

상사기법을 이용한 축소형 철도차량의 고유모드 특성에 대한 연구

A Study on the Eigen Mode Characteristic of the Railway Vehicle using Scaling Method

신유정† · 유원희* · 허현무* · 박준혁*

Yu-Jeong, Shin, Won-Hee, You, Hun-Moo, Hur and Joon-Hyuk, Park

1. 서 론

철도차량을 개발하거나 아님 기존 철도차량에 대해 주행안전성과 승차감 등의 성능향상 추구하기 위해서는 차량의 운동특성을 상세히 파악할 필요가 있다. 이를 위해서는 실선로에서 실차를 이용한 주행 특성시험이 가장 이상적인 방법이라 할 수 있지만 주행안전성과 같은 경우 임계속도에 가까운 환경에서 시험이 이뤄지게 되므로 많은 위험성을 동반하게 된다. 그래서 여러 철도 선진국에서는 실제 선로 주행 시의 성능을 재현하기 위해서 레일을 궤조륜으로 모사한 주행시험기에 차량을 탑재하여 궤조륜의 회전에 따른 주행시험이 이뤄지고 있다. 그러나 실물 규모의 주행시험대 상에서의 시험은 시험 설비가 과대하고 다양한 시제 차량의 제작에 따른 과대 비용 및 제작기간 소요되는 단점을 지니고 있다. 이러한 단점을 해결하기 위한 방안으로 상사기법에 의해 물성치를 축소하여 제작한 축소형 주행시험기(scaled roller rig)를 이용한 연구가 활발히 이뤄지고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ 본 논문에서는 전동차 사양에 대해 물성치를 상사기법을 이용하여 축소 철도차량을 모델링하고, Matlab & Simulink 프로그램을 이용하여 수치해석을 수행함으로써 시스템 전달함수의 응답 특성에 대해 알아보았다. 이는 향후 시험 계획에 있는 축소형 주행시험기(Roller rig) 상에서의 주행 특성을 연구하기 위한 선행연구로 수치해석을 통해 사전에 주행안정성과 관련 있는 사행동 주파수를 예측하였다.

2. 철도차량 동적 모델

2.1 수치해석 모델

철도차량의 운동방정식은 Table 1에서 명시된 17 자유도에 대해 수식을 전개하였고 해석모델(Fig. 1)은 윤축, 대차, 차체에 대해 횡방향, 요방향을 고려하였으며, 대차와 차체는 롤방향까지 고려하여 모델링하였다.

Table 1 Degree of freedom of railway vehicle

Parameters	Lateral	Yaw	Roll
Wheelset 1	y_1	ψ_1	-
Wheelset 2	y_2	ψ_2	-
Wheelset 3	y_3	ψ_3	-
Wheelset 4	y_4	ψ_4	-
Truck 1	y_{T1}	ψ_{T1}	Φ_{T1}
Truck 2	y_{T2}	ψ_{T2}	Φ_{T2}
Carbody	y_c	ψ_c	Φ_c

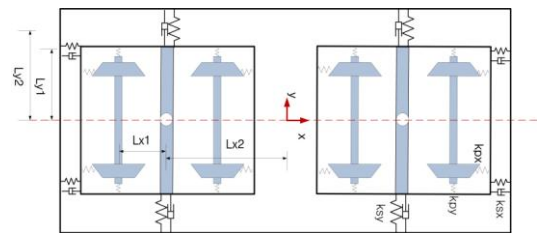


Fig. 1 Dynamic Model of Railway Vehicle

철도차량 운동방정식에 대한 수치해석 과정은 차륜/궤조륜에 대한 기하학적 형상에 따른 접촉 특성 정보를 사전에 모델링 단계에서 접촉력 계산 시 필요한 파라미터인 접촉면의 장단반경, 접촉각, 차륜의 구름반경, 접촉면적에 대해 look-up table 입력

† 교신저자; 정희원, 과학기술대학교대학원 한국철도기술 연구원 캠퍼스 미래첨단교통시스템공학
E-mail : yjshin@krii.re.kr

Tel : (031)460-5261, Fax : (031)460-5299

* 한국철도기술연구원 주행추진연구실

한 다음 프로그램상 해석 시 매 time step마다 윤축의 횡방향 변위에 해당하는 접촉 파라미터 값을 산출되어 크리피지와 크립력을 계산하면서 운동방정식 해석을 수행하게 된다.

Table 2 list of scaling factors and parameter values

Parameters	Full scale	Scale factor	1/5 scale
Mass of half carbody(kg)	10500	1/φ	84
Length of half carbody frame (m)	10	1/φ	2
Width of half carbody frame (m)	3.12	1/φ	0.624
Mass of bogie (kg)	2150	1/φ	17.2
Length of half bogie frame (m)	2.97	1/φ	0.594
Width of half bogie frame (m)	1.97	1/φ	0.394
Mass of wheelset(kg)	1687	1/φ	13.5
Longitudinal primary stiffness (N/m)	6.7e6	1/φ	5.4e4
Lateral primary stiffness (N/m)	4.9e6	1/φ	3.97e4
Vertical primary stiffness (N/m)	8.942e6	1/φ	7.154e4
Longitudinal secondary stiffness (N/m)	1.67e5	1/φ	0.98e3
Lateral secondary stiffness (N/m)	1.67e5	1/φ	0.98e3
Vertical secondary stiffness (N/m)	2.605e5	1/φ	6.3e3

Table 2는 상사기법에 의해 축소된 철도차량의 파라미터를 나타내며, 축소모델에서의 주행안정성을 확인하기 위해 속도변화에 따른 사행동 주파수를 수치해석을 통해 확인하였다.

2.2 수치해석 결과 분석

철도차량의 사행동 주파수는 간단히 식(1)에서 보는 바와 같이 표현되며 속도에 따라 주파수가 증가하는 특성을 가진다. 본 논문에서는 사행동 모드에 의한 주행 불안정성에 대한 진동 응답을 확인하기 위해 우선적으로 속도에 따라 주파수가 증가하는

$$f_w = \frac{V}{2\pi} \sqrt{\frac{\lambda}{a \cdot r_0}} \quad (1)$$

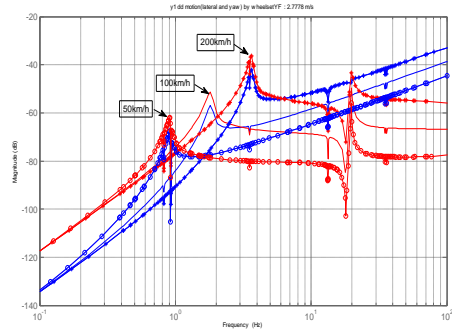


Fig. 2 Transfer function of lateral accel. to lateral force on wheelset, according to variation of velocity

Fig. 2는 윤축의 횡방향 외력에 대해 속도변화에 따른 윤축의 횡방향 가속도 응답특성을 나타낸 그래프이다. 각 각의 속도 50km/h일 때 0.909Hz, 100km/h일 때 1.81Hz, 200km/h일 때 3.64Hz의 사행동 주파수가 나타나고 있으며, 요방향은 20.1Hz 성분도 함께 나타나고 있다. 이는 수식 (1)을 이용하여 계산한 값과 거의 동일한 값으로 상사기법에 의해 축소된 철도차량 모델이 수치해석적으로 결과가 잘 부합한다고 판단된다.

3. 결 론

본 논문에서는 상사기법을 이용하여 철도차량 모델의 물성치를 축소하여 동역학적으로 모델링 한 후 시스템 응답에 의한 사행동 주파수를 확인함으로써 축소 주행시험대 상에서의 시험 시 속도변화에 따른 주행 불안정 주파수를 확인하였다. 차후 축소 주행시험대 상에서의 시험을 통해 상사기법에 의해 축소된 모델이 철도차량의 동적특성을 잘 모사하고 있음을 시험적으로도 확인할 계획에 있다.

후 기

본 논문은 지식경제기술혁신사업의 철도차량용 능동현가장치 기술개발 과제비로 수행함.

참고문헌

- (1) Simon Iwnicki, “ Handbook of Railway Vehicle Dynamics ”, CRC Press, 2006.
- (2) S. D. Iwnicki, A. H. Wickens, “ Validation of a MATLAB railway vehicle simulation using a scale roller rig ”, Vehicle System Dynamics, pp. 257~270, 1998.
- (3) A. Jaschinski, F. Grupp, H. Netter, “Parameter identification and experimental investigations of unconventional railway wheelset designs on a scaled roller rig”, Vehicle System Dynamics, pp. 293~316, 1996.
- (4) A. Jaschinski, H. Chollet, S. D. Iwnicki, A. H. Wickens, “ The Application of roller rigs to railway vehicle dynamics ”, pp. 345~392, 1998.