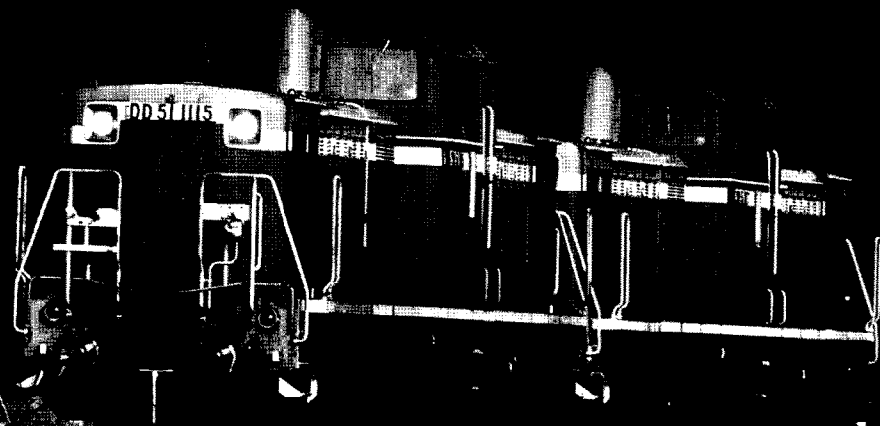


# 일본의 궤도검측차의 개발현황



| 김 만 철 책임연구원 |  
한국철도기술연구원 궤도토목연구본부



## 1. 서론

철도의 궤도는 열차의 주행에 따라서 변형 즉, 궤도틀림이 발생한다. 이것은 열차의 승차감을 악화시킴과 동시에 탈선의 원인이 된다. 따라서 승차감 및 주행안전성 확보를 위해서는 궤도를 최상의 상태로 유지관리하여야 하며, 이를 위해서는 궤도틀림의 정확하고 신속한 검측이 무엇보다도 중요하다. 본고에서는 일본에서의 속도향상에 따른 궤도검측차의 기술개발현황과 향후 기술개발 방향을 분석하여 기술하였다.

## 2. 일본에서 궤도검측차의 여명기

일본에서 최초의 궤도 검측차는 1926년경에 만들어진 야-9000이다. 이것은 목조 3축 객차를 개조한 것으로, 검측항목은 궤간, 수평, 단파장면틀림이었다. 다음으로 만들어진 궤도검측차는 야-19820으로 1941년에 목조 3축 대차를 개조하여 만들었다. 검측항목은 궤간, 수평, 단파장고저틀림, 곡률이다. 이 검측차는 수평틀림 측정을 위하여 최초로 자이로스코프를 사용하였다.

## 3. 3대차 정시법의 궤도검측차

### 1) 측정차륜을 이용한 궤도검측차

일본에서 10m현정시법을 본격적으로 채용한 최초의 검측차는 1959년에 제작된 마야-341<그림 1>이다. 이 검측차의 검측항목은 궤간, 면, 줄, 수평 및 평면성이며, 10m현

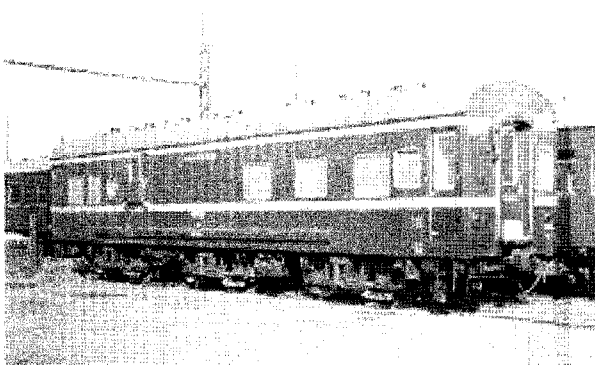


그림 1. 최초의 3대차 궤도검측차 마야-341

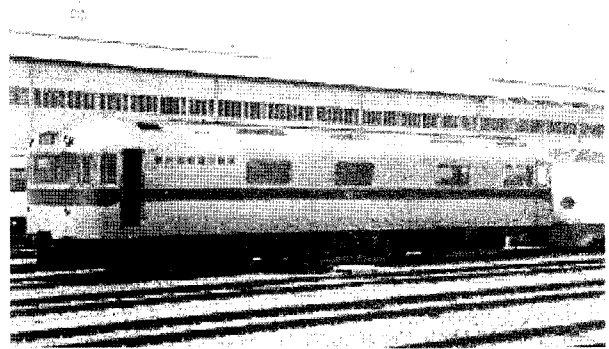


그림 2. 최초의 신간선용 궤도검측차 921-1(3대차 측정차륜 방식)

정시법의 검측을 실시하기 위해 3대차 구조로 하고 있다. 궤간과 줄틀림의 검측에는 측정차륜을 이용하였다. 또, 야-19820에서 개발된 팽이가 2개인 자이로스코프를 이용하였다. 일본에서는 이 검측차에 의해 재래선 전노선의 궤도 검측이 1961년부터 개시되었다.

다음으로 제작된 검측차는 1962년에 토카이도(東海道) 신간선의 개통에 맞추어 제작된 신간선용 궤도검측차 921-1<그림 2>이다. 이 검측차는 마야-341의 기구물 개량 및 궤도틀림 데이터의 디지털 처리 등을 통하여 검측이 160km/h 속도까지 가능하게 되었다. 이 후 921-1의 기술을 이용하여 1965년부터 1981년에 걸쳐서 9량의 검측차가 재래선용으로 제작되었다(마야-342002~342010). 또한, 마야-341도 개조하여 마야-342501이 되어, 재래선 전 노선에 대해 총 10량의 궤도검측차를 운영하였다. 이 검측차와 921-1과의 차이는 측정차륜 기구에 분기기 결선부를 통과하기 위한 안내 슈(Shoe)가 장치된 것이다. 이 검측차는 1975년에 미니컴퓨터를 이용한 온라인 처리장치가 설치되고, 궤도틀림 데이터를 디지털 자기데이터로 수록하는 것도 실시되었다.

### 2) 광학식 3대차 신간선 궤도검측차 921-11

산요신간선의 개통과 함께 궤도검측차의 고속화가 필요하게 되어, 측정차륜 방식을 대신하는 비접촉 레일 변위 검측장치로서 광학식 레일변위 측정 장치<그림 3>의 개발이 1970년에 시작되었다. 그리고 1974년에 제작된 7대 편성의 전기궤도종합 시험차(닥터 옐로우 : 신간선 전기 궤도 종합 시험차) 921-11<그림 4>에 탑재되어, 210km/h의 검측속도를 실현하였다. 이 형식의 검측차는 921-21, 921-31,

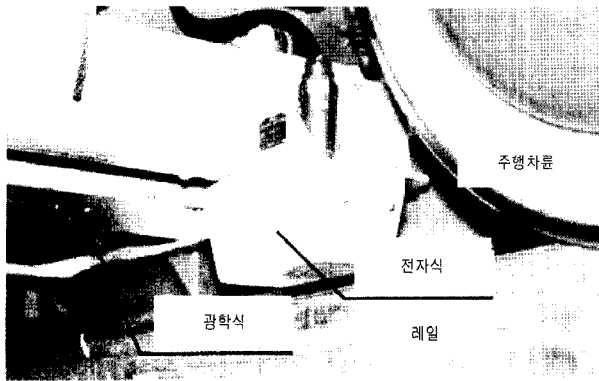


그림 3. 전자식과 광학식 레일변위 측정장치

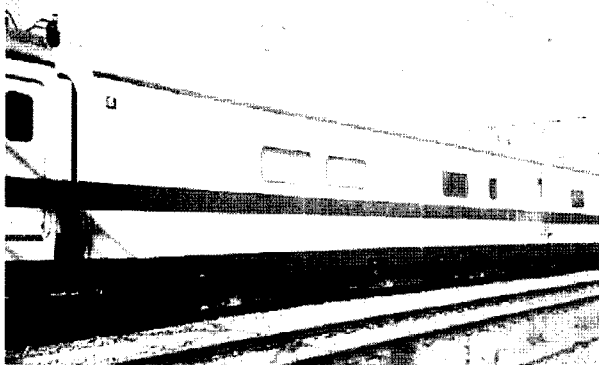


그림 4. 신간선용 궤도검측차 921-11(3대차 광학식)

921-41을 제작하여, 합계 4편성이 제작되었다.

또 비접촉 레일변위 측정 장치로서 전자식 레일 변위 측정 장치(그림 3)가 1982년에 개발되었다. 이 장치는 마모레일에서 오차가 발생하는 결점이 있으나, 눈의 영향을 받지 않기 때문에, 적설구간을 주행하는 검측차에 광학식 레일변

위 측정 장치와 함께 설치되어, 적설기에 사용되었다. 이 검측차에서는 팽이가 1개인 자이로스코프를 사용하였다.

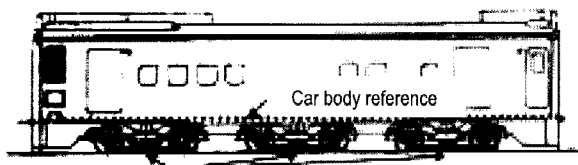
## 4. 2대차 검측차의 개발과 도입

이전까지의 궤도검측차는 3대차 구조이기 때문에 300km/h 영역의 고속주행에는 차체구조상 적합하지 않다. 이러한 상황에서 신간선용 궤도검측차의 고속화를 목적으로 개발된 검측차가 2대차 검측차이다. 이 검측차는 차체로서 영업차와 같은 2대차 구조의 차체를 이용한다. 그 개발은 1985년에 개시되어, 1997년에 최초 2대차 검측차가 제작되었다. 여기에서 새롭게 연구 개발된 기술은 다음과 같다.

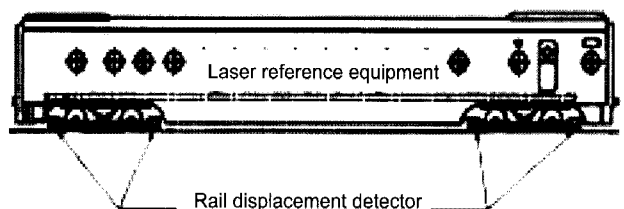
### 1) 2대차 궤도검측차를 위한 연구개발

2대차 검측차를 실현하기 위해 3대차를 필요로 하지 않는 편심종거법에 착안하여, 편심종거법(그림 4)으로 틀림을 검측 하는 방법을 개발하였다. 편심종거법이란 현의 중앙 지점이 아니라, 한쪽으로 치우친 점에서 틀림을 구하는 방법이다. 그러나 편심종거법의 궤도틀림을 중앙종거법의 궤도틀림으로 변환하기 위해서 FIR(Finite Impulse Response) 디지털 필터에 의한 변환기술을 개발하였다.

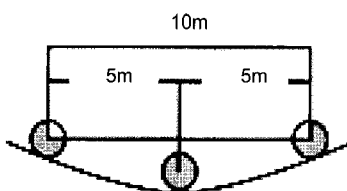
또한, 2대차 검측차에서는 1대차 당 4대의 레일변위 검출 장치를 장치할 필요가 있어 레일변위 측정 장치의 경량·소형화가 필요하다. 이를 위해서 PSD(Position Sensitive



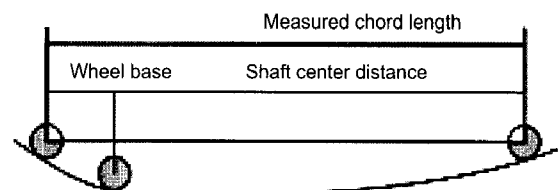
Rail displacement detector



Rail displacement detector



(a) 3대차 검측차 및 5m 중앙종거법



(b) 2대차 검측시스템 및 편심종거법

그림 5. 궤도틀림 검측방법

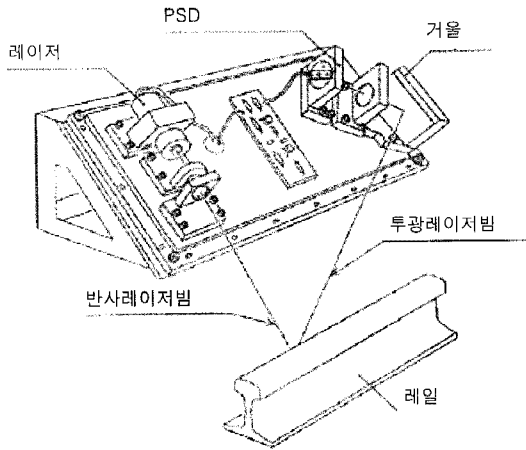


그림 6. PSD방식의 광학식 레일변위 측정 장치 He-Na 레이저

Device)방식의 광학식 레일변위 측정 장치(그림 6)와 레이저 기준장치(그림 7)를 개발하였다. PSD방식의 광학식 레일변위 측정 장치는 수광소자(photodetector)에서 반도체 소자인 PSD를 이용, 광원에 반도체 레이저를 이용함으로써 경량·소형화한 장치이다. 편심종거법은 차체를 기준으로 레일변위를 측정할 필요가 있는데, 영업차에서는 차체 강성이 낮아, 이를 기준으로 하는 것은 불가능하다. 레이저 기준장치는 차체 대신에 레이저 광선을 기준으로 하는 장치이다. 이 밖에 종래 기계식 자이로스코프와 광학식 자이로스코프도 동시에 개발되었다.

### 2) 신간선용 2대차 검측차

최초의 2대차 검측차는 신간선용 1997년에 제작된 JR 東日本の 921-32이다. 이것은 200계 영업차의 차체를 개조하여 만들어졌다. 그 후 2000년에는 JR 東海의 닥터 옐로우-T4, 2001년에 JR 東日本の East I(그림 8), 2005년에 JR 東日本の 닥터 옐로우-T5가 각기 신조차로서 제작되었다. 이 검측차들은 PSD방식의 광학식 레일변위 측정 장치, 레이저 기준장치와 자이로스코프를 이용하였다. 또한 JR 東日本の 검측차에 대해서는 적설구간에서 사용하기 위해 전자식 레일변위 측정 장치도 같이 사용하고 있다.

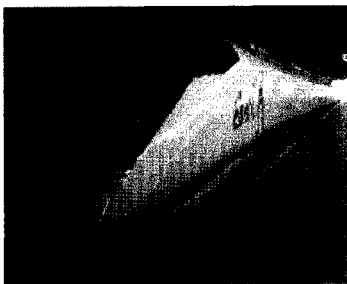


그림 8. East I

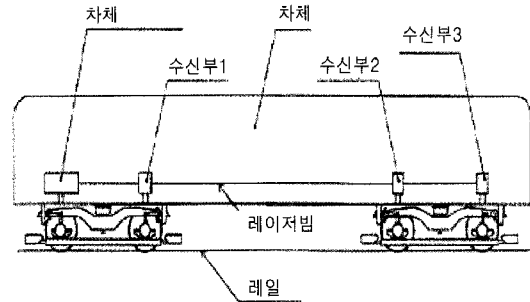


그림 7. 레이저 기준장치

### 3) 재래선용 2대차 검측차

재래선용으로는 JR 東日本の East i-E, East i-D가 2002년에 제작되고, JR 東日本の キヤ-141이 2006년에 제작되었다. 민영 철도에서는 Techno inspector가 2004년에 제작되었다. 이 검측차들은 PSD방식의 광학식 레일변위 측정장치, 레이저 기준장치 및 자이로스코프를 이용하였다. JR 東日本の 검측차는 전자식 레일변위 측정장치도 함께 사용하고 있다.

## 5. 향후 일본의 궤도검측차 개발 방향

이상은 일본에서의 궤도검측차 개발현황을 역사에 따라서 서술하였다. 현재 일본의 철도종합기술연구소에서는 관성측정법을 이용한 궤도검측차 개발을 추진하고 있다. 이 장치는 특별한 궤도검측차의 차체를 필요로 하지 않고, 영업차 등에도 탑재하는 것이 가능하다. 또한 이 개발의 일환으로서 개발되어 있는 2축 레일변위 측정 장치는 레일의 상하변위와 좌우변위를 하나의 측정장치에서 측정할 수 있고, 2대차 검측차에서도 이용가능하다. ☺

### ♣ 참고 문헌

- S. Ono, A. Numakura and T. Odaka, High Speed Track Inspection Technologies, JR East Technical Review, No. 2, pp. 9~13
- 竹下邦夫, 軌道検測車の開発導入, 日本鐵道施設協會誌, 2008-2, pp. 94-97