

한국형 고속전철 집전장치 접촉력 계측에 관한 연구

서승일[†] · 조용현* · 박춘수[†] · 목진용[†]

A Study on the Measurement of Contact Force of Pantograph of Korean High Speed Train

Sung Il Seo, Yong Hyun Cho, Choon Soo Park and Jin Yong Mok

Key Words: Contact Force(접촉력), High Speed Train(고속전철), Lift Force(양력), Load Cell(로드셀), Measuring System(계측시스템), Pantograph(집전장치)

Abstract

The pantograph for Korean High Speed Train was developed by home-grown technology. In this study, a system to measure the contact force of pantograph is developed and installed on the prototype high speed train. Contact force prevents the pantograph from separating from the catenary. However, excessive contact force causes rapid erosion of catenary. The contact force can be divided into lift force and spring force. Contact force measurement is conducted while the train runs on the test track. The lift force is measured by the load cell on the roof separately and combined with the spring force of pan-head to form the contact force. Measured results show that the contact force of the pantograph of Korean High Speed Train is below the upper limit regulated by the high speed train standards. The contact force measuring system provides data to evaluate safety of the catenary system.

기호설명

a = 집전판의 가속도

F_a = 양력(lift force) (N)

$F_{a(mean)}$ = 시간 평균 양력 (N)

F_c = 접촉력(contact force) (N)

$F_{c(mean)}$ = 시간 평균 접촉력 (N)

F_i = 관성력(inertia force) (N)

F_s = 스프링력(spring force) (N)

$F_{s(mean)}$ = 시간 평균 스프링력 (N)

k = 양력 계수

m = 집전판의 질량

V = 차량의 속도(km/h)

1. 서론

고속전철의 집전장치는 적절한 추종성을 위한 정적인 압상력(upward force) 뿐만 아니라 고속 주행 시에 발생하는 양력에 의한 동적 압상력을 가선에 가하게 된다. 압상력을 포함한 집전장치의 가선과의 접촉력은 음이 될 때 이선(separation)을 유발시켜 집전 성능(current collection)을 저해하는 요인이 되지만, 과도할 경우 가선의 마모를 촉진하여 가선의 수명을 단축시키는 문제도 유발한다. 경부고속철도 차량시스템의 경우에도 집전성능 확보 및 선로시스템의 유지 보수 관점에서 이선율과 집전장치 접촉력의 상한을 규정하고 있다[1].

본 연구에서는 지난 7년간의 개발 과정을 거쳐

[†] 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단

E-mail : siseo@krii.re.kr

TEL : (031)460-5623 FAX : (031)460-5649

* 한국철도기술연구원 기획조정실

현재 천안과 시목 사이의 경부고속철도 시운전 구간에서 시운전을 진행하고 있는 한국형 고속전철[2] 집전장치의 접촉력을 계측하는 시스템을 개발하고, 개발 시스템을 이용하여 접촉력을 계측한 결과를 제시하여 집전장치의 성능 및 안전성을 검증하고자 한다.

2. 접촉력 계측의 원리

2.1 집전판에 작용하는 하중의 평형방정식

고속 주행 중인 집전장치에 작용하는 하중은 다음 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. 주행 중 집전판이 운동을 할 때에 하부의 서스펜션 스프링에 의한 반력이 존재하고, 집전판 주위의 공기 유동에 의한 양력이 작용하며 가선과의 접촉력과 집전판 운동에 의한 관성력도 작용한다. 집전판에 작용하는 하중계의 평형방정식은 다음 (1)식과 같이 표현된다[3].

$$F_t = -F_c + F_a + F_s \quad (1)$$

(1)식을 변형하여 접촉력 계산식을 구하면 다음 (2)식과 같이 된다.

$$F_c = F_a + F_s - ma \quad (2)$$

(2)식을 기초로 하여 집전판의 접촉력을 계측하게 되는데, 가선에 미치는 영향을 검증하는 수단으로서의 접촉력은 순간적인 값보다도 일정 시간 동안의 평균값이 의미가 있으므로 시간 평균값이 필요하게 된다. 중립 위치를 중심으로 불규칙 운동을 하는 집전판의 가속도 시간 평균값은 영이라고 볼 수 있으므로 (2)식은 다음과 같이 변경될 수 있다.

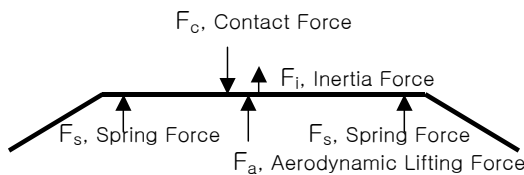


Fig. 1 Equilibrium condition of pan-head

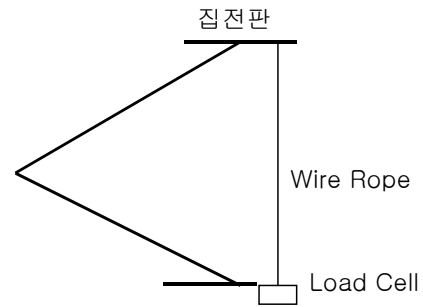


Fig. 2 Connection of pan-head and lift load cell

$$F_{c(mean)} = F_{a(mean)} + F_{s(mean)} \quad (3)$$

(3)식을 이용하여 집전판의 평균 접촉력을 얻기 위해서는 집전판의 양력과 집전판 하부의 스프링 하중을 계측해야 한다. 스프링 하중은 스프링 하부에 로드셀을 부착하여 직접 계측할 수 있으나, 집전판의 집전 중 양력은, 직접 계측 과정에서 고압 가선에 따른 위험이 따르게 되어, 동시 실시간 계측이 곤란하다. 따라서 별도의 과정을 거쳐 양력을 계측하게 된다. 스프링 하중에는 집전장치의 초기 상승 및 유지를 위한 정적인 압상력이 포함되어 있다.

2.2 양력 계측 방법

공기 유동에 의한 양력은 속도의 제곱에 비례하므로 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$F_{a(mean)} = kV^2 \quad (4)$$

집전판의 양력 비례상수 k 를 측정하게 되면 각각의 속도 단계에서 양력을 구할 수 있게 된다. 양력 계측 원리를 그림으로 표현하면 Fig. 2와 같다. 지붕 위에 설치된 로드셀과 집전판을 와이어 로프(wire rope)로 연결하여 주행 중에 집전판이 받는 양력이 로드셀로 직접 전달되게 한다.

3. 한국형 고속전철 집전장치의 주요 특성

최고 영업속도가 350km/h로써, 현재 경부고속철도 시운전 구간에서 300km/h 속도로 시운전을

진행하고 있는 한국형 고속전철 시제차 집전장치의 주요 사양[4]은 Table 1과 같고, 형상은 Fig. 3와 같다.

Table 1 Major Specification of Pantograph of Korean High Speed Train

항목	사양
조작 방식	운전실에서 팬터그래프 선택 S/W 및 SCU 제어
형식	Single Arm 방식
동작 방식	상승 : 주스프링 하강 : 공압실린더
공기 압력	7~10 bar
접촉력	상승 시 표준 : 70 N 평균접촉력 : 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. 3 Pantograph of Korean High Speed Train

집전장치는 전후의 동력차에 각 1세트가 설치되어 있으며, 진행 방향 기준으로 후부의 집전장치로부터 집전이 이루어져서 차량 내의 추진시스템과 보조전원 시스템을 비롯한 각종 전기장치에

전력을 공급한다.

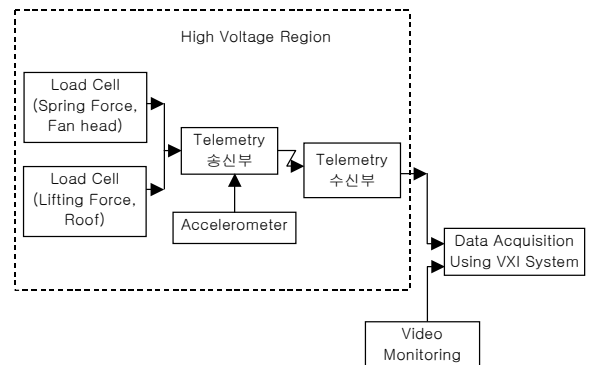


Fig. 4 Configuration of contact force measurement system

4. 접촉력 계측 시스템

4.1 계측 시스템

집전관의 접촉력을 계측하기 위한 시스템은 다음 Fig. 4와 같이 구성되어 있다. 집전관 하부 2차 스프링의 반력을 계측하기 위한 로드셀과 양력을 계측하기 위한 로드셀에서 발생된 신호는 차량의 지붕위에 설치된 텔레메트리(telemetry) 송신부로 전달되고 송신부는 무선으로 신호를 객실내의 수신부로 전송한다. Fig. 5와 같은 객실내 수신부와 신호 처리 시스템에서는 전송된 신호를 처리하여 접촉력 데이터를 그래픽으로 실시간 가시화하고 출력하게 된다. 텔레메트리 송신부에는 로드셀 뿐만 아니라 집전관 가속도 등의 신호도 함께 전달되어 처리되고 비디오 카메라에 의한 화상 감시도 가능하다.

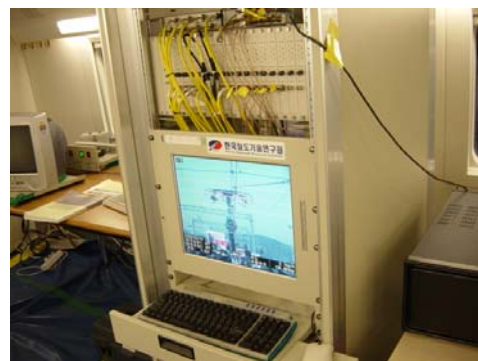


Fig. 5 Graphic data processing system

4.2 양력 계측



Fig. 6 Lift load cell on the roof



Fig. 7 Wire rope to connect pan-head with lift load cell

양력은 2.2절에서 기술한 대로 Fig. 6에 나타난 지붕 위의 로드셀을 Fig. 7과 같이 집전판과 와이어로프로 연결하고 주행 중에 발생한 양력을 로드셀이 감지하도록 한다.

4.3 스프링력 계측

스프링력은 양력과는 별도로 Fig. 8과 같이 집전판 하부의 2차 서스펜션 스프링과 연결된 로드셀로부터 계측된다.



Fig. 8 Load cell under second suspension spring

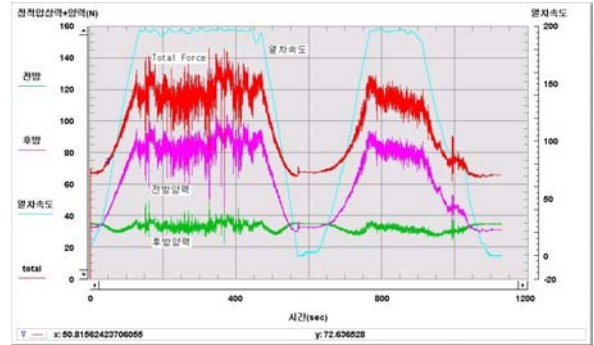


Fig. 9 Measured results of lift force

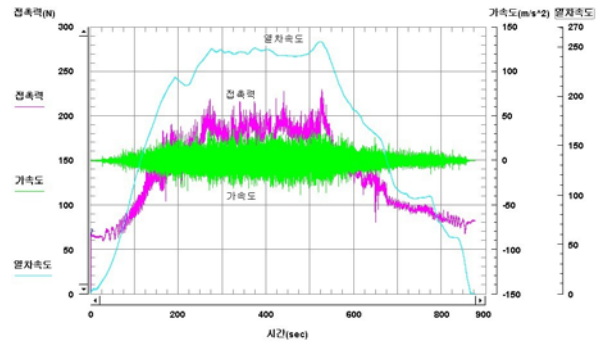


Fig. 10 Measured contact force and acceleration

5. 접촉력 계측 결과

5.1 양력 계측 결과

양력 계측을 위해, 집전 중인 집전장치와 동시에 양력 계측용 집전장치가 비상 모드로 상승되어야 한다. 양력 계측용 집전장치는 가선과는 접촉하지 않은 상태에서 양력만 작용하게 높이를 와이어로프로 조정한다. 시운전을 통해 계측된 양력 결과는 Fig. 9과 같고 Fig. 9을 기초로 계산된 양력 계산식은 (5)식과 같다.

$$F_{\alpha(mean)} = 0.000429 V^2 \tag{5}$$

Fig. 9에서 2개의 압상력 곡선이 나타난 것은 2개의 로드셀이 전후 집전판 헤드에 와이어 로프로 연결되어 각각에서 얻은 양력이 표시되었기 때문이고, 전방의 양력이 작은 것은 후방의 와이어 로프가 초기 연결 시에 전방보다 좀더 팽팽하게 로드셀과 연결되었기 때문이다. 전체 압상력은 전후 헤드의 압상력을 합하면 되므로 크게 문제 되지 않는다. Fig. 9은 속도 증가에 따른 양

력의 변화가 2차의 포물선 형태로 증가함을 보여 주고 있다.

5.2 접촉력 계측 결과

양력 계산식을 (3)식과 같이 고려하여 스프링력 계측 결과에 보정하여 얻어진 접촉력은 Fig. 10과 같다. Fig. 10에서 스프링력과 함께 가속도계로부터 계측된 집전판의 가속도 결과도 함께 표시하였다.

Fig. 10에서 집전판은 250 km/h의 주행 속도에서 2g 이상의 가속도로 운동을 하고 있음을 알 수 있고, 가선에 작용하는 평균 접촉력은 기준치 200N 이하임을 확인할 수 있고, 음의 값도 발생하지 않아 심각한 이선도 발생하지 않음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 고속전철 집전장치의 접촉력을 계측할 수 있는 시스템을 개발하고, 한국형 고속전철 시제차에 설치하여 시운전 시험 중 접촉력을 계측하였다. 가선과의 접촉력은 양력과 스프링력의 합으로 표현되며, 양력은 별도의 과정을 통해 계측한 후에 스프링력과 합산된다.

국내에서 처음으로 개발된 접촉력 계측 시스템을 통해 고속전철 집전장치의 집전성과 가선시스템의 안전성을 검증해 볼 수 있다. 접촉력 계측 결과, 한국형 고속전철 집전장치는 고속 주행 시 집전성능이 우수하고 접촉력도 기준치 이하임을 알 수 있었다. 또한 가선의 마모에 심각한 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 G7 한국형 고속전철 기술개발사업의 일부로 수행된 것임을 밝힙니다.

참고문헌

- (1) Alstom, 2001, *Qualification Test Procedure Trainset Pantograph Test*, Korea High Speed Rail, pp. 28~30.
- (2) Choi, G. Y. and Kim, S. W., 2002, "G7

Development of technology for test and evaluation of performance of Korean High Speed Train", No. 1-II-1-0-1, Korea Railroad Research Institute.

- (3) Ikeda, M. and Usuda, T., 2000, "Study on the Method of Measuring the Contact Force between Pantograph and Contact Wire", *RTRI Report*, Vol. 14, No. 6, pp. 7~12.
- (4) Kim, K. H., Jung, G. R., Lee B. S., 2002, *G7 System Specification Korean High Speed Train*, Korea Railroad Research Institute pp. 51~53.