

열차 탈선 후 일탈방지벽과의 충돌해석

Collision Analysis for Containment Wall after Train Derailment

배현웅*, 고용석**, 김동성***, 박병주****, 임남형†

Hyun-Ung Bae*, Young-Suk Go**, Dong-Sung Kim***, Byung-Ju Park****, Nam-Hyoung Lim†

Abstract The loss of lives by train accidents has frequently occurred. Train accidents with loss of lives are usually caused by derailments or collisions. These derailment/collision accidents are infrequent. However, if they occur, the damages are too great. Therefore, the protection facilities are installed to minimize such damages. In principle, the most ideal preparation is to prevent the derailments from occurring. However, it is also necessary to consider the physical means needed to reduce/minimize damages by unexpected accidents such as man made hazards or natural disasters. It is a concept of protection for the derailed trains. In this paper, we conduct collision analysis for containment wall to retain a derailed train within an intended area and analyze derailment-collision behavior.

Keywords : Train derailment, Derailment protection, Containment wall, Collision analysis

초 록 최근 열차사고로 인한 인명피해가 종종 발생되어오고 있다. 인명피해로 이어지는 열차사고는 대부분 탈선 또는 충돌에 의한 사고이며, 이러한 탈선/충돌사고는 발생빈도는 낮으나 발생되면 그 피해정도가 상당히 크므로 이에 대한 피해를 최소화하기 위한 대비로 방호시설을 설치하게 된다. 원천적으로 탈선이 발생되지 않도록 예방하는 것이 가장 이상적인 대비이나, 인적·자연적 재해 등 예기치 못한 사고에 대비하여 그 피해를 경감/최소화하기 위한 물리적 수단을 강구할 필요성이 있으며 이를 탈선열차에 대한 방호 개념으로 볼 수 있다. 본 논문에서는 열차의 탈선발생 이후에 탈선된 열차를 의도된 구역(궤도) 내로 구속시키기 위해 설치된 일탈방지벽과의 충돌거동을 파악하기 위해 충돌해석을 수행하고 그 거동을 분석하였다.

주요어 : 열차탈선, 탈선방호, 일탈방지벽, 충돌해석

1. 서 론

탈선사고는 그 발생빈도는 낮으나 피해 정도가 상당히 큰 재난사고이다. 그러나 최근 들어 전 세계적으로 선진철도기술 보유국인 유럽, 미국, 일본, 중국 그리고 국내에서 열차 탈선에 의한 사고가 종종 발생되었다. 사회적 요구 및 속도 경쟁에 따른 고속화에 의해 세계

† 교신저자: 충남대학교 공과대학 토목공학과(nhr imim@cnu.ac.kr)

* 충남대학교 공과대학 토목공학과

** 국토교통부 철도국 철도건설과

*** (주)로드키네마틱스 연구개발부

**** 한국철도시설공단 시설본부 시설계획처

각국의 철도운영기관에서는 안전성 향상을 위한 노력에 만전을 기하고 있음에도 불구하고, 열차 탈선에 의한 인근 구조물과의 충돌, 인근 선로 또는 타 교통시스템으로의 침범 등의 사고가 이어지고 있다. 인명피해로 이어지는 열차사고는 대부분 탈선 또는 충돌에 의한 사고이며, 이에 대한 피해를 최소화하기 위한 대비로 방호시설을 설치하게 된다. 원천적으로 탈선이 발생되지 않도록 예방하는 것이 가장 이상적인 대비이나, 인적, 자연적 재해 등 예기치 못한 사고에 대비하여 그 피해를 경감/최소화하기 위한 물리적 수단을 강구할 필요성이 있으며 이를 탈선열차에 대한 방호 개념으로 볼 수 있다[1-4].

본 논문에서는 열차의 탈선발생 이후에 탈선된 열차를 의도된 구역(궤도) 내로 구속시키기 위해 설치된 일탈방지벽과의 충돌거동을 파악하기 위해 충돌해석을 수행하고 그 거동을 분석하였다.

2. 열차 모델링

3차원 열차 및 궤도의 해석모델링을 위해 동적 거동 해석(Explicit)을 위한 비선형 유한요소해석 프로그램 LS-DYNA를 사용하였다. 열차는 KTX(Korea Train eXpress)를 기준으로 하였다. 차륜과 대차(Wheel-Bogie frame)의 연결시스템인 1차 현가장치(Primary suspension system) 및 대차와 차체(Bogie frame-Car body)의 연결시스템인 2차 현가장치(Secondary suspension system)를 6자유도 Spring과 Damper 요소로 모사하였다(Fig. 1). 차량과 차량(Car body-Car body)의 연결시스템 또한 Spring과 Damper 요소로 모사할 수 있으나 본 논문에서는 동력차 1량만 고려하였다[3,4].

차륜과 차축박스는 실제 형상을 준용하여 Shell 요소로 모델링하였으며, 차축과 대차는 원형 봉 단면으로 가정하여 Beam 요소로 모델링하였다. 열차 차체는 실제 형상을 최대한 준용하여 Shell 요소로 모델링하였으며, 차체 프레임은 종방향, 횡방향, 대각선 3방향의 프레임을 고려하여 Beam 요소로 모델링하였다[3,4].

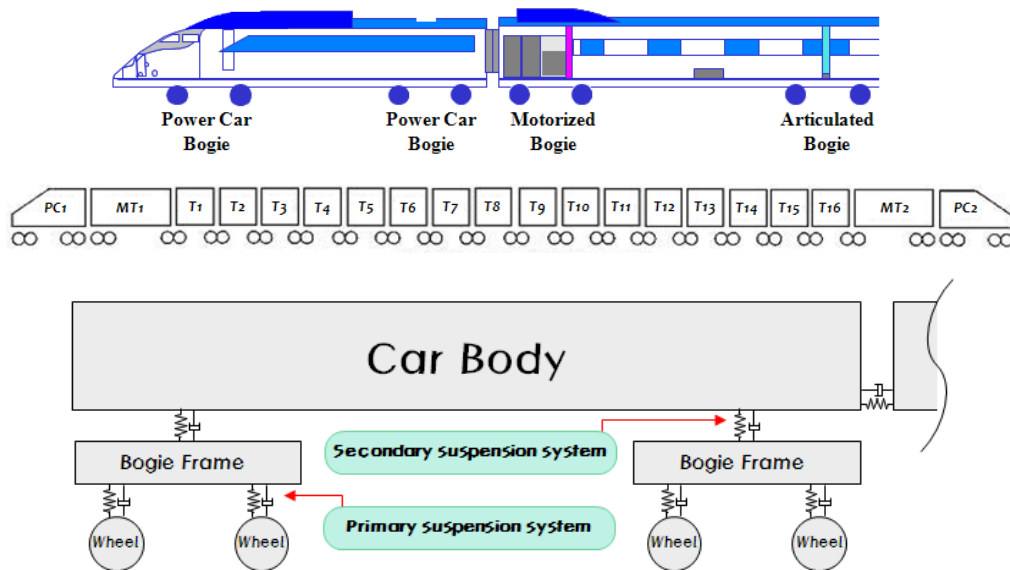


Fig. 1 Model concept of KTX

3. 탈선열차와 일탈방지벽의 충돌거동 분석

국내 탈선방호벽을 참고로 하여, 이미 탈선된 열차가 특정한 입사(충돌)각도와 속도를 가지고 벽체와 충돌할 때의 특성을 분석하였다. 탈선된 열차의 방호성능을 확보해야하는 일탈방지시설(DCP, Derailment Containment Provisions)은 파괴가 발생되지 않아야 하므로 벽체를 탄성체로 고려하였으며, 벽체의 높이는 Fig. 2와 같이 차축중심에 접촉하는 조건과 차축전체에 접촉하는 조건 두 가지를 고려하였다. 또한 열차속도는 200과 300 km/h, 충돌각도는 탈선 후 열차와 벽체와의 각도 1~5° 를 고려하였다.

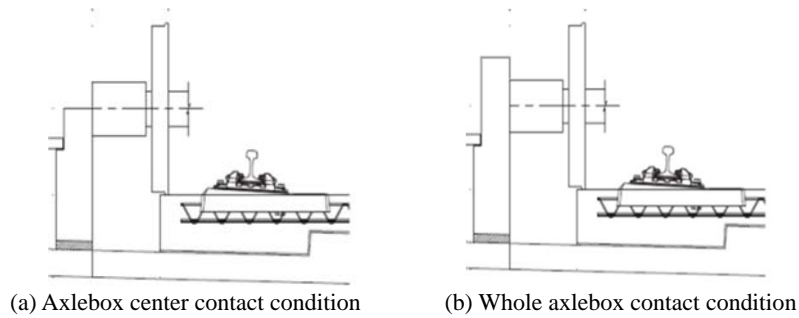


Fig. 2 Contact conditions between axlebox and wall

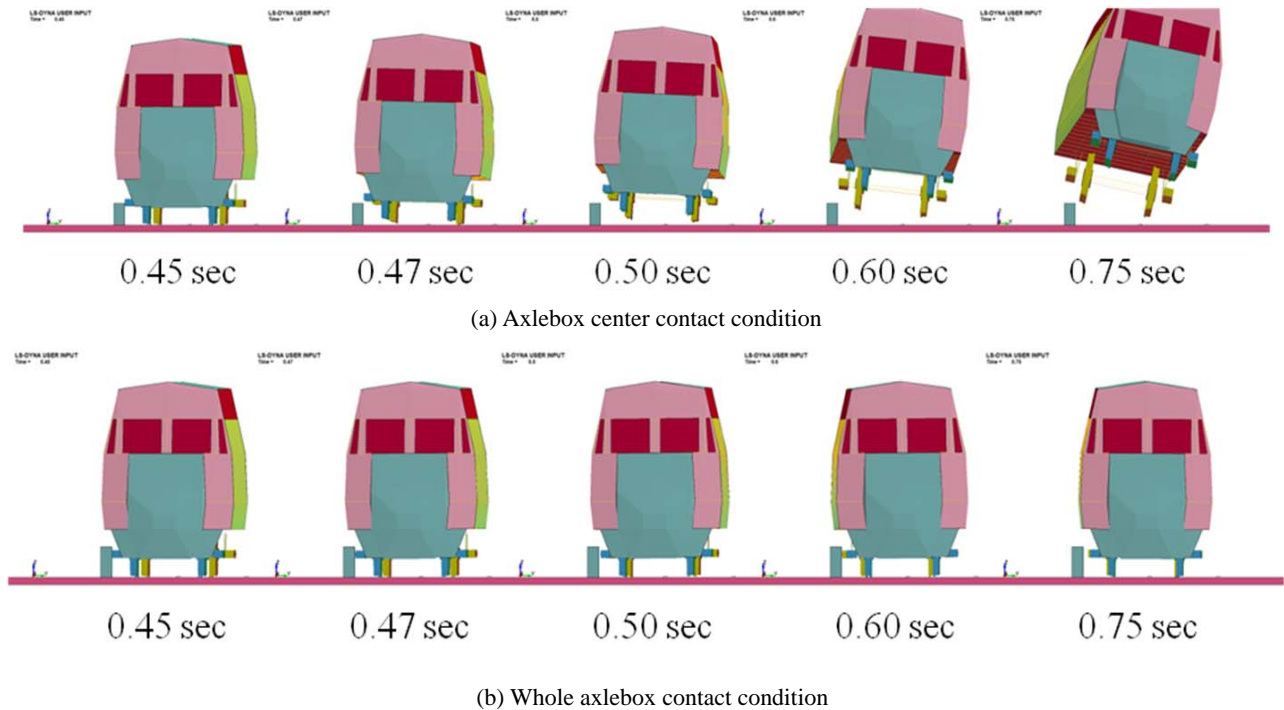


Fig. 3 Collision simulation for contact conditions (Impact angle 1°)

Fig. 3은 열차속도 300 km/h, 충돌각도 1° 에 대한 충돌 시뮬레이션 결과로, 차축과 벽체의 접촉조건에 따라 동일시간에 대한 열차의 충돌거동이 상이함을 알 수 있다. 차축중심 접촉

조건은 충돌 후 **Jumping** 현상이 발생되며, 차축전체 접촉 조건의 경우가 일탈방지효과 면에서 유리함을 볼 수 있다. 또한 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 차축중심 접촉 및 차축전체 접촉 조건에서 모두 열차속도가 증가함에 따라 충돌하중이 증가하며, 그 증가량은 충돌각도가 클수록 크게 나타난다. 그러나 본 시뮬레이션은 레일 상에서의 탈선거동을 고려하지 않고, 이미 탈선된 열차가 예상되는 입사각도와 속도를 가지고 충돌하는 경우를 고려하였기 때문에 주어진 각도 및 속도 변수에 따른 충돌거동에 일관성을 가지며, 차축접촉조건에 따라서는 충돌 후 거동에 차이가 있을 뿐 충돌하중의 크기는 거의 유사하다.

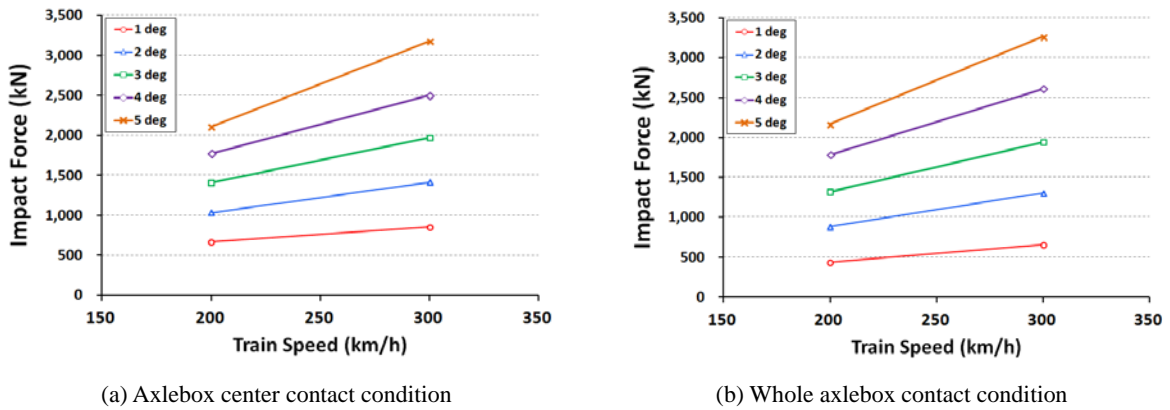


Fig. 4 Impact force w.r.t train speed

4. 결론

본 논문에서는 열차의 탈선이 발생된 이후 일탈방지벽에 의한 방호성능을 평가하기 위한 해석모델을 이용하여 탈선열차와 벽체와의 충돌거동을 분석하였다. 열차속도 및 충돌각도가 증가함에 따라 충돌하중의 크기는 증가되나, 이는 레일을 고려하지 않은 경우로써 이미 탈선한 열차로 가정하여 예상되는 입사각도와 속도를 변수로 해석하기 때문에 탈선 후 거동이 일관된다. 추후 본 해석모델을 통해 열차의 실제 탈선거동을 최대한 모사하기 위해서는 레일 상에서의 탈선거동 모사에 따른 차륜 낙하에 의한 충돌거동의 상이함에 대해 분석할 필요가 있으며, 열차의 편성을 고려하여 후속열차의 영향도 분석할 필요가 있다. 또한 지속적인 연구를 통해 탈선열차와 시설물과의 충돌 시뮬레이션 기법을 이용하여 다양한 시설조건(교량, 토공, 인접교통 등)에 대한 탈선 안전성 및 방호성능 평가에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통연구기획사업의 연구비지원(15RDPP-C102410-01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] H.U. Bae, A.R. Kim, D.S. Kim, W.I. Choi and N.H. Lim (2013) Review on the Height of Derailment Barrier on the Railway Bridge, *Proceedings of the Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, Daegu, Korea, KSR2013A168 (in Korean).
- [2] H.U. Bae, B.J. Park, H.S. Back and N.H. Lim (2014) Consideration on the Concept of DCP by Foreign Case Study, *Proceedings of the Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, Jeju, Korea, KSR2014A382 (in Korean).
- [3] H.U. Bae, D.S. Kim, B.J. Park, Y.H. Lee and N.H. Lim (2015) FE Analysis Model for Simulation of Collision Behavior of Derailed Train, *Proceedings of the Spring Conference of the Korean Society for Railway*, Mokpo, Korea, KSR2015S244 (in Korean).
- [4] H.U. Bae (2015) Advanced Design Concept of Derailment Containment Provisions using Collision Simulation after Train Derailment, A dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, Department of Civil Engineering, Graduate School, Chungnam National University, South Korea.