

철도 차량용 대형 시험설비¹⁾ Large Scale Test System for Railway Vehicles

潤賀建一
K. Junga

1. 서론

일본 철도종합기술연구소에서는, 신칸센이나 재래선의 차량에 관하여, 고속화, 주행시의 승차감 향상, 각 차상 시스템의 성능향상이나 환경관련의 과제 등에 대하여 연구·개발하고 있다. 이들 연구·개발을 원활하게 진행하기 위하여, 차량의 주행조건을 모사하고, 실제 주행 상태에서는 실시 불가능한 과속한 혹은 특수한 조건하에서 시험을 실시할 수 있는 대형 시험설비가 빈번하게 이용되고 있다. 본 해설에서는 이런 종류의 시험설비 중에서 차량 시험장치와 브레이크 시험기를 소개한다.

차량 시험장치는 레일에 상당하는 선로 궤도바퀴 위에 대차(철도 차량의 차체를 받치고 있는 부분) 혹은 차량을 가설하고, 선로 회전들을 고속회전시켜서 주행을 모의하는 시험장치이다. 브레이크 시험기는 브레이크 디스크, 디스크 라이닝, 브레이크 슈(shoe) 등 브레이크 부품류의 브레이크 특성이나 차륜에게 주는 영향 정도 등을 시험하는 장치로 브레이크 성능시험기와 디스크 브레이크로 기능을 한정된 디스크 브레이크 시험기가 있다.

2. 차량시험장치

2.1 차량시험장치의 개요

철도종합기술연구소에는 1957년에 건설된 차량 시험장치가 있고, 신칸센 차량의 개발을 시작으로 화물차의 탈선 방지 대책의 연구나 신형대차의 개발 등의 수많은 연구개발에 활발히 사용되어 왔다. 그러나 시간이 경과되면서 노후화되고 기능이 한정되어 있는 상태에서 최고 시험속도 350km/h라는 향후 고속화의 요구에 불충분하게 되었기에 교환하게 되었다. 먼저, 1986년에 1대 차분의 새로운 장치가 설치되었다. 그리고 이 시험장치는 민영 분할된 후, JR 각 회

사에게 필요한 고속화나 성능향상을 지향한 대차의 개발에 크게 공헌하였다. 그러나 1대차분의 시험장치로는 1차량분의 각종 특성을 조사하기에 규모나 기능면에서 불충분하였기 때문에, 장치의 1량화와 기능향상에 힘써, 1990년에 1대차분의 설비를 추가로 설치하여 현재의 시험장치를 완성하였다.

차량 시험장치를 그림 1, 2에, 성능을 표 1에 나타내었다. 장치는 선로 궤도바퀴장치, 플라이휠 장치, 구동장치 등에 의해 구성되고, 이들 장치의 공통하부구조인 베드 부분은, 차량을 실은 상태의 이동이나 차량 바퀴의 전후간격에 맞추어 이동할 수 있는 구조이다. 스스로 움직이는 베드 위에 설치된 선로 궤도바퀴장치 위에는 차량(혹은 대차)을 실는다.

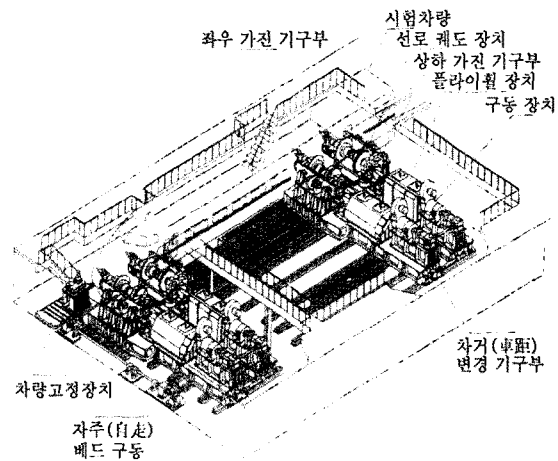


그림 1 차량시험장치

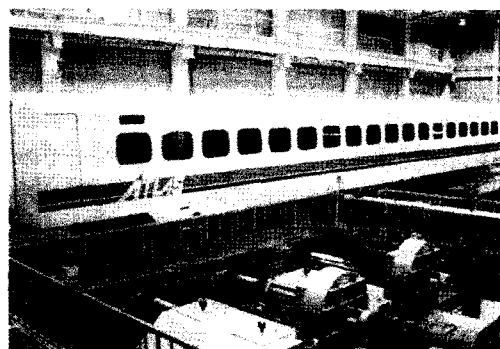


그림 2 차량 시험장치에 차량을 설치한 상태

1) 본 기술해설은 油壓と空氣壓 第28卷 第3号에 실린 것으로 번역 수록한 것임.

표 1 차량 시험장치의 성능

항 목		성 능
시험최고속도		500 km/h
최대 축 무게		200 kN
선로 간격		1,000 mm~1,676 mm
선로 바퀴 직경		1,500 mm
선로 궤도바퀴 변위기능	가진기에 의한 좌우움직임	1 Hz 최대 ±30 mm 3 Hz 최대 ±10 mm 10 Hz 최대 ±2 mm 최대가속도 9.8 m/s ²
	가진기에 의한 상하움직임	0~1.8 Hz 최대 ±12 mm 2 Hz 최대 ±10 mm 3 Hz 최대 ±7 mm 최대가속도 9.8 m/s ²
	가진기에 의한 롤링움직임	0~2 Hz 최대 ±0.011 rad (±0.63 °) 최대 가속도 5 rad/s ²
플라이휠 장치		최대16 t (2 t씩 변경)
선로 궤도바퀴 구동용 전동기		방식 직류(타러) 전압 440 v 전류 1,240 A 출력 500 kW 최고회전수 1,768 rpm 회전방향 가역형
축 간 거리		1,600~3,500 mm (1축2축간) 1,600~3,500 mm (3축4축간) 최소 5,000 mm (2축3축간) 최대2,100 mm (1축4축간)

선로 궤도바퀴장치는, 차륜과 접촉하는 궤도바퀴, 궤도바퀴를 지탱하고 가동을 가능하게 하는 정압베어링, 정압계수, 좌우가진기구부 및 상하가진기구부 등으로 구성된다. 선로 궤도바퀴는, 형상이 레일의 윗 부분과 같은 단면을 가진 직경 1,500 mm의 원반 모양이다. 선로 간격은 1,000mm부터 1,676mm까지 바꿀 수 있다. 축간 거리 변환기구부는, 시험대차에 나란히 하여 선로바퀴장치의 축간 거리를 변경하는 기능을 가진다. 1.6m부터 3.5m까지 변경 가능하다. 또한, 대차간 거리는 2~3축에 있어서 최소값은 5m, 1~4축에 있어서 최대값이 21m까지 조정 가능하다.

좌우가진기구부 및 상하가진기구부는 선로 궤도바퀴에 진동을 가하는 장치이다. 선로 궤도바퀴장치 1축은 상하 2개, 좌우 1개의 유압 액추에이터에 의해 진동이 가해진다. 선로 궤도바퀴가 회전하는 상태에

서 가진되기 때문에, 정압 베어링이나 신축자재계수가 사용된다. 진동은 선로 궤도바퀴 4축이 동시에 가진되는 경우, 그리고, 1-2축 및 3-4축 단위로, 각 축에 독립적으로 진동을 가할 수 있고, 각각의 모드에 대해서, 미리 설정한 주파수의 가진이나 연속가진이 가능하다. 상하용의 액추에이터 2개를 거꾸로 움직이면 롤링가진이 된다. 선로 궤도바퀴 4축의 좌우, 상하 및 롤링의 3종류의 진동을 여러 가지 조합으로 가진한다.

게다가 가진패턴으로서, 설정한 주파수나 연속가진 외에 기본 가진인 사인파에 대응하여 위상차(최대 359.5°)를 덧붙여 가진하거나, 가진 개시와 종료시의 가진진폭을 점차 감소시키고, 각 축의 가진개시 및 종료시에 시간차를 더하여 가진하는 등 변화가 가능하다. 더욱이 시험차량(혹은 대차)의 동력계의 전달계수를 고려하여 가진 사인파의 진폭이나 위상차의 보정도 가능하다.

플라이휠 장치는 시험시에 주행차량에 상당하는 관성을 가하는 장치이다. 등가질량을 단계적으로 전환할 수 있는 구조이고, 최대 16t으로 2t씩 변경 가능하다.

선로 궤도바퀴를 구동하는 구동장치는 고속의 신칸센 차량으로 가정하여 충분한 부하흡수 능력을 가지도록 축마다 출력 500kW의 직류전동기를 사용하고, 속도제어나 토크제어를 시행한다. 이 차량 시험장치의 특징을 정리하면 아래와 같다.

- ① 신칸센의 고속화에 필수불가결한 500km/h까지의 시험이 가능하다.
- ② 선로의 착오를 모의하기 위한 기능이 있다. 회전하고 있는 선로 궤도바퀴를 상하, 좌우, 롤링방향에 유압 액추에이터로 진동을 가할 수 있다. 이 기능에 의해 레일의 고저착오, 흐름의 착오, 수준착오의 가상의 상태를 모의할 수 있다.
- ③ 영업선의 주행시험을 모의하는 기능이 있다. 이것은 시험차량(또는 대차) 축으로부터의 차륜구동에 대응하여, 차 앞에 입력된 선로 데이터에 대응한 토크를 선로바퀴에 가하는 것으로, 차량탐재기에 주행시와 동일한 부하를 걸 수 있는 것이다. 지정한 주행패턴에 대응하는 주회로의 구동계 제어시스템의 가동상태의 파악이 가능하다.
- ④ 운영선 주행시험에서는 실시 불가능한 한계영역의 시험이 가능하다. 시험속도, 선로 궤도바퀴의 가진조건, 주행저항 등의 시험조건을 과혹하게 설정함으로써 운영선 주행 시험에서는 실시 불가능

한 한계영역에서의 시험이 가능해진다.

2.2 차량 시험장치의 활용

차량 시험장치는 그 기능을 살려 주로 다음과 같은 용도에서 이용되고 있다.

- 1) 신칸센이나 재래선의 새로운 대차 개발이나 현재 사용되고 있는 대차의 개량을 위한 시험 (각종 운동특성, 대차 각 부분의 응력발생상태, 회전부분의 온도특성 등)
- 2) 차량운동 시뮬레이션의 각 정수를 추정하기 위한 시험
- 3) 전기차의 주 회로시스템, 디젤차의 동력 구동시스템 개발·개량에 필요한 구동, 브레이크 성능시험
- 4) 운전성능시험

이 중에서 가장 활발히 이용되고 있는 것이 1) 항의 대차 개발 및 개량이다. 내용으로서는,

- ① 선로 궤도바퀴를 고속으로 회전시키면서 대차나 차체에 구불구불한 움직임 등의 유해진동이 발생하지 않는가를 조사한다.
- ② 고속으로 회전시킨 선로 궤도바퀴에, 외란으로 여러 가지 사인과 형태의 변위를 가하여 바퀴축이나 대차를 좌우에 진동시켜, 그 진동의 각 부분의 감쇠상태로부터 주행안정성을 평가한다.
- ③ 선로 바퀴로부터 대차나 차체의 상하, 좌우, 롤링 등의 진동을 진폭이나 진동수를 바꾸어 가하고, 그 때의 대차나 차체 각 부분의 가속도나 변위 등으로부터 각 조건에서의 공진진동수나 진동배율 등을 기초로 대차 스프링계의 방진성능을 평가한다.

등의 시험이 필요에 의해 선택적으로 시행된다. 그리고,

- ④ 시험대에는 실제의 대차와 차체를 이용하여 시험이 가능하기 때문에, 통상 운영선에서는 실행할 수 없는 조건에서의 시험, 예를 들면 댐퍼가 발생하기까지의 시험, 댐퍼 종류의 고장을 상정한 시험이나 대차의 제반 근원을 극단적으로 변경한 시험 등을 필요에 따라 실행 할 수 있다.

이상의 기능을 살린, 예를 들어 국철시대부터 이어진 철도종합기술연구소에서 개발을 진행한 신칸센용의 볼스타레스 대차는, JR東海의 300계 신칸센 대차의 원형으로서 실용화되었다. 또 협궤에서 200 km/h 이상의 고속대차의 개발을 시행하고 있으나, 요 댐퍼(yaw-damper) 없이 300km/h를 넘는 속도까지 안정할 수 있는 것이 확인되었다. 재래선 관련에서는, 새

로운 베어링 가이드를 사용한 차체경사장치를 붙인 대차가 개발되어, JR四國의 8000계에 이용되고 있다. 더욱이 링크식 조타기구를 포함한 차체경사장치를 부착한 대차도 개발을 진행하여, JR北海道の 차량에 이용되고 있다. 그 밖에는 독립차륜대차나 차륜일체형 모터구조의 대차의 개발에도 차량시험장치가 유효하게 활용되고 있다.

3. 브레이크 시험장치

차량 시험장치와 동시기의 1955년대에 건설된 브레이크 시험기가 있고, 각종 개조를 거쳐 신칸센용의 브레이크 디스크·라이닝을 시작으로 각종 브레이크 슈의 연구·개발에 활용되어 왔다. 그러나 차량 시험장치가 그랬던 것처럼, 노후화되어 더욱이 약 300km/h (차륜지름 910mm의 경우)라는 시험속도에서는 이후의 신칸센 브레이크 시스템을 개발하기에는 부족하여, 보다 높은 성질이 필요해졌기 때문에 1993년에 새로운 브레이크 시험기가 설치되었다.

새로 설치한 브레이크 시험기에는, 브레이크 성능 시험기와 디스크 브레이크시험기 2대가 있다. 전자는 브레이크 디스크에 의한 시험, 답변제륜자에 의한 브레이크 시험이나 레일/차륜간의 점착상태를 조사하거나, 살수/강설장치를 사용한 환경시험도 가능하다. 후자는 기능을 브레이크 디스크의 시험에 한정된 시험기로서, 비교적 시간을 필요로 하는 고속차량의 디스크 브레이크의 개발을 원활하게 진행시키기 위해 설치되었다.

3.1 브레이크 성능시험기의 개요

브레이크 성능시험기를 그림 3, 4에, 성능을 표 2에 나타내었다.

이 시험기는, 디스크 브레이크 시험 유닛, 노면 브레이크 시험 유닛, 점착시험 유닛으로 구성된다. 시험장치의 주축의 회전수는 3,100rpm이기 때문에, 각 브레이크 유닛의 최고 시험속도는 500km/h (차륜직경 8600mm 일때)이다. 이것들을 구동하는 전동기는 350kW의 분권 직류전동기로, 전기브레이크로서도 동작 가능하다.

각 브레이크 시험 유닛은 브레이크 특성을 파악하기 위한 장치이다. 브레이크 동력원으로서, 유압, 공기압 어느 것도 대응 가능하다. 브레이크력은 브레이크 압력, 차륜의 감속도의 패턴제어나 브레이크 토크 일정 등의 조건에서 제어가능하다. 차량을 정지시

키는 정지브레이크 외에, 내리막에서 속도를 제한하는데 사용하는 역속(속도를 억제하는) 브레이크를 상정한 시험도 가능하다. 또, 작은 경사의 차륜을 상정한 350mm 외경의 디스크의 시험도 가능하다.

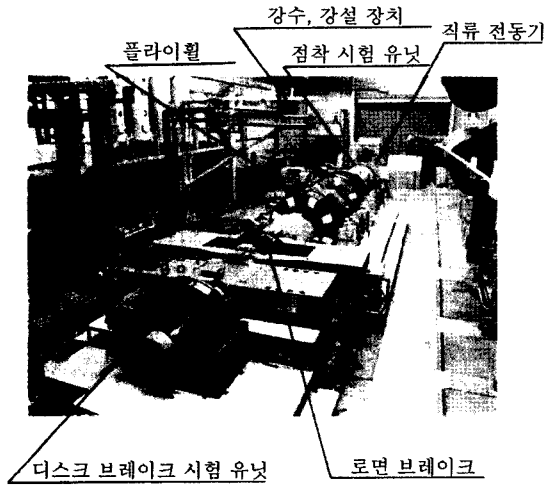


그림 3 브레이크 성능시험기

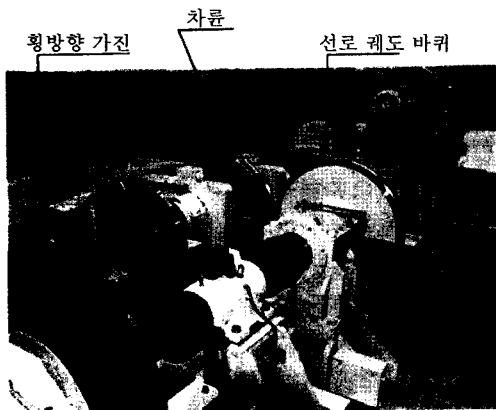


그림 4 점착시험 유닛

점착시험 유닛은 레일/차륜간의 고속에서의 점착력을 조사하기 위한 장치이다. 레일을 모의한 선로궤도바퀴를 회전시켜, 여기에 시험용 차륜을 대고 누른다. 접촉하고 회전하는 시험용 차륜에, 브레이크력을 작용시키면서 점착력의 특성을 확인한다. 선로궤도바퀴의 외경은 1,000mm이기 때문에, 접촉면에서의 최고속도는 약 580km/h (회전수 약 3,100rpm)이다. 또한, 부가할 수 있는 최대 바퀴 중량은 98.0kN이다. 그리고 브레이크력을 제어함으로써 강제적으로 차륜의 미끄러짐을 발생시킬 수 있다. 그렇기 때문에, 높은 속도의 영역에 있어서 차륜의 활주 재점착 제어 방법의 개발이나 최적화에도 응용할 수 있다. 여기에, 차륜의 주행시의 상황을 상정하여 점착의 변화를

관찰하기 위한 시험용 차륜에 주기적으로 좌우 횡방향 움직임을 가하는 장치도 갖추고 있다.

한편, 실제 레일에서의 접촉에 가까운 상태를 설정하고, 차륜표면의 손상 등의 재현조사에도 활용한다. 또, 각 유닛에 2°C정도의 저온의 물을 뿌리는 설비나 액체질소를 사용하여, 물과 고압공기를 섞어 만든 눈을 뿌리는 설비가 있다. 이것에 의해, 브레이크 장치나 차륜의 사용 환경에 가까운 조건에서의 특성시험을 할 수 있다.

표 2 브레이크 성능시험기의 성능

항 목	성 능
디스크 브레이크, 답면 브레이크시험 유닛	
시험 최고 속도	500 km/h(∅860 mm 차륜환산)
최고 회전 수	3,100 rpm
제동 방법	공기압제동, 유압servo제동
최대 제륜자 압력	디스크 30 kN*2, 노면 60 kN*2
최대 제동 torque	25 kNm
최대 역속 torque	1.2 kN
시험 디스크 직경	∅350~780 mm
시험 차륜 직경	∅700~1,120 mm
점착시험 유닛	
시험 최고 속도	500 km/h(∅860 mm 차륜환산)
선로 바퀴 회전수	3,100 rpm
제동 방법	유압servo제동
최대 제동 torque	15 kNm
선로 궤도바퀴 직경	∅1,000 mm
시험 차륜 직경	∅700~1,120 mm
최대 바퀴 중량	98.0 kN
차륜 횡동 장치	횡동주파수 1.0 Hz
플라이휠	392~3,040 kgfm ² 관성모멘트
직류전동기	출력 350 kW (가역 및 회생제동기능 있음)
부대 장치	살수장치 수온 2~25 ° 강설장치

3.2 디스크 브레이크 시험장치의 개요

디스크 브레이크 시험기를 그림 5, 성능을 표 3에 나타내었다. 이 시험기는 구동용의 직류전동기, 플라이휠과 디스크 시험유닛과 고속시험유닛으로 구성된다.

디스크 시험유닛은 최고회전수 3,000rpm에서 시험 최고속도 486km/h (∅860mm차륜환산)이다. 브레이크력은 유압 서보에 의해 유압이나 토크 등의 패턴제어가 이루어진다. 또 구동전동기에 의한 회전속도제어도 가능하다. 시험으로서, 디스크브레이크 성능이나 각 부품의 특성파악이 가능하고, 다음과 같은 조건에서의

시험도 가능하다. 관성시험으로, 회전수와 디스크의 하한온도를 설정하고 반복하는 온도 사이클시험, 회전수와 브레이크 토크를 설정하고 설정한 시간마다 시험을 반복하는 재역행 운전시험이 있다. 그리고 구동용 전동기를 제어범위 내에서 토크를 설정하고, 소정 시간 연속시험을 하는 역속시험이 있다.

고속 시험유닛은 증속장치를 통하여 디스크 시험유닛의 회전수를 약 2.5배인 7,500rpm까지 증속할 수 있다. 이것에 의해 특히 고속회전에 대응하는 브레이크 시스템의 특성시험이 가능하다.

표 3 디스크 브레이크 시험기의 성능

항 목	성 능
디스크 시험 유닛	
시험 최고 속도	486 km/h ($\varnothing 860$ mm 차륜환산)
최고 회전수	3,000 rpm
제동 방법	유압 서보제동
최대 유압	39.2 MPa
최대 제동 토크	25 kNm
최대 역속 토크	0.4 kNm
시험 디스크 직경	$\varnothing 780$ mm
플라이휠 관성 모멘트	294~1,275 kgfm ²
고속시험 유닛	
최고 회전수	7,500 rpm
제동 방법	유압 서보제동
최대 유압	39.2 MPa
최대 제동 토크	5 kNm (2,000 rpm)
최대 역속 토크	0.2 kNm
최대 시험 디스크 직경	$\varnothing 500$ mm
플라이휠 관성 모멘트	49~200 kgfm ²
직류전동기	출력 132 kW (가역 및 회생제동 기능 있음)

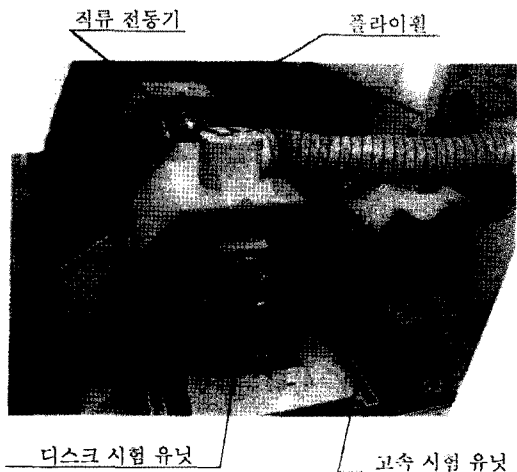


그림 5 디스크 브레이크 시험기

3.3 브레이크 시험기의 활용

이때 서술한 바와 같이, 주로 아래와 같은 내용의 시험에서 활용된다.

- 1) 브레이크 디스크, 브레이크 라이닝, 브레이크 슈의 브레이크 특성이나 차륜공격성 등의 시험
- 2) 점착특성조사나 점착제어의 제어성 조사

예를 들어, 디스크 브레이크에 대해서는, 신칸센 대응으로서 이러한 브레이크 시험기를 활용하여 일체형 단강 브레이크 디스크나, 알루미늄합금 복합재료 디스크의 개발을 실행하고 있다. 그리고 경량화와 열용량의 증대에 대처하기 위해 카본 복합재(C/C)를 브레이크 재료로 이용하여 다판식의 C/C 멀티 디스크 브레이크의 개발에도 시험기를 활용하고 있다. 이 방법은 주전동기 구동축 상의 브레이크 기구부를 설계하기 위해서, 고속회전이 되는 디스크 브레이크 시험기의 고속시험유닛에 사용할 수 있다.

4. 맺음말

이상으로 차량에 관련된 대형시험기의 일부인 차량 시험장치와 브레이크 시험기의 개요에 대하여 서술하였다. 이들 시험기는 본문 중에도 있듯이, 이제부터의 새로운 시대의 차량의 개발에 필수불가결한 장치이다. 이후로도 연구·개발에 있어서 활발하게 이용되어, 많은 유익한 결과를 만들어 내기를 기대해본다.

참고문헌

- 1) 一戸他, RRR, p. 25, 1991.
- 2) 態谷他, RRR, p. 15, 1993.

[저자 소개]

潤賀建一

日本 鐵道總合技術研究所 試作센터
1973년 國鐵입사, 工場에서 車輛保守담당, 그 후 鐵道總研 입사, 현재 設備保守, 計量管理 담당