
11	객차 1등실	무너져 내린 교량에 매몰, 가장 피해가 큼
12	객차 1등실	무너져 내린 교량에 매몰, 가장 피해가 큼
14	객차 1등실	교량에 의한 피해는 없으나 후방의 동력차에 밀려서 심하게 찌그러짐
15	동력차	상대적으로 피해를 거의 입지 않음

독일은 이 사고 발생 이후 편성당 가격이 5000만 DM 인 차량과 독일 기술이 한 순간에 추락하는 아픔을 맛보게 되고 이후 세계 시장에서의 독일 ICE 고속차량은 다른 나라에 확대 운용되지 않는 실정이다.

또한 가장 최근에 발생한 독일의 고속열차 충돌 사고는 2006년 9월22일 금요일 저녁 독일의 북서부 라텐에서 자기부상열차 Transrapid-08호가 유지보수차량과 충돌하여 23명이 죽은 사고이다. 이 사고로 인하여 31명 차량 탑승자 가운데 23명이 사망하였고 10여명이 부상을 당하는 대형 사고이다. 이 사고는 인간 Error에 의해 발생되었으며, 무선 통신의 차단 원인에도 가능성을 두고 현재까지 조사 중에 있는 상태이다.

3. 고속철도 운용국가에서의 충돌 및 탈선 안전도 기준 비교 분석

3.1 일본의 고속열차 충돌 및 탈선 안전도 기준

일본에서의 고속열차 충돌 및 탈선 안전도 기준은 다음 표 3과 같다. 탈선안전도 평가 항목으로는 탈선계수, 정적윤증감소, 동적 윤증감소 및 차륜 횡압을 평가토록 되어 있다. 또한 충돌 안전에 대해서는 구체적인 규정이 없고 철도에 관한 기술상의 기준을 정하는 국토교통성령의 차량편에 차체구조의 강도와 유리창에 대한 내용이 제시되어 있다. 차체 강도에 관련된 JIS E 4501 철도차량-차축강도설계방법, JIS E 7105 철도차량구체의 하중시험방법, 철도차량 의자 관련 JIS E 7104 철도차량 여객용 좌석, 연결기관련 JIS E 4201 자동연결기, JIS E 4202 잠바연결기, JIS E 4203 밀착연결기 등이 이 있다.

표 3. 일본의 탈선 및 충돌안전도 평가 항목 기준³

평가항목	허용한도	세부내용
탈선계수	0.04×T이내, T는 작용시간	1/20초 미만 : Jumping over(뛰어오르기 탈선)
	1.0 이내, 누적빈도 0.1%인 경우	1/20초 이상 : Running over(타오르기 탈선)
	빈도누적확율에 따라 0.8-1.1허용	빈도누적확율 0.1% 일 때 1.1 허용, 30Hz filtering
정적 윤증감소	60% 이내	비틀린 궤도상 정차시험 Steady-state curving 해석
동적 윤증감소	빈도누적확율에 따라 최대 80% 허용	빈도누적확율 0.1% 일 EO 80% 허용 30Hz filtering
차륜횡압	2.9+0.3P(ton)이내, P :차륜수직력	30Hz filtering
충돌	차체구조강도 충분 여부	충격하중 = (차량자중+승객하중)×0.3 JIS E 7105 및 JIS E 4032 철도차량부품의 충격시험
	유리창 안전성능 충분 여부	유리창 손상 발생 시 에도 승객이 안전해야함 JIS E 3213 철도차량용 안전유리
	연결기의 진동 및 충격에 대한 내성 평가	열차 분리사고 방지 및 저속 운전 중 충격 내성 평가 JIS E 4203 철도차량용 밀착연결기 JIS E 4204 철도차량용 고무완충기

일본의 탈선 및 충돌안전도 기준은 표 3에서 볼 수 있는 바와 같이 탈선안전도에 대해서는 차량 운전 중 발생 할 수 있는 여러 특성을 고려하여 주행 및 정지 상태를 고려하여 평가기준을 제시하고 있는데 반해, 충돌안전도 측면에서는 열차 운행 시 저속 개념에서의 충격 하중을 고려한 상태이고 열차 충돌 사고시나리오에 입각한 평가 기준은 부족한 것으로 나타나고 있다.

3.2 유럽에서의 고속열차 충돌 및 탈선 안전도 기준

유럽에서의 고속열차 충돌 및 탈선 안전도 기준은 동적 주행성능 시험 관점에서는 UIC 518 OR 에서 탈선안전도 평가를 제시하고 있다. 고속차량 충돌안전도 부분을 살펴보면 UIC 566 객차차체와 구성품의 하중조건, UIC 617-4 운전실의 유리창 위치, UIC 651 열차 운전실의 설계 등에서 충돌안전도가 포함되어 있다. 또한 유럽 표준 규격인 EN 12663에서는 차체 구조강도측면에서의 요구조건을 제시하고 있고 prEN 15227에서는 철도차량 차체의 충돌 요구사항을 제시하고 있다. 표 4에서는 유럽 국가들의 적용하고 있는 고속열차 탈선 및 충돌안전도 기준을 보여 주고 있다.⁴

표 4. 유럽의 탈선 및 충돌안전도 평가 항목 기준

평가항목	허용한도	세부내용
탈선계수	$Y/Q \leq 0.8$ $(\sum Y)_{2M} \leq (10 + P_0/3)$ P_0 는 축하중	주행안정성 평가 UIC 518 OR
동적 윤증	$Q < 170 \text{ kN}$	UIC 518 OR
준정적 윤증	횡하중 $Y_{qst} \leq 60 \text{ kN}$ 수직하중 $Q_{qst} \leq 145 \text{ kN}$	곡선선로 기준, UIC 518 OR
차륜횡압	$a(10+W/3)$ (kN) W :축중, a : 안전계수	매 2m 주행평균값 기준, UIC 518 OR $a = 1$ (고속차량)
충돌	차체구조강도 충분 여부	UIC 566 객차차체와 구성품 하중조건 EN 12663
	운전실 및 운전실 유리창 안전성능 충분 여부	UIC 617-4 운전실 유리창 위치 UIC 651 열차 운전실 설계 시 승무원 보호
	차체 충돌 요구조건	prEN 15227

3.3 국내에서의 고속열차 충돌 및 탈선 안전도 기준

국내에서의 고속열차 충돌 및 탈선 안전도 기준은 철도안전법이나 철도안전법세부시행 규칙 등에도 구체적으로 명시되어 있지 않다. 다만 철도안전법 제26조에서는 철도차량의 안전기준을 포괄적으로 제시하고 건설교통부령인 철도안전법세부시행규칙에서 정하는 안전기준에 적합하지 아니하면 이를 운행하지 못하도록 되어있다. 그러나 우리나라에서 운행되고 있는 KTX 고속차량은 프랑스 TGV 차량시스템을 기본으로 하고 있고, KTX 고속차량을 도입 운영하는 시점에서 한국형 고속전철 차량 시스템 개발 사양 및 성능시험 기준을 KTX 차량 수준으로 설정되어 진행되어왔다. 따라서 국내에는 아직까지 명시적인 고속열차 충돌 및 탈선 안전도 기준을 가지고 있지는 않지만 표 4에서 제시하고 있는 유럽 기준과 거의 유사한 한국형 고속철도차량 개발사양에 의거하여 철도안전법에 의거한 철도안전법세부시행규칙상의 충돌 및 탈선에 대한 것을 적용하고자 하는 안이 표 5에 제시되어 있다.

표 5. 국내 고속차량의 탈선 및 충돌안전도 평가 항목 기준(안)

평가항목	허용한도	세부내용
탈선계수	$Y/Q \leq 0.8$ $(\sum Y)_{2M} \leq (10 + P_0/3)$ P_0 는 축하중	주행안정성 평가 UIC 518 OR
동적 윤중	$Q < 170 \text{ kN}$	UIC 518 OR
준정적 윤중	횡하중 $Y_{qst} \leq 60 \text{ kN}$ 수직하중 $Q_{qst} \leq 145 \text{ kN}$	곡선선로 기준, UIC 518 OR
차륜 횡압	$\alpha(10+W/3) (\text{kN})$ W : 축중, α : 안전계수	매 2m 주행평균값 기준, UIC 518 OR $\alpha = 1$ (고속차량)
충돌	차체구조강도 충분 여부	UIC 566 객차차체와 구성품 하중조건
	운전실 및 운전실 유리창 안전성능 충분 여부	UIC 617-4 운전실 유리창 위치 UIC 651 열차 운전실 설계 시 승무원 보호
	차체 충돌 요구조건	prEN 15227

앞 절에서 예시 한 바와 같이 우리나라보다 먼저 고속철도를 운행하고 있는 일본, 프랑스 및 독일의 사례에서 볼 수 있듯이 고속차량의 충돌 및 탈선은 고속철도 개통이후 지속적으로 발생하고 있는데도 불구하고 고속철도 운행이 만 2년이 넘은 현재까지 고속차량의 충돌 및 탈선안전도 평가 기준이 제도적으로 이루어 지지 않고 있는 것은 매우 안타까운 것으로 판단되어진다.

4. 결론

본 연구에서는 고속철도차량 충돌 및 탈선에 대한 안전도 기준체계 연구를 위해 먼저 선진 고속철도 운영국가들의 충돌 및 탈선관련 사고 사례 중심으로 1차적으로 분석하였다. 또한 고속철도 운영국가들의 고속차량 충돌 및 탈선 안전도 기준을 비교 분석하여 국내 현실에 간략하게 조명하였다. 본 연구를 통한 연구 결과를 간략하게 요약하면 다음과 같다.

첫 째, 고속철도 운용 국가 중 고속열차를 가장 먼저 운행하기 시작한 일본의 경우에는 상업 운행 상의 열차 탈선이나 충돌이 매우 적게 나타나고 있고 제도적인 측면에서는 탈선기준에 대한 것은 보다 명확히 되어 있는데 비해 충돌 분야에 대한 세부 기준은 확립되지 않음을 알 수 있었다. 또한 고속철도망이 국가적으로 폭 넓게 운영되고 있는 프랑스에서는 기존선 직결 운행에 따른 건널목에서의 충돌사태가 많음을 알 수 있었다. 독일은 프랑스와 다른 고속철도 시스템을 가지고 기술경쟁을 선도하는 측면에서는 매우 긍정적인 것을 보여 주었지만 안전도 측면에서는 아직 검증해야 할 부분이 많은 국가임을 알 수 있었다.

두 번째로 우리나라의 경우에는 고속차량의 충돌 및 탈선안전도에 대한 기준 체계를 제도적으로 시급히 수립해야 함을 알 수 있었다. 국내에서의 고속철도 차량인 KTX 차량의 충돌 및 탈선 사례는 아직까지 보고되지 않고 있지만 만일의 사태에 대비한 중대사고 유발 요인 인 충돌 및 탈선관련 세부적인 기준 제시를 조속히 해야 함을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 건설교통부 철도종합안전기술개발사업 지원으로 이루어 졌음을 알려드립니다.

참고문헌

1. “신칸센이 위험하다”, 安部 誠治, 2000. 07.
2. “차량시스템 엔지니어링기술 통합 및 총괄보고서”, 한국철도기술연구원, 1998. 10
3. “고속철도 성능기준 및 안전체계 기술개발보고서”, 한국철도기술연구원, 2005. 10.
4. “철도차량 충돌 안전성능 평가 및 피해저감 기술개발보고서”, 한국철도기술연구원, 2006. 6.