

한국형고속열차의 동력전달축 부하측정 Torque Measurement of Tripod Shaft for HSR-350x

김상수[†] · 김영국* · 김기환* · 박춘수*

Sang-Soo Kim · Young-Guk Kim · Ki-Hwan Kim · Choon-Soo Park

Abstract Korea High-speed Railway (HSR-350x) was developed by Korean government, several institutes, and related companies. HSR-350x was investigated its performance and tested at the high speed line. In 2004 December, HSR-350x was run over 350km/h and proved its running performance. And Korean Train Express (KTX) served the commercial traffic for 4 years. These high speed railways have 12 motors to transfer the traction effort or the braking force. To obtain the load of the transfer shaft, it is necessary to measure the transferred torque of the shaft. In this paper, authors propose the construction the measurement system for monitoring the force transferred to the train from the motor. The system was installed to the tripod shaft which is located between the reduction gears and it measures the mechanical load directly.

Keywords : High Speed Railway, Tripod Shaft, Measurement System

요 지 고속철도차량은 견인력 및 제동력을 전달하기 위하여 한 편성당 12개의 전동기를 동력차 및 동력객차에 설치하고 있다. 각각의 전동기는 회전력을 트리포드 축을 통하여 윤축에 전달한다. 본 연구에서는 한국형고속열차 트리포드 축에 회전력을 직접 측정할 수 있는 시스템을 구축하여 본선 주행시 토크를 측정하고, 그 결과를 검토하고자 한다.

주요어 : 고속철도, 트리포드 축, 측정시스템

1. 서론

고속열차 KTX가 2004년부터 영업운행을 시작하여 수송량에 많은 업적을 세우고 있고, 국내기술로 만들어진 한국형 고속열차는 경부고속선로에서 시험 운행 중이며, 2004년에는 세계 4번째로 350km/h 증속시험에 성공하였다. 고속철도 차량은 견인력 및 제동력을 전달하기 위하여 한 편성당 12개의 전동기가 설치되어 있다. 전동기의 회전력은 감속기를 거쳐 특수동력전달축(트리포드 축)을 통하여 윤축에 전달되어 열차에 동력을 전달하고 있다. 전동기에서 전달되는 견인력 및 제동력은 전동기의 전류치 혹은 열차의 속도 등을 통하여 간접적으로 구하는 방법을 취하고 있다[1].

본 연구에서는 한국형고속열차의 동력전달계통에 기계적인 부하를 직접 측정할 수 있는 시스템을 구축하여 본선 시운전 시험 시 열차에 전달되는 토크를 모니터링 할 수 있는 방안을 제시하고 열차에 취부하여 실차 시험을 통하여 토크의 변화를 검토하고자 한다. 본 시스템을 통하여 열차의 제동력 및 견인력을 인가할 때 실제 차량에 전달되는 부하를 측정하고 변화를 관측하고자 한다.

2. 동력전달장치 및 트리포드 축의 구조

2.1 동력전달장치의 구조

한국고속철도(KTX) 및 한국형고속열차(HSR 350x)는 한 편성 당 4대의 동력대차 및 2대의 동력객차대차를 갖고 있다. 열차는 각 동력대차와 동력객차대차마다 두 개의 차축을 갖고 있어, 총 12개의 차축을 갖으며 각 축마다 전동기가 설치되어 있다. 각 대차당 2개의 전동기를 기동하기 위하여 모

[†] 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원, 차세대고속철도기술개발사업단, 선임연구원

E-mail : sskim@krti.re.kr

TEL : (031)460-5625 FAX : (031)460-5649

* 정희원, 한국철도기술연구원, 차세대고속철도기술개발사업단

터블록이 취부되어 인버터를 통하여 회전 전류를 제어하고 있다. 이 전동기들은 차체에 부착되어 있으며 전동기의 회전력을 전달하고 있다.

동력전달은 감속기를 거쳐 Tripod 입력기어 - 조립체 - 출력기어 및 차축으로 전달되어 열차의 추진력 및 제동력을 전달하게 된다. 이 때 동력전달축은 차체와 대차의 상대운동 및 변위가 일어나게 된다. 이 문제를 해결하기 위하여 차체와 대차사이 동력 전달을 위한 특수 동력전달 축이 트리포드 축이다. 트리포드는 양 단에 유니버설 조인트를 갖고 있어 1차 감속기와 2차 감속기의 전달방향이 불일치될시, 즉 수평이 아닐 때에도 회전이 가능하다. 또한 트리포드 축은 3개의 방울이 달린 모양의 수놈이 압축에 조립되어 축 방향으로 움직임이 자유로우므로, 대차와 차체의 상대변위차가 발생하더라도 회전력을 수용할 수 있다.

따라서 동력전달과정은 Fig. 1에서 볼 수 있는 것처럼, 견인전동기 → 1차 감속장치 → 트리포드 → 2차 감속장치 → 윤축 → 휠로 연결되어 차량에 추진력 혹은 견인력을 전달하게 된다.

2.2 트리포드 축의 구조

특수동력전달축 트리포드의 구조는 Fig. 2와 같이 2개의 조인트 및 본체로 구성되어 있으며, 각각의 구성품은 다음과 같다.

- (1) Sliding-Joint : 차축기어 감속장치의 입력기어에 취부된 조인트
- (2) Fixed-Joint : 1차 감속기의 출력기어에 취부된 조인트
- (3) Fuse : 과도한 부하가 전달될 시 과도한 토크로 인하여 대차의 불안정을 사전에 방지하기 위하여 절손되도록 설계된 부위
- (4) Tripod Unit : 트리포드의 슬라이드의 토크를 바렐에 전달하기 위한 장치

트리포드 축은 전동기의 회전력을 바퀴에 부드럽게 전달하며, 선로와 바퀴사이의 진동과 충격을 전동기에 전달되지 못하도록 하여 고속열차용 전도기를 보다 효율적으로 사용할 수 있도록 한다. 한편, 고속철도 차량에서는 전동기를 차축이나 대차가 아닌 차체에 직접 붙여 스프링 하중(Unsprung weight : 차량의 무거운 스프링등의 Cushion없이 레일에 직접 영향을 미치는 중량)을 줄여 승차감을 향상시키고 있다[3].

3. 동력전달 축 부하 계측 시스템 구성

국내 기술로 제작된 한국형 고속열차가 경부 및 호남 노선

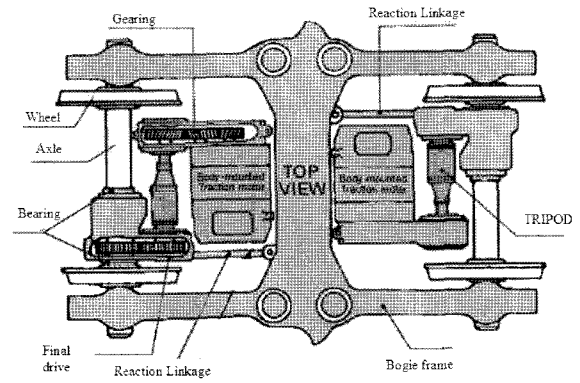


Fig. 1. Structure of power bogie

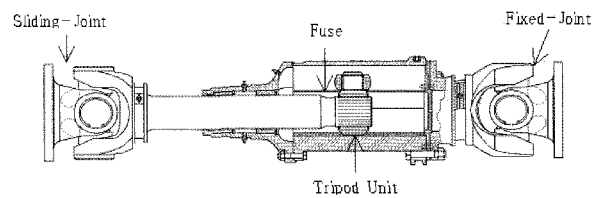


Fig. 2. Tripod shaft

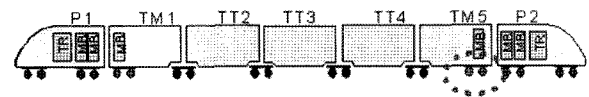


Fig. 3. HSR-350x

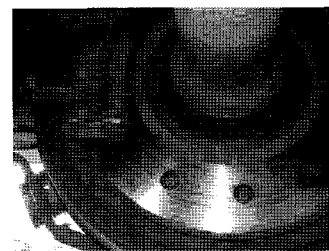


Fig. 4. Wheel and shaft

에서 안정화 및 신뢰성 시험 등이 이루어지고 있으며, 주행거리 20만 km 이상을 달성하였다. 한국형고속열차(HSR-350x)는 Fig. 3과 같이 동력차2량, 동력객차2량, 객차3량 등 7량 1편성으로 구성되어있다. 본 연구에서는 이중 동력객차 TM5의 모터블록이 기동하는 전동기 축의 트리포드 축 부하 계측 시스템을 구축하였다. 본 절에서는 계측시스템의 구축에 관하여 설명한다.

3.1 토크 측정 시스템

토크를 측정할 수 있는 가장 간편한 방법은 Fig. 4에 보이는 휠과 연결되는 윤축 단부에 토크 미터와 슬립링을 설치하

는 방안을 찾을 수 있다. 그러나 윤축 단부와 토크 미터를 연결하기 위하여는 액슬박스와 윤축의 일부를 가공하여야 하며, 한국형고속열차는 본선 시운전시험을 수행함으로 휠 토크 미터를 적용하는 경우에 동력전달장치의 구조 변경에 따른 안전성 검토 등이 반드시 필요하게 된다[2].

안전을 위하여 본 연구에서는 Fig. 5와 같이 고속열차의 동력전달장치에 작용하는 토크를 기계적으로 직접 측정할 수 있는 방법을 채택한다. 텔레메트리는 스트레인 게이지 신호 앰프 및 안테나로 송신하는 트랜스미터와 전파된 신호를 수신하여 신호 처리하는 리시버로 구성된다. 구축되는 텔레메트리는 46MHz 이상의 고주파 2채널을 FM 방식으로 변조하여 신호를 처리한다. 그 특성치는 Table 1과 같다.

3.2 스트레인 게이지 부착

트리포드 축의 비틀림 변위를 측정하기 위하여 트리포드

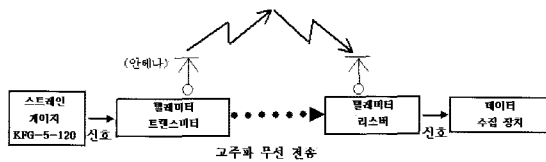


Fig. 5. Principle of the proposed system

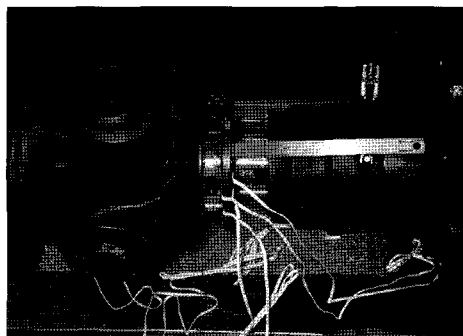


Fig. 6. Attachment of the sensor

Table 1. Specification of the proposed system

항목		특성
Transmitter	RF Frequency	46/49 MHz
	Modulation Type	FM-FM
	Strain Gage Input	4arm Wheastone Bridge
	Strain Gage Excitation	5 VDC
Receiver	Frequency Response	DC to 100Hz
	Integral Non-linearity	± .10% of Full Scale
	Repeatability	± .05% of Full Scale
	Output Ripple	<5mV

슬라이드 2곳에 스트레인 게이지를 부착하였다. 스트레인 게이지는 한 곳당 총 4개의 게이지를 부착하였고, 결선은 full bridge로 결선하였다. 센서는 KYOWA社의 120Ω 스트레인 게이지(게이지 계수 2.1)를 사용하였다.

3.3 검측시스템 캘리브레이션

외부에서 토크 전달시 부착된 스트레인 게이지 및 트랜스미터로부터 발신되는 신호 레벨과의 관계를 구하기 위하여 기계적인 캘리브레이션을 수행하였다. 원리는 Fig. 7과 같이 트리포드를 선반에 고정하고 막대를 연결하여 $T=F \cdot r$ 로써 토크를 전달하는 방법을 취하였다. 센서 및 지그가 부착된 트리포드를 선반위에 장착하여 fixed-joint 부는 스핀들에 고정하고, sliding-joint 부는 지그를 제작하여 센터로 고정하였다. 또한 슬라이드 부에 원형적인 지그를 설치하여 센터로 축 방향으로 힘을 가할 때 슬라이드의 길이가 변하지 않도록 고정하였다. 이 구조는 하중을 가할 때 sliding-joint부가 센터로 고정되기 때문에 굽힘 응력 영향을 받지 않는다. 캘리브레이션은 하중을 50kgf씩 증가시켜 300kgf까지 측정하였고, +와 - 양방향 및 슬라이드의 길이를 50mm 와 90mm로 변화시켜 수행하였다. 그 결과가 그림 9에 있다. +, - 양방향 비슷한 계수를 갖으며, 슬라이드 길이에 따라 계수의 변화량은 일정함을 알 수 있다.

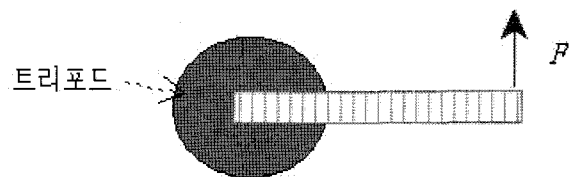


Fig. 7. Principle of the system calibration

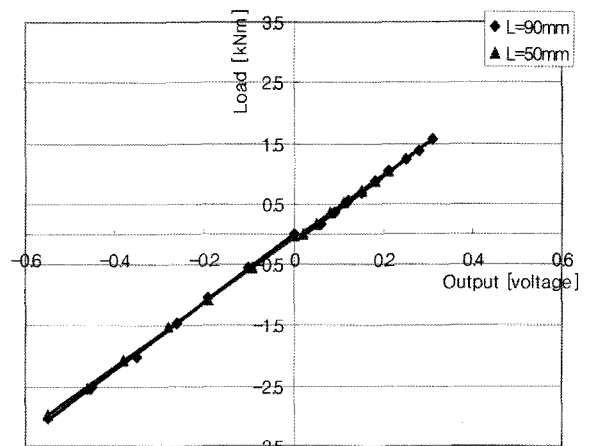


Fig. 8. System calibration results

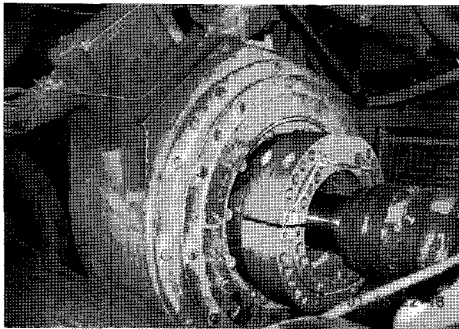


Fig. 9. Installation of the torque measurement System



Fig. 10. Real-time monitoring of the torque variation

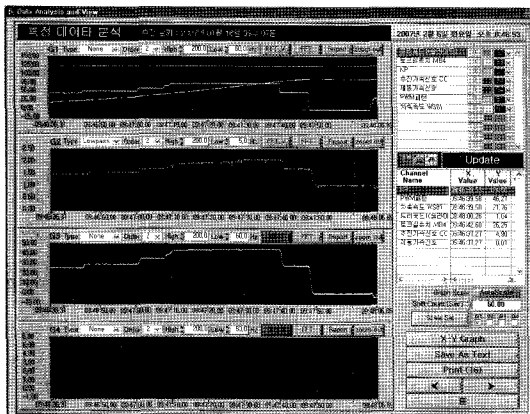


Fig. 11. Real-time test result during traction mode

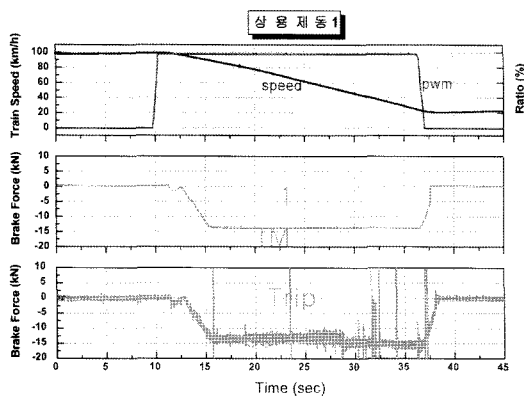


Fig. 12. Test Result (I) during braking Mode

3.4 계측시스템 구축

트랜스미터, 구동 배터리, 송신 안테나를 장착할 수 있는 지그를 제작하였다. 센서로부터의 리드 선은 지그를 통과하여 트랜스미터와 연결할 수 있도록 하였다. 지그는 Fig 10과 같이 트리포드 슬라이딩 조인트에 고정시켰다. 조인트가 회전해도 간섭이 일어나지 않도록 충분한 여유를 주도록 지그를 제작하였다. 차체에 수신 안테나를 설치하여 트랜스미터로부터 센서 신호를 수신하고, 수신 신호는 케이블 통하여 TM5로 보내지며, 차체 내 설치된 리시버에서 신호를 변환한다. 한국형고속열차 TM5 내 마련되어 있는 종합계측시스템의 계측 모듈(DAM32)에서는 리시버의 신호를 수집하고 Fig. 10과 같이 실시간 모니터링 할 수 있도록 구축하였다.

4. 트리포드 토크 측정 시험

앞 절과 같이 동력전달 축 부하 측정 시스템을 열차에 구축하여, 영업 본선 선로에서 시험을 수행하였다.

4.1 견인력 시험

경부고속선로에서 한국형고속열차가 시운전시험을 실시하며, 속력을 높이는 견인모드에서 토크 측정 시험을 실시하였다. 계측기에서 측정된 실시간 계측결과는 Fig. 11과 같다. 1 번째 그래프는 열차의 속도 및 견인모드를 나타낸다. 열차는 정지 상태에서 90km/h까지 가속을 하고, PWM 견인력모드가 단계별로 증가되고, 속도 90 km/h에 도달했을 때 견인력을 0으로 열차를 운행하였다. 2번째 그래프는 본 연구에서 설치된 계측기의 토크 변화율이고, 3번째 그래프는 전동기로 입력되는 회전 부하력을 나타낸다. 토크 변화상태가 PWM 견인력 모드와 전동기의 회전 부하력을 추정하면서 측정이 됨을 알 수 있다.

4.2 제동력 시험

시험은 열차의 속도가 100km/h시 상용 저항 제동 지령으로 열차의 속도를 20km/h까지 감속하였고, 제동 과정시 동력 전달 축에 전달되는 토크와 견인 전동기의 제동력을 측정하였다. 그 결과는 Fig. 12와 같다. PWM(붉은색 그래프)는 저항 제동 지령 100%를, 속도(파란색 그래프)는 100km/h에서 제동이 시작됨을 나타내고 있다. 트리포드에서 계측된 토크를 견인전동기의 제동력과 비교하기 위하여 2차 감속기의 감속비율, 효율, 휠 반경 등을 계산하여 제동력으로 환산하였다. 시험 결과로부터 동력전달축은 견인전동기의 제동력과 유사한 힘을 발생하고 있음을 알 수 있으며, 15kN의 안정적인 상용 저항 제동력이 열차에 전달되고 있다.

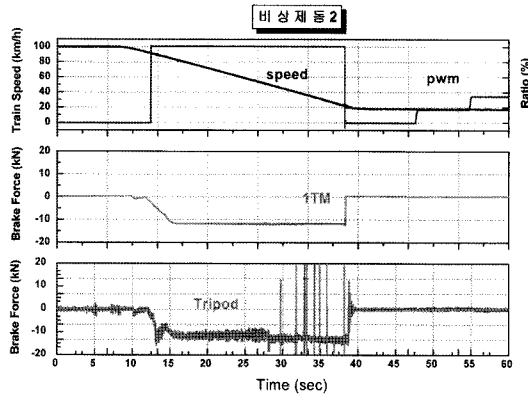


Fig. 13. Test Result (II) during braking mode

다음은 비상 저항 제동 시험을 실시하였다. 비상 제동은 상용 제동보다 제동 모드가 급격히 바뀌게 된다. 비상용 저항 시험결과와 같이 트리포드 토크를 제동력을 환산하여 Fig. 13과 같은 시험 결과를 얻었다. 초기 제동으로 인하여 트리포드 제동력이 급격히 변화하며, 15kN의 안정적인 제동력이 전달되고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 고속열차용 동력전달장치의 부하를 측정하는 시스템을 구축하여 한국형고속열차에 계측시스템을 설치하였다. 구축된 계측시스템으로 본선에서 시운전 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 고속열차용 동력전달축의 부하 측정용 시스템을 고안, 구축하였다.
- (2) 본 시스템은 양방향 토크 및 축의 축방향 변위에 대하여 안정된 출력값 특성을 지님을 확인하였다.
- (3) 한국형고속열차의 시운전 시험을 통하여 토크 변화를 계측한 결과, 신뢰성 있는 부하의 측정이 가능하였다.

- (4) 견인모드에서 트리포드는 운전실의 견인력 모드의 지령대로 토크가 발생되어 윤축에 전달함을 확인하였다.
- (5) 제동모드에서 트리포드의 토크의 발생은 제동력 모드 지령대로 토크가 발생되며, 안정적인 제동력이 전달됨을 확인하였다.

본 연구의 결과인 제동력 및 견인력의 직접적인 측정을 통하여 열차의 주행 성능 연구 및 장치 개발 등에 기여할 것으로 예상되며 향후 본 측정 시스템을 이용하여 열차의 여러 운전 유형의 견인력 및 제동력을 측정 및 타 열차의 성능 확인 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 시행하는 차세대고속철도기술개발사업의 “분산형 고속철도 시스템엔지니어링 기술개발” 과제의 지원을 받고 있음을 밝힌다.

참고문헌

1. 佐藤芳參 (1997), “新幹線テクノロジー”.
2. 김상수, 김영국, 김기환, 한영재(2007), “고속열차의 동력전달축 부하측정시스템 구축 방안,” 한국철도학회 계학술대회논문집, CD 논문, 한국철도학회.
3. 海老原 浩一 (1999), “新幹線—高速大量運送のしくみ—”.
4. 岡田養二 (1999), “機械振動とマトリクス解析法”.
5. Hiroyuki Kato, Ken Iwanami, Hiroshi Arai and Koji Asano, (2006), “Development of a High Speed Shinkansen Bogie”, Technical Review, No.8, Summer 2006, JR EAST.
6. 정경렬, 최용훈, 김휘준(2006), “고속주행 추방부품의 동역학적 설계”, 대한기계학회춘계학술대회논문집, 05S290, 대한기계학회.
7. 광재호, 유원희(2006), “메카트로닉 열차 연구동향”, 한국철도학회추계학술대회논문집, CD논문집, 한국철도학회.

(2007년 11월 12일 논문접수, 2007년 12월 10일 심사완료)