

일탈방호시설(DCP)이 탑승자 안전에 미치는 영향

박종찬*, 장운재*, 임남형*
 *충남대학교 토목공학과
 e-mail:mioso@cnu.ac.kr

Effects of Derailment Containment Provisions on the Safety of Passengers

Jong-Chan Park*, Yun-Jae Chang*, Nam-Hyoung Lim*
 *Dept. of Civil Engineering, Chungnam University

요약

전 세계적으로 열차의 속도증가로 인해 탈선과 같은 사고의 피해를 최소화하는 것이 매우 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 따라서 탈선 피해를 줄이기 위한 일탈방호시설(DCP)의 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 기존의 일탈방호시설 개발 연구에서 수치해석 및 실 규모 실험을 통해 탈선 후 차량의 거동은 정립되었지만 차량 내부의 탑승자 보호 성능에 대한 연구는 진행되지 않았다. 본 논문에서는 DCP가 있는 경우와 없는 경우의 실 규모 탈선/충돌 실험을 수행하였다. 또한 실 규모 차량의 속도 및 가속도 데이터를 통해 탑승자 보호성능을 비교 분석하였다.

1. 서론

국내외 철도시스템의 운행속도 향상 및 이용객 수의 지속적 증가에 따라 국민의 철도안전 기대수준 및 안전방재 기술의 중요성이 부각되고 있다. 철도에서 발생하는 대형 사고는 발생빈도는 낮으나 발생되면 그 피해정도가 상당히 큰 재난사고로 이어진다. (Fig. 1) 극심한 인명피해로 이어지는 철도사고는 대부분 열차의 탈선 또는 충돌에 의한 사고로, 이러한 사고는 발생빈도는 낮으나 발생되면 그 피해정도가 상당히 크므로 이에 대한 피해를 최소화하기 위한 대책이 필요하다.



[그림 1] 최근 탈선 충돌 사고 사례

그리하여 탈선 피해를 줄이기 위한 일탈방호시설(DCP)의 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 그러나 기존의 일탈방호시설 개발연구에서 수치해석 및 실

규모 실험을 통해 탈선 후 차량의 거동은 정립되었지만 차량 내부의 탑승자 보호 성능에 대한 연구는 진행되지 않았다. 또한 철도 시설에서는 탑승자에 대한 보호성능 기준이 명확하지 않아 문제를 야기 할 수 있다. 그리하여 본 논문에서는 도로 방호 울타리의 탑승자 보호성능 평가기준을 준용하여 일탈방호시설(DCP)의 탑승자 보호성능을 평가하였다. 이를 위해 DCP가 있는 경우와 없는 경우의 실 규모 탈선/충돌 실험을 수행하였으며, 속도 및 가속도 데이터를 계측하였다.

2. 국내외 탑승자 보호성능 기준

도로안전시설 설치 및 관리지침(국토교통부, 2014) 차량방호 안전시설 편에서 제안하고 있는 탑승자 보호 성능은 시험차로서 승용차를 사용하고 등급별 시험 조건에서 THIV 및 PHD를 계산하여 Table 1.의 기준에 따라 평가한다.

[표 1] 탑승자 보호 성능 기준

구분	단위	한계 값
Theoretical Head Impact Velocity (THIV)	km/h	33
Post-impact Head Deceleration (PHD)	g	20

여기서, THIV(Theoretical Head Impact Velocity, 탑승자-컴파트먼트 충돌속도)는 차량이 안전시설에 충돌할 때 탑승자의 충돌 위험도를 평가하기 위한 지수들 중에 하나로 탑승자의 머리가 차량의 충돌속도로 자유 비행한다고 보고, 차량이 시설물과 충돌하여 감속되는 동안 머리가 자유 비행하여 차량 내부공간의 가상 면에 부딪칠 때의 차량과 이상화된 탑승자 머리의 순간 상대속도를 말한다.

PHD(Post-impact Head Deceleration, 탑승자-컴파트먼트 충돌 후 최대 가속도)는 탑승자가 차량 내부공간의 가상 면에 부딪힌 후 접촉을 유지하여 차량의 가속도를 그대로 받게 된다고 보아 THIV가 계산된 이후 계산된 차량의 10msec 평균 가속도의 최대치를 말한다.

3. 실규모 탈선/충돌 실험

본 논문에서는 실규모 탈선/충돌 실험을 수행하기 위해 구축한 시험선로는 다음 Fig. 3과 같다. 구축한 시험선로는 약 3.8 km 구간으로, 실험차량 운행구간은 최대속도 80 km/h를 고려하여 가속구간 및 제동구간을 확보하였다. 궤도 시공은 Rheda 2000 구조를 참고하였으며, 연장은 100m로 시공하였다.

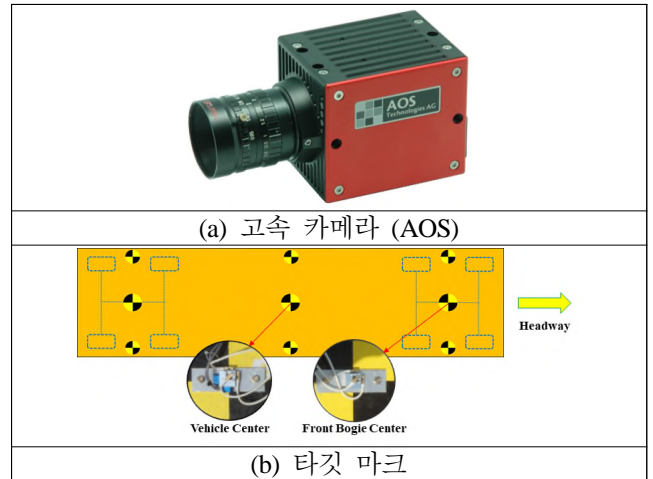


[그림 2] 실규모 탈선/충돌 실험장

3.1 실험 및 계측 시스템

본 실험에서 가속도 데이터 수집을 위한 데이터 로거 및 센서를 설치하였으며, 차체의 정중앙에 국부적인 진동에 의한 노이즈가 최소화되도록 설치하였다. 또한 데이터로거의 경우 계측의 시작점을 인식하기 위한 트리거와 함께 차량 충돌에

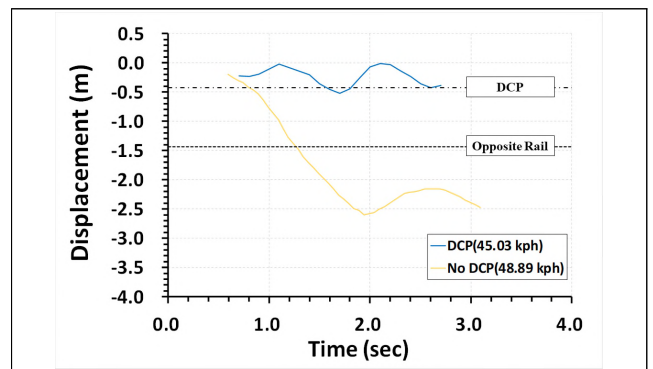
대해 충분히 보호될 수 있는 위치에 견고하게 설치하였다. 변위계측을 위해서 고속 카메라를 사용하였으며, 차량 움직임을 측정하기 위한 타깃 마크를 차량 상부 중앙에 부착하였다. 이 타깃 마크를 통해 영상 트래킹(Tracking)분석이 이루어진다. (Fig. 9)



[그림 3] 고속 카메라 계측 시스템

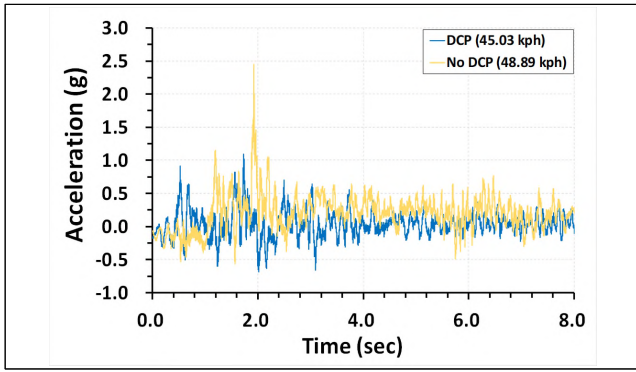
3.2 실험결과

일탈방호시설(DCP)이 없는 조건과 있는 조건에서의 탈선/충돌 실험을 수행하였으며, 실제 탈선직전의 주행속도는 각각 45.03 km/h와 48.89 km/h로 측정되었다. Fig. 10은 횡방향 변위 데이터로서 Fig. 9(b)의 정중앙 타깃 마크를 활용하여 트래킹(Tracking) 분석으로 도출된 데이터이다.

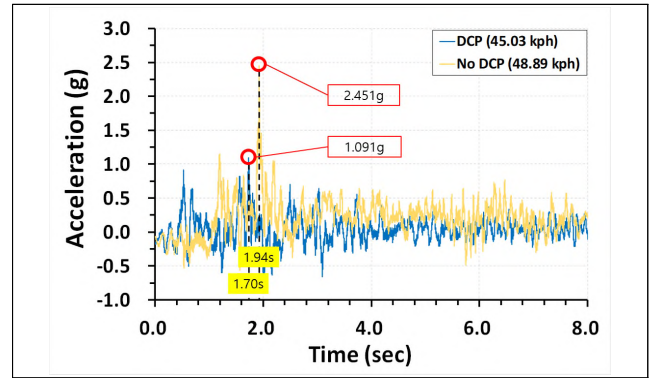


[그림 4] 횡변위 데이터

Fig. 11은 횡방향 가속도 데이터로서 Fig. 6에서 보이는 것과 같이 정중앙 점에 부착된 가속도 센서로 도출되었으며, 50msec의 이동평균법을 이용한 데이터 평활화 처리기법을 사용하였다.



[그림 5] 횡가속도 데이터

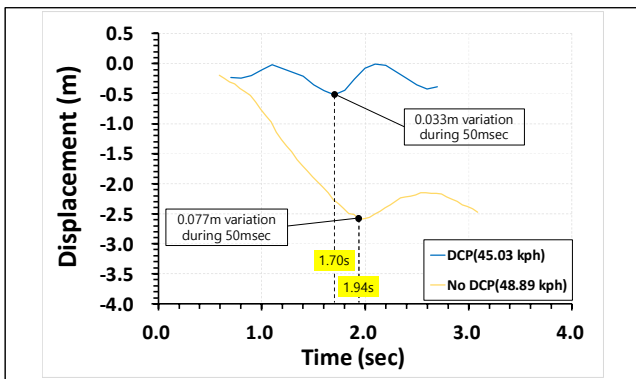


[그림 7] DCP 유무에 따른 충돌가속도 산정

4. 탑승자 보호성능

4.1 탑승자 충돌 속도

탑승자 충돌 속도 산정을 위해 시간과 횡변위의 상관관계를 이용하여 속도를 도출하였다. 탑승자 충돌 속도는 충돌 직후 (충돌시간=No DCP:1.7sec, DCP:1.94sec) 50msec 동안 변화된 변위량으로부터 산정하였으며, 그 값은 DCP가 설치되지 않은 경우 1.539m/s, DCP가 설치된 경우 0.660m/s로 도출되었다. (Fig. 14)



[그림 6] DCP 유무에 따른 충돌속도 산정

4.2 탑승자 충돌 가속도

탑승자 충돌 가속도의 평가는 탑승자 충돌 속도가 산정된 이후 계산된 차량의 10msec 평균가속도의 최대를 산정하였으며, 그 값은 Fig. 15와 같이 DCP가 없는 경우 2.451g, DCP가 설치된 경우 1.091g가 도출되었다.

또한 탈선 후 첫 충돌 이후에도 DCP가 없는 경우 DCP가 설치된 경우보다 높은 수준의 가속도가 도출된다. 이는 탑승자에게도 지속적인 충격을 줄 것으로 판단된다.

4.3 비교 분석

국내 기준을 토대로 DCP의 유무에 따른 탑승자 보호성능에 대해 비교 분석하였다. (Table 3.)

[표 2] 탑승자 보호 성능 비교분석

구분	No DCP	DCP	한계 값
Velocity (m/s)	1.539	0.660	9.17
Acceleration (g)	2.451	1.091	20

위와 같이 탑승자의 보호 성능은 DCP의 설치 유무에 관계없이 안전기준을 만족하지만, 본 실험은 최대 48.89km/h의 속도를 구현하였다. 이는 국내 및 미국의 안전기준은 만족하지만 실제 열차의 속도대역 80~300km/h를 고려하지 못한 결과이므로 실제 속도대역에서의 효과는 더욱 클 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 국토교통부, “도로안전시설 설치 및 관리 지침 - 차량방호 안전시설 편”, 2월, 2014년.
- [2] 천홍식, “실규모 탈선/충돌 실험시스템 및 DCP의 일탈방호성능”, 충남대학교 박사 학위논문, 2020년.
- [3] 천홍식 외 4명, “콘크리트 궤도의 험프가 화차의 탈선 후 거동에 미치는 영향”, 한국도시철도학회 논문집, 제 7권 2호, pp. 245-253, 6월 2019년.
- [4] 배현웅 외 4명, “실대형 실험을 통한 대차의 탈선 후 충돌 거동 분석”, 한국철도학회 학술발표대회논문집, 제 2018권 5호, pp. 231-232, 5월 2018년.