

한국형 고속전철 집전장치의 성능 계측 및 평가

Test and Evaluation of the Pantograph for Korean High Speed Train

서승일¹, 박춘수¹, 조용현², 최강윤³, 목진용¹

Sung-Il Seo, Choon-Soo Park, Yong-Hyun Cho, Kang-Yoon Choi, Jin-Yong Mok

Abstract

The pantograph for Korean High Speed Train was developed by home-grown technology. In this study, test and evaluation of the current collection performance of the pantograph is conducted. For this purpose, a measuring system is developed and installed on the prototype high speed train. Measurement is conducted while the train runs on the test track. The measuring system is composed of video monitoring system and telemetry & data processing system. It monitors the hazard behavior of the pantograph and measures acceleration and vertical force of the pan head. By applying the measuring system, accurate evaluation of the performance of the pantograph and safety assessment of the interface system of pantograph and catenary is facilitated.

1. 서론

한국형 고속전철 시제차는 지난 6년간의 기술 개발 과정을 거쳐 완성되었고, 현재 경부고속철도 시운전 시험 구간에서 시운전 시험을 성공적으로 진행하고 있다[1]. 한국형 고속전철 시제차는 동력차 2량과 동력객차 2량 객차 3량의 7량 1편성으로 구성되어 있으며 전후의 동력차에 각각 집전장치(pantograph) 1세트가 설치되어 가선으로부터 25kV의 전원을 공급받게 된다. 시제차의 집전장치는 국내 기술에 의해 개발된 싱글 암형 팬터그래프로서 시제품에 대한 성능 시험을 거쳐 시제차에 탑재되었다. 집전장치는 가선으로부터 1차적으로 전력을 공급받는 장치로서 집전(current collection) 성능은 물론 가선과의 인터페이스 성능이 고속철도시스템과 차량의 안전성에 지대한 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 한국형 고속전철

시제차 집전장치의 집전 성능 및 인터페이스 성능 검증을 위해 계측 시스템을 개발하였고, 개발 시스템을 적용하여 시제차의 본선 시운전 중 집전장치 성능을 계측하였으며, 계측 결과를 이용한 성능 평가 방법을 제시하였다.

2. 한국형 고속전철 집전장치의 주요 사양

G7 한국형 고속전철기술개발 사업을 통해 국산화 개발된 집전장치의 주요 사양은 Table 1과 같다[2].

¹ 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단

² 한국철도기술연구원 기획조정실

³ 한국철도기술연구원 기존선전철화자문팀

Table 1 Major specifications of pantograph of Korean High Speed Train

항목	사양
조작 방식	운전실에서 팬터그래프 선택 S/W 및 SCU제어
형식	Single Arm 방식
동작 방식	상승 : 주스프링 하강 : 공압실린더
공기 압력	7~10 bar
집속력	상승 시 표준 : 70 N 평균집속력 : 200 N
작용 높이	최저 : 100 mm(레일 선단으로부터 4,289 mm)
	최고 : 1,500 mm
	표준 : 1,092 mm
중량	282 kg
전압	AC 25 kV, 60 Hz
전류	정격 : 1,000 A
	최대 : 1,200 A
이선율	열차의 운행 시간에 대해 1% 이하

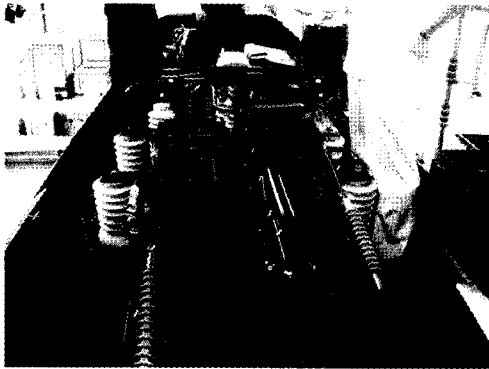


Fig. 1 Pantograph of Korean High Speed Train

3. 집전장치 계측 시스템

집전장치의 1차 목적이 가선으로부터 전력을 공급 받는 것임을 상기할 때, 가선의 추종성은 집전장치가 확보해야 할 1차적인 성능이라 할 수 있어서 성능 검증이 필요하다. 또한 고속철도시스템의 안전성 측면에서 가선에 미치는 팬터그래프의 영향을 검증해 보는 것도 필수적이다. 이를 위해 개발한 한국형 고속전철 시제차의 집전 성능 계측 시스템 구성도는 Fig. 2와 같다.

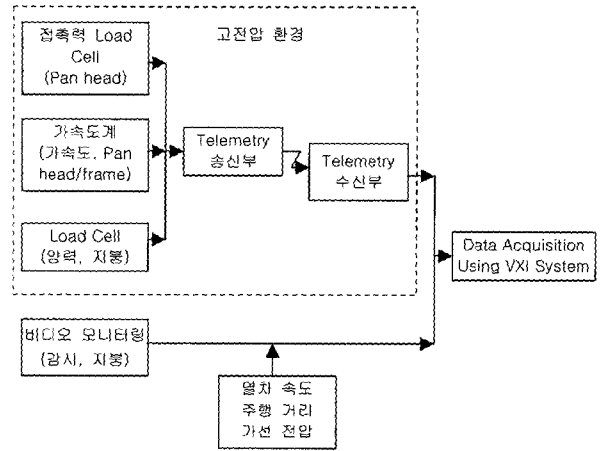


Fig. 2 Configuration of pantograph measurement system

3.1 화상 모니터링 시스템

팬터그래프의 가선에 대한 추종성을 검증할 수 있는 확실한 방법은 육안으로 판토프그래프의 거동을 확인하는 것이다. 팬터그래프의 이선 및 아크 발생은 가선에 손상을 주면서 공급되는 전력의 품질에도 영향을 미치므로 화상 모니터링 시스템을 통한 육안 확인이 필요하다. 화상 모니터링 시스템은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 차량 지붕 위에 설치된 비디오 카메라로부터 촬영되는 화상 데이터와 차축으로부터 전송되는 속도 및 주행거리 데이터를 VXI 시스템에서 처리하여 컴퓨터상에서 가시화하고 이를 다시 비디오에 녹화하는 시스템이다. Fig. 3은 실제 동력객차 위에 설치된 비디오 카메라와 야간 조명 장치를 나타내며 Fig. 4는 실제 구축된 모니터링 시스템을 나타낸다.

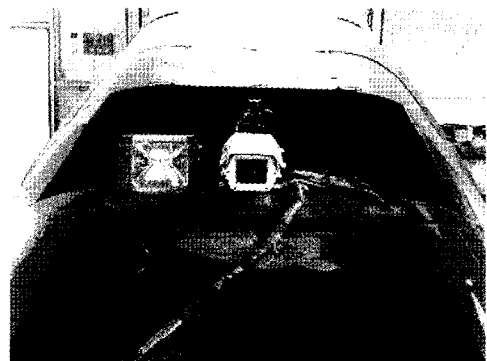


Fig. 3 Camera and light on motorized trailer



Fig. 4 Graphic data processing system

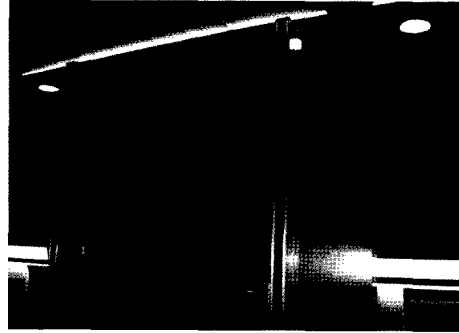


Fig. 6 Receiving part of telemetry and VXI processing system

3.2 계측 시스템

집전 장치 계측 시스템을 통해 1차로 계측하고자 하는 항목은 집전판의 가속도와 양력이다. 팬터그래프 집전판에 설치된 센서로부터 발생하는 신호는 고전압의 위험으로 인해 케이블 전송 방식을 피하고, Fig. 5의 텔레메트리 송신부에서 전파를 통해 Fig. 6의 차상 텔레메트리 수신부로 전달된다. 수신부에서는 신호를 VXI 시스템으로 처리하게 된다.

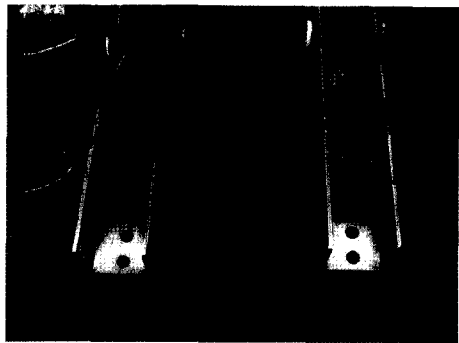


Fig. 7 Acceleration sensor under pan head

3.2.1 가속도 계측

고속 주행 중의 집전판의 가속도를 계측하기 위해 Fig. 7 및 Fig. 8과 같이 가속도계를 부착한다. 가속도계에서 검지한 집전판의 가속 운동에 따른 신호는 텔레메트리 송신부에 전달되어 처리된다. 가속도계는 집전판과 집전판 사이의 크로스바에 각각 2개씩 부착되어 있고, 대형 플런저(large plunger)에 1개 부착되어 있다.

가속도계의 사양은 Table 2와 같다.

3.2.2 양력 계측

팬터그래프는 하부의 보조 공압시스템에 의한 정적 압상력뿐만 아니라 고속 주행 시 주위의 유동에 의해 형성되는 양력도 받게 된다. 양력은 동적 압상력이라고도 할 수 있는데, 정적 압상력과 함께 접촉력을 형성하여 가선의 마모와 안정성에 영향을 미친다. 양력 계측을 위해 Fig. 9와 같이 지붕 위에 설치된 로드셀과 집전판을 Fig. 10과 같이 와이어 로프로 연결하고, 고속 주행시 집전판의 압상력을 와이어 로프를 통해 로드셀에 전달되게 한다. 로드셀에서 감지한 압상력 신호는 텔레메트리를 통해 전송된다. 로드셀의 사양도 Table 2에 제시되어 있다.



Fig. 5 Sending part of telemetry

와이어 로프 및 양력 로드셀을 통한 양력의 측정을 위해서는 전후 동력차의 팬터그래프를 모두 상승시켜야 하는데, 이 경우 정상 동작 상태가 아니어서 정상 제어가 곤란하고, 위험을 초래할 수 있어 상시 계측은 곤란하다.

Table 2 Specifications of measuring sensors

Description	Acceleration Sensor	Load Cell
최대정격	196.1 m/sec ²	980 N
정격출력	1000 μ ε	4000 μ ε
AMP Unit Range	500 μ ε	5000 μ ε
Receiver Output	4.9V	4.9V
Slope	20 m/sec ² /.9V	250 N/V

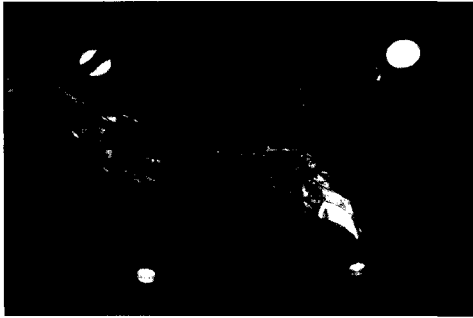


Fig. 8 Acceleration sensor under cross bar and load cell for spring force measurement

3.2.3 접촉력 계측

팬터그래프의 가선과의 접촉력은 Fig. 11을 참고로 하여 다음 식으로 구해진다[3].

$$F_i = -F_c + F_a + F_s \tag{1}$$

- 여기서, F_i = 관성력(inertia force)
- F_c = 접촉력(contact force)
- F_a = 양력(lifting force)
- F_s = 스프링 반력(spring force)

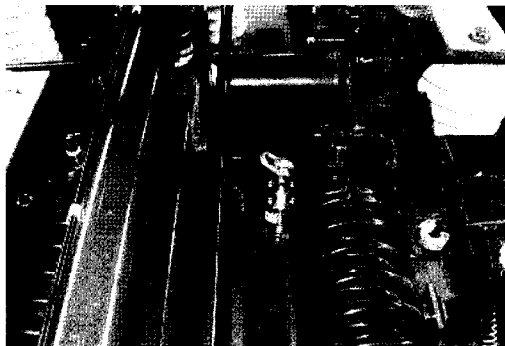


Fig. 9 Load cell for lifting force measurement

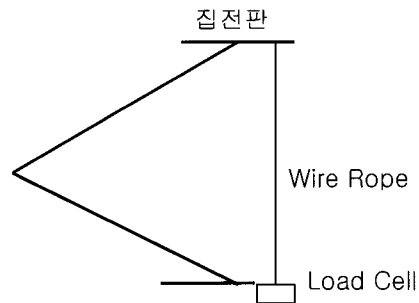


Fig. 10 Connection of pan head and lift load cell

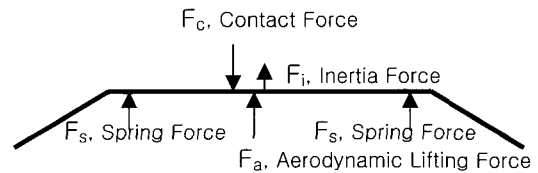


Fig. 11 Equilibrium condition of pan head

팬터그래프의 가속도 운동에 따른 관성력은 평형 위치를 중심으로 상하로 변화하므로 평균값은 영으로 볼 수 있어서 (1)식에 의한 평균 접촉력은 다음 식으로 표현할 수 있다[3][4].

$$F_{c(mean)} = F_a + F_s \tag{2}$$

여기서, $F_{c(mean)}$ = 평균 접촉력

평균 접촉력은 스프링 반력과 양력의 합으로 볼 수 있는데, 속도에 따른 양력 변화는 다음 식으로 표현될 수 있다[4].

$$F_a = kV^2(N) \tag{3}$$

여기서, k 는 양력 계수로서 실제 차량이 균일 속도로 주행할 시에 계측된 양력을 일정시간 평균하여 얻어진 양력값을 이용하여 계산된다.

4. 집전 성능 계측 결과

4.1 화상 모니터링 결과

화상 모니터링 시스템을 통해 얻어진 화상 데이터는 비디오에 녹화되며, 아크 발생 또는 팬터그래프의 이상 거동을 육안으로 확인하게 된다. 화면의 예는 Fig. 12 및 13과 같다. Fig. 11과 같이 화면에는 주행 속도와 위치가 함께 기록되며 전력 분석기로부터 얻어진 가선 전압값도 함께 현시된다. 또한 마커를 이용하여 집전판의 상하 또는 좌우 진동을 확인할 수 있고 아크가 발생하는 상황을 모니터링할 수 있다. Fig. 13은 카메라가 설치된 TP2 동력차에서 하행 시 TP1 동력차 팬터그래프의 아크 발생 현황을 모니터링한 화면이다.

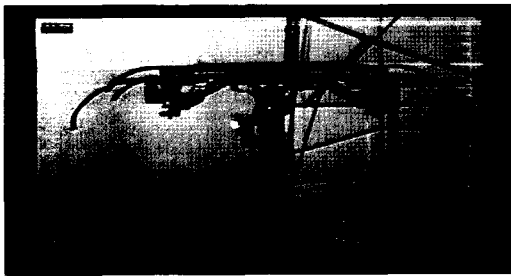


Fig. 12 Display of monitoring data (moving to north direction)

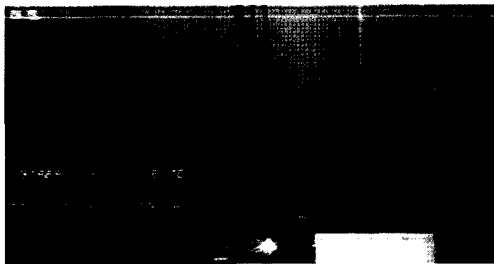


Fig. 13 Display of monitoring data (moving to south direction)

4.2 가속도 계측 결과

크로스바에서 가속도를 계측한 결과를 Fig. 14와 Fig. 15에 나타내었다. Fig. 14와 15는 150 km/h의 속도로 주행 중에 크로스바 좌우에서 가속도를 계측한 결과로써, 대체적으로 좌우에서 상하 가속도값이 유사한 경향을 보여주고 있으나, 특정 시간에 좌우에서 서로 다른 피크값을 보여주기도 한다. 이는 가선이

좌우로 이동하면서 집전판을 지나가고 차량의 횡동요도 존재하는 상황에서 팬터그래프 하부에서 전달되는 충격에 의한 크로스바의 좌우 응답이 다소 달라지기 때문이라 사료된다. 전체적으로 6 m/sec^2 이하의 값을 보이고 있는데 상방향의 가속도가 하방향의 가속도보다 큰 값을 보이고 있는 것은 정적 압상력이 상방향으로 작용하고 있기 때문으로 사료된다.

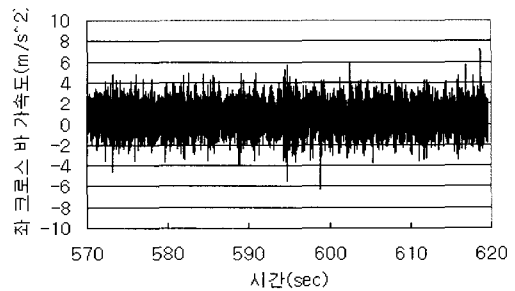


Fig. 14 Measured acceleration of cross bar (left side)

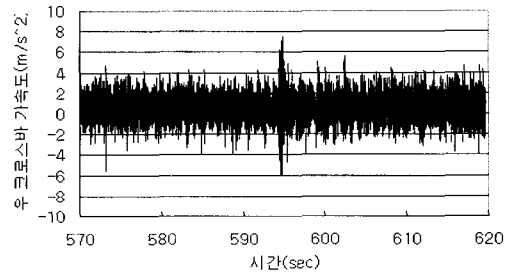


Fig. 15 Measured acceleration of cross bar (right side)

4.3 양력 계측 결과

Fig. 9의 양력 로드셀을 이용하여 양력을 계측한 결과는 Fig. 16과 같다. Fig. 16에서 2개의 압상력 곡선이 나타난 것은 2개의 로드셀이 전후 집전판 헤드에 와이어 로프로 연결되어 각각에서 얻은 양력이 계측되었기 때문이고, 전방의 압상력이 작은 것은 후방의 와이어 로프가 초기 연결 시에 전방보다 좀더 팽팽하게 로드셀과 연결되었기 때문이다. 전체 압상력은 전후 헤드의 압상력을 합하면 되므로 크게 문제시 되지 않는다. Fig. 16은 속도 증가에 따른 동적 압상력의 변화가 2차의 포물선 형태로 증가함을 보여 주고 있다.

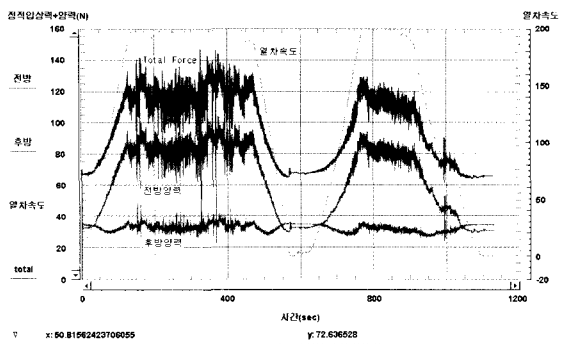


Fig. 16 Measured lifting force

4.4 접촉력 계측 결과

팬헤드 하부의 2차 스프링에 연결된 로드셀에서 계측한 스프링 반력에 (3)식으로 주어진 양력을 보정하여 접촉력을 구한 결과는 Fig. 17과 같이 주어진다. Fig. 17에서 집전판은 250 km/h의 주행 속도에서 2g 이상의 가속도로 운동을 하고 있음을 알 수 있고, 가선에 작용하는 평균 접촉력은 기준치 200N 이하임을 확인할 수 있다.

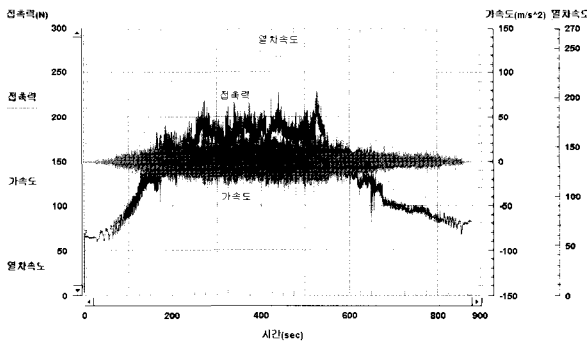


Fig. 17 Measured contact force and acceleration

4. 결론

본 연구에서는 고속전철 집전장치의 성능을 평가할 수 있는 계측 시스템을 개발하고, 시제차에 설치하여 고속전철 시운전 시험 중 집전장치의 성능을 계측하였다. 국내에서 처음으로 개발된 집전장치 계측 시스템은 화상 모니터링 시스템과 고전압 환경하의 각종 센서와 송신 텔레메트리 및 수신 텔레메트리와 데이터 분석 장치로 구성되어 있다. 개발된 시스템을 통해 팬터그래프의 이선, 아크 발생 유무, 집전판의 가속도, 양력 및 압상력 등을 계측할 수 있었고, 집전장치의 성능 및 가선과의 인터페이스 성능을 평가해 볼 수 있었으며, 이로부터 본 집전장치 계측 시스템의 유용성을 입증할 수 있었다.

참고 문헌

1. "G7 고속전철 열차시험 및 성능 평가 기술 개발", 1-II-1-0-1, 한국철도기술연구원, 2002.
2. "G7 고속전철 기술개발 사양서", 한국철도기술연구원, 2002.
3. M. Ikeda and T. Usuda, "Study on the Method of Measuring the Contact Force between Pantograph and Contact Wire", RTRI Report Vol. 14, No. 6, 2000.
4. "Qualification Test Procedure Trainset Pantograph Test", Korea High Speed Rail, 2001.