

고속열차 현가장치 특성 민감도 분석 연구

Analysis of Suspension Characteristics Sensitivity for High Speed Train

*#박찬경¹, 김영국¹, 김기환¹

*#C. K. Park(ckpark@krii.re.kr)¹, Y. G. Kim¹, K. H. Kim¹

¹ 한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발사업단

Key words : High speed train, Sensitivity, Design variables, Suspension, Bogie

1. 서론

고속열차는 일반적으로 200km/h 이상의 속도로 주행할 수 있는 차량으로 정의되고 있으며, 현재 400km/h 이상의 속도 주행이 가능토록 하는 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 속도가 향상될수록 철도차량의 동적거동은 안정성, 안전성 및 승차감 측면에서 더욱 중요시 되며 성능지수들은 시험평가가 국제규격인 EN 14363:2005에 제시되어 있다. 고속철도 차량의 구조물은 보통 차체, 대차, 휠셋으로 이루어져 있고 연결구조는 1, 2차 현가장치로 연결하여 동적성능을 충족시키도록 설계되고 있다. 따라서 설계 시 현가특성은 동적 성능을 만족시키기 위해 최적 설계변수로 도출되어야 하며 도출된 설계변수는 허용공차 내에서 최소 성능을 만족해야 한다. 본 연구는 이러한 관점에서 고속열차 설계 시에 수행될 수 있는 현가장치 특성에 대한 민감도를 분석하여 설계변수의 특성을 살펴보고자 한다.

2. 동특성 모델링

이론해석을 통한 민감도 분석을 위해서는 동적 거동 해석을 위한 모델링이 요구하며 본 연구에서는 상용 프로그램인 Vampire 프로그램을 이용하여 수행하였다. 일반적으로 철도차량의 동적해석을 위한 모델링은 차량, 궤도, 휠/레일 접촉에 대한 모델이 필요하다. 차량모델링은 현재 연구개발 중인 차세대고속열차 시제차량을 이용하였으며 Fig.2와 같다. 궤도특성 모델링은 Fig.3과 같이 곡선 반경 800m, 7000m 및 직선으로 구성된 선형특성으로 3km를 Fig. 2의 ERRI-Low 불규칙과 중첩하여 모델링 하였다. 곡선에서의 캔트는 170mm로 설정하였고, 주행속도는 곡선에서의 균형속도를 적용 30m/s(108km/h), 88.2m/s(318km/h)로 설정하였으며 직선에서는 최고속도 주행을 고려하여 120m/s

(432km/h)로 설정하였다. 휠은 고속열차에 주로 사용하는 S1002, 레일은 국내 고속선에 사용하는 uic60 레일의 프로파일로 Fig 4와 같이 모델링 하였다.

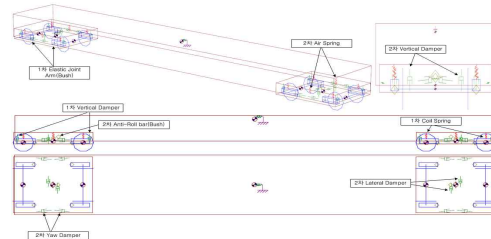


Fig.1 Vehicle Model for dynamic analysis

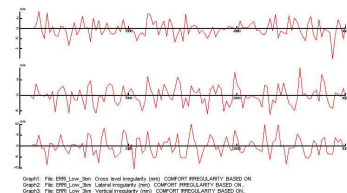


Fig.2 Track Irregularity

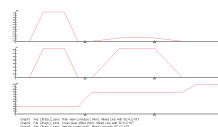


Fig.3 Track model for analysis

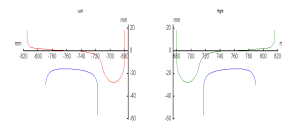


Fig.4 Wheel/rail profile model

3. 설계변수와 성능지수

설계변수는 현가장치 주요 특성 성분을 고려하여 Table 1과 같이 총 9개의 강성과 댐핑값으로 구성하였고, 성능지수는 Table 2와 같이 EN 14363 규격에서 정의된 안정성, 안전성 및 승차감과 관련된 물리량인 차체가속도, 구조물의 횡 변위, 횡 횡력, 탈선계수로 구성하였다.

Table 1 Design Variables

Design variables	Suspension Description
k2zair	Air spring vertical stiffness
k2tarb	Anti-roll bar stiffness
k1zcoil	Coil spring vertical stiffness
k1xej	Elastic joint longitudinal stiffness
k1yej	Elastic joint lateral stiffness
d1zod	Vertical oil damper for 1 st suspension
d2yod	Lateral oil damper
d2zod	Vertical oil damper for 2 nd suspension
d2xod	Yaw oil damper

Table 2 Performance Index

Performance index	Description
Body A	Body acceleration - Ride comfort
Wheel F	Wheel lateral force - Safety
Wheel-Body D	Wheel & body displacement - Stability
Y over Q	Derailment - Safety

4. 민감도 분석 결과

민감도 분석을 위해서 설계변수 영역은 현재 설계값의 $\pm 20\%$ 로 설정하여 Central Composite Array를 이용한 DOE(Design Of Experiment)를 수행하였다. 총 531회의 시뮬레이션을 통하여 성능지수에 대한 9개의 설계변수 민감도 분포를 Fig. 5에 도시하였다. 주요 영향설계 변수는 Body A(승차감)의 경우 에어스프링 강성, Wheel F(안전성)와 Wheel-Body D(안정성)의 경우는 탄성조인트의 진행방향 강성, Y over Q(안전성)의 경우는 요댐퍼의 댐핑값으로 나타나고 있다.

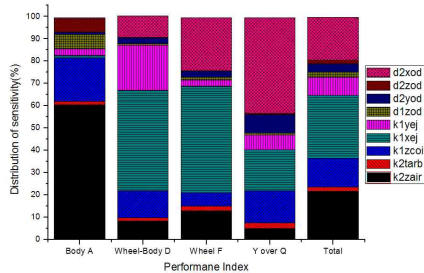


Fig.5 Distribution of sensitivity

9개의 주요 설계변수 중에 영향이 적은 변수를 제외한 민감 순서는 $k1xej > k2zair > d2xod > k1zcoil > k1yej$ 이 되며, 앞 3개의 설계변수 민감도 분포가

동적성능 평균에 대해 약 70%로서 매우 지배적임을 알 수 있다. 또한 제시된 주요한 영향 변수인 $k1xej$ 와 $k2zair$ 에 대한 교호작용 특성을 Table. 3에 도시하였으며, 이를 통하여 성능지수의 최적위치에 대한 두 설계변수의 최적값을 파악할 수 있다.

Table 3 Effective contour with $k1xej$ and $k2zair$

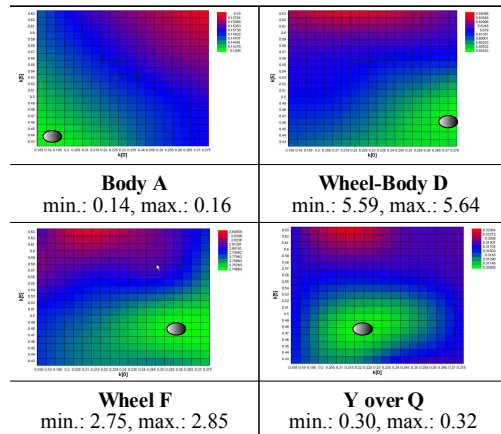


Table 3.에서 각 성능지수의 최적위치는 $k1xej$ ($k[0]$, x축)의 경우 좌우로 분산 존재하여 설계자의 성능에 대한 중요도에 따라 최적값을 도출할 수 있으며, $k2zair$ ($k[5]$, y축)의 경우 대체로 일정 영역에서 최적값이 존재하는 것으로 나타나고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 고속열차의 동적 거동 해석을 통한 현가장치 설계특성 민감도를 분석하여 에어스프링과 탄성조인트의 영향이 지배적임을 알 수 있었고 성능에 미치는 영향정도를 파악하여 설계 최적화가 가능하도록 발전시킬 수 있었다.

후기

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 차세대고속철도기술개발사업 '분산형 고속철도 시스템 통합 및 총괄'과제의 지원을 받고 있음을 밝힙니다.

참고문헌

1. European standard EN 14363:2005
2. DeltaRail, Vampire Manual
3. C.K. Park, Y.G. Kim, D.S. Bae, "Sensitivity analysis of suspension characteristics for Korean high speed train" JMST, 23, 938-941, 2009.