

고속열차의 동력전달축 부하측정 시스템 구축 방안

Construction of Torque Measurement System for High Speed Railway

김상수* 김영국** 김기환** 한영재**
Kim, Sang-Soo Kim, Young-Kuk Kim, Ki-Hwan Han, Young-Jae

ABSTRACT

Korean Train Express (KTX) has opened to commercial traffic since 2004 at maximum speed 300km/h, and Korea High-speed Railway (HSR-350x) was developed by Korean government, several institutes, and related companies. HSR-350x is now being 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. These high speed railways have 12 motors to transfer the traction effort or the braking force. In this paper, authors propose the construction the measurement system for monitoring the force transferred to the train from the motor. The system is installed to the tripod shaft which is located between the reduction gears and it measures the mechanical load directly.

1. 서론

고속열차 KTX가 영업운행을 시작한 지 3년이 지나, 그 수송량에 많은 업적을 세우고 있고, 국내기술로 만들어진 한국형고속열차는 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. 현재 열차의 견인력 및 제동력은 전동기의 전류치 혹은 열차의 속도 등을 통하여 간접적으로 구하는 방법을 취하고 있다.

본 연구에서는 한국형고속열차의 동력전달계통에 기계적인 부하를 직접 측정할 수 있는 시스템을 구축하여 본선 시운전 시험 시 열차에 전달되는 토오르크를 모니터링 할 수 있는 방안을 제시하고 열차내 취부하여 그 성능을 확인하고자 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 모터블록이 취부되어 인버터를 통하여 회전 전류를 제어하고 있다. 이 전동기들은 차체에 부착되어 있으며 전동기의 회전력으로 열차의 추진력 및 제동력을 전달하게 된다. 동력전달은 감속기를 거쳐 Tripod 입력기어 - 조립체 - 출력기어 및 차축으로 전달되며, 이 때 차체와 대차의 상대운동 및 변위가 일어나게 된

* 정희원, 한국철도기술연구원, 고속철도기술개발사업단
E-mail : sskim@krrri.re.kr
Tel : (031)460-5625, Fax : (031)460-5649

** 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단

다. 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 암놈에 조립되어 축 방향으로 움직임이 자유로우므로, 대차와 차체의 상대변위차가 발생하더라도 회전력을 수용할 수 있다.

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

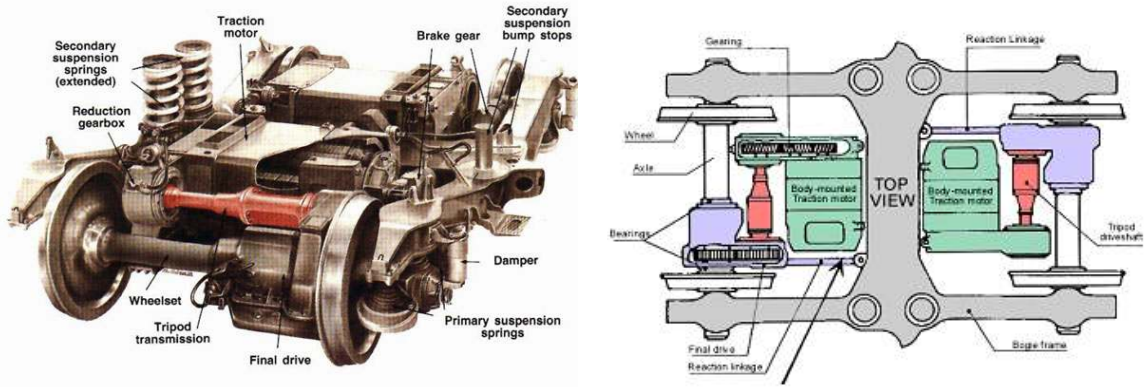


그림 1 동력전달장치의 구조

2.2 트리포드 축의 구조

트리포드의 구조는 그림 2와 같이 2개의 조인트 및 본체로 구성되어 있으며, 각각의 명칭은 다음과 같다.

- (1) Sliding-Joint : 차축기에 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 못 하도록 하여 고속열차용 전동기를 보다 효율적으로 사용할 수 있도록 한다. 한편, 고속철도 차량에서는 전동기를 차축이나 대차가 아닌 차체에 직접 붙여 스프링 하중(Unsprung weight : 차량의 무게중 Spring등의 Cushion없이 Rail에 직접 영향을 미치는 중량)을 줄여 승차감을 향상시키고 있다.

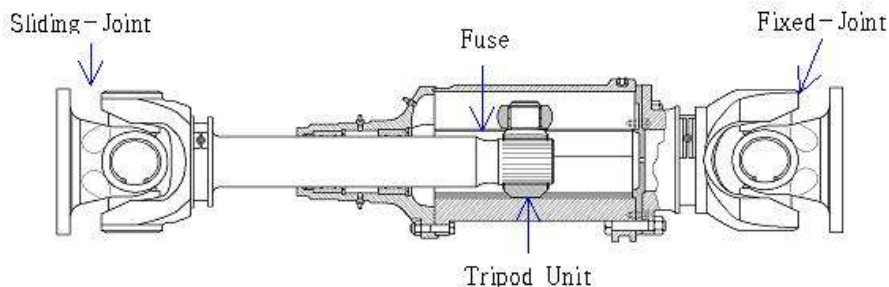


그림 2. 트리포드 구조

3. 동력전달 축 부하 계측 시스템 구성

국내 기술로 제작된 한국형 고속열차가 경부 및 호남 노선에서 안정화 및 신뢰성 시험 등이 이루어지고 있으며, 주행거리 17만 km 이상을 달성하고 있다. 한국형고속열차(HSR-350x)는 그림 3과 같이 동력차2량, 동력객차2량, 객차3량 등 7량 1편성으로 구성되어있다. 본 연구에서는 이중 동력객차 TM5

의 모터블록이 기동하는 전동기 축의 트리포드 축 부하 계측 시스템을 구축하고자한다.

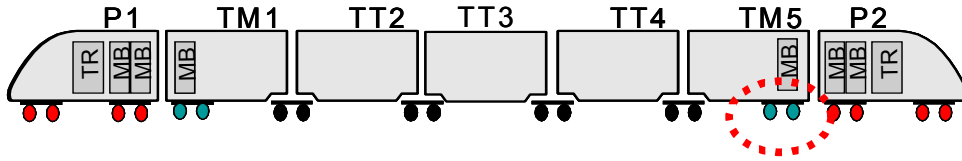


그림 3 한국형고속열차와 부하 측정 위치

3.1 토크 측정 방법

3.1.1 윤축을 이용한 측정 방법

그림 4에서 보는 바와 같이 윤축단부에 토크 센서인 휠 토크 미터를 설치하여 윤축에 걸리는 토크를 측정하는 방안이 있다. 구조는 그림 4와 같이 회전하는 토크 미터와 회전하지 않는 슬립링으로 구성된다. 동력이 2차 감속기를 거쳐 윤축으로 전달되며, 윤축에 작용하는 토크를 Wheel torque meter에서 측정하며, 측정 신호를 슬립링을 통하여 전달한다. 이는 센서를 직접 윤축에 부착함으로써 대차와의 상대 운동에 대한 영향이 없는 장점이 있다. 그러나 윤축단부와 Wheel torque meter를 연결할 수 있도록 별도의 Adaptor를 제작하여 설치해야 하며, 이에 따른 강도 검토 및 윤축, 베어링 커버등을 변경할 필요가 있다.



그림 4 휠 토크 미터와 윤축

3.1.1 트리포드 축을 이용하는 방법

동력전달장치의 구조를 변경하지 않은 상태에서 트리포드 축에 스트레인 게이지를 장착하여 동력전달장치를 통해 전달되는 토크를 측정할 수 있다. 그림 5에서 나타난 바와 같이 스트레인 게이지를 통해 측정된 신호를 텔레메트리(무선 데이터 송수신 장치)를 통해 전달한다. 이 방법은 동력전달장치의 구조를 변경하지 않고 측정할 수 있는 장점이 있으나 고속전철 운행중 트리포드 축은 변위가 발생하기 때문에, 안정적인 토크 측정을 위하여 트리포드 축에 설치될 수 있는 전용의 텔레메트리 송신부 및 수신부의 설계 및 제작이 필요하다.



그림 5 윤축을 이용한 측정 방법

3.2 토오크 측정 시스템 구축

3.2.1 텔레미터를 이용한 측정 시스템

한국형고속열차는 본선 시운전시험을 수행함으로 휠 토오크 미터를 적용하는 경우에 동력전달장치의 구조 변경에 따른 안전성 검토 등이 반드시 필요하게 된다. 본 연구에서는 그림 6과 같이 고속열차의 동력전달장치에 작용하는 토오크를 기계적으로 직접 측정할 수 있는 방법을 채택한다. 텔레메트리는 스트레인 게이지 신호 앰프 및 안테나로 송신하는 트랜스미터와 전파된 신호를 수신하여 신호처리하는 리시버로 구성된다. 구축되는 텔레메트리는 46MHz 이상의 고주파 2채널을 FM 방식으로 변조하여 신호를 처리한다. 그 특성치는 표1과 같다.

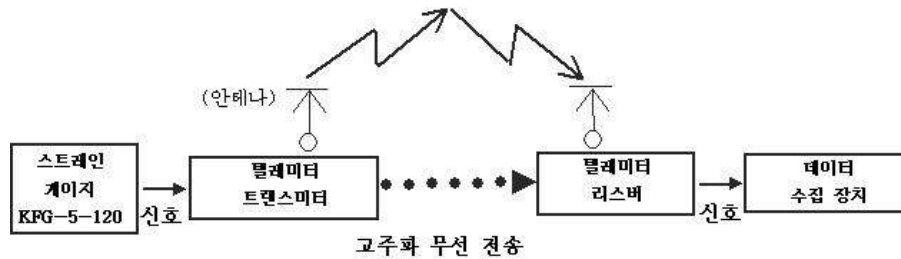


그림 6. 텔레미터 측정 시스템 원리

표 1. 텔레메트리 특성치

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

3.2.2 스트레인 게이지 부착

트리포드 축의 비틀림 변위를 측정하기 위하여 트리포드 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.



그림 7. 센서 부착 모습

3.2.3 캘리브레이션

외부에서 토오크 전달시 부착된 스트레인 게이지 및 트랜스미터로부터 발신되는 신호 레벨과의 관계를 구하기 위하여 기계적인 캘리브레이션을 수행하였다. 원리는 그림 8과 같이 트리포드를 선반에 고정하고 막대를 연결하여 $T = F \cdot r$ 로써 토오크를 전달하는 방법을 취하였다. 센서 및 지그가 부착된 트리포드를 선반위에 장착하여 fixed-joint 부는 스프링들에 고정하고, sliding-joint 부는 지그를 제작하여 센

터로 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.

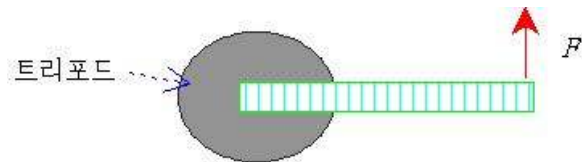


그림 8 캘리브레이션 원리와 시험

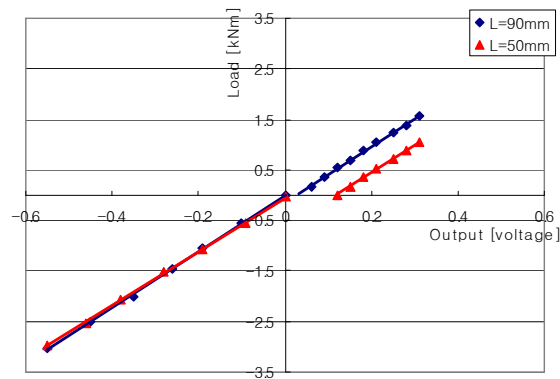


그림 9. 캘리브레이션 결과

3.2.4 계측시스템 구축

지그를 제작하여 트랜스미터, 구동 배터리, 송신 안테나를 부착하였다. 지그는 그림 10과 같이 트리포드 슬라이딩 조인트에 고정시켰다. 차체에 수신 안테나를 설치하여 수신 신호를 TM5 차체내 설치된 리시버에서 신호를 변환한다. 한국형고속열차내 마련되어 있는 종합계측시스템의 계측 모듈(DAM32)에서 신호를 수집하고 실시간 모니터링 할 수 있도록 구축하였다.



그림 10 계측시스템 구성

4. 시험 결과

앞 절과 같이 동력전달 축 부하 측정 시스템을 열차 내 구축하여, 선로에서 시험을 수행하였다. 시험은 열차의 속도가 100km/h시 상용 저항 제동 지령으로 열차의 속도를 20km/h까지 감속하였고, 제동과정시 동력전달 축에 전달되는 토크와 견인 전동기의 제동력을 측정하였다. 그 결과는 그림 11과 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 동력 전달 측은 견인전동기의 제동력과 유사한 힘을 발생하고 있음을 알 수 있으며, 안정적인 상용 저항 제동력이 열차에 전달되고 있다.

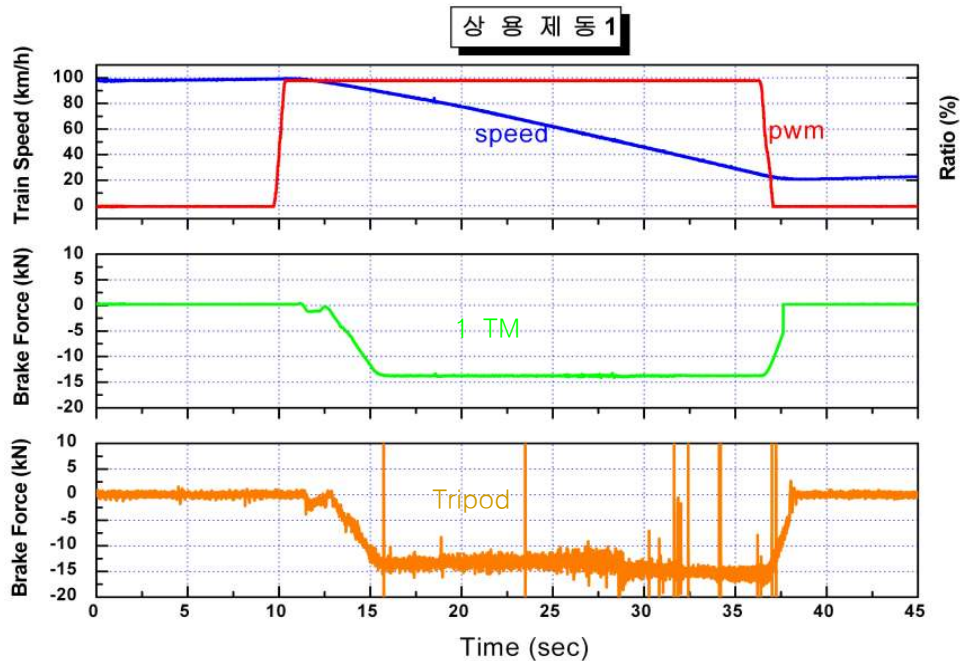


그림 11. 시운전 시험 결과

5. 결론

본 논문에서는 고속열차용 동력전달장치의 부하를 측정하는 시스템을 구축하는 방안을 제시하고, 한국형고속열차에 계측시스템을 구축하였다. 또한 구축된 계측시스템으로 시운전 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 고속열차용 동력전달측의 부하 측정용 시스템을 고안, 구축하였다.
- 본 시스템은 양방향 토크 및 축의 축방향 변위에 대하여 안정된 출력값 특성을 지니며, 열차내 시험을 통하여 신뢰성 있는 부하의 측정이 가능하였다.

향후 본 연구를 통하여 구축된 시스템을 이용하여 열차의 여러 운전 유형의 견인력 및 제동력을 측정하여 열차의 성능 확인 연구를 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 시행하는 고속철도기술개발사업의 “고속철도기술개발사업 통합 및 총괄”의 지원을 받고 있음을 밝힌다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원(2006년), “고속철도기술개발 통합 및 총괄 4차년도 연차보고서”
2. 한국기계연구원(2006), “고속차량 주행부 동력전달장치(Tripod) 절손원인 분석 보고서”
3. 佐藤芳參(1997), “新幹線テクノロジー”, 山海堂