

고속철도용 유리애자의 진동 및 파손가능성 분석

김영석*, 송길목*, 정진수*, 김선구*, 전용주**, 류영태**
 한국전기안전공사 전기안전연구원*, 한국철도공사**

Analysis of Fault Possibility and Vibration of Glass Insulator on High-speed Railway

Young-Seok Kim*, Kil-Mok Shong*, Jin-Su Jung*, Sun-Gu Kim*, Yong-Ju Jeon**, Young-Tae Ryu**
 Electrical Safety Research Institute subsidiary of KESCO*, KOREA Railroad**

Abstract - This paper was studied fault possibility of glass insulator through the proper vibration and field vibration comparison. The proper vibration of 1 cell glass insulator have many frequency band and high amplitude showed in high frequency than low frequency. The field signal amplitude of viaduct and open route were biggest moment pantograph of high-speed rail. From the FFT analysis of viaduct and open route, in the case of positive direction, the strut tube insulator effect by vertical vibration was big, the frequency was 82.5Hz and 105Hz, respectively. However, in the case of negative direction, the vibration did not cause big effect. In comparison with the proper vibration of glass insulator, the resonance was not observed.

1. 서 론

국내의 고속철도는 프랑스의 테레베(TGV) 모델로 2004년부터 운영되고 있으며, 시속 300km/h로 운전되기 때문에 사고발생 시에는 승객의 안전뿐만 아니라, 경제적 손실, 국가 이미지 실추 등의 피해가 엄청나게 된다. 국내의 고속철도 설비를 살펴보면, 가선설비에 사용되는 애자는 유리애자이며, 유리애자는 폴리머애자 및 세라믹(자기)애자에 비해 파손의 발견이 용이하고, 전기적, 기계적으로도 세라믹 애자와 동등 이상의 특성을 가지고 있다. 하지만, 최근 고속철도 유리애자가 파손되는 경우가 자주 발생하여 그 원인을 고속철도 운행 중 집전장치와 전차선 이선으로 발생하는 썬지 전압, 뇌 충격 등의 전기적 요인과 전선류 진동, 동절기 비산되는 자갈 등의 기계적 요인, 기후변화에 따른 환경적 요인으로 추측하고 있다. 하지만, 정확한 원인은 알려지지 않았으며, 프랑스 TGV에서도 지난 10년간 80여개의 유리애자가 파손되었지만, 원인을 알지 못하고 있다.

고속철도 가선설비는 우리나라의 지형적 특성을 고려하여 토공구간, 터널구간, 교량구간으로 시설되어 있으며, 교량구간이 전체의 30% 정도를 차지하고 있다. 이는 프랑스의 TGV에 비해 많은 부분을 차지하고 있으며, 교량구간에서 유리애자의 파손비율이 약 60%를 차지하고 있다. 또한 유리애자는 급전선애자, 상부애자, 경사애자로 구분되어 시설되어 있으며, 경사애자의 파손비율이 약 56%였다. 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. 하지만, 유리애자의 파손원인 중, 전선 및 유리애자의 공진에 의해 파손 될 가능성이 있는지 연구 할 필요가 있다.

본 연구에서는 고속철도 가선설비의 유리애자 고유진동수 특성과 현장 가선설비의 진동을 측정하고 분석하여 진동에 의한 유리애자의 파손 가능성에 대해 살펴보았다.

2. 유리애자의 고유진동수 측정

2.1 유리애자의 고유진동수 측정

그림 1은 유리애자의 고유진동수를 측정하기 위한 개략도를 나타낸다. 하나의 물체는 기준위치에 대해 반복운동을 하는 고유진동수를 가지며, 물체의 고유진동수는 무수히 많다. 고속철도 유리애자의 고유진동을 측정하기 위하여 가속도계(Accelerometer, AC240-1A, CTC사)와 충격해머(Impact Hammer, 086C04, PCB사)를 이용하여 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 충격주고자하는 지점을 선택하고 충격해머로 가진을 시켰다. 이때 애자의 떨림 현상은 가속도계를 통해 FFT분석기를 통해 고

유진동수를 측정하였다.

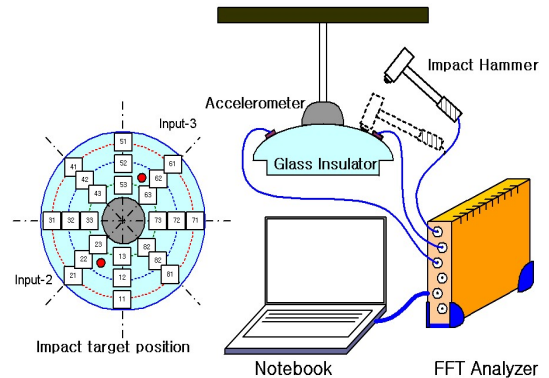


그림 1. 유리애자의 고유진동수 측정 개략도
 Fig. 1. The schematics of proper vibration measurement on glass insulator

2.2 유리애자의 고유진동수 분석

그림 2는 유리애자 1셀의 고유진동수를 나타낸다. 고유진동수 측정 시에는 임의로 주파수 범위를 넓게 하여 10kHz까지 설정하였다. 그림에서 알 수 있듯이, 고유진동수는 10kHz 범위에서 전체적으로 형성된 것을 알 수 있으며, 1.45kHz의 비교적 낮은 주파수 범위와, 5.15kHz에서 가장 큰 진폭 특성을 나타내는 것으로 확인되었다.

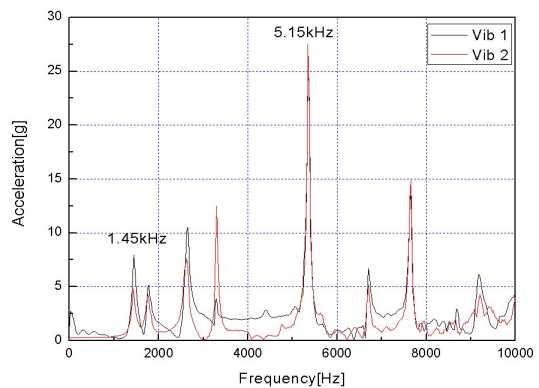


그림 2. 유리애자 1개의 고유진동수
 Fig. 2. The proper vibration of 1-cell glass insulator

3. 고속철도 유리애자의 현장진동 특성

3.1 고속철도 가선설비의 현장 진동측정 방법

현장에서의 진동을 측정하기 위하여 교량구간과 토공구간을 각각 1군데씩 선정하고 가선설비내의 경사애자를 대상으로 하였다. 그림 3은 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.

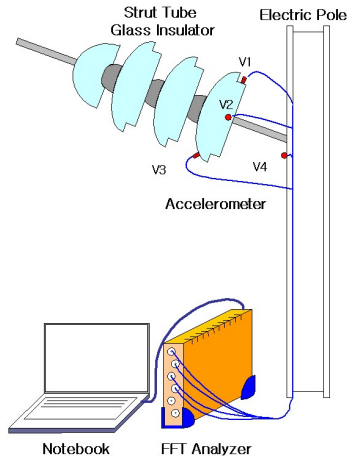
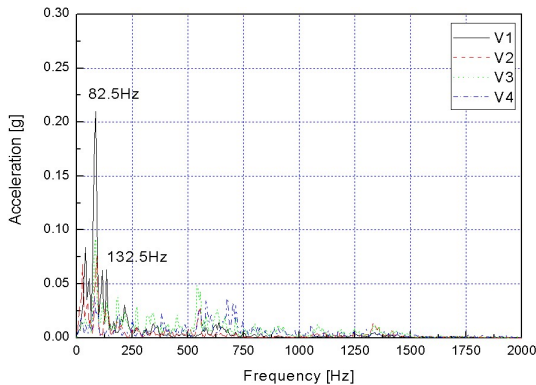


그림 3. 현장 진동측정개략도
Fig. 3. The schematic of vibration measurement the field

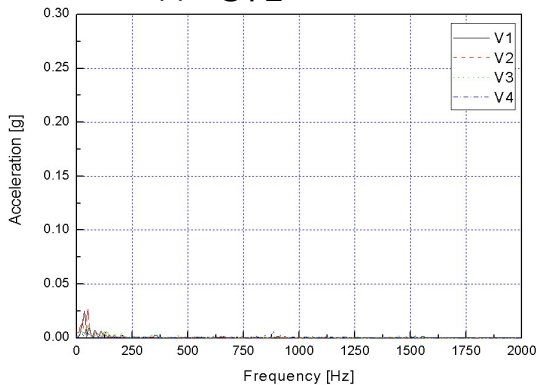
3.2 고속선로 가선설비의 현장 진동특성 분석

교량 및 토공구간의 진동신호는 고속열차의 팬터그래프가 부착된 경사예자를 지나가는 순간 가장 큰 진폭을 가졌으며, 그 때의 신호를 이용하여 분석하였다. 그림 4는 교량구간에서의 현장진동 측정에 따른 FFT분석 결과를 나타낸다. 주파수 분석은 진동이 감지되는 지점부터 시작하여 진동이 끝나는 부분까지 FFT 분석을 하였다. 그림 4(a)의 교량구간에서 positive의 경사예자 각 부위의 진동 주파수 분석 결과를 살펴보면, 유리에자의 진동 진폭은 크지 않았으며, 수직방향(V1)의 진폭이 가장 큰 것을 알 수 있다. 수직방향의 82.5Hz의 주파수 범위에서 진폭 0.21g의 값을 가졌으며, 주파수의 범위는 200Hz이하의 저주파 신호가 감지되었다. 수평방향, 예자표면방향, 가선설비에서의 진동 진폭은 크게 나타나지 않았지만, 예자표면진동(V3)의 경우 진동주파수 범위가 저주파에서 고주파 범위까지 넓은 것을 알 수 있다. 그림 4(b)의 교량구간에서 negative의 주파수 분석결과, positive와 비교해서 진동주파수 및 진폭의 영향이 작은 것을 알 수 있다.

그림 5는 토공구간에서의 현장진동 측정에 따른 FFT분석 결과를 나



(a) 교량구간 Positive

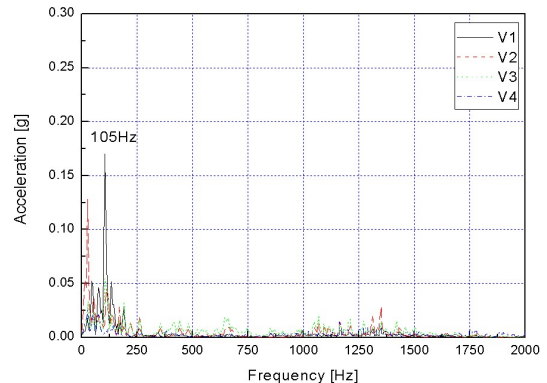


(b) 교량구간 Negative

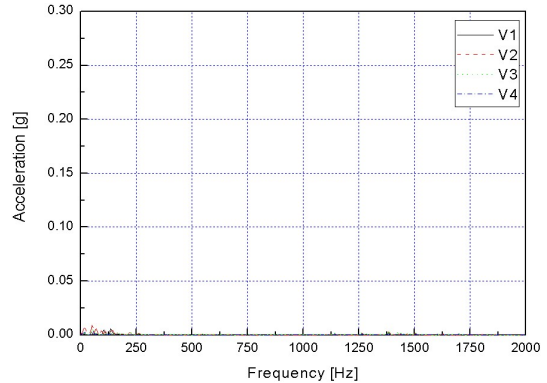
그림 4. 교량에서의 진동주파수 분석
Fig. 4. Analysis of vibration frequency on viaduct

타낸다. 그림 5(a)의 토공구간에서 positive 방향의 진동 주파수 분석 결과를 보면, 그림 5(a)와 같이 진동 진폭은 크게 나타나지 않았지만, 수직방향(V1)에서 105Hz의 주파수 범위에서 진폭이 0.175g의 값을 가졌다. 또한 negative의 경우에는 진동신호가 미미한 것을 알 수 있었다. 따라서 교량구간과 토공구간의 주파수 분석결과 두 구간 모두 경사예자의 수직방향(V1), 즉 상하진동에 의한 영향이 큰 것으로 판단된다. 한편, 유리에자 자체의 고유진동수와 현장 진동의 비교해 보면, 유리에자의 고유진동수는 고주파대역이 주로 분포하고 있으며, 현장 진동 측정에서는 저주파대역이 분포하는 것으로 측정되었다. 따라서 공진에 의한 유리에자의 파손 가능성은 낮은 것으로 판단된다. 또한 현장 진동 분석 결과, 유리에자에 일정한 진폭이 가해지지만, 유리에자는 진동의 누적에 의한 열화특성을 나타내지 않기 때문에 파손의 가능성이 낮은 것으로 판단된다.

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



(a) 토공구간 Positive



(b) 토공구간 Negative

그림 5. 교량 및 토공에서의 진동주파수 분석
Fig. 5. Analysis of vibration frequency on open route

4. 결 론

본 연구에서는 고속철도 가선설비의 유리에자 고유진동 특성과 현장 가선설비의 진동특성을 비교 실험하였으며, 공진에 따른 유리에자의 파손 가능성에 대해 검토해보았다. 유리에자의 1셀의 고유진동수는 여러 주파수대역에서 나타났으며, 저주파보다는 고주파에서 높은 진폭을 가졌다. 교량 및 토공구간의 진동신호는 positive 방향에서 두 구간 모두 고속열차의 팬터그래프가 부착된 경사예자를 지나가는 순간 가장 큰 진폭을 가졌다.

교량구간과 토공구간의 주파수 분석결과 positive 방향에서 경사예자의 수직방향(V1), 즉 상하진동에 의한 영향이 크며, 교량구간은 82.5Hz, 토공구간은 105Hz의 주파수가 나타났다. 또한 현장 진동과 고유진동수의 비교에서 공진에 의한 유리에자의 파손 가능성은 낮은 것으로 판단되며, 예자표면 진동의 진폭이 높지만 진동의 피로누적에 의한 유리에자 열화현상은 발생하지 않기 때문에 파손의 가능성이 낮은 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

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