

철도차량의 충돌가속도 평가방법 연구

김 준 우^{*1)} · 구 정 서¹⁾

서울산업대학교 철도전문대학원¹⁾

A Study on Techniques to Evaluate Collision Acceleration of Rolling Stock

Joonwoo Kim^{*1)} · Jeongseo Koo¹⁾

¹⁾Department of Rolling Stock System Engineering, Seoul National University of Technology, 172 Gongneung-2Dong, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea

Abstract : In this study, we suggested several approaches to evaluate the collision acceleration. The velocity-time curve analysis method and the displacement comparison method were recommended to filter high frequency oscillations for the maximum acceleration evaluation.

Key words : Collision Acceleration(충돌가속도), High-speed EMU(동력분산형 고속전철)
Collision Dynamics(충돌동역학), Rolling Stock Safety Regulation(철도차량안전규정)

1. 서 론

철도차량의 충돌 후 충돌안전도를 평가하기 위해 국·내외에서는 해당 법규를 제정하여 엄격히 관리하고 있다. 안전도를 평가하는 척도로 운전자 및 승객 탑승 구간의 충돌 감속도를 평가하게 되는데, 국내 철도안전법 철도차량안전기준 시행지침 제16조에서는 승객 탑승부의 가속도는 최대 7.5g, 평균 5g 이하로 요구하고 있다.¹⁾

간단하게 열차의 충돌가속도를 평가하는 방법은 비선형 1차원 스프링-댐퍼-질량으로 이루어진 충돌동역학 모델 해석이며, 이 방법은 각 차체별 에너지 흡수 특성을 반영하여 전체편성차량을 쉽게 충돌해석할 수 있으므로 설계단계에서 충돌가속도를 평가하는 방법으로 널리 사용된다.²⁻⁵⁾

수치시뮬레이션 결과로 나온 가속도 데이터는 질점의 진동과 수치오차 등으로 인하여 탑승자에 미치는 가속도 수준을 정확히 평가하기 어렵다. 그러므로 승객의 거동에 영향을 주는 충돌가속도 수준을 평가하기 위해서는 수치해석 결과로 나온 데이터를 적절히 필터링 하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 동력분산형 차세대고속전철의 1차원 충돌동역학 모델을 이용하여 열차의 충돌가속도 크기를 필터링하는 몇 가지 방법을 제시하고 분석하였다.

2. 충돌동역학 해석

2.1 충돌동역학 모델

연구에 사용된 동력분산형 차세대고속열차 모델은 2TC-6M으로 구성되었으며, 축중은 13 ton이다.³⁾

충돌 조건은 상대속도 36kph 열차 대 열차 충돌 시나리오⁶⁾를 적용하여 수치해석⁷⁾을 수행하였다.

* 발표자 : 김준우, E-mail: woongoni@naver.com

2.2 수치해석 결과

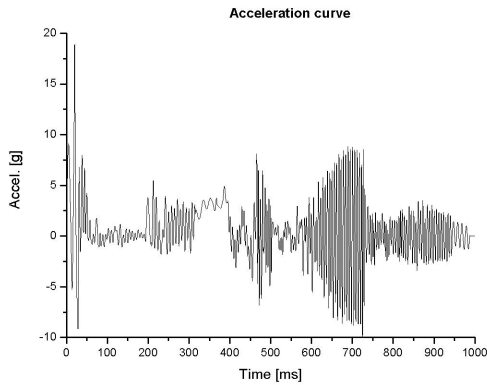


Fig. 1 Acceleration-time curve of the cab

Fig. 1은 운전자 구간 앞 절점의 가속도-시간 곡선을 나타낸 것이다. 수치해석 결과 승객의 거동에 영향을 주는 강제 운동 주파수 대역 외의 고주파 성분이 포함되어 있어 정량적 충돌가속도 평가에 어려움이 있다. 따라서 탑승자의 충돌안전도 성능을 평가하기 위하여 적절한 차단주파수 결정 방법이 요구된다.

3. 충돌가속도 평가

3.1 속도곡선 분석법

속도곡선 분석법은 절점에서 추출한 시간-속도 곡선에서 최대 가속도를 구하고, 이 값을 절점에서 추출한 시간-가속도 곡선을 로우패스 필터링한 그래프의 가속도 값과 비교하여 유효한 주파수를 선정하는 방법이다⁸⁾.

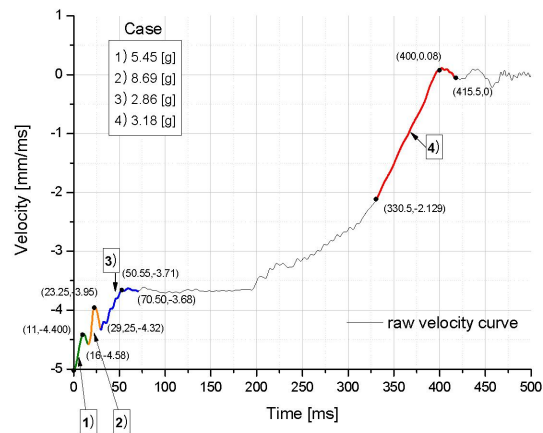


Fig. 2 Velocity-time curve of the cab

Table 1 Maximum acceleration from the velocity curve

Case	Time [ms]	Velocity [mm/ms]	Accel. [g]	Filtering Frequency [Hz]
Initial	16.00	-4.58	8.69	75.47
Mid	23.25	-3.95		
Final	29.25	-4.32		

Fig. 2는 운전자 구간의 앞 절점에서의 속도-시간 곡선을 나타낸 것인데 각 시간 영역에서 곡선의 기울기는 가속도를 의미한다.

Table 1은 Fig. 2에서 얻어낸 최대충돌가속도(그래프의 기울기)를 수치로 나타낸 것이다.

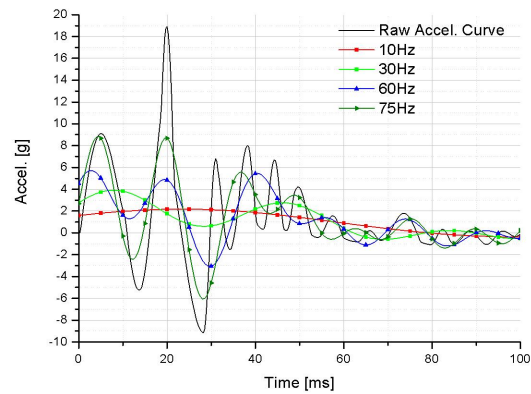


Fig. 3 Filtered acceleration-time curves of the cab

Fig. 3은 해석결과 가속도 데이터를 10Hz에서 75Hz까지 FFT 로우패스 필터링을 하여 간략히 나타낸 그림이다.

Table 2 Filtered maximum accelerations for each time section

Filtering Freq. [Hz]	0 - 16 [ms]		16 - 29.25 [ms]		29.25 - 62.50 [ms]	
	T [ms]	a [g]	T [ms]	a [g]	T [ms]	a [g]
10	16.00	2.11	23.50	2.18	29.75	2.14
20	10.00	2.65	16.00	2.54	29.75	1.87
30	7.75	3.91	16.00	2.76	46.25	2.76
40	9.50	4.47	16.00	3.21	44.25	3.52
50	3.75	3.70	16.00	3.47	43.25	4.50
60	2.75	5.72	19.50	4.88	40.50	5.45
70	3.75	7.89	19.75	7.36	36.75	5.56
75	4.50	8.83	19.75	8.70	36.75	5.56

Table 2는 가속도 데이터를 Fig3과 같이 10Hz에서 75Hz까지 FFT 로우패스 필터링을 하고, 각각의 시간에서 최대가속도를 수치로 나타낸 표이다.

3.2 속도곡선 분석법과 데이터 재현성 검증

속도곡선 분석법으로 속도-시간 곡선의 16ms에서 23.25ms까지 구간에서 최대 충돌가속도가 8.69g 만큼 발생하였는데, 이것은 가속도 데이터를 75Hz 로우패스 필터링 하였을 때 최대 충돌가속도가 8.70g로 가장 유사하였다. 또한 75Hz 로우패스 필터링에 의한 속도 및 변위의 재현성을 검증하기 위해 속도 및 변위 비교법을 적용하여 분석하였다.

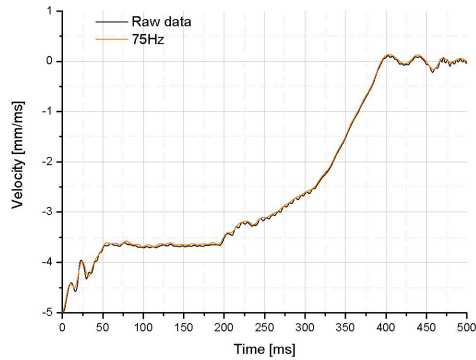


Fig. 4 Velocity-time curves of the cab

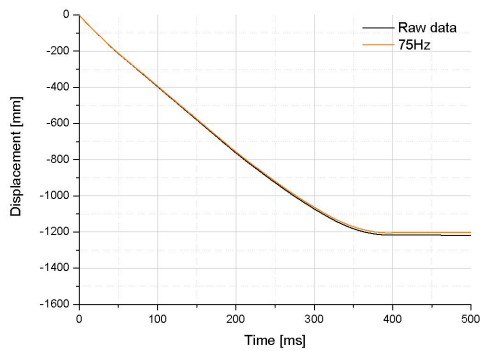


Fig. 5 Displacement-time curves of the cab

가속도 데이터를 75Hz 차단주파수로 필터링한 후, 1차레 적분하여 속도-시간 곡선과 비교하니 Fig. 4와 같이 잘 일치하였으며, 2차레 적분 후 변위-시간 곡선과 비교하니 Fig. 1와 같이 약 1.2%의 차이가 발생하여 재현성이 양호하였다.

Table 3 Maximum acceleration of the cab

Filtering Frequency [Hz]	Maximum Accel. (From velocity curve) [g]	Maximum Accel. (From filtering) [g]
75	8.69	8.70

4. 결 론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 동력 분산형 차세대 고속열차의 개념설계 모델의 경우, 상대속도 36kph 시뮬레이션 결과에 속도곡선 분석 방법을 적용하니 가속도 평가에 75Hz 로우패스 필터링이 가장 적합하였으며, 운전자 구간의 최대 충돌가속도는 약 8.7g로 구해졌다.
- 2) 철도차량안전기준 시행지침 16조의 최대 충돌가속도 항목을 평가하기 위하여 적절한 데이터 후처리 방법이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부에서 지원하고 한국철도기술연구원에서 진행 중인 차세대고속철도개발사업의 연구결과를 응용한 것으로서 관계자들에 감사드립니다.

References

- 1) Regulations on the railway safety criterion of rolling stock, 2007, MOCT ordinance 278, 2007, 7.
- 2) Kisielewicz, L. T., and Ando, K., "Crashworthy rolling stocks", PUCA '93, pp.73-81, 1993
- 3) Lewis, J. H., "Development of crashworthy vehicle structures for railways", WCCR, pp.893-900, 1994
- 4) Tyrell, D., "Train Crashworthiness Design for Occupant Survivability", ASME, Vol.30, 1995
- 5) Kim, K. Y., Cho, H. J., Koo, J. S., "A Study on Conceptual Design for Crashworthiness of the Next Generation High-speed EMU", Korean Society for Railway, Vol. 11, No. 4, pp. 300-310, 2008
- 6) Koo, J. S., Cho, H. J., Kwon T. S., "A Study on Establishing the Accident Scenarios for Crashworthiness of Rolling Stocks", Korean Society for Railway, pp.661-670, 1997
- 7) LS-DYNA user's Manual, Version 970, Livermore Software Technology Corporation, 2003
- 8) Fasanella, E. L., Jackson, K. E., "Best Practices for Crash Modeling and Simulation", NASA / TM-2002-211944, 2002