철도차량 승차감 반능동 제어가 주행안정성에 미치는 영향

Effect of Running Stability on Semi-Active Suspension of Railway Vehicle

*신유정 [1], #유원희 [2], 허현무 [2], 박준혁 [2]

*Y. J. Shin[1], #W. H. You(whyou@krri.re.kr)[2] , H. M. Her[2] , J. H. Park[2]

[1] 과학기술연합대학원대학교 철도시스템공학, [2] 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

Key words : Railway Vehicle, Semi active control

1. 서론

철도차량의 승차감은 진동, 소음, 냄새 등과 같은 폭넓은 요인에 의해 영향을 받는다. 특히 최근에 이르러 경제적인 효율성과 친환경성이 대중 교통 수단의 주요 사회적 이슈가 되면서 새로운 철도시스템이 각광을 받고 있다. 철도차량의 고속화가 이뤄지고 있지만 열차의 주행속도가 높아질수록 차체의 진동이 증가하여 승차감이 악화된다는 문제점이 발생한다. 승차감에 관계된 여러 요인 중에서도 진동에 기인한 승차감을 향상시키는 방법으로 능동 및 반능동 현가장치를 이용한 진동 저감 방법이 오래전부터 연구되고 있으며 일부는 현재 영업운전 열차에 적용되어 있다.(1),(2)

반능동 현가장치는 능동현가장치에 비하여 제어 성능은 떨어지지만 Fail/Safe 면에서 능동 현가장치에 비해 안전하고, 설치가 용이하며 유지보수 비용이 적게 든다는 장점이 있어 능동현가장치에 비해 많이 사용되고 있다. 일반적으로 철도차량의 횡방향 승차감을 제어하기 위하여 차체와 대차 사이에 횡댐퍼를 설치한다. 통상 횡방향 댐퍼의 성능은 주행안정성을 보장하기 위하여 높게 설계된다. 그러나 필요이상의 횡방향 댐퍼의 감쇠력은 곡선 주행성능을 저하시키고 승차감 또한 악화되는 현상이 발생할 수도 있다.(3),(4)

본 논문에서는 기존의 대차와 차체 사이에 수동 댐퍼를 반능동 현가장치인 MR 댐퍼로 대체하여 승차감과 관련된 차체의 횡방향 진동 제어를 수행하였다. 제어 시 게인에 따른 차체와 대차의 진동 특성을 분석하여 반능동 현가장치가 주행안정성에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 반능동 현가장치의 제어기 구성

철도차량의 승차감에는 특히 1Hz~3Hz 의 요(yaw)운동 성분이 크게 영향을 미친다. 즉 승차감을 향상시키기 위해서는 이 주파수역의 진동을 중점적으로 억제할 필요가 있는 것이다. 이러한 경우에는 특정 주파수에 대하여 제어 효과의 조절을 실시하는 H∞ 와 같은 강건 제어가 매우 효과적이지만 가중함수(weight function)의 설계가 어렵고 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다. 그래서 비교적 간단한 제어기로 모든 정지공간에 댐퍼를 달아놓은 것과 같은 스카이 훅 로직이 많이 사용되고 있으며 이 로직은 이상적인 진동 억제 특성을 갖는다고 알려져 있으며 개념은 Fig. 1 과 같다.

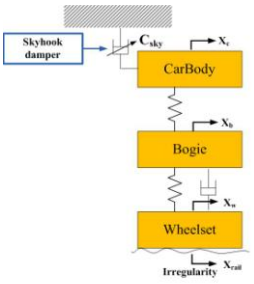

Fig. 1 Ideal skyhook configuration

그러나 현실에서는 차체의 진동 저감과 대차의 주행안정성 사이에 trade-off 부분이 발생하게 된다. 본 논문에서는 스카이 훅 게인에 따른 차체와 대차의 진동가속도의 RMS 값을 분석하여 반능동 제어에 따른 특성을 알아보았다.

3. 시험 결과

본 절에서는 MR 댐퍼를 축소 철도차량에 장착하고 스카이 훅 제어를 수행하였다. 시험조건은 속도를 변화하며 차체와 대차의 진동가속도를 분석하였다. 그리고 조건에 따라 발생되는 MR 댐퍼의 감쇠력에 대해 RMS 값을 알아보았으며 Fig. 2 ~ Fig.3 에서 보는 바와 같다.

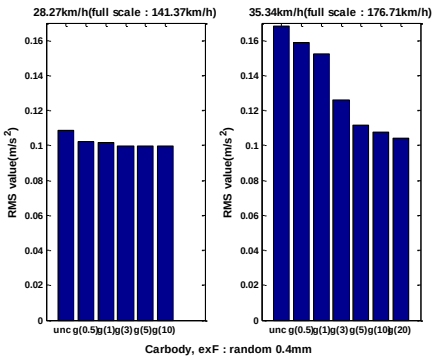

Fig. 2 RMS value of Carbody acceleration

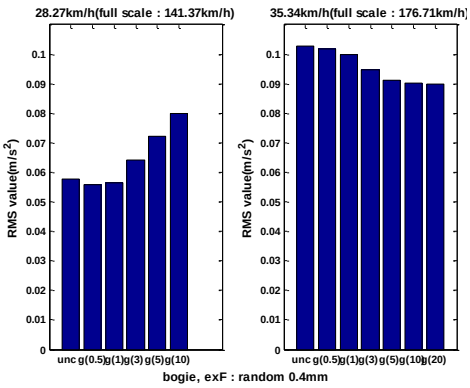

Fig. 3 RMS value of Bogie acceleration

저속에서 주행할 때나 작은 외란에 대한 제어 효과는 고속에서 주행할 때나 큰 외란에서 보다 뚜렷하게 나타나지 않지만 전반적으로 비제어 시보다 향상된 결과를 보인다. 또한 MR 댐퍼에 의한 감쇠력 변화가 주행안정성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 대차의 진동가속도 RMS 값을 차체와 마찬가지로 분석하였다. 35.34km/h 의 고속에서는 차체와 대차의 진동가속도 RMS 값이 모두 게인의 증가에 따라 점차 감소하는 경향이 나타났다.

4. 결론

철도차량의 이차현가장치는 승차감과 밀접한 관련이 있지만 적절하지 못한 (부족하거나 과한) 강성과 댐핑 값은 오히려 시스템의 불안정성을 유발할 수 있다. 향후 승차감과 주행안정성을 절충하여 제어 효과를 향상시킬 수 있도록 다양한 제어기법을 적용하고 제어 성능을 비교하는 연구를 수행할 계획에 있다. 이는 속도 범위와 외란 크기에 따라서 적절한 제어가 이뤄진다면 보다 더 나은 결과를 도모할 수 있을 것이라 기대한다.

후기

본 연구는 지식경제부 산업원천 기술개발사업 중 “철도차량 능동 현가장치 기술개발” 과제의 일환으로 수행된 결과임.

참고문헌

1. You, W. H., “Development of the (semi) Active Steering Bogie System for Eco-friendly Urban Trans,” Annual Report of KRRI, pp. 231-289, 2007.
2. Dukkipati, R. V., “Dynamics of Railway Vehicle Systems,” Academic Press, pp. 103-134, 1984.
3. Wickens, A. H., “Fundamentals of Rail Vehicle Dynamics,” Swets & Zeitlinger, pp. 13-68, 2003.
4. Shin, Y.-J., You, W.-H., Park, J.-H. and Hur, H.-M., “A Study on the Eigenmode Characteristics by Changing Damping Parameters of Secondary Suspension (Damper) on Railway Vehicles,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 28, No. 7, pp.796-804, 2011.