

# 차체의 압괴특성에 의한 충돌 후 타고오름 거동에 관한 연구

## Study on a Override Behavior during Train Collision by Crush Characteristic of Train Carbody

김거영†                      구정서\*                      박민영\*  
Kim, Geo-young              Koo, Jung-Seo              Park, Min-Young

### ABSTRACT

This paper proposed a new 2D multibody dynamic modeling technique to analyze overriding behavior taking place during train collision. This dynamic model is composed of nonlinear spring, damper and mass by considering the deformable characteristics of carbodies as well as energy absorbing structures and components. By solving this dynamic model of rollingstock, collision energy absorption capacity, acceleration of passenger sections, impact forces applied to interconnecting devices, and overriding displacements can be well estimated. For a case study, we choose KHST (Korean High Speed Train), obtained crush characteristic data of each carbody section from 3D finite element analysis, and established a 2D multibody dynamic model. This 2D dynamic model was suggested to describe the collision behavior of 3D Virtual Testing Model.

### 1. 서론

철도차량은 여러 차량이 서로 연결되어 운행되기 때문에 충돌 사고시 각 차량들 간의 충돌 및 전체거동의 분석이 매우 중요하다.<sup>1)</sup> 자동차는 차량 한 대만을 유한요소로 모델링하여 충돌해석을 실시하는 반면에 여러 차량으로 연결된 열차는 충돌안전도를 평가하기 위해서 3차원 유한요소를 이용한 구간별 해석을 하고 거기서 구간별 특성 곡선을 도출한 후, 이를 이용하여 전체 차량의 다물체 동역학 모델을 만들어서 충돌해석을 수행하여 충돌안전 설계를 평가한다.<sup>2)</sup> 그러나 최근에는 충돌안전기준이 규정화 되면서 충돌안전설계의 최종 평가는 선두차 1~2량에 대하여 3차원 쉘 모델을 사용하도록 하고 있다.

3차원 모델을 이용해서 충돌해석을 할 경우 실제에 가까운 시뮬레이션을 할 수 있는 장점이 있으나 모델을 개발하는데 매우 많은 시간과 노력이 필요하다. 따라서 3차원 모델의 경우 최종 설계의 검증은 하는데 적합하지만 설계단계에서는 전체열차의 1차원 충돌동역학 해석을 통하여 연결, 경충돌, 열차 대 거대 장애물 및 열차 대 열차 충돌에 대한 충격력, 압괴량, 에너지 흡수량, 충돌가속도 등을 예측할 수 있다.<sup>3)</sup> 또한 충돌의 결과를 평가하는 도

† 서울산업대학교 철도전문대학원, 정회원  
E-mail : mouse1107@hanmail.net  
TEL : (02)970-6878 FAX : (02)970-6009

\* 서울산업대학교 철도전문대학원, 정회원

\*\* 서울산업대학교 산업대학원, 정회원

구로 사용하고, 충돌안전설계를 위한 에너지 흡수 부품 및 구조의 압괴 특성 등을 수정하고 보완하는데 용이하다. 또한 최종 검증 단계인 3차원 모델 평가 시에 전방의 몇몇 차량을 제외한 상대적으로 충돌의 영향을 덜 받는 뒤쪽 차량들은 1차원 모델로 모델링하여서 평가할 수 있다.

본 논문에서는 설계단계에서 사용하는 1차원 모델의 단점을 보완하고 3차원 모델과 동일한 압괴 거동을 도출할 수 있는 2차원 충돌동역학 모델링 방법을 개발 하고자 한다.

## 2. 타고오름 및 좌굴거동이 가능한 열차의 2차원 모델링

주행장치를 상세 모델링 한 VTM의 시뮬레이션 결과는 아래 그림과 같다.<sup>4)</sup> 그림 1, 2는 36km/h 상대속도로 강체벽 충돌 시뮬레이션이고 그림 3, 4는 전두차량이 40mm offset 후 상대속도 36km/h 열차대 열차 충돌 시뮬레이션이다. 두 시뮬레이션 결과 PC차량의 도어 구간에서 좌굴이 발생하였는데 그 원인은 도어 구간의 언더프레임의 길이방향 압괴 강도가 루프와 사이드프레임에 비하여 상대적으로 취약했기 때문이다.

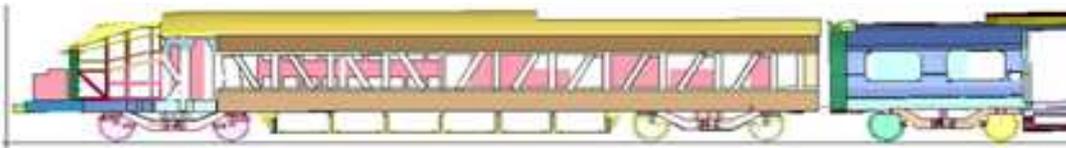


그림 1. The side view of VTM at 0msec



그림 2. The side view of VTM at 700msec



그림 3. The side view of the offset collision at 0msec

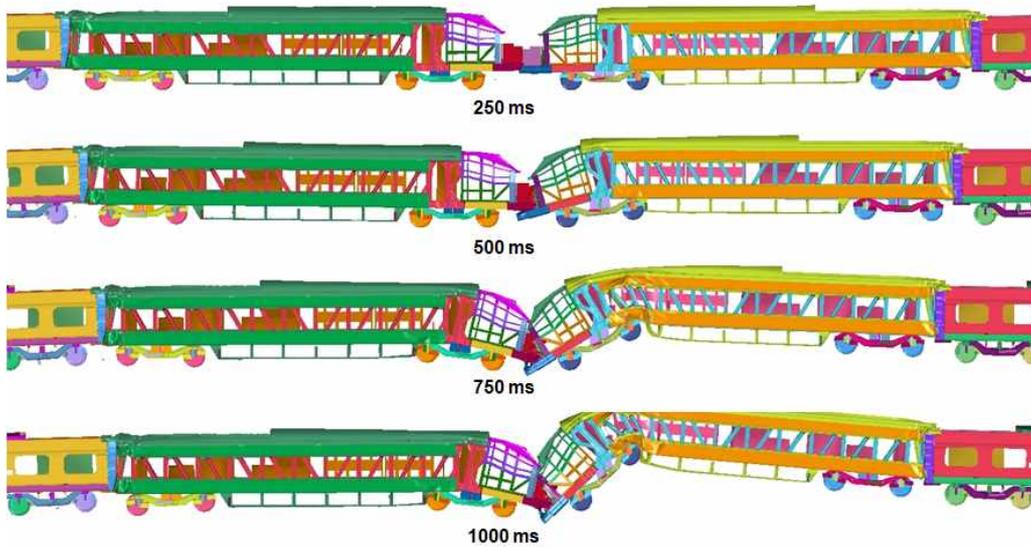


그림 4. The side views of the offset collision

비정상적인 좌굴거동은 VTM의 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다. 하지만 VTM 모델을 개발하는 시간과 비용측면에서 비효율적이므로 실제 차량을 설계하기 위해선 VTM과 유사한 거동을 보여주는 간단한 모델링 기법이 필요하다. VTM의 비정상적인 좌굴거동을 통하여 한가지 모델링 기법을 제안하고자 한다. 이러한 좌굴거동은 상부구조와 하부구조의 압괴강도의 상대적인 차이로 발생하기 때문에 그림 5와 같이 차체의 압괴구간을 상, 중, 하 3개의 스프링으로 분류한 2차원 모델에서는 유사한 거동 예측이 가능하다. 그림 5. 는 열차의 압괴구간의 모델링을 비선형 거동이 가능한 3개의 스프링으로 모델링된 개념도이다. 사부를 루프프레임, 중부를 사이드프레임, 하부를 언더프레임으로 나누어 각 구조의 길이방향 및 수직방향의 압괴특성을 입력하게 되면 그림 6과 같은 VTM과 유사한 좌굴거동이 가능해질 것이다.

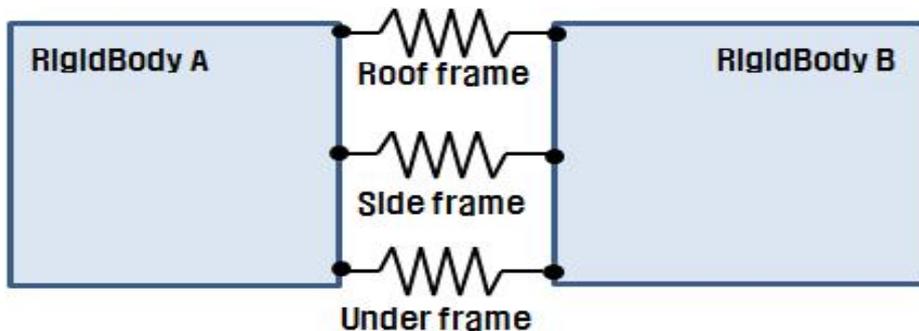


그림 5. Deformation of a car body by three springs

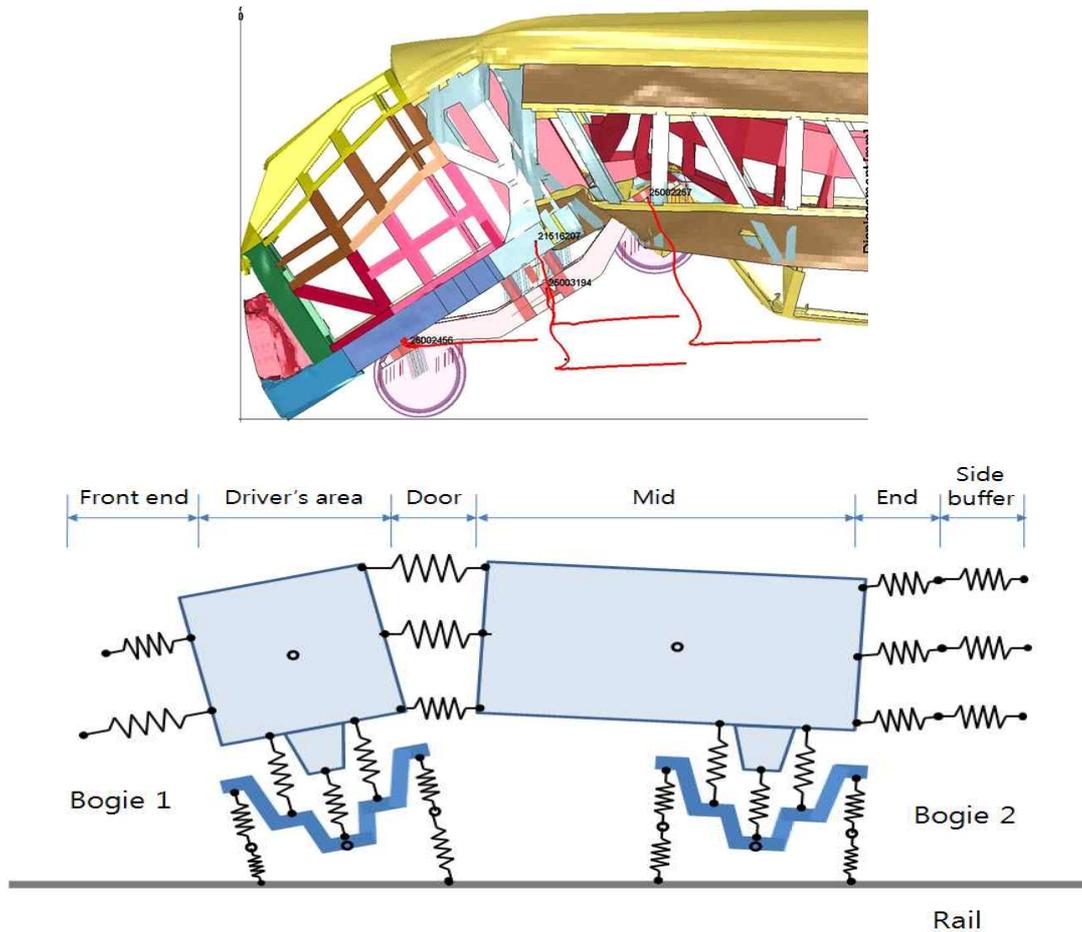


그림 6. 2-Dimensional model on buckling similar with VTM

2차원 모델의 시뮬레이션 결과를 검증하기 위하여 상, 중, 하부의 압괴특성을 VTM 시뮬레이션을 통하여 추출하여야한다. 추출하는 방법은 앞에서 설명한 ‘3차원 전체 모델의 해석 결과를 적용한 1차원 등가모델’에서의 차체단면을 사용하여 각각의 압괴특성을 추출할 수 있다.

2차원 모델링시 주의해야할 점은 강체구간과 변형구간을 적절히 분류하여야 한다. 일반적으로 운전자구간과 승객구간은 알루미늄 압출재를 사용하여 타 구간보다 강도가 높으므로 이 두구간을 강체구간으로 정의하고 나머지 승객출입 구간이나 차체후미구간 및 사이드버퍼 등의 구간을 변형구간으로 모델링하여야 한다.

위와 같은 방법으로 개발된 2차원 모델은 열차의 3차원 전두부와 결합한 하이브리드 모델을 만들 수 있다. 하이브리드 모델은 VTM 보다 적은 시간으로 모델링이 가능하고 2차원 모델보다 정확하기 때문에 준 평가용 모델로서 가치가 있다.

### 3. 결론

VTM의 충돌 거동과 유사한 2차원 다물체 동역학 모델을 개발하기 위하여 차체의 변형구간 모델링이 가장 중요하다. 위와 같은 방법으로 압괴구간을 3개의 비선형 스프링으로 나누

어 차체의 거동을 표현하면 VTM에서의 좌굴거동과 같은 비정상적인 거동을 표현할 수 있다. 또한 본 모델과 3차원 전두부와 결합한 하이브리드 모델을 개발하여 준 평가용 모델로 사용할 수 있는 장점이 있다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부에서 지원하여 한국철도기술연구원에서 진행 중인 차세대고속철도개발 사업의 연구결과 일부를 활용하여 수행된 것으로서 관계자들께 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] A. Marissal, B. Marguet, P. Drazetic, and Y. Ravalrd, “Comportement au Choc de Vehicules Guides“, Revue Technique GecAlsthom, No. 9, pp.55~62, 1992
- [2] L. T. Kisielewicz and K. Ando, “Crashworthy rolling stocks”, PUCA '93,pp.73~81, 1993
- [3] G. Y. Kim, H. J. Cho, J. S. Koo, T. S. Kwon, “A Derivation of the Standard Design Guideline for Crashworthiness of High Speed Train with Power Cars”, Transactions of KSAE, 16, 6, 157-167, 2008
- [4] S. R. Kim, T. S. Kwon & J. S. Koo, "Crashworthiness Evaluation of the Korean High Speed Train Using a Virtual Testing Model", International Journal of Modern Physics B, Vol. 22, pp.1383-1390, 2008