

한국형틸팅열차의 효과적인 동적 거동 측정 방안 도출

*김영모¹, 윤지원², 김석원¹, 박찬경¹, 김기환¹, 박태원², 이수호²

¹ 한국철도기술연구원, ² 아주대학교 기계공학부

A Study of the Effective Estimating Method for Dynamic Behavior of the Tilting Train eXpress(TTX)

*Y. M. Kim¹, J. W. Youn², S.W.Kim¹, C.K.Park¹, K.H. Kim¹, T.W. Park², S.H. Lee²

¹ High-Speed Rail Division. Eng., Korea Railroad Research Institute, ² Div. of Mech. Eng. Ajou Univ.

Key words: Tilting Train Express (TTX, 한국형틸팅열차), Tilting Mechanism, Main interested points(관심지점), UIC518(국제규정)

1. 서론

틸팅열차는 곡선부 주행구간에서 차체를 경사시켜 주행 시 발생하는 원심력과 구심력을 상쇠 시키고 승객이 느끼는 횡가속도를 저감시킴으로써 곡선부의 주행속도를 향상시키는 원리이며 이러한 틸팅열차의 개발을 위해선 동특성 모델링을 통한 곡선부에서의 동적 거동 특성 해석 및 안전성을 평가할 수 있는 연구가 요구된다. 특히 곡선부에서의 차량의 동적 특성은 직선부에서의 주행할 때와는 다른 특성을 나타냄으로 승차감 측면과 탈선 안전도 및 차량과 시설물간의 동적 응답특성에 대한 연구가 수행되어야 한다.

2. 한국형틸팅열차(TTX)의 모델링

모델링에 있어서 중점적으로 고려되었던 사항은 차륜과 궤도의 접촉모델과 차체 및 판토타그래프의 틸팅 메커니즘구현을 위한 모델링이다. 차량 구성체는 판토타그래프, 차체, 틸팅 대차, 대차 프레임, 저널박스, 윤축 등으로 이루어져 있으며, 각 구성체들은 링크, 현가장치, 감쇠장치 등으로 연결되어 있다. 토크는 115km/h(31.94 m/s)일 때 견인력을 1536.15 Nm 로 일정하게 주었다. 모든 시뮬레이션은 해석 모델의 안정화에 필요한 주행거리를 고려하여 750m 를 주행한 이후에 곡선으로 진입하도록 하였으며, 이때에 고장이 발생하도록 해석을 수행하였다. 곡선부 통과 시 액츄에이터 제어는 강제제어방식을 채택하였고 속도에 따른 액츄에이터 변위를 구하기 위해서 본곡선 진입 시에 틸팅 각도를 최대 8° 가 되도록 하였다. 본 연구에서는 400R 의 곡률 선도, 켄트 선도, 곡선 선로 궤적을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

3. 한국형틸팅열차의 모델링 평가방안제시

효과적인 평가 방안을 찾기 위해서 현재 시운전 시험을 통하여 신뢰성을 검증하고 있는 한국형고속열차(HSR350x)의 경우를 살펴보면 성능 시험을 위하여 차체, 대차, 차축에 가속도 센서를 설치하여 실시간 모니터링과 함께 차후 데이터들 분석 할 수 있는 시스템을 갖추고 있다.



Figure 1 Axel box and Accelerometer mounted on bogie frame

Figure 1 은 현재 한국형고속열차의 차축과 대차에 부착된 가속도 센서의 모습을 보여준다. 한국형틸팅열차(TTX)의 동역학 모델링에서도 차량의 여러 가지 동특성을 가속도 값을 통하여 살펴볼 수 있도록 시뮬레이션 하였으며 각각의 계측지점에서 가속도 값을 평가하여 최적의 지점을 선정하는데 목적을 갖는다. Figure 2 는 틸팅열차의 Mcp 차체에 위치한 가속도의 여러 관심지점을 보여주고 있으며 이 지점들은 대차 프레임의 상부와 차체의 중심에 위치하고 있다.

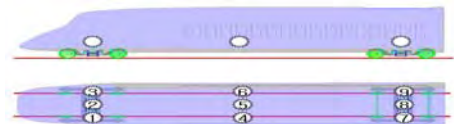


Figure 2 Main interested points of Mcp Car-body

곡률반경 400R 의 제동 시나리오에서 모터 고장이 일어날 때 관심지점의 수직가속도와 횡가속도를 관찰하였고 Figure 3 은 Figure 2 에서의 4, 5, 6 번의 횡 가속도를, Figure 4 는 2, 5, 8 번의 수직가속도를 관찰한 그래프이다. 여기서 원형으로 표시된 위치에 계측지점을 설정하여 가속도를 살펴 보게 하였다. 아래의 그림에서 볼 수 있듯이 4, 5, 6 번의 횡 가속도는 큰 차이 없이 거의 동일한 값을 보여주며, 2, 5, 8 번의 경우 2 번 위치의 수직가속도 값이 5, 8 번의 경우보다 더 큰 값을 보여 주고 5, 8 번과의 차이는 크지 않다.

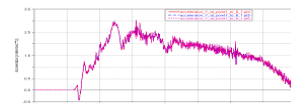


Figure 3 Lateral acceleration (No.4,5,6)

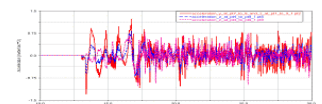


Figure 4 Vertical acceleration (No.2,5,8)

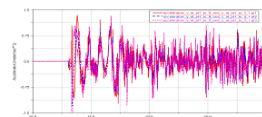


Figure 5 Vertical acceleration (No.1,2,3)

Figure 5 는 관심지점 중 1, 2, 3 번의 수직가속도의 값을 보여주며 그림에서 볼 수 있듯이 거의 동일한 값을 갖는다. 위의 결과를 종합해보면 차체는 롤링 보다는 피칭운동이 더 큰 영향을 받는 것으로 보이고 이곳에 계측지점의 위치를 선정한다면 차체의 중앙에 위치한 5 번과 피칭운동을 잘 나타내 줄 수 있는 2 번이 적합할 것이다. 더불어 작지

만 롤링에 의한 영향을 고려한다면 4, 6 번에 가속도계를 추가하는 것이 바람직하다. Figure 6 은 대차 프레임의 가속도 주요 계측지점을 보여주고 있다. 앞선 차체의 경우와 마찬가지로 불규칙도가 부여된 견인 시나리오의 결과를 이용하여 고장이 일어난 대차(Mcp2 번 대차)에서 관심지점의 수직가속도를 검토하였다.

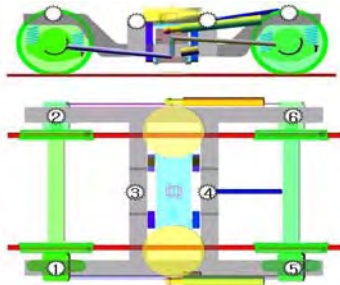


Figure 6 Main interested points of Bogie Frame

Figure 7 은 Figure 6 에서 횡 방향으로 나란히 위치한 1, 2 번 지점의 수직 가속도 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 거의 같은 유형의 가속도가 나옴을 알 수 있다. Figure 8 은 대차 프레임 중심에 위치한 4 번과 1 번을 함께 비교한 그래프로서 1 번이 큰 차이는 아니나 좀 더 큰 값을 보여준다. 이는 레일과 차륜 사이의 마찰진동에 직접적인 영향을 받아 더 큰 값을 갖는다고 여겨진다.

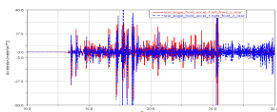


Figure 7 Vertical acceleration (No.1,2)

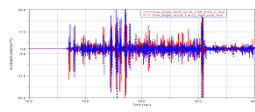


Figure 8 Vertical acceleration (No.1,4)

위와 같은 위치에서 같은 조건으로 횡 가속도를 측정하였다. Figure 9 는 1, 2 번 위치에서의 횡 가속도를 보여 주며 두 값 중 1 번이 예상과 다르게 조금 더 큰 값을 보여줌을 알 수 있다. 유사하게 견인 모델에서와 마찬가지로 Figure 10 에서 볼 수 있듯이 1 번 지점에서 4 번 지점보다 좀 더 큰 값을 보여주고 있다.

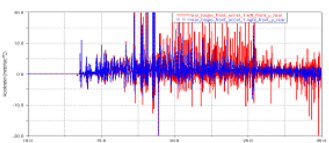


Figure 9 Lateral acceleration (No.1,2)

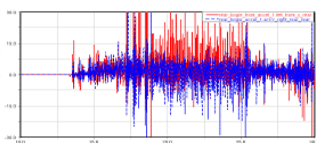


Figure 10 Lateral acceleration (No.1,4)

위의 결과들을 종합해 볼 때 틸팅열차의 대차 프레임에 가속도계를 장착 할 경우 가운데 지점인 3, 4 번을 피하여 1,2 번 지점 중에 하나를 선택해서 설치하기 용이한 지점에 설치하는 것이 바람직하다.

Figure 11 은 저널박스의 관심지점과 계측지점을 지정한 위치들을 보여 준다. 관심지점은 저널박스의 가속도와 또한 견인 및 제동에 따른 저널박스의 피치의 영향을 살펴 볼 수 있도록 선정되어 시뮬레이션 되었다.

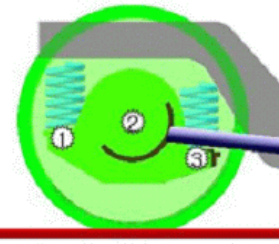


Figure 11 Main interested points of Journal Box

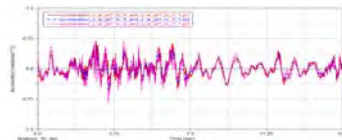


Figure 12 Vertical acceleration (No.1,2,3)

Figure 12 는 1, 2, 3 번의 수직 가속도가 거의 차이가 나지 않고 유사한 형태의 가속도 값이 나옴을 보여준다. 수직 방향에 대한 가속도계는 어느 점에 설치해도 측정값에 큰 차이가 없으므로 가속도계를 부착하기 용이한 지점에 설치하는 것이 바람직하다.

앞에서 소개한 Figure 1 의 한국형고속열차의 저널박스를 참조해 보면 2 번의 위치가 가속도계를 부착하기 용이하고 거기에 따른 계측선의 정리가 가장 용이해 보이므로 관심지점 2 번 위치에 가속도계를 설치하는 것이 바람직하다.

4. 결론

본 연구에서 한국형틸팅열차(TTX)의 거동에 대한 효율적인 평가방안 도출 및 시스템의 거동 분석을 위해 차량 및 대차의 동적 모델링을 실제 불규칙 도를 적용한 레도를 적용하여 시뮬레이션 하였으며 ADAMS rail 을 이용해 구현된 모델이 동역학적 계산에 적합함을 보였다. 또한 시뮬레이션에 대한 결과를 통해 TTX 의 동역학적 거동 특성을 평가할 수 있는 최적의 계측지점을 선정하였다.

현재 모든 차량의 동적 거동 실험과 평가는 철도차량의 동적 거동 특성 측정 방법 및 평가 방법에 관한 국제 규정(UIC518)에 따라 계측지점을 설정하고 평가한다. 시제 한국형틸팅열차의 완성 후 시운전 시험 시에도 국제 규정(UIC518)을 따를 것이다. 앞서 나온 결과는 규정과 다른 여러 계측 지점을 선정하여 자체적으로 평가한 것으로써 가장 효율적인 평가 위치가 어디인가를 보여준다. 차후 시제 한국형틸팅열차의 완성 후 시운전 시험에 임할 때 위의 위치에 가속도계를 설치하여 본 연구 결과와 비교 분석 할 것이다.

본 연구 결과를 통해 현재 시제 차로서 개발 조립중인 한국형틸팅열차의 추후 동특성 해석 실험 평가에 많은 기여할 것이라 예상된다.

후 기

본 연구는 “ 열차성능시험 및 평가기술개발 ” 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사 드립니다.