

고속철도 유리애자 파손원인을 위한 현장 진동 연구

김영석*, 송길목*, 방선배*, 김선구*, 류영태**
 * 한국전기안전공사 전기안전연구원, ** 한국철도공사

A Study on Field Vibration for Fault Cause Analysis of Glass Insulator on High-speed Railway

Young-Seok Kim*, Kil-Mok Shong*, Sun-Bae Bang*, Sun-Gu Kim*, Young-Tae Ryu**
 * Electrical Safety Research Institute subsidiary of KESCO, ** KOREA Railroad

Abstract - This study was investigated a possibility of fault of glass insulator due to vibration on high-speed railway. The proper vibration of 1-glass insulator have many frequency band and high amplitude showed in high frequency than low frequency. The proper vibration of strut tube insulator was lowest 170Hz, highest 1.5kHz. The field signal amplitude of viaduct and open route were biggest moment pantograph of high-speed rail. The surface vibration(V3) amplitude of strut tube insulator was biggest. From the FFT analysis of viaduct and open route, the strut tube insulator effect by vertical vibration was big, the frequency was 82.5Hz and 105Hz, respectively. However, in comparison with the proper vibration of strut tube insulator, the resonance was not observed. Although the amplitude of insulator is high, the possibility of fault is low because the glass insulator deterioration by the accumulation of vibration do not happen.

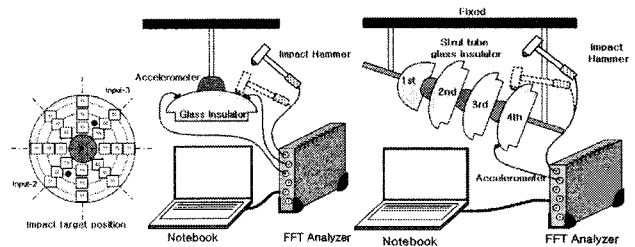


그림 1. 유리애자의 고유진동수 측정 개략도
Fig. 1. The schematics of proper vibration measurement on glass insulator

1. 서 론

2004년 3월부터 운영되고 있는 고속철도는 시속 300km/h로 운전되기 때문에 사고 발생 시에는 승객의 안전뿐만 아니라, 경제적 손실도 크므로 고속철도 설비의 안전성이 무엇보다 중요하다. 우리나라의 고속철도는 프랑스의 TGV를 모델로 건설되었으며, 가선설비 중 애자는 유리애자를 사용하고 있다. 유리애자는 폴리머애자 및 세라믹(자기)애자에 비해 파손의 발견이 용이하고, 전기적, 기계적으로도 세라믹 애자와 동등 이상의 특성을 가지고 있다. 최근 고속선로 유리애자가 파손되는 경우가 자주 발생하고 있지만, 그 원인을 고속열차 운행 중 집전장치와 전차선 이선으로 발생하는 찌지 전압, 뇌 충격 등의 전기적 요인과 진선류 진동, 동절기 비산되는 자갈 등의 기계적 요인, 기후변화에 따른 환경적 요인으로 추측하고 있지만, 정확한 원인은 알 수 없다. 또한 프랑스 TGV에서도 지난 10년간 80여개의 유리애자가 파손되었지만, 원인을 알지 못하고 있다. 유리애자가 파손되면 스트브(Stub)만 남아 캡(Cap)과 핀(Pin)간 노출부를 잇는 아크가 발생하므로, 애자가 기계적으로 분리되는 경우는 없다. 또한 유리애자의 열화는 "Binary"모드로 발생하므로, 진동 누적에 의한 파손의 가능성은 희박하다.

고속철도 가선설비는 우리나라의 지형적 특성을 고려하여 토공구간, 터널구간, 교량구간으로 시설되어 있으며, 교량구간이 전체의 30% 정도를 차지하고 있다. 이는 프랑스의 TGV에 비해 많은 부분 차지하고 있으며, 전체 유리애자의 파손비율도 약 60%를 차지하고 있다. 또한 유리애자는 급전선애자, 상부애자, 경사애자로 구분되어 시설되어 있으며, 경사애자의 파손비율이 약 56%였다. 따라서 유리애자의 파손원인 중에서 전선 및 유리애자의 공진에 의해 파손 될 가능성도 충분히 고려해야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 고속철도 가선설비의 유리애자 고유진동수 특성과 현장 가선설비의 진동특성을 비교하여 유리애자 파손관계를 규명하고자 한다.

2. 유리애자의 고유진동 특성

2.1 유리애자의 고유진동수 측정 방법

어느 물체가 기준위치에 대해 반복운동을 할 때 그 물체는 진동한다고 한다. 즉 1초 동안에 완전한 운동주기가 일어나는 횟수를 주파수라 부르며, 하나의 물체에 대하여 고유진동수는 무수히 많다. 고속철도 유리애자의 고유진동수를 측정하기 위하여 가속도계(Accelerometer, AC240-1A, CTC사)와 충격해머(Impact Hammer, 086C04, PCB사)를 이용하여 그림 1과 같이 고유진동수를 측정하였다.

유리애자 1셀의 고유진동과 4셀로 된 유리애자(이하 경사애자)의 고유진동을 측정하였으며, 실험에 사용된 가속도계는 정밀도가 96.10mV이며, 충격해머는 정밀도가 1.25mV/N이다. 1셀로 된 유리애자의 고유진동은 유리애자에 충격주조자하는 지점을 선택하고 충격해머로 가진을 시켰다. 이때 애자의 떨림 현상은 가속도계를 통해 진동신호를 감지하고 FFT분석기를 통해 고유진동수를 측정하였다. 경사애자의 고유진동은 네 번째(4th) 유리애자 표면에 가속도계를 설치하고 첫 번째에서 네 번째까지 순차적으로 유리애자 표면에 충격해머로 가진을 주면서 측정하였다.

2.2 유리애자의 고유진동 특성 분석

그림 2는 유리애자 1개의 고유진동수를 나타낸다. 주파수 범위는 임의로 10kHz까지 설정하였으며, 고유진동수는 1.45kHz, 5.15kHz 등의 여러 주파수 범위에서 측정되었다. 그림 3은 경사애자의 고유진동수를 나타낸다. 그림 3에서는 진동 주파수의 범위를 2kHz까지 설정하였으며, 이는 현장 진동 특성과 비교하기 위해 1개의 유리애자 측정과는 다르게 하였다. 그림 3에서 경사애자의 고유진동수는 그림 2와 같이 여러 주파수범위가 측정되었으며, 최저 170Hz, 최고 1.5kHz로 나타났다.

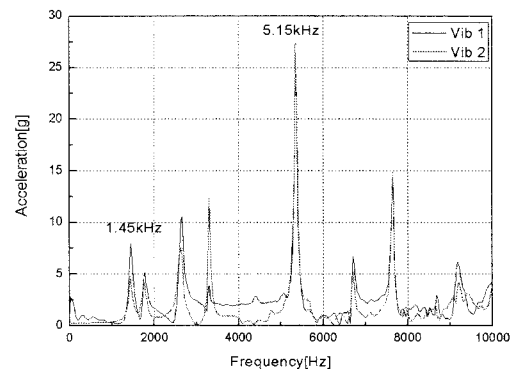


그림 2. 유리애자 1개의 고유진동
Fig. 2. The proper vibration of 1-glass insulator

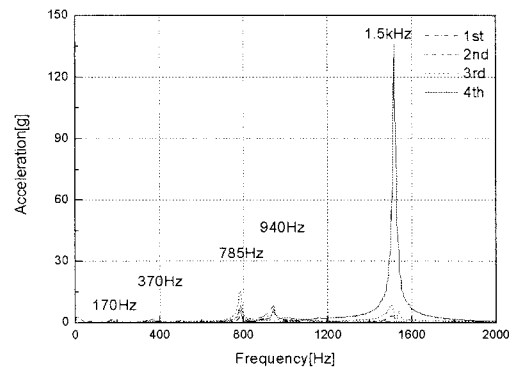


그림 3. 경사애자의 표면 고유진동
Fig. 3. The proper vibration of strut tube glass insulator

3. 고속철도 유리애자의 현장진동 특성

3.1 고속철도 가선설비의 현장 진동측정 방법

현장에서의 진동을 측정하기 위하여 교량구간과 토공구간을 각각 1군데씩 선정하고 가선설비의 경사애자를 대상으로 하였다. 그림 4는 현장 진동측정을 위한 개략도를 나타낸다. 고속철도 운전의 안전성을 위하여 경사애자에서 전계의 영향이 가장 작은 네 번째를 선정하여 수직진동(V1), 수평진동(V2), 애자표면진동(V3), 전주(V4)에서 고속열차(KTX)가 지나갈 때 진동을 측정하였다. 여기서, Positive는 가속도계가 부착된 가선설비를 고속열차가 지나가는 구간을 나타내며, Negative는 가속도계가 부착된 가선설비의 반대측 가선설비로 고속열차가 진행할 때의 값을 나타낸다.

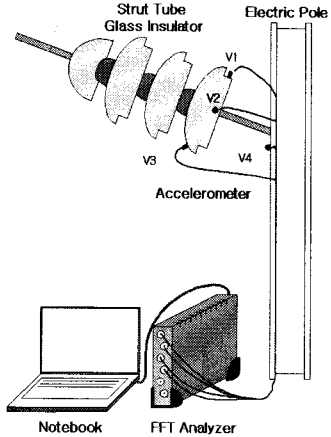


그림 4. 현장 진동측정개략도

Fig. 4. The schematic of vibration measurement the field

3.2 고속선로 가선설비의 현장 진동특성 분석

그림 5는 교량 및 토공구간에서의 고속열차가 지나갈 때의 진동 신호를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 진동신호는 두 구간 모두 고속열차의 팬터그래프가 센서가 부착된 가선설비를 지나가는 순간 가장 큰 진폭을 가졌다. 그림 (a)의 교량구간에서의 진동신호는 그림 (b)와 비교해서 고속열차가 가속도계가 부착된 전주를 지나가는 순간부터 큰 신호가 감지되는 것을 알 수 있으며, 토공구간에서는 일정한 진폭으로 진행하다가 팬터그래프가 지나가는 순간 가장 큰 진폭을 가지는 것으로 나타났다. 이는 교량구간에서는 가선설비 주변으로 방음벽(차음벽)이 설치되어 열차의 진행할 때 바람, 진동 등이 모두 유리애자에 영향을 주는 것으로 판단되며, 토공구간에서는 주변에 장애물이 없기 때문에 주변 바람, 진동 등의 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 또한 경사애자에 받는 진동은 애자 표면진동(V3)의 진폭이 가장 큰 것을 알 수 있었다.

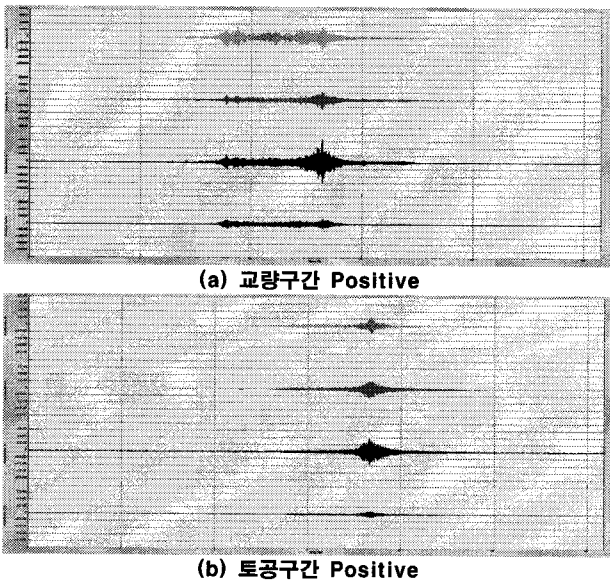
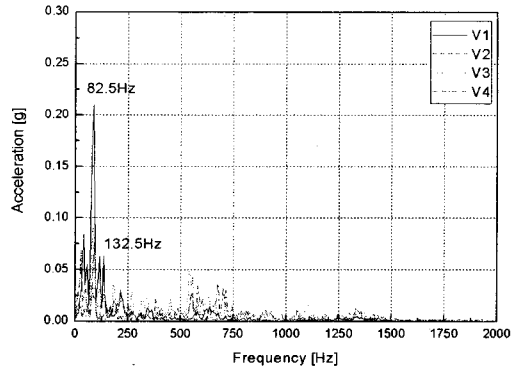


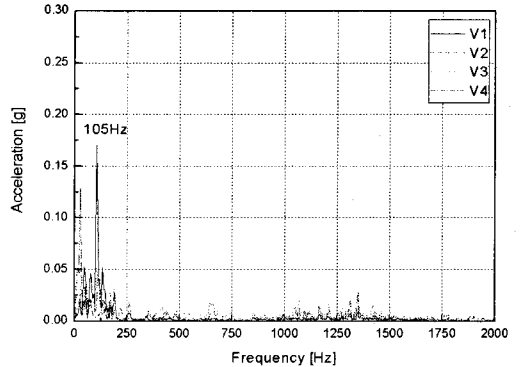
그림 5. 교량 및 토공에서의 현장진동

Fig. 5. The site vibration on viaduct and open route

그림 6은 그림 5의 교량구간 및 토공구간에서의 현장진동 측정에 따른 FFT분석 결과를 나타낸다. 주파수 분석은 진동이 감지되는 지점부터 시작하여 진동이 끝나는 부분까지 FFT 분석을 하였다. 그림 6(a)의 교량구간에서의 경사애자 각 부위의 진동 주파수 분석 결과를 살펴보면, 유리애자의 진동 진폭은 크지 않게 나타났으며, 수직방향(V1)에서 82.5Hz의 주파수 범



(a) 교량구간 Positive



(b) 토공구간 Positive

그림 6. 교량 및 토공에서의 진동주파수 분석

Fig. 6. Analysis of vibration frequency on viaduct and open route

위에서 진폭이 가장 크게 나타나고 그 진폭은 약 0.21g의 값을 가졌다. 또한 수평방향과 가선설비에서의 진동 진폭은 크게 나타나지 않았지만, 애자 표면진동(V3)의 경우 진동주파수 범위가 저주파에서 고주파 범위까지 넓은 것을 알 수 있다. 그림 6(b)의 토공구간에서 유리애자 각 부위의 진동 주파수 분석 결과를 보면, 그림 6(a)와 같이 진동 진폭은 크게 나타나지 않았지만, 수직방향(V1)에서 105Hz의 주파수 범위에서 진폭이 0.175g의 값을 가졌다. 따라서 교량구간과 토공구간의 주파수 분석결과 두 구간 모두 경사애자의 수직방향(V1), 즉 상하진동에 의한 영향이 큰 것으로 판단된다. 또한 그림 3에 나타난 경사애자의 고유진동수와 현장의 유리애자 표면진동(V3)을 비교해 보면, 공진에 의한 파손과 관계된 공진주파수를 찾아보기 어려웠으며, 비록 애자표면 진동의 진폭이 높게 나타났지만 진동의 누적에 의한 유리애자 열화현상은 발생하지 않기 때문에 파손의 가능성이 낮은 것으로 판단된다.

하지만, 현장진동 주파수분석에서 경사애자의 상하진동에 의한 영향이 큰 만큼 경사애자의 수직 고유진동수를 측정하여 현장 진동 주파수 분석과 비교해 보면, 진동과 유리애자의 파손관계를 좀 더 구체적으로 알 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 고속철도 가선설비의 유리애자 고유진동 특성과 현장 가선설비의 진동특성을 비교 실험하였으며, 공진에 따른 유리애자의 파손 가능성에 대해 검토해보았다. 유리애자의 1개의 고유진동은 여러 주파수대역에서 나타났으며, 저주파보다는 고주파에서 높은 진폭을 가졌다. 경사애자의 고유진동수는 최저 170Hz, 최고 1.5kHz로 나타났다.

교량 및 토공구간의 진동신호는 두 구간 모두 고속열차의 팬터그래프가 가속도계가 부착된 경사애자를 지나가는 순간 가장 큰 진폭을 가졌으며, 경사애자의 애자 표면진동(V3)의 진폭이 가장 크게 나타났다.

교량구간과 토공구간의 주파수 분석결과 두 구간 모두 경사애자의 수직방향(V1), 즉 상하진동에 의한 영향이 크며, 교량구간은 82.5Hz, 토공구간은 105Hz의 주파수가 나타났다. 그림 3에 나타난 경사애자의 고유진동수와 현장의 유리애자 표면진동(V3)을 비교해 보면, 공진주파수를 찾아볼 수 없었으며, 애자표면 진동의 진폭이 높지만 진동의 파괴누적에 의한 유리애자 열화현상은 발생하지 않기 때문에 파손의 가능성이 낮은 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] William J.PALM, "진동공학", 인터뷰전, 2007.
- [2] 유철수, "교량의 내진설계", 한국동구조학회지, Vol.3, No.2, pp.99-104, 1991.