KHST와 각이 있는 트럭간의 충돌 후 틀림현상에 대한 해석
The Analysis of Zigzagging Phenomenon after Collision between KHST and Oblique Truck

김승록*　정현승**　박준서***　구정서****　권태수*****
Kim, Seung Rok　Jung, Hyun Seung　Park, Jun Soe　Koo, Jung Soe　Kwon, Tae Soo

---

ABSTRACT

The purpose of this paper is to simulate the collision between a KHST 3D model and an oblique truck and to investigate zigzagging phenomenon. The used train model is the deformable KHST 3D model, its velocity is 110kph, and the angle of the truck is 30 degree. In order to check lateral forces between wheels and rails, the KEYWORDs that LS_DYNA provides, *RAIL_TRACK and *RAIL_TRAIN are used.

---

1. 서론

한국에서는 90년도 중반이후로, National Support Research에서 1차원과 3차원 충돌 안정성 시뮬레이션에 대한 조사를 시작했다. 그리고 이러한 해석결과들은 Korean High-Speed Train(KHST)의 개발에 적용되었다.[1, 2] 이러한 연구들을 위해 가장 일반적인 사고패턴들이 조사되었으며, 이를 KHST의 안전도설계를 위해 적용하였다.[3] 일반적으로 전체차량의 충돌에 대한 동역학적 분석을 위해 2단계접근방법을 이용하였는데, 첫 번째가 다물체를 이용하여 전체차량의 충돌거동해석을 하는 것이고, 두 뻰째는 3차원 유한요소 모델을 이용한 구간해석 기법을 축차적으로 적용하는 설계기법을 이용하는 것이었다.[4] KHST 전체차량의 충돌동역학해석을 위해 1차원 충돌동역학 유한요소모델이 개발되기도 했다.[5] 또한, 전체차량의 zigzagging phenomenon과 lateral buckling을 구현하기 위하여, 유한요소대신 다물체동역학을 이용한 3차원 시뮬레이션을 수행하기도 하였다.[6]

본 논문에서는 다물체동역학을 이용한 3차원 충돌시뮬레이션대신 유한요소법을 이용한 3차원 충돌 시뮬레이션의 동특성을 분석하였다. 해석을 위한 시나리오는 110kph로 진행중인 고속전철과 30도 각을 이루고 정차되어있는 트럭간의 충돌상황을 적용하였다.

2. 충돌해석 모델

KHST의 차량편성은 20량으로 이루어진다. 본 논문에서는 기본적으로 3차원 요한요소모델을 이용하

---

* 김승록, 정회원, 과학기술연합대학원대학교, 가상공학
E-mail : srkim@krri.re.kr
TEL : (031)460-5270 FAX : (031)460-5289
** 한국철도기술연구원
*** 한국철도기술연구원
**** 서울산업대학교
***** 한국철도기술연구원

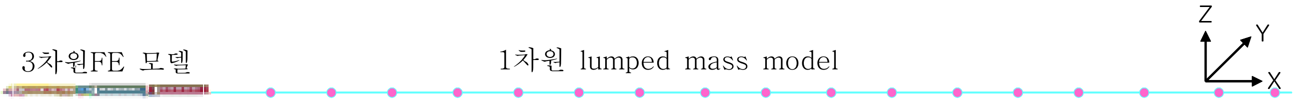

그림 1 KHST 전체차량 FEA 모델

그림 2 KHST 3차원 FEA 모델

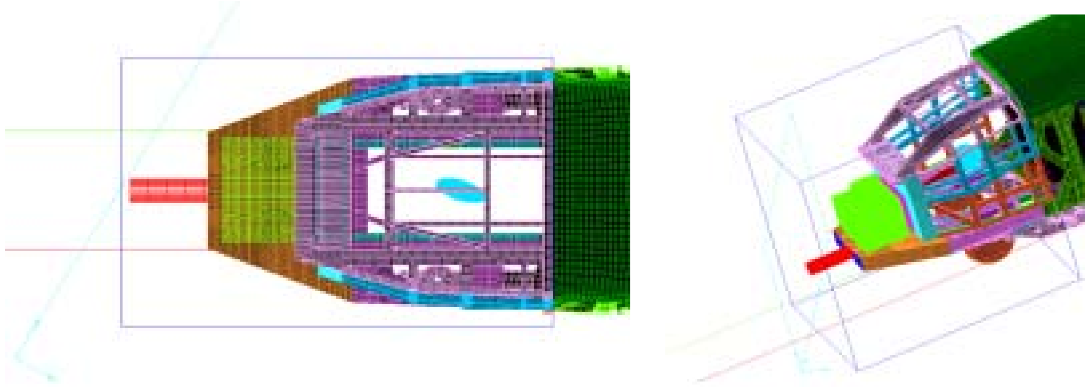

그림 3 KHST 전두부와 30도 각을 이룬 동적 강체벽(충돌모델)

며, 해석 S/W는 충돌해석프로그램인 LIVERMORE사의 LS-DYNA ver.970[7] 이다. 전체차량을 구성하는 차체, 대차, 현가요소, 연결장치 등을 20량에 대하여 모두 모델하는 것은 자유도를 매우 크게 하여 해석시간을 증가시킨다.[3] 또한 충돌 거동에 큰 영향을 주는 것은 전방 차량들이므로 본 논문에서는 그림 1과 같이 선두 3차량은 대차, 현가요소, 연결장치, 차체를 모두 포함하는 3차원 유한요소모델을 이용하고, 나머지 차량은 1차원 요소를 이용하여 구성하였다. 전방 3차량에 대한 3차원 동적해석모델은 그림 2와 같다.

트럭을 모사하기 위하여 keyword *RIGIDWALL_PLANAR_FINITE_MOVING_ID를 사용하여 강체벽을 정의하였다. 그림 3은 강체벽과 차량모델을 나타내고 있다.

차륜과 레일의 contact을 정의하고, 수직압력과 횡압력을 획득하기 위하여 keyword *RAIL_TRACK과 *RAIL_TRAIN을 이용하였다. 휠은 shell elements로 모델 되었으며, rail은 1차원 beam element로 모델되었다. 그림 4는 휠과 rail의 contact model을 보여주고 있다.

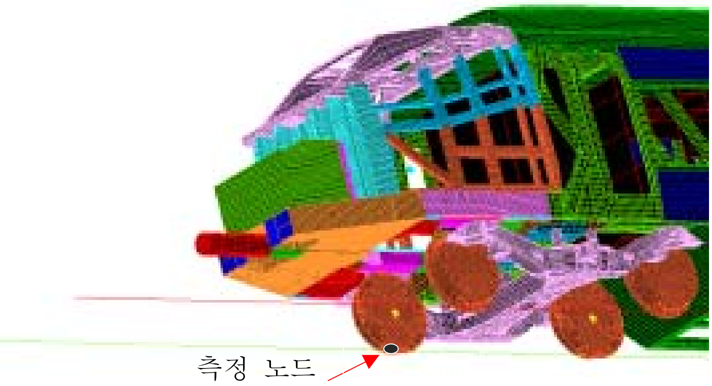

그림 4 KHST의 wheel과 rail 모델

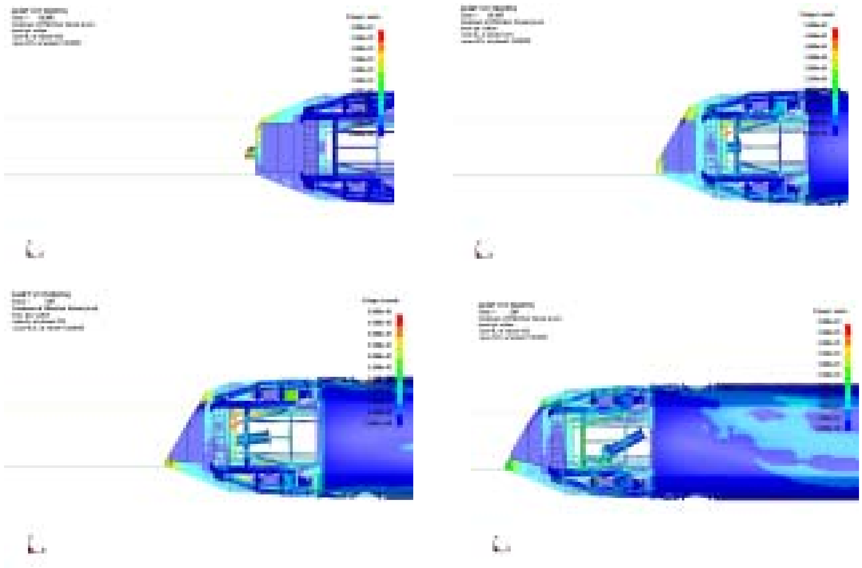

그림 5 KHST의 충돌 후 거동

3. 해석

본 논문의 주목적인 전체차량의 거동과 틀림현상을 예측하기 위하여, 전절에 정의된 contact model을 이용하였다. 또한, 3차원 유한요소모델로서 해석을 수행하였다.

충돌사고 시나리오는 30도 각을 가지고 정차되어있는 트럭과 110km/h로 주행 중인 KHST가 충돌하는 것이다. 강체의 질량은 15ton이며, *RIGIDWALL_PLANAR_FINITE_MOVING_ID로 정의하여 충돌 후 움직일 수 있도록 하였다.

그림 5는 충돌 후 KHST의 거동을 나타내고 있으며, 틀림현상의 가능성을 예측하기 위하여 수직압력과 횡압력, 탈선계수를 확인해 보았다. 150msec에서 수직압력은 1.456986E+04[kN]이고, 횡압력은 2.191251E+03[kN]인 것으로 나왔으며, 이로부터 탈선계수는 0.15인 것으로 나타났다. 경부고속철도 차량요구조건[8]에 의하면, 좌우방향(횡압) ±60[kN], 상향방향(윤중) 170[kN]이하, 탈선계수를 평균 0.8이하, 최대 peak 1.2이하로 제한하고 있다.[9] 해석결과 횡압과 윤중이 규제치에서 크게 벗어나는 것을 확인할 수 있다. 측정된 노드는 그림 4에 표시하였다. 그림 6, 7은 충돌 후 흡수에너지와 압괴하중을 보여주고 있으며, 흡수에너지는 트럭과의 정면충돌시 5.5[MJ][2]보다 적은 3.79[MJ]로, 측면충돌로 인해 에너지 흡수능력이 감소된 것으로 보인다. 그림 7에서, 최대압괴하중은 4,598.2[kN]으로, 정면충돌시의 4,473[kN][2]과 거의 흡사한 것으로 나타났다. 이로부터 충격력은 동일하나 에너지 흡수량이 적으므로, 차량의 횡방향 동적거동이 더 많이 일어날 것으로 예측된다.

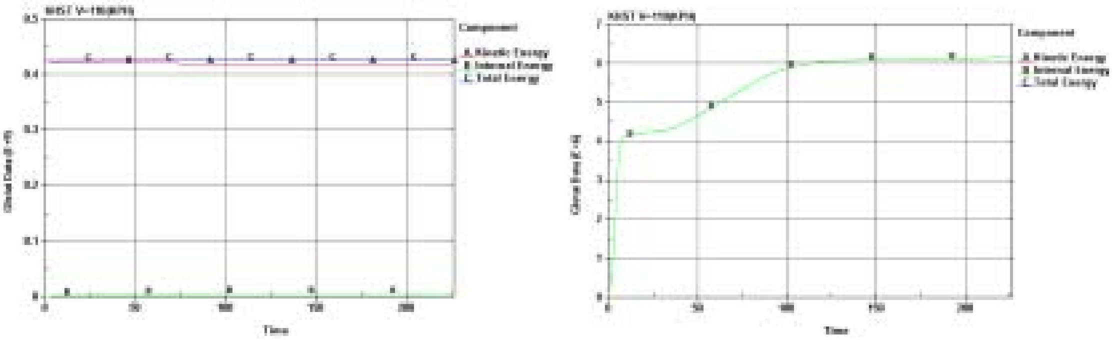

그림 6 KHST의 충돌 후 에너지 곡선

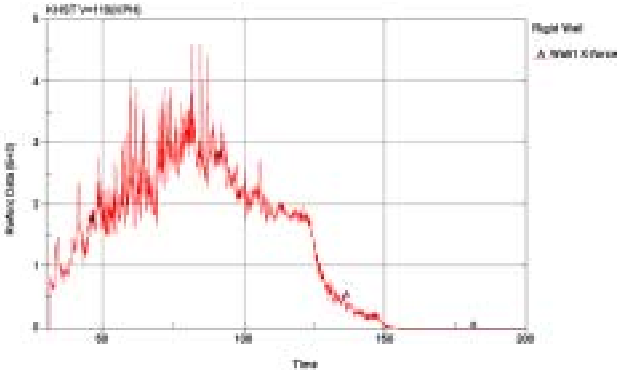

그림 7 KHST의 충돌 후 압괴하중 곡선

4. 결론

이상과 같이 3차원 유한요소모델을 이용한 전체차량의 충돌거동해석을 수행하였다. 연구결과 3차원 유한요소모델을 이용하여 전체차량의 거동 및 틀림현상을 예측할 수 있을 것으로 평가된다. 그러나 윤중, 횡압과 탈선계수의 신뢰성을 높이기 위한 연구가 더 이루어져야 할 것으로 보인다.

후기

본 연구는 철도안전기술개발사업의 일환으로 수행된 것임을 밝힙니다.

참고문헌

1. Koo, J.S., Kim, D.S., Cho, H.J., Kwon, T.S. and Choi, S.K., " Analysis on the Crashworthiness of the Full Rake Korean Electric Multiple Unit Train", Proceedings of Korean Society for Railway, pp. 27-33, 2000.
2. Koo.J.S, Kim, D.S., Cho, H.J., Youn, Y.H and Kim, D.S., "An Evaluation of Crashworthiness for the Full Rake KHST Using 1D Model", Proceedings of Korean Society for Railway, pp.217-222, 2001.
3. J.S. KOO, Y.H. YOUN, " CRASHWORTHY DESIGN AND EVALUATION ON THE FRONT-END STRUCTURE OF KOREAN HIGH SPEED TRAIN", International Journal of Automotive Technology, Vol. 5, No. 3, pp. 173-180, 2004.

4. L.T.Kisielewicz and K.Ando, Crashworthy rolling stocks, PUCA'93, pp.73-81, 1993.
5. 구정서, 조현직, 김동성, 윤영한, “1차원 모델을 이용한 한국형 고속전철의 충돌안전도 평가”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.217-222, 2001.
6. Hyung.Suk. HAN, Jeong.Seo. KOO, "Simulation of Train Crashes in Three Dimensions", Vehicle System Dynamics, Vol. 40, No. 6, pp.435-450, 2003.
7. LIVERMORE SOFTWARE(2003), "LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL, VERSION 970".
8. 한국고속철도건설공단, 1994, 경부고속철도 계약서, Vol1.
9. 박찬경, 김영국, 배대성, 박태원, “경부고속철도 시험구간에서 G7고속전철 차량의 동특성 검토,” 한국철도학회논문집, p4원, 제4호, 2001