

철도안전법 시행지침 16조의 충격가속도 평가를 위한 객차의 데이터 필터링 연구

Study on the Collision Acceleration Data Filtering of the Passenger Trailer for the Article 16 of the Rolling Stock Crashworthiness Regulations

조현직* 김운곤* 구정서* 송달호**
Cho, Hyun-Jik Kim, Woon-Gon Koo, Jeong-Seo Song, Dhal-Ho

ABSTRACT

In the article 16 of the domestic rolling stock crashworthiness regulations, the collision acceleration level during collision accidents should remain under the maximum 7.5g and the average 5g. By the way, the accelerations obtained in crash simulations and tests contain many kinds of high frequency components due to numerical oscillations or noisy signals. So, this paper aims to develop reliable post-processing methods to filter high frequency oscillations and extract the rigid body motions of passenger rail cars. For this study we used the 1-dimensional dynamic model of KHST (Korean high-speed train), and evaluated acceleration data at the driver's area in the first power car and the passenger area in the following trailer.

1. 서 론

현재 설계 및 제작중인 국내철도차량은 2007년 7월 국토해양부에서 고시한 철도안전법 35조의 시행지침 제16조 ‘철도차량의 표준충돌사고각본’에 근거하여 각 항목별 충돌안전도 성능을 반드시 평가하여야 한다.^{1,2)} 고시된 기준의 핵심내용을 요약하면 충돌사고 시 승객의 상해에 영향을 주는 가속도한계와 순간충격력 완화를 위한 차체설계에 대한 지침을 명시하고 있다.

충돌가속도의 평가를 위한 대표적인 방법으로는 1차원 탄소성요소를 이용한 충돌동역학 모델을 이용한 해석기법이 있는데, 본 기법은 각 차량별의 에너지흡수 특성을 반영하여 전체차량편성을 용이하게 충돌해석 할 수 있으므로 일반적인 충돌가속도 평가방법으로 사용되고 있다.³⁾ 각 차량에 적용되는 차체 구간별 압괴특성은 3차원 상세 유한요소모델을 이용하여 해석한 변형거동을 사용하여 모델링 하므로 정교한 유한요소 충돌해석도 동시에 요구된다.⁴⁾

본 연구는 언급된 절차에 의해 생성된 1차원 충돌동역학모델을 표준충돌사고 각본에 명시된 충돌조건에 대한 해석을 수행하고, 획득된 가속도 데이터에서 인체의 2차 충돌 상해치에 영향을 주는 강제운동성분을 추출하기 위한 low pass filtering 방법에 대하여 분석한다.⁵⁾

2. 충돌조건 및 해석결과

본 연구에 사용된 해석모델은 20량 1편성으로 구성된 G7한국형고속전차이며 각 차량별 압괴특성 데이터는 기 연구된 고속전차기술개발사업에서 도출된 결과를 사용하였다. 본 모델을 표준충돌사고 각본

* 서울산업대학교 철도전문대학원, 정회원

E-mail : hjcho72@naver.com

TEL : (02)970-6878 FAX : (02)970-6009

** 우송대학교 철도대학, 정회원

세부기준에 명기된 사고시나리오 중 승객상해에 높은 상해를 입힐 수 있는 시속 36킬로미터의 속도로 정면충돌하는 조건을 적용하였으며, 본 해석에서는 에너지 증가성을 고려하여 시속 18킬로미터로 강제 벽에 충돌하였다.

해당 규정에는 충격가속도에 대한 평가치는 승객 탑승부에서는 순간 최대 7.5g, 그리고 평균 5g이하로 제시되어 있으며, 1차원 충돌 동역학 모델을 해석하여 충격가속도 평가가 가능하다. 그림 1은 해석에 사용된 1차원 충돌동역학모델의 개념도이다. 해석결과 강제벽에 발생하는 충격력은 그림 2와 같으며, 각 구간별 순간충격력은 그림 3과 같다. 결과곡선에 의하면 차체에 발생하는 최대충격력은 전두부에서 약 5,000kN 이었다.

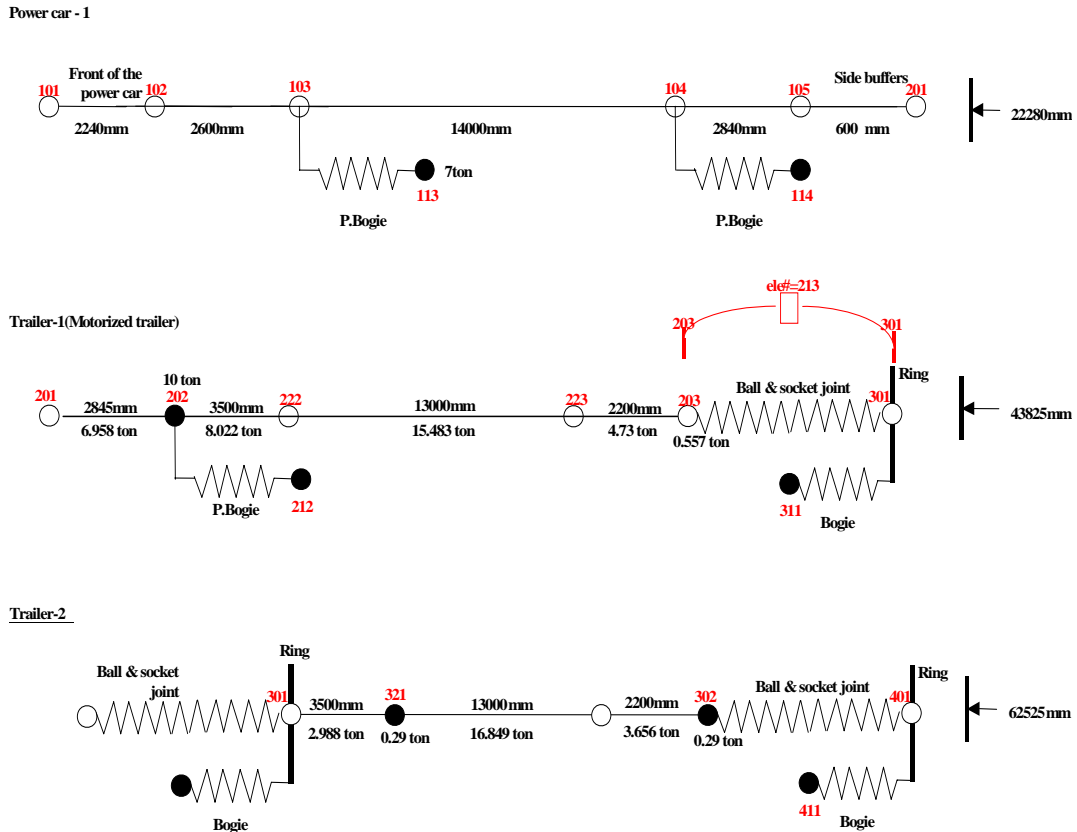


그림 1. 1차원 충돌동역학모델

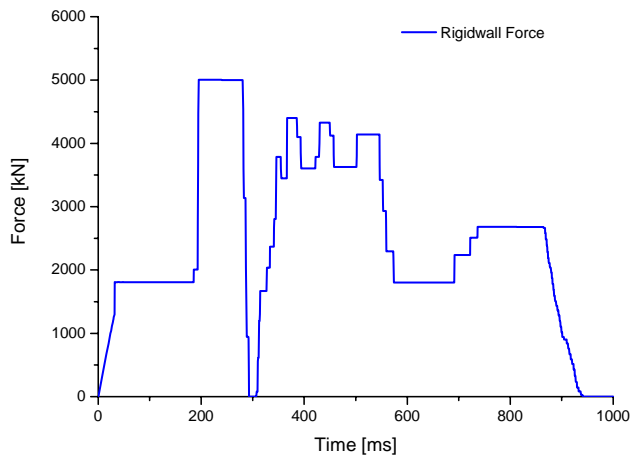


그림 2. 강제벽 충격력

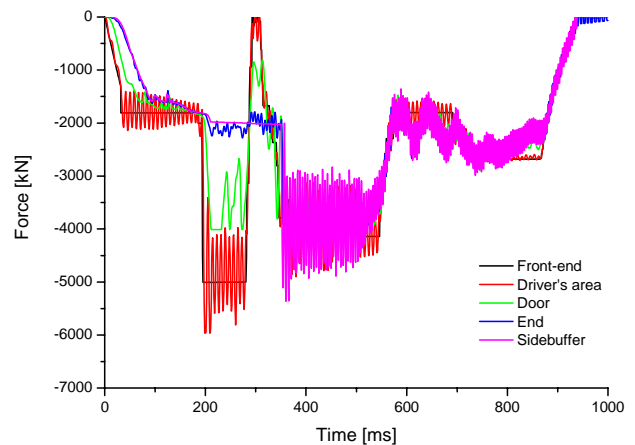


그림 3. 동력차 차체의 충격력

본 해석의 평가항목인 가속도결과는 그림 4에 나타내었다. 가속도 해석 결과는 선두 동력차 내 운전실과 후속 편성객차들의 승객 탑승부에 해당하는 유한요소에서 진행방향 기준으로 앞 절점의 값을 추출하였다. 데이터 개수는 절점당 2,000개를 획득하였고, 데이터 필터링은 수행하지 않고 나타낸 것이다.

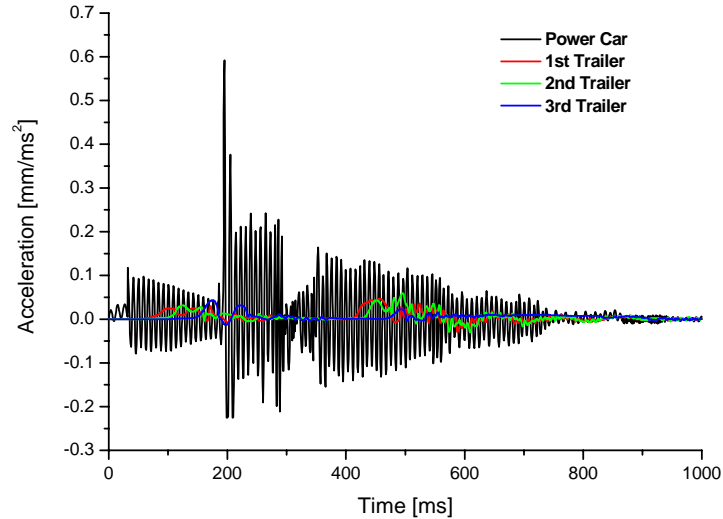


그림 4. 차량별 충돌가속도 결과

3. 가속도 결과의 데이터 필터링 분석

그림 4의 가속도데이터는 탄소성요소인 스프링-댐퍼로 구성된 변형체 요소모델이므로 인해 해당 가속도응답 중 승객의 거동에 영향을 주는 강제 운동 주파수 대역이외의 성분이 포함되어 정량적 가속도 평가를 수행하기에는 어려움이 있다. 연구문헌을 살펴보면 시뮬레이션을 이용한 충돌 가속도평가는 미국의 경우 자동차 평가용 기준인 SAE 60 Hz low pass 필터를 적용하고 있고, EU에서는 Furier 40Hz low pass 필터를 사용하고 있다. 국내의 경우에는 국내철도 차량에 적합한 필터링 방법과 적절한 cut-off frequency에 대한 연구를 수행한 바 없다. 따라서 본 절에서는 철도안전법 35조 시행지침 16조에서 요구하는 충격가속도를 평가할 수 있는 의미 있는 주파수필터링 대역을 평가하고자 한다.

간단한 이론식에 의하면 해당 절점의 변위와 속도결과가 가속도의 1차레 및 2차레 적분한 결과와 얼마나 잘 일치하는지를 검증함으로써 필터링에서 유발되는 데이터의 왜곡정도를 평가할 수 있다. 먼저 운전실의 경우, 가속도데이터를 푸리에필터를 이용하여 0에서 50 Hz까지 10 Hz 간격으로 low pass 필터링한 데이터를 2차레 적분하여 해당 절점의 변위와 상대비교 하였다. 이때 2차레 적분에서 필요한 상수에는 초기속도와 초기변위를 대입하였다. 그림 5는 운전실의 low pass 필터링에 의해 획득된 가속도 데이터이고, 그림 6은 해당 필터링 주파수에 대한 가속도결과를 이용해 추출한 변위 량이다.

운전실의 가속도 데이터의 필터링 후 2차레 적분 결과는 Furier 50Hz low pass 필터를 적용한 경우가 비교적 잘 일치하였다. 이는 역으로 가속도 데이터를 50Hz의 필터링을 통해 얻는 가속도결과가 물리적 변위거동을 잘 표현하는 유효한 충돌가속도 결과를 얻을 수 있음을 설명하는 것이다. 이 결과로부터 필터링된 운전실의 최대 충돌가속도는 약 9.59g나타내었으며, 그 결과곡선은 그림 7과 같다.

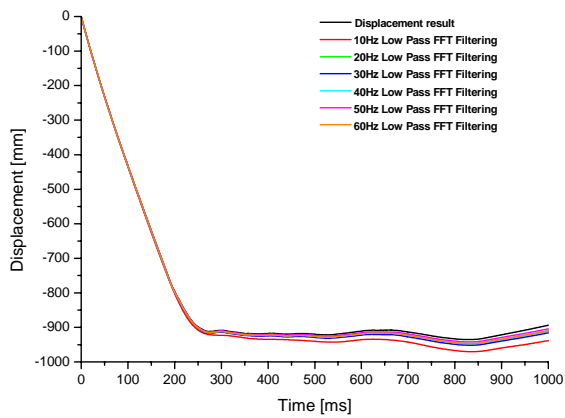


그림 5. 가속도데이터의 2차레 적분결과(운전실)

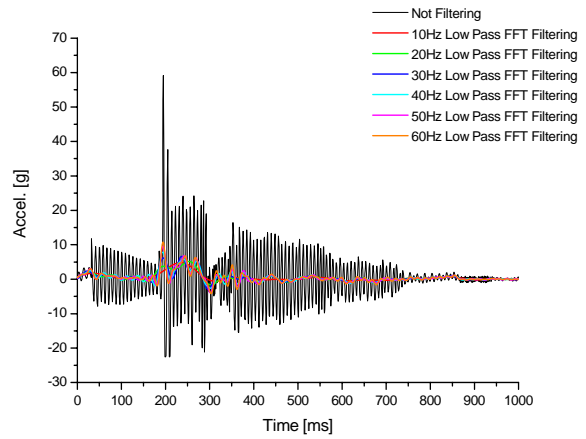


그림 6. 필터링 주파수 대역별 결과(운전실)

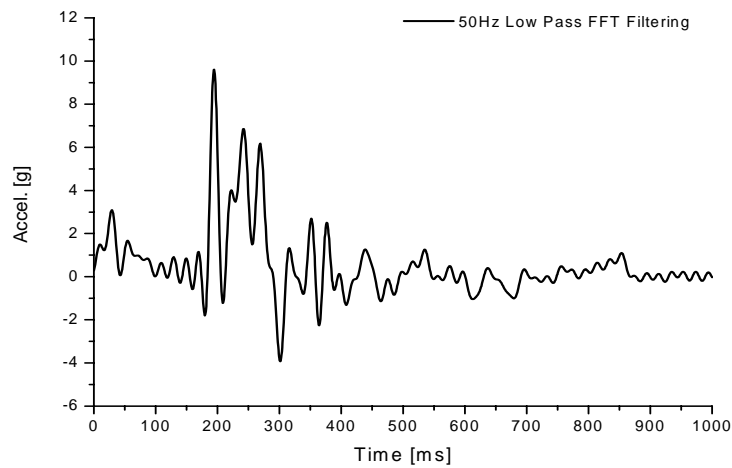


그림 7. 운전실의 충돌가속도 결과(50Hz low pass filtering)

마찬가지 방법으로 첫 번째 객차의 승객 탑승부 충돌가속도를 평가하면 각 주파수 대역별 필터링 데이터의 2차레 적분 결과 중 20Hz 로우패스를 적용한 결과와 유사한 경향을 나타낼 수 있었다. 20Hz 필터링 데이터의 가속도결과는 그림 10에 나타내었으며, 최대 약 3.77g의 충돌가속도가 발생하였다.

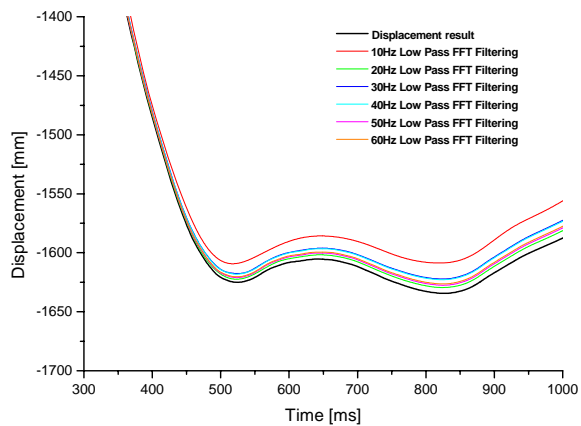


그림 8. 가속도데이터의 2차적분 결과비교(T1)

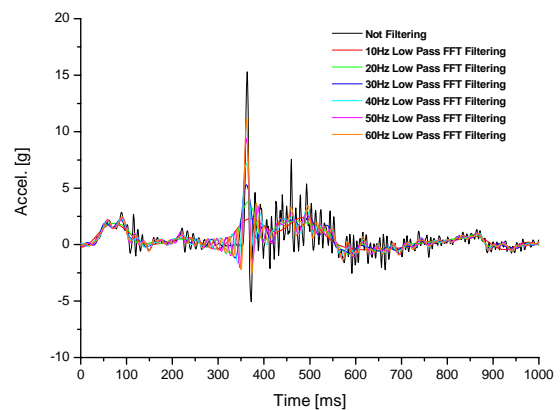


그림 9. 필터링 주파수 대역별 결과(T1)

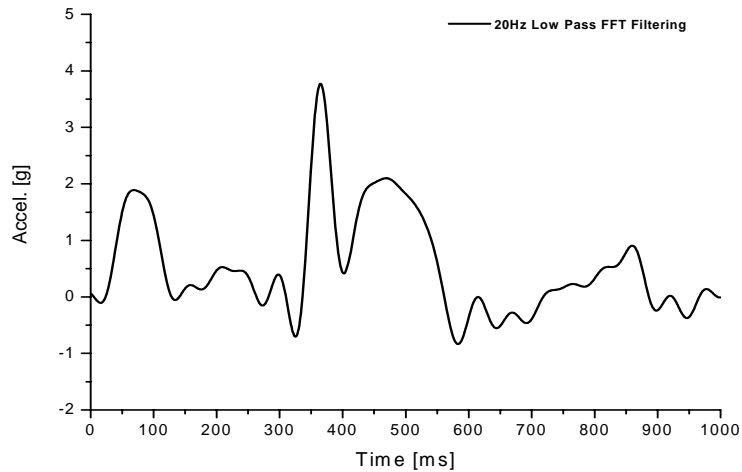


그림 10. 승객탑승부의 20Hz로 필터링 된 충돌가속도(T1)

4. 결론

철도안전법 시행지침의 16조의 충격가속도 평가를 위한 데이터 필터링 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 본 연구에서 철도안전법 시행지침 제 16조에 고시된 충돌가속도 평가에는 차체의 3차원 유한요소모형을 충돌해석 하여 구해진 구간별 압괴변형 특성을 잘 반영하여 1차원 충돌동역학 모델을 구성하면 용이하게 차량의 충돌가속도를 해석할 수 있다.
- 2) 승객탑승영역에서 발생하는 가속도데이터의 유효성과 적절한 데이터필터링 주파수를 판단하기 위해 필터링된 가속도데이터를 2차례 적분한 후 해당 절점의 변위데이터와 비교를 수행하였다. 이를 통해 각 절점에 대한 적절한 데이터필터링 대역을 분석하고, 가속도를 평가하는 방법을 제시하였다.
- 3) 본 연구에서 사용된 한국형고속전철 모델의 경우, 적절한 운전실 가속도데이터의 필터링주파수는 50Hz 이었으며, 최대 충돌가속도는 약 9.59g 발생하였다. 또한 첫 번째 객차의 승객탑승부의 경우 적절한 데이터의 필터링 주파수는 20Hz로 나타났고, 이때 약 3.77g의 순간 최대가속도가 발생하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 미래철도기술개발사업 중 차세대 고속전철기술개발 연구의 일환으로 이루어졌으며 관계자 여러분들의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 국토해양부 (2007), 철도안전법 제16조(철도차량의 표준충돌사고각본) 별표 13 ‘표준충돌사고 각본 세부기준’
2. 구정서, 조현직, 권태수 (1997), “철도차량의 충돌안전도 설계를 위한 사고 시나리오 제정 연구”, 한국철도학회 07 춘계학술대회 논문집, pp. 661-670

3. 구정서, 조현직, 윤영한, 김동성 (2001), “1차원 동역학 모델을 이용한 한국형 고속전철의 충돌 안전도 평가”, 한국철도학회논문집, 1738-6225, 제4권 3호, pp. 94-101
4. Masamichi KATO, Kazushi TERADA (2006), "Development of an Evaluation Type Train Protection System to Prevent Secondary Accidents", International Rail Safety Conference, 2006 Dublin Conference
5. Karina Jacobsen, David Tyrell (2003), "Rail Car Impact Test with Steel Coil : Collision Dynamics", ASME RTD 2003-1655, pp. 73-82