

전용 계측장비를 이용한 고속전철 집전 신호의 동적해석

Dynamic Analysis of Current Collection Signals in High-speed Railway

이시우*, 김정수**, 김정태**
S. W. Lee, J. S. Kim, J. T. Kim

ABSTRACT

The dynamics of the pantograph motion and contact forces of the high-speed railway are investigated through signals acquired during a test run. The signals are obtained from accelerometers, load cells, and strain gauges attached to various positions of the pantograph, and they are processed in time-and frequency-domains to evaluate the dynamic characteristics and load forces. The natural frequencies of the pantograph is found to be 8.5Hz. There also are frequency components varying linearly with the train speed. The signal frequency components above 40Hz are attenuated as they pass through the primary and secondary suspensions.

1. 서론

고속철도는 그 빠른 속도, 안전성, 편리함 등의 특징으로 인하여 차세대 운송기관으로 각광을 받고 있고, 개발선진국은 각국의 상황에 맞는 고유의 가선계를 개발하였고 그 가선계에 적합한 판토그래프를 최적화하여 왔다. 현재 고속철도 사업의 초기단계인 우리나라는 관련 기반기술 확보에 주력하고 있다. 열차주행시 가선계 및 판토그래프로 이루어지는 집전시스템은 전력을 견인전동기에 공급해주는 중요한 기능을 하므로 실제 열차의 속도 향상 여부를 결정하는 아주 중요한 부분이다. 전차선과 판토그래프는 접촉부에서 상호간에 기계적·전기적 작동이 끊임없이 수반되며 이러한 상호 작용이 집전시스템이 성능을 결정하므로 집전시스템 성능 평가의 핵심은 접촉부에서 전차선과 판토그래프의 상호작용의 조화 특성 평가에 있다.

이번 시험에서는 최고 199km/h의 속도로 주행하는 고속철도의 판토그래프에서 신호를 얻기 위해 전용 계측장비를 사용하였고, 이 장비는 고속철도 고속 주행시 판토그래프의 4개의 가속계, 2개의 load-cell, 4개 strain gauge에서 발생하는 신호를 동시에 수집, 처리할 수 있는 특징을 가지고 있다. 본 연구에서는 열차가 최고속도 199km/h로 주행할 때 신호를 취득, 분석하여 판토그래프의 동특성과 load-cell 신호를 파악하고자 하였다.

2. 판토그래프의 거동

Fig. 1와 같은 가선계는 열차 위에 설치된 판토그래프와 직접적인 접촉을 이루어 전기를 공급하는

* 홍익대학교 기계공학과 석사과정, 학생회원

** 홍익대학교 기계공학과 교수, 정회원

부분이고, 고속철도의 이상적인 집전성능을 위해서는 열차 주행시 전차선과 판토틀라프가 완벽한 접촉을 유지하여 안정된 전력공급이 유지되어야 한다.

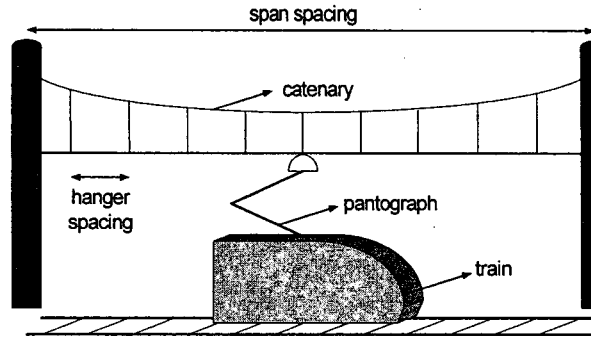


Fig. 1 전차선의 구조

2-1. 판토틀라프의 구조와 sensor의 위치

판토틀라프는 편리상 집전이 이루어지는 팬헤드(panhead)와 팬헤드를 지지하는 기구부로 나눌 수 있다. 최고 199km/h의 속도로 주행하는 열차에 팬헤드에 4개의 strain gauge, 팬헤드를 지지하는 보강빔(reinforcement)에 2개의 가속도계, 알루미늄빔에 2개의 가속도계, 플런저에 1개의 가속도계를 설치하여 신호를 취득하여 12개의 집전계의 동적거동에 관련된 신호를 동시에 취득하고 실시간으로 분석했다. 센서의 위치는 Fig. 2에 나타내고 있다.

가속도계에서 취득한 신호를 시간 및 주파수영역에서 분석하여 판토틀라프의 동특성을 파악하였다.

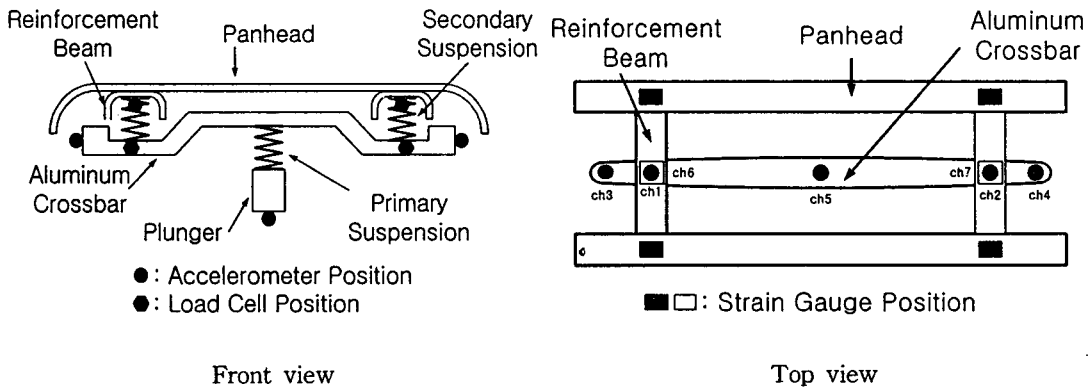


Fig. 2 판토틀라프의 구조와 sensor의 위치

2-2. 판토틀라프의 동특성

열차가 최고 199km/h의 속도로 주행할 때 판토틀라프의 각 부위의 sensor에서 취득한 신호로부터 시간 및 주파수 영역에서 분석하였다. Fig 3는 고속전철이 주행하는 속도 선도를 나타낸다. Fig. 4에서는 속도가 증가할수록 진동에너지가 증가한다는 것을 알 수가 있다.

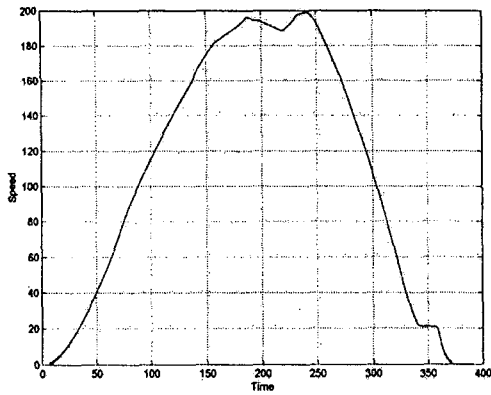


Fig. 3 주행속도

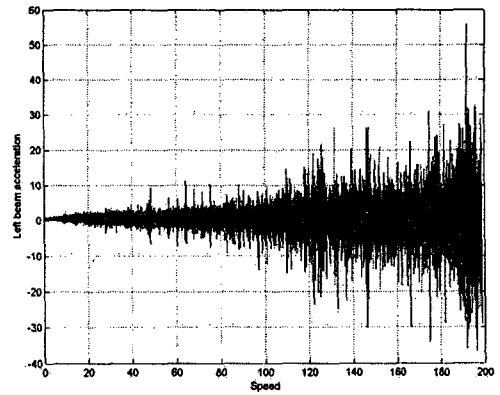
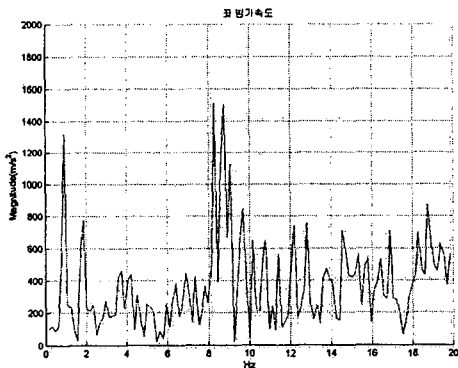
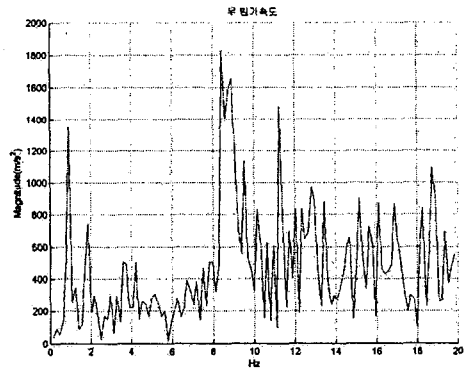


Fig. 4 속도 / 좌 빔 가속도

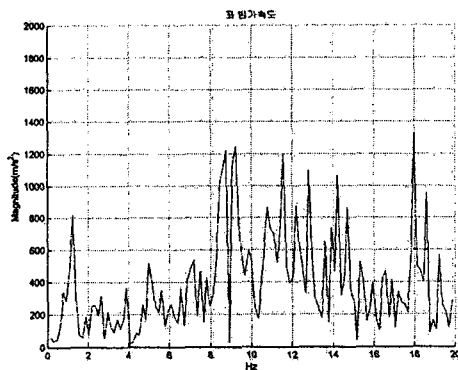
Fig. 5는 고속전철의 속도변화에 따른 판토품의 주파수 응답을 보기 위해서 170km/h, 190km/h 속도에서 팬헤드의 가속도 신호를 분석하였다.



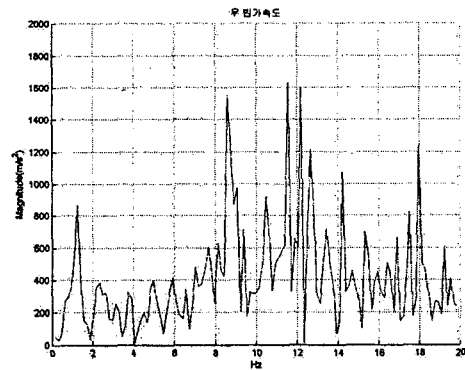
(a) 170 km/h (좌 빔 가속도)



(b) 170 km/h (우 빔 가속도)



(c) 190 km/h (좌 빔 가속도)



(d) 190 km/h (우 빔 가속도)

Fig. 5 속도변화에 대한 주파수 선도

Fig. 5에서 알 수 있듯이 속도의 변화에 관계없이 8.5Hz 성분에서 peak가 나타나는데 이 주파수 성분이 판토타그래프의 고유주파수이다. 열차 속도에 비례하여 존재하는 주파수 성분이 있다. 예를 들어 Fig. 5에서 170km/h에서 1.1Hz, 190km/h에서 1.3Hz로 이동하는 성분은 경간 간격에 의하여 발생하는 주파수로 생각되고, 행거 간격에 의해 발생하는 주파수는 170km/h에서 11.6Hz, 190km/h에서는 13Hz로 이동한다. 이 주파수들은 경간·행거 간격을 열차의 주행속도로 나눈 역수로 구하였다.

그리고 Fig. 6은 Fig. 2의 front view에서 reinforcement beam 하단부에 좌측에 설치된 가속도계와 plunger에 설치된 가속도계에서 측정된 신호를 주파수 분석한 것이다. Fig. 6을 보면 접촉부에서 발생하는 40Hz이상 성분은 1차 및 2차 서스펜션을 통과하면서 주파수의 크기가 크게 감소하는 것을 알 수가 있다. Plunger의 가속도선도에서 34Hz의 성분은 plunger의 동특성에 의해 생기는 성분이라 생각된다.

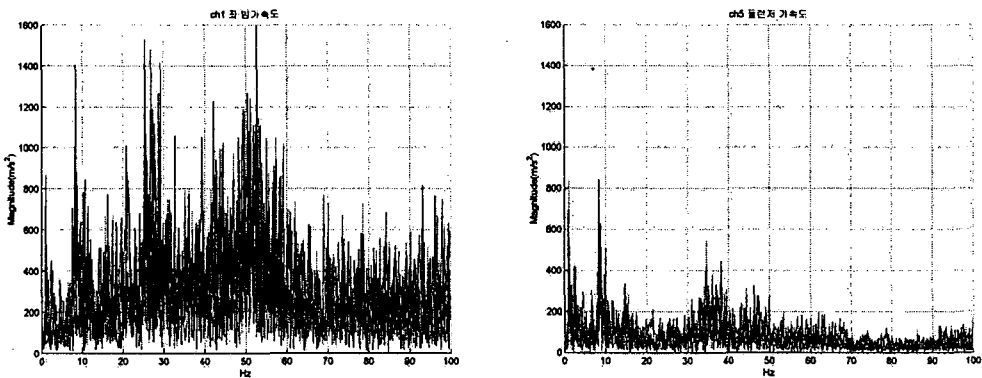


Fig. 6 좌 빔 가속도와 플런저 가속도의 주파수 선도

3. Load-Cell 신호의 측정

Fig. 7은 Fig. 2의 front view에서 secondary suspension의 팬헤드 지지부에 설치된 load-cell의 신호

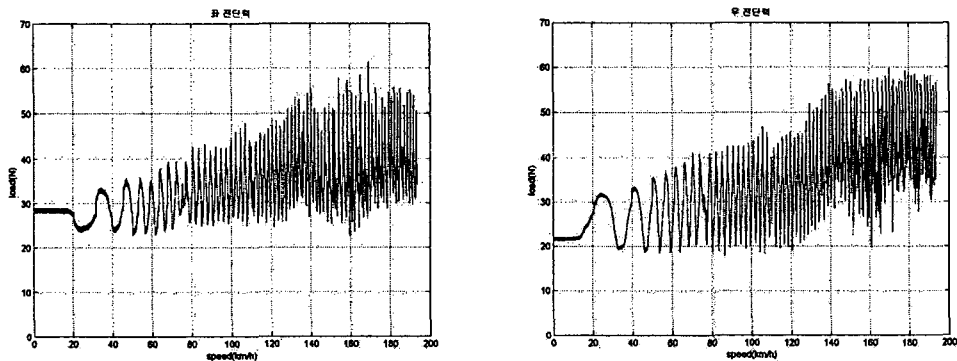


Fig. 7 속도 / 좌·우 전단력

호를 속도의 증가에 따른 전단력 변화를 나타낸 것이다. Fig. 7를 보면 속도가 증가함에 따라 load-cell에 걸리는 힘의 평균값이 증가한다는 것을 알 수가 있는데, 이는 속도의 증가함에 따라 가선

계와 팬헤드의 상호작용에 의해 load-cell에 걸리는 힘이 증가한다는 것을 알 수가 있다.

Fig. 8은 속도의 증가에 따른 Δt 의 변화를 나타낸 것인데, 속도가 증가함에 따라 Δt 가 감소하는 것을 알 수가 있다. Δt 는 Fig. 7에서 load-cell 신호의 속도에 대한 peak의 간격을 시간간격으로 나타낸 것이다.

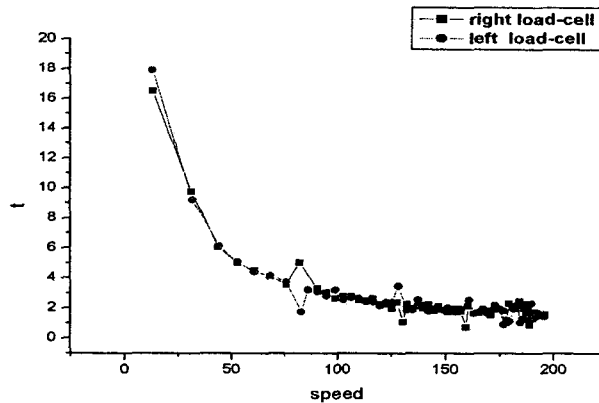


Fig. 8 속도 / Δt

4. 결론

최고 199km/h의 속도로 주행하는 고속철도의 판토품에서 신호를 얻기 위해 전용 계측장비를 사용하였고, 이 장비는 고속철도 고속 주행시 판토품의 4개의 가속계, 2개의 load-cell, 4개 strain gauge에서 발생하는 신호를 동시에 수집, 처리하고 실시간으로 수행할 수 있는 특징을 가지고 있다.

본 연구에서는 열차가 최고속도 199km/h로 주행할 때 신호를 취득, 분석하여 판토품의 동특성과 load-cell의 신호를 파악한 결론은 다음과 같다.

판토품의 동특성은 속도가 증가할수록 진동에너지가 증가한다는 것을 알 수 있고, 열차의 속도의 증가와 감소에 관계없이 8.5Hz에서 판토품의 고유주파수 성분이 나타나는 것을 알 수가 있었다. 그리고 접촉부에서 발생하는 40Hz이상의 성분은 1차 및 2차 서스펜션을 통과하면서 주파수의 크기가 감소하는 것을 알 수가 있었다.

Load-cell 신호의 측정에서는 속도가 증가함에 따라 가선계와 팬헤드의 상호작용에 의해 load-cell에 걸리는 힘이 증가한다는 것을 알 수가 있었다.

참고문헌

1. 박성훈, 김정수, 허신, 경진호, 송달호, 1999, "TGV-K 집전 시스템의 동특성 해석", 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp. 176~184.
2. 박성훈, 김정수, 허신, 경진호, 송달호, 1999, "한국형 고속전철 집전계의 동적거동", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 130~135.
3. 김정수, 최병두, 1999, "가선계의 동특성에 관한 연구", 한국소음 진동학회지, 제 9권 제 2호, pp. 312~323.
4. 백인혁, 김정수, 조용현, 최강운, 2001, "집전계의 접촉부 신호계측 시스템을 이용한 접촉력 측정" 한국철도학회 추계학술대회논문집, pp. 147~155.