충돌동역학 모델링 기법에 따른 충돌가속도 응답특성 분석

A Response Characteristic Analysis of Impact Acceleration Using Crash Dynamics Models

조현직† 김운곤* 구정서*

Cho, Hyun-Jik Kim, Woon-Gon Koo, Jeong-Seo

ABSTRACT

In the Rail Safety Regulations article 16, deceleration rate in the survival spaces should be limited as far as is practicable to 5g, and shall not be more than 7.5g. As it is impractical to evaluate complete train behaviour by testing, the achievement of the objectives shall be validated by dynamic simulations corresponding to the reference collisions scenarios. But initial design and evaluation procedure, impact dynamics model which classified 1D and 2D is more useful than full scale model. This paper presents acceleration response characteristics between 1D and 2D dynamics model under head-on collision in standard collision scenarios.

1. 서 론

철도안전법 제 16조에 명시된 충돌가속도 조건에 의하면 표준충돌사고 조건 시 승객탑승 구간에서 최대 감속도는 7.5g, 그리고 평균 감속도는 5g를 초과하지 않아야 한다. 해당 항목의 평가는 검증시뮬레이션과 검증시험을 통해 교정된 모델을 사용하여 평가하도록 명시되어 있으나 초기설계 시 에너지흡수전략과 가속도특성을 예측하는 단계에서는 충돌동역학 모델을 사용하는 것이 효율적이다. 대표적인 충돌동역학 모델로는 1차원과 2차원 모델이 있으며, 2차원 모델의 경우에는 1차원 모델에 현가요소를 적용하였으므로 인해 1차원 모델보다 정교한 분석이 가능하다. 본 논문은 한국형고속전철의 1차원 모델과 2차원 모델을 이용하여 표준충돌조건인 정면충돌조건을 적용한 시뮬레이션을 수행하고, 이를 통해 획득된 감속도결과를 비교하여 모델간의 응답특성의 상관성을 분석하였다.

2. 충돌동역학 모델개요 및 충돌해석

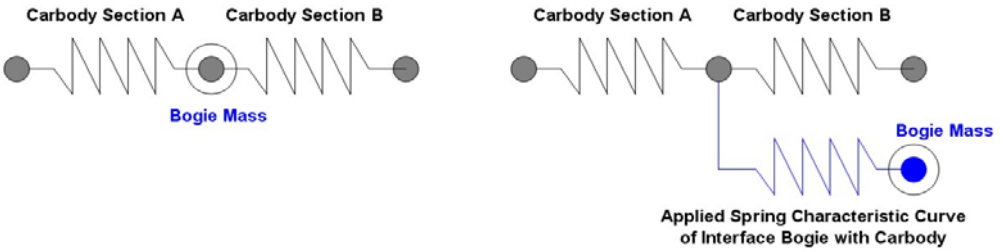
2.1 충돌동역학 모델개요

본 연구에 사용된 대상차량은 한국형 고속전철이며, 해당 차량은 총 20량 1편성이다. 해석에 사용된 모델은 1차원과 2차원 모델이며 각 차량의 구간별 특성은 3차원 유한요소모델로부터 구간별 압괴 특성데이터를 추출하여 적용하였다.

† 책임저자 : 정회원, 철도전문대학원, 철도차량시스템공학과, 박사과정
E-mail : hjcho72@naver.com
TEL : (02)970-6878 FAX : (02)970-6011
* 정회원, 철도전문대학원,철도차량시스템공학과

충돌동역학 모델은 전체차량편성에 보편적으로 사용되는 1차원 스프링요소를 이용하여 구성하였다. 1차원 스프링요소를 수직방향 특성을 갖는 1차 현가장치(에어스프링)과 2차 현가장치(코일스프링)등을 상세하게 구성한 모델이 2차원 충돌동역학 모델이며, 본 모델을 사용한 충돌해석은 차량간 타고오름 거동과 같은 분석에 사용되고 있다.

1차원 충돌동역학 모델링은 두 가지 형태로 모델링이 가능한데 대차의 차량진행방향 특성을 고려하는 방식과 대차를 질량요소로 표현하는 방법이 있다. 대차를 고려하는 방식은 대차가 차체와 체결부의 인장/압축특성을 스프링요소를 이용하여 표현하는 것인데 이때 사용되는 스프링에 의해 대차질량의 길이방향 관성이 시뮬레이션 결과에 반영되는 결과를 얻을 수 있고, 대차를 단순질량으로 표현하는 것은 이러한 대차의 독립적인 운동이 고려되지 않는다. 본 연구에서는 대차특성을 적용한 모델을 사용하였다.



(a) 집중질량 모델 (b) 대차특성 적용모델

그림 1. 1차원 충돌동역학 모델링 개요

2차원 충돌동역학 모델은 언급한 바와 같이 차량에 적용되는 각종 수직 현가장치들을 스프링 요소를 이용하여 상세하게 표현된 것이다. 본 연구에 사용된 모델은 대표적인 현가시스템인 1차 에어스프링과 2차 코일스프링이 적용되었다. 또한 차체의 상부와 하부의 압괴특성을 분리하여 상세적용하였다.

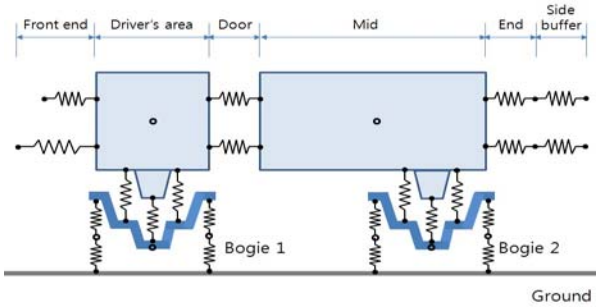


그림 2. 2차원 충돌동역학 모델링 개요

2.2 충돌조건 및 해석개요

충돌조건은 철도안전법 제 16조에 의거한 정면충돌 조건을 적용하였으며, 내용을 살펴보면 상대속도 36킬로미터로 충돌체와 동일한 편성차량과 정면으로 충돌하는 조건이다. 본 해석조건을 통해 객차에서 발생하는 감/가속도를 이용하여 승객의 안전도를 평가하게 된다. 명시된 안전도 기준은 최대 7.5g 그리고 평균 5g 이하로 제한한다.

3. 충돌해석 및 결과

본 연구대상차량인 한국형고속전철 20량 편성차량을 1차원 충돌동역학 모델과 2차원 충

돌동역학 모델을 이용하여 해석을 수행하였고, 1차원 모델과 2차원 모델별 응답특성을 정리하였다.

해석결과 차체에 발생하는 충격력은 전체적으로 약간의 응답시차는 있었으나 수치는 거의 변화가 없음을 확인할 수 있었다. 그러나 충격가속도를 살펴보면 2차원 모델에서 1차로 발생하는 진행방향 가속도는 약 5g로 낮은 수치를 나타내었으며, 이후 발생하는 가속도는 1차원 모델의 충돌가속도와 유사한 레벨로 약 400ms 시차를 두고 발생하였다. 해당 가속도는 일반적인 2차 충돌에 의한 현상 보다는 각 구간의 충격력 결과가 거의 동일하므로 볼 때 2차원 모델을 구성하는 대차와 현가요소들의 거대 질량으로 부터 기인하는 관성력이 약간의 시차를 가지므로 인해 나타나는 현상이라 판단된다. 이에 대한 상세분석 결과는 몇 가지 검증 시뮬레이션을 수행 후 본 학술지를 통해 정리하고자 한다.

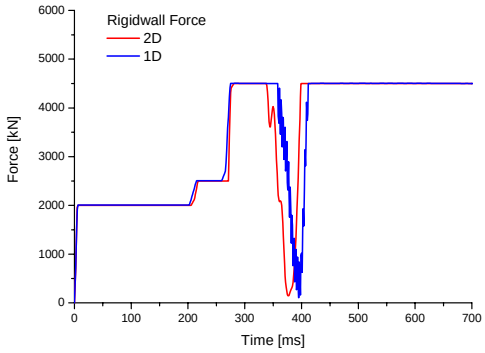


그림 3. 차체에 발생하는 전체 충격력 결과비교

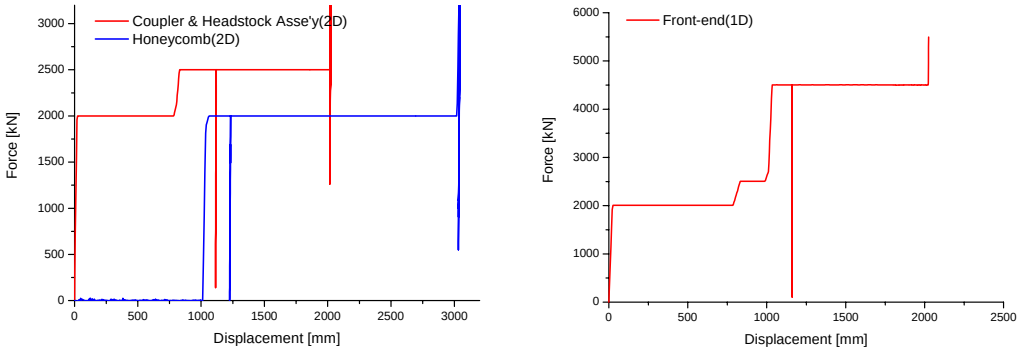


그림 4. 동력차 전두부의 충격력 결과비교

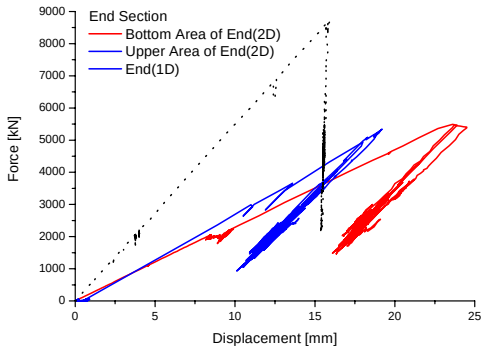


그림 5. 동력차 후방부의 충격력 결과비교

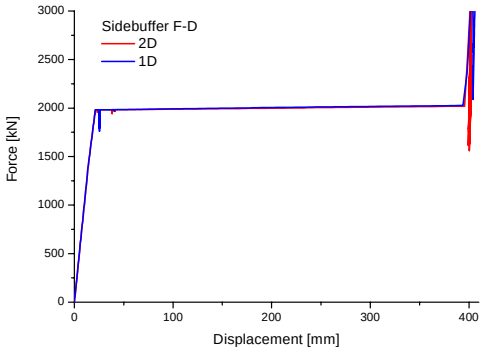


그림 6. 사이드버퍼의 충격력 결과비교

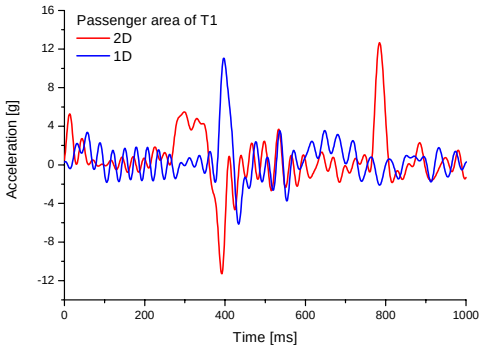


그림 7. 승객탑승구간의 충격가속도 결과비교

4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 1차원 모델과 2차원 충돌동역학 모델을 이용한 충돌해석결과 정의된 각 구간에 발생하는 충격력 특성은 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

2. 2차원 모델의 경우 대차부의 각종 현가요소와 대차질량의 관성효과로 인해 약간의 응답시차가 발생함을 알 수 있으며, 이를 규명하기 위한 상세연구는 추후 수행할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부에서 연구비를 지원하여 한국철도기술연구원에서 진행 중인 차세대 고속철도기술개발사업의 연구결과로서 관계자들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 구정서(2001), “1차원 동역학 모델을 이용한 한국형 고속전철의 충돌 안전도 평가”, 한국철도학회논문집, v.4, no.3, pp.94-101

2. J. S. Koo, Y. H. Youn(2004), "Crashworthy Design and Evaluation on the Front-end Structure of Korean High Speed Train", International Journal of Automative Technology, Vol. 5, No. 3, pp. 173-180.

3. J. S. Koo, J. H. Jik, D. S. Kim and Y. H. Youn(2001), "An Evaluation of Crashworthiness for the Full Rake KHST Using 1-D Dynamic Model", Journal of Korea Society for Railway, Vol. 4, 3, pp. 94-101.

4. J. S. Koo, D. S. Kim, H. J. Cho, T. S. Kwon and S. K. Choi(2000). "Analysis on the Crashworthiness of the Full Rake Korean Electric Multiple Unit Train", Korean Society for Railway, Vol. 3, No. 1, pp.27-33.
5. H. S. Han and J. S. Koo(2003), "Simulation of train crashes", Vehicle System Dynamics", Vol. 40, 6 , pp. 435-450.
6. 권태수 외 26인, 철도차량 충돌안전성능 평가 및 피해저감 기술개발, 건설교통부연구보고서, 2006