

틸팅열차의 주행안전성과 고저틀림의 상관성 분석

Characteristics of the Running behavior and Safety for Tilting train due to Vertical Alignment

최일윤[†] 엄주환* 임윤식**
Il-Yoon Choi · Ju-Hwan Um · Yun-Sik Lim

ABSTRACT

Vehicle dynamic behavior should be investigated to establish the track irregularity criteria because they have an impact on vehicle dynamic behavior. The tilting train which have been developed in Korea will be operated on the conventional line. Therefore, it should be checked that the track irregularity criteria of conventional line is still available for the new vehicle. In this paper, the influence of vertical alignment on running behavior and safety for tilting train was instigated by numerical analysis. The wavelength and amplitude of vertical alignment were considered in scenario of this numerical analysis. This research is based on just numerical analysis and the final result which include measurement will be published in the future.

1. 서 론

궤도틀림은 차량의 주행안전성 및 승차감에 영향을 미치는 주요 영향인자이며, 궤도틀림 허용기준치는 궤도유지보수 비용 즉 경제성과 매우 밀접한 관계가 있다. 최근 개발된 틸팅차량은 일반철도 노선의 상업운행에 투입될 예정이며, 일반철도의 궤도틀림 허용기준이 틸팅열차 주행안전성과 승차감에 적합한지 여부를 검토가 필요하다. 본 논문에서는 고저틀림, 방향틀림, 비틀림, 수평, 궤간 등 궤도틀림 중에서 고저틀림이 틸팅열차의 주행안전성에 미치는 영향을 수치해석을 통하여 조사하였다. 수치해석에서는 고저틀림의 파장 및 진폭을 다양하게 변화시켜 그 영향을 검토하였다. 본 연구는 수치해석 결과만을 바탕으로 하였으며, 현장측측 결과를 반영한 최종 연구성과는 추후에 발표할 예정이다.

2. 수치해석방법 및 해석시나리오

수치해석은 VAMPIRE 프로그램을 이용하였으며, 틸팅차량 1량 편성의 180km/h 주행에 대하여 수치해석을 수행하였다. 전체 해석구간은 500m로 하였으며, 100m지점부터 방향틀림, 고저틀림, 수평, 궤간 및 곡률을 평균이 zero이고 표준편차가 0.02인 백색잡음을 추가하였다. 200m지점부터 고저틀림의 모델링은 반파장의 궤도틀림을 갖는 것으로 하였으며, 궤도틀림의 진폭 및 파장의 크기를 다음 표 1과 그림 1과 같이 모델링하였다.

† 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실, 선임연구원
E-mail : iychoi@krrri.re.kr

TEL : (031)460-5347 FAX : (031)460-5814

* 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실, 선임연구원

** 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실, 연구원

표 1 고저틀림 해석시나리오

파장(m)	궤도틀림 크기(mm)					
	7*	10*	12*	14*	16*	18*
3	7	10	12	14	16	18
5	7	10	12	14	16	18
7	7	10	12	14	16	18
10	7	10	12	14	16	18
15	7	10	12	14	16	18
20	7	10	12	14	16	18
25	10.13	14.47	17.37	20.26	23.16	26.05
30	14.00	20.00	24.00	28.00	32.00	36.00
40	19.80	28.28	33.94	39.60	45.26	50.91
50	23.82	34.03	40.83	47.64	54.44	61.25
70	32.27	46.10	55.31	64.53	73.75	82.97

주) 상기 표에서 “*”는 10m 대칭현을 갖는 검측차에서 검측되는 궤도틀림값을 의미하며, 각 column의 파장별 궤도틀림 값은 10m 대칭현 검측차로 측정하는 경우 동일한 검측값을 갖게 된다.

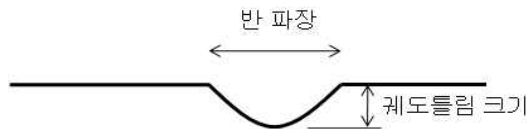


그림 1 고저틀림의 모델링 방법

해석에 고려한 파장은 3m 파장의 단파장 영역에서부터 70m 파장의 장파장 영역을 포함하였으며, 궤도틀림 크기는 10m 현정시법 검측차에서 측정되는 값을 기준으로 각 파장대역에서의 실제 궤도틀림 크기를 환산하여 Vampire 입력파일을 작성하였다. 해석시나리오를 나타낸 표 1에서 10m파장과 30m파장의 예를 그림으로 나타내면 다음과 같다. 그림 2와 3에서 범례에 표시된 값은 검측차에서 검측치를, 그래프의 Y축의 값은 실제 궤도에서 발생하는 파장별 궤도틀림값을 의미한다. 즉, 30m 파장을 갖는 반파장 궤도틀림을 10m대칭 현정시법 검측차로 검측하게 되면, 실제값의 1/2로 검측된다.

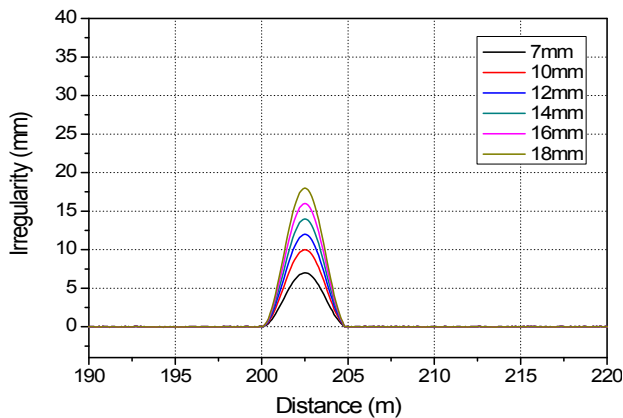


그림 2 고저틀림 모델링(10m 파장)

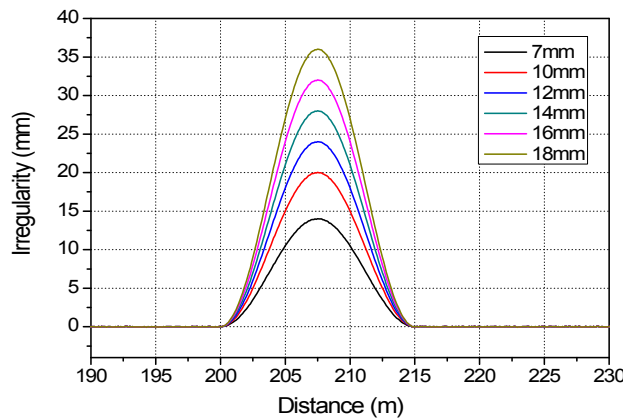
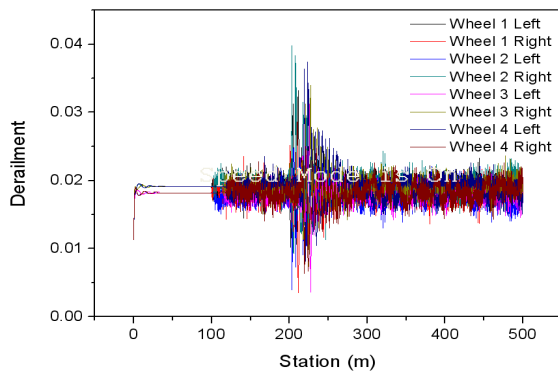


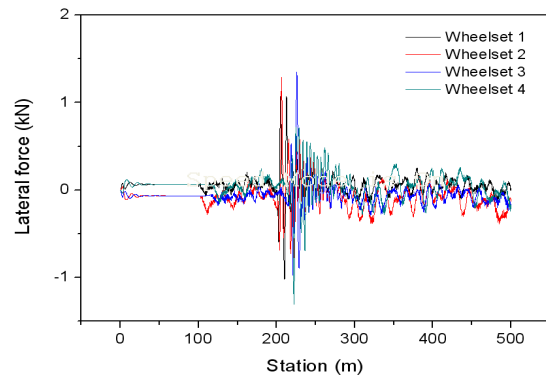
그림 3 고저틀림 모델링(30m 파장)

3. 수치해석 결과

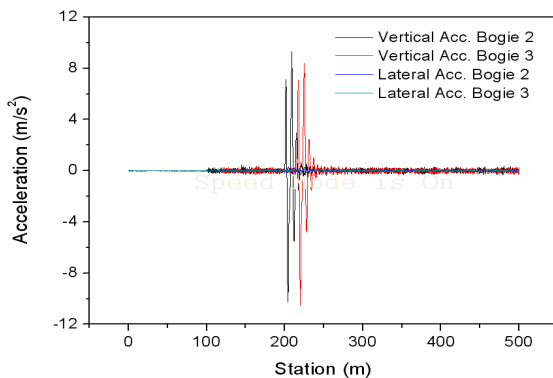
수치해석결과 중 10m과장의 16mm 고저틀림에 대한 해석결과를 시간이력그래프로 표현하였다. 백색 잡음(whitenoise)이 도입된 100m 지점부터 응답의 변화가 시작되고 있으며, 고저틀림이 도입된 200m 위치에서 차량의 응답이 급격히 증가하고 있다.



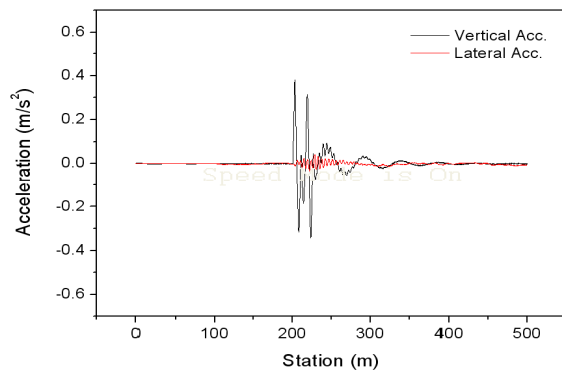
(a) 탈선계수



(b) 궤도횡압



(c) 대차가속도



(d) 차체가속도

그림 4 고저틀림에 따른 차량응답 시간이력그래프 예제

4. 수치해석 결과분석

본 절에서는 차량의 응답과 고저틀림의 파장/진폭과의 상관관계를 분석하였다. 차량의 주행안전성과 승차감과 관련하여 UIC518 기준에 Normal Method와 Simplified Method으로 허용기준치가 제시되어 있다.

우선 탈선계수를 살펴보면, UIC 518 기준에는 20Hz 이상의 Low Pass Filter와 2m 이상의 이동평균 값을 사용하도록 규정되어 있다. 본 연구결과에서는 보다 안전측의 결과를 제시하기 위하여 수치해석 결과에 대한 필터링은 수행하지 않았으며, 2m 이동평균의 값을 전체 구간에 대해 구하였다. 또한, 각 차륜에서의 이동평균치의 최대값과 최소치를 구한 후, 이들 차륜에서 최대치와 최소치를 추출하여 다음 그림에 나타내었다.

그림에서 X축은 궤도틀림의 파장, Y축은 탈선계수를 의미하며, 굵은 선으로 표시한 0.8의 값은 허용기준치를 나타낸다.

범례에 나타난 7mm ~ 18mm의 값은 현장의 궤도에 발생한 진폭이 아니라, 10m현정시법 검측차에 의하여 측정된 궤도틀림 값을 의미함에 주의할 필요가 있다.

해석결과에 의하면, 3m와 7m 파장의 단파장영역의 영향도가 비교적 크게 나타났으나, 탈선계수의 값은 허용치 0.8 보다 매우 작은 값을 나타내었다.

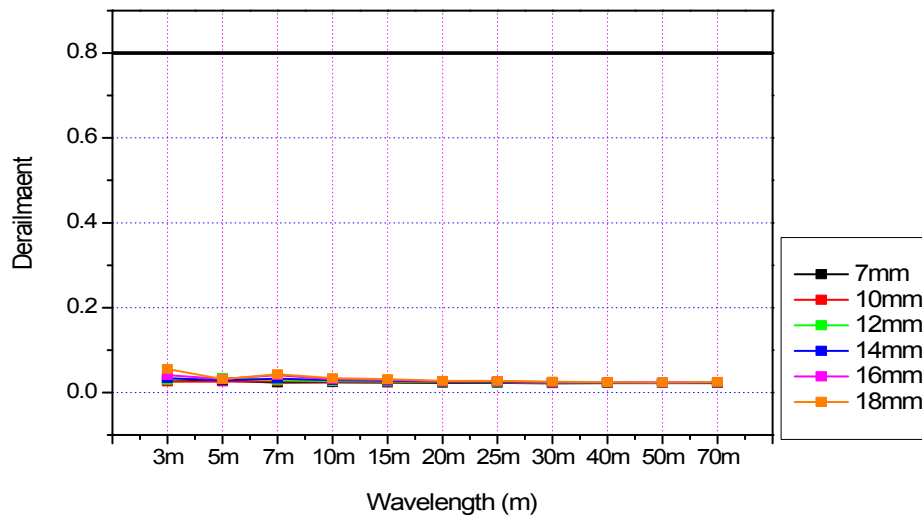


그림 5 반파장 고저틀림에 의한 탈선계수 분석 결과

궤도에 작용하는 횡압(Lateral Force 또는 Sum of Guiding forces)의 2m 이동평균 결과를 고찰하였다. 다음 그림에서 알 수 있는 바와 같이 횡압은 10m 이내의 파장대역의 고저틀림에 가장 민감하였으며, 장파장대역에서는 고저틀림이 횡압에 미치는 영향이 매우 작다. 최대 횡압은 허용치에 비하여 매우 작게 나타났다.

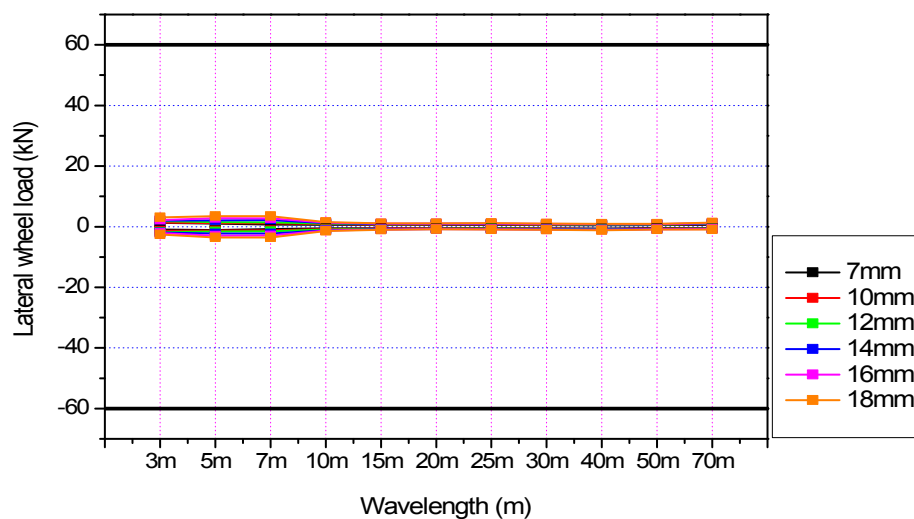


그림 6 반파장 고저틀림에 의한 궤도횡압 분석 결과

횡방향 대차가속도의 값을 다음에 정리하였다. 그림의 값은 10Hz Low Pass Filtering을 수행한 후, 각 대차의 파장별/크기별로 가속도의 최대치와 최소치를 추출하여 나타낸 그림이다. 그림으로부터 고

저틀림이 대차의 횡가속도에 미치는 영향은 미소함을 알 수 있으며, 허용기준을 만족하고 있음을 알 수 있다.

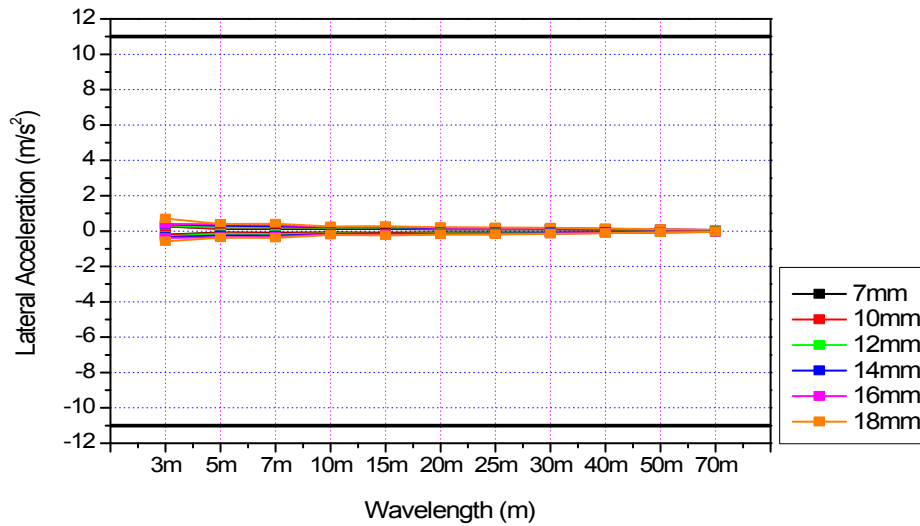


그림 7 반파장 고저틀림에 의한 대차 횡가속도 분석 결과

차체가속도는 0.4~10Hz의 Band Pass 필터링을 수행하도록 규정되어 있으나, 안전측의 결과를 도출하기 위하여 10Hz Low Pass Filtering을 적용하였다. 고저틀림이 차체 수직가속도에 미치는 영향은 타 검토항목 보다 비교적 크게 나타났으나, 검토대상의 해석시나리오 모두 안전관련 허용기준($3m/s^2$) 및 승차감($2.5m/s^2$)을 만족하였다.

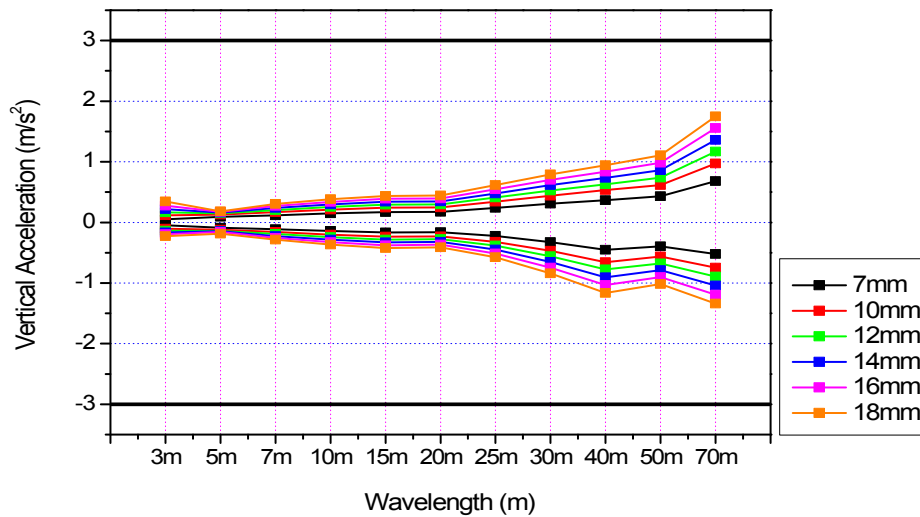


그림 8 반파장 고저틀림에 의한 차체 수직가속도 분석 결과

차체 횡가속도에 대하여 10Hz Low Pass Filtering을 수행한 결과를 적용하였다. 고저틀림이 차체 횡가속도에 미치는 영향은 미소함을 알 수 있다.

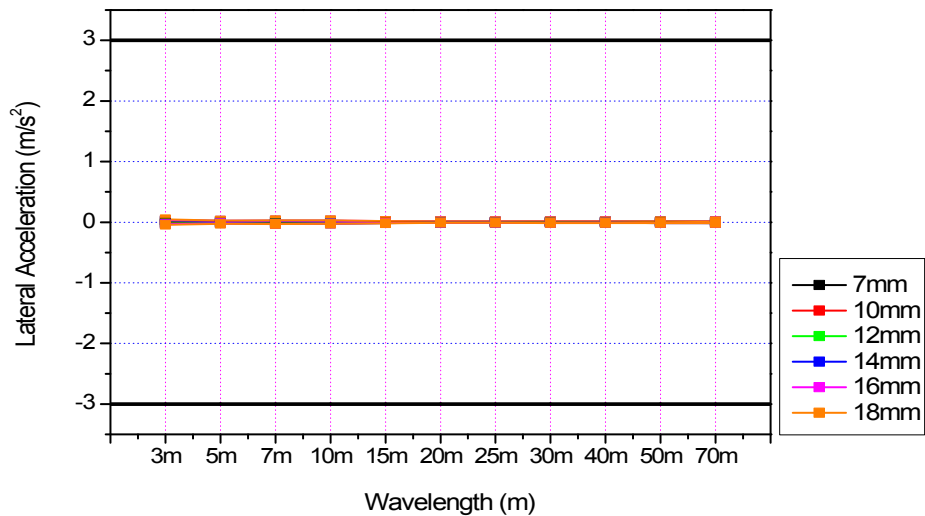


그림 9 반파장 고저틀림에 의한 차체 횡가속도 분석 결과

5. 결 론

틸팅차량의 일반철도 구간에서의 영업운행에 대비한 해당 노선의 궤도틀림 유지관리 허용기준을 마련하고자 수치해석을 수행하여 고저틀림과 차량거동과의 상관성을 분석하였다.

궤도틀림 허용기준을 산정하기 위해서는 궤도틀림의 파장과 진폭이 차량의 주행안전성과 승차감에 미치는 영향을 파악하여야 하고, 현장에서 발생한 궤도틀림이 검측차에서 검측되는 원리를 이해하고 궤도틀림 기준 설정과정에 검측원리가 반영되어야 한다. 고저틀림의 경우, 현정시법 검측원리를 이용하고 있는 국내 현황을 고려하여 수치해석시나리오를 작성하였다. 즉, 파장별 궤도틀림의 크기를 궤도에서 발생한 값을 기준으로 하지 않고, 궤도틀림 검측차량에서 검측되는 값을 기준으로 해석시나리오를 작성하여 수치해석을 수행하였다.

고저틀림에 대한 수치해석 검토결과에 의하면, 주행안전성 및 승차감 측면에서 충분한 여유가 확보되고 있는 것으로 판단되었다. 틸팅차량의 탈선계수, 궤도횡압, 대차횡가속도 및 차체횡가속도의 값은 고저틀림의 영향이 매우 작은 것으로 평가되었다. 차체수직가속도는 고저틀림과 상관성이 다소 높았으나, 10m현정시법 검측차에서 검측된 고저틀림이 18mm가 되는 경우에도 관련 허용기준을 충분히 만족하였다. 따라서, 현재 일반철도의 고저틀림 유지관리 기준은 틸팅열차의 경우 운행에 충분한 안전성을 확보하는 것으로 예상된다. 다만, 본 연구는 수치해석에 의한 잠정적인 결론임을 상기할 필요가 있으며, 최종결론은 향후 틸팅차량 주행시험결과 및 곡선부 영향 등을 추가적으로 검토하여 최종 결론을 도출할 예정이다.

참고문헌

1. 선로정비지침(2007), 국토해양부
2. UIC CODE 518, Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - Safety - Track fatigue - Ride quality, 2005