

측풍에 의한 철도차량의 탈선 안전성 평가

Evaluation of Rollingstock Derailment Safety by Crosswind

김거영*[†], 이석주*, 이강철*, 정재형*

Kim-Geo Young*[†], Lee-Suk Ju*, Lee-Kang Chul*, Jeong-Jae Hyeong*

초 록 국내 철도차량의 측풍에 대한 탈선 안전성 검증은 철도차량기술기준내의 전복방지기준으로 평가한다. 이 전복방지기준은 측풍에 의한 외력의 합력 방향이 궤간 사이의 존재여부를 계산하여 전복여부를 판단한다. 본 논문에서는 측풍 탈선 안전성 검증을 위해 현가특성을 고려한 철도차량의 2차원 수학적 모델을 구성하여 운중감소량을 계산하였고 기존의 정적 측풍 안전성 평가결과와 비교하였다. 동일한 조건에서 정적인 전복안전성 결과대비 동적인 운중감소량의 결과가 보다 보수적인 결과가 도출되었다. 측풍에 의한 보다 정확한 탈선안전성을 평가하기 위해 차량의 동특성을 추가적으로 고려한 평가방법 개선이 필요하다.

주요어 : 측풍, 탈선안전성, 전복방지, 운중감소량, 현가특성

1. 서 론

철도차량이 고속화 되면서 공력을 고려한 설계가 필요하다. 특히 측풍은 열차의 탈선 사고위험을 야기하므로 곡선구간 주행 또는 정지시 원심력과 측풍 등에 의한 차량의 전복을 방지하기 위하여 철도차량기술기준[1]에 평가기준을 정하고 있다. 이 평가기준은 측풍과 원심력, 캔트에 의한 외력의 작용점 거리가 궤간거리 내에 있으면 전복이 발생하지 않음을 확인한다. 또한 유럽의 TSI, EN 규정[2, 3]에서는 측풍에 대한 탈선 안전성 평가기준으로 동적모델의 고려한 운중 감소량을 적용한다.

본 논문에서는 차체와 윤축으로 구성된 2차원 수학적 모델을 구성하여 측풍에 의한 차량의 거동을 계산하여 동일한 조건에서 기존의 전복 안전성 계산결과와 운중 감소량을 비교하였다.

2. 본 론

2.1 수학적 모델 구성

측풍으로 인한 차량의 거동으로 운중감소량을 계산하기 위하여 Fig.1, 2와 같이 2차원 모델을 구성하였고 운동방정식을 통하여 차량의 거동을 구하였다. 구해진 차량의 거동은 윤축에 작용하는 하중으로 계산되며 식 (1)~(6)의 반력으로 운중감소량을 구하였다. 측풍은 각진동수에 따라 주기신호로 입력할 수 있도록 하였으나 본 논문에서는 기존의 정적 전복안전성과 비교하기 위해 일정한 크기의 측풍을 적용하였다. 이론식에 고려되는 파라미터로는 레일반경과 캔트높이의 레일조건과 차체와 대차를 하나의 강체로 구성한 중량, 무게중심, 관성모멘트의 관성정보, 1차 현가강성정보, 측풍정보, 주행속도 등을 고려하여야 한다.

2.2 전복 안전율과 운중감소량 비교

국내 철도차량기술기준의 전복 안전율 (Turnover safety)은 아래 세가지 전복 유형에 대해 계산하여야 한다.

[†] 교신저자: 한국철도공사 연구원
(gykim@korail.com)

* 한국철도공사 연구원

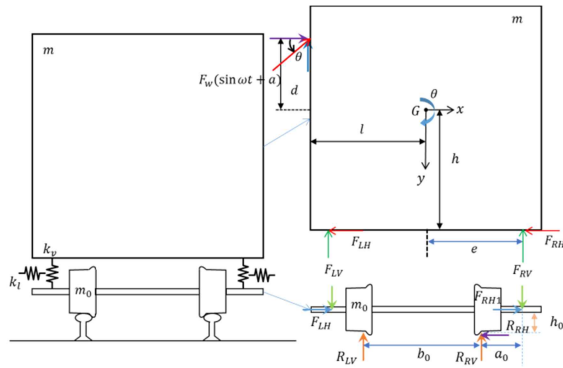


Fig. 1 Free body diagram of rollingstock model in front view

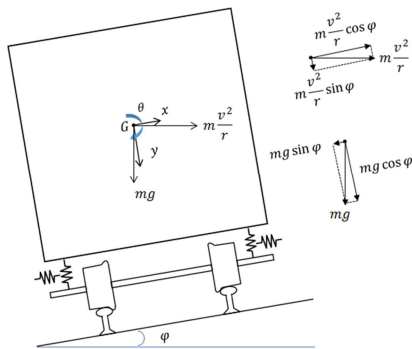


Fig. 2 Free body diagram of rollingstock model on a curved track

$$F_{RH} = F_{LH} = k_l(x - h\theta) \quad (1)$$

$$F_{RV} = k_v(y + e\theta) + \frac{m}{2} \left(\frac{v^2}{r} \sin \phi + g \cos \phi \right) \quad (2)$$

$$F_{LV} = k_v(y - e\theta) + \frac{m}{2} \left(\frac{v^2}{r} \sin \phi + g \cos \phi \right) \quad (3)$$

$$R_{LV} = \frac{a_0 + b_0}{b_0} F_{LV} - \frac{a_0}{b_0} F_{RV} - \frac{2h_0}{b_0} F_{RH} + \frac{m_0}{2} \left(\frac{v^2}{r} \sin \phi + g \cos \phi \right) \quad (4)$$

$$R_{RV} = \frac{a_0 + b_0}{b_0} F_{RV} - \frac{a_0}{b_0} F_{LV} + \frac{2h_0}{b_0} F_{RH} + \frac{m_0}{2} \left(\frac{v^2}{r} \sin \phi + g \cos \phi \right) \quad (5)$$

$$R_{RH} = F_{LH1} + F_{RH1} \quad (6)$$

1) 곡선 통과중 외측 열차가 횡풍과 교행 열차풍을 받는 경우

2) 평탄선로를 주행중에 횡풍과 교행 열차풍을 받는 경우

3) 곡선에 내측열차가 정차한 상태에서 횡풍과 교행 열차풍을 받는 경우

유럽 TSI 기준의 측풍에 의한 운중감소비는 0.9를 초과하지 않도록 하고 있다. 국내 기준과의 비교를 위해 운중감소비는 Table 1과 같이 안전율로 변환하였다. Table 1은 국내 고속열차의 특성을 고려한 결과이다. 이 때

고려된 곡선반경은 5000m, 캔트량은 0.16m, 주행속도는 286km/h 이다.

Table 1 Theoretical model results

Case	Turnover safety ($s = \frac{b_0}{2b} > 1$)	Wheel unloading safety ($0.9 / \left(\frac{\Delta R_{LV}}{R_{LV}} \right) > 1$)
1) Crosswind +Curved track +Running condition	3.97	1.83
2) Crosswind +Straight track +Running condition	4.73	2.08
3) Crosswind +Curved track +Stationary condition	2.46	1.22

*b: 합력의 작용점 거리

3. 결론

측풍에 의한 철도차량의 운중 감소량을 계산하기 위하여 2차원 열차 모델을 구성하였고 기존의 정적 전복 안전율과 비교하였다.

현가특성을 고려한 2차원 차량 모델의 운중감소량의 안전율이 기존의 전복 안전율의 정적 평가방법 보다 보수적인 결과를 보여주고 있다. 추가적으로 보다 다양한 주행조건에서의 비교 평가가 필요하지만 측풍에 의한 탈선안전성 평가 방법으로 정적으로 평가하는 국내의 기존 기술기준은 열차의 동특성 모델을 고려한 평가방법으로 개선해야 할 필요가 있다.

참고문헌

[1] 철도차량기술기준, KRTS-VE-Part31-2017(R1) 고속철도차량, [별표5] 철도차량의 풍력 전복방지 세부기준, 2017

[2] EN 14067-6:2010 - Railway Applications - Aerodynamics - Part 6: Requirements and Test Procedures for Cross Wind Assessment, European Standard, 2010.

[3] Technical Specification for Interoperability -
Rolling Stock Subsystem of the TRANS-
EUROPEAN HIGH-SPEED RAIL SYSTEM,
2008/232/EC, 2008. Amended by 2012/464/EC,
2012.