

## WAK 테스트기법을 활용한 콘크리트궤도 상태평가 기법

### Study on Concrete Trackbed Condition Assessment Utilizing WAK Test Method

박재학\*<sup>†</sup>, Vu Ngo\*, 박성백\*\*, 신승훈\*\*, 임유진\*

Jae-Hak Park\*<sup>†</sup>, Vu Ngo\*, Sung-Baek Park\*\*, Seung-Hun Shin\*\*, Yujin Lim\*

**Abstract** Concrete slab track is introduced and adapted recently worldwide for providing stability to railway. However, even though the concrete slab track provides robustness and durability to railway, it is required to monitor the concrete slab track regularly for checking and assessing the condition of the track. In this study, a WAK (Wave Activated Stiffness) test method is proposed that can be used to investigate the condition of concrete slab track with a gap directly under the track by obtaining static track modulus from the test. The WAK test is performed by impacting the concrete slab surface using a sledgehammer. A model test was performed so that a possibility of using the WAK test method as a monitoring technique to check concrete track condition could be confirmed in this study.

**Keywords** : Concrete trackbed, WAK test, condition assessment, track stiffness

**초 록** 철도 인프라 중 궤도는 열차의 주행안전성에 직접적으로 영향을 끼치는 구조물로 열차의 고속화, 중량화 등과 같은 현 추세에 대한 대안으로 콘크리트궤도를 선택하여 적용하고 있다. 그러나, 기존 자갈궤도와 달리 콘크리트궤도 하부에 결함이 발생할 경우 궤도의 사용성 저하 및 이에 대한 유지보수 방안이 제한적이기 때문에 현재와 같은 사후보수의 개념에서 탈피하여 예방보수의 개념으로 궤도의 상태를 지속적으로 평가하고 관리할 필요가 있다. 따라서, 본 논문에서는 하부노반의 강성 및 결함을 측정할 수 있는 WAK 테스트 기법을 적용한 충격재하식 콘크리트궤도 상태평가 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해, 콘크리트궤도 하부의 들뜸 등과 같은 노반결함을 형상화 한 모형을 제작하고, WAK 테스트에 의한 궤도 노반의 결함평가를 위한 궤도지지강성(ks) 추정가능성을 탐색하였다.

**주요어** : 콘크리트궤도, WAK 테스트기법, 상태평가, 궤도지지강성

## 1. 서 론

국내 철도환경 변화(고속화, 중량화)에 대응(주행안정성 확보, 유지관리 비용절감)하기 위해 콘크리트궤도를 선택하여 적용하는 구간이 지속적으로 늘어나고 있는 추세이다. 그러나, 노반침하 및 시공상의 문제로 콘크리트궤도와 노반사이의 들뜸, 상부 콘크리트 슬래브의 처짐, 균열, 틀림 등의 문제점이 다수 발생하여, 승차감 저하에 따른 고객불편 야기, 잦은 보수에 따른 유지관리 비용 상승 등 다양한 문제점을 발생시키고 있다. 따라서, 현재의 사후보수 중심의 유지관리 개념에서 탈피하여 예방적 유지관리 개념 적용이 시급하며, 궤도

† 교신저자: 배재대학교 건설환경·철도공학과( trans999@naver.com)

\* 배재대학교 건설환경·철도공학과

\*\* 한국철도공사 연구원 기술연구처

의 상태 (침하 발생, 강성변화)를 평가할 수 있는 기법 개발이 필요할 것으로 보인다. 이를 위해, WAK 테스트기법을 활용한 궤도강성평가 방법을 제시하고, 모형시험을 통한 해당 기법의 콘크리트궤도 상태평가를 위한 적용 가능성을 제시하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 국내 콘크리트궤도 상태평가 현황 및 문제점

국내에서는 고속철도 유지관리부서에서 독일 “GEDO” 장비를 도입하여 유지보수에 활용 중이며, 2000년대 초반, 디지털 카메라를 이용한 짧은 곡석구간 궤도선형 관리기술 도입하여 적용하고 있다. 그러나, 현재 토공구간, 편절편성구간, 통로박스구간 및 교량접속부 등에 부설된 콘크리트궤도에서 균열과 침하가 지속적으로 발생하고 있음에도 불구하고, 이에 대한 측정 및 근본적인 대안(궤도하부 열화 사전탐지, 이상대역 존재유무 파악 등)을 제시할 수 있는 업무 프로세스(검측장비 및 관리지침 등)는 마련되어 있지 않은 실정이다.



Fig. 1 Typical measuring equipment of track linearity (GEDO)

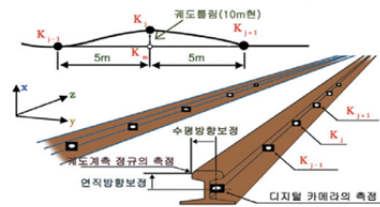


Fig. 2 Measuring system using digital camera to check track linearity

### 2.2 국외 콘크리트궤도 상태평가 현황

최근 열차운행에 따른 궤도의 외적결함(균열, 처짐 등)을 인력으로 관측하여 유지보수 시행여부를 결정하는 사후보수개념에서 벗어나, 상시로 궤도의 상태를 체계적으로 평가하고 외적결함(궤도처짐, 틀림 등)이 생기기 이전에 유지보수를 시행하는 예방적 보수개념이 도입되고 있다. 이를 위해, 궤도의 강성을 측정하고 평가할 수 있는 장비를 차량에 설치하거나, 이동수단을 활용한 포터블형식의 장비가 개발, 도입되고 있다. 대표적으로 열차하부에 TLV(Track Loading Vehicle)을 설치하여 열차자체 중량과 재하장치로 궤도하중~침하량 상관관계로부터 궤도강성을 측정할 수 있는 장비를 개발, 운영 중이며(미국 TTCI), 프랑스에서는 궤도상에 진동을 가하면서 주행하는 차량의 반복적인 차륜 회전력을 이용하여 연속적인 동적 궤도강성측정(주행속도 약 15km/h)이 가능한 장비(Potancement)를 개발한 바 있다.



Fig. 3 TLV(USA, TTCI)



Fig. 4 Potancemeter(France, SNCF)

## 2.3 콘크리트궤도 상태평가를 위한 WAK 테스트기법 활용 방안 제안

### 2.3.1 궤도강성계수(Track modulus)의 의미

궤도지지강성(Track stiffness,  $k$ )는 레일, 침목, 도상, 노반 전체를 포함하는 강성으로서 식(1)과 같이 연직하중을 연직 최대처짐량으로 나눈 값과 같다. 궤도계수(Track modulus,  $u$ )는 레일과 침목을 제외한 도상과 노반의 강성으로 레일의 단위길이 당 처짐에 대한 지지력으로 나타낼 수 있으며, 궤도지지강성과 궤도계수간의 관계는 아래 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$k = \frac{P}{\delta_m} \quad (1) \quad u = \frac{q}{\delta(x)} \quad (2) \quad u = \frac{(k)^{\frac{4}{3}}}{(64E)^{\frac{1}{3}}} \quad (3)$$

여기서,  $P$ 는 연직하중이고  $\delta_m, \delta_x$ 는 각각 최대연직처짐량 및 임의 지점  $x$ 에서의 연직처짐이다.

### 2.3.2 WAK(Wave Activated stiffness)의 기본개념

궤도하부 강성이 큰 경우(노반 강성  $\uparrow$  and/or 슬래브 두께  $\uparrow$ ), 차량하중과 충격하중( $F$ )의 재하 시 침목 또는 슬래브의 입자속도( $v$ )가 감소한다는 원리를 이용하여 현장충격재하시험에 의해 Mobility ( $v/F$ )를 획득할 수 있다. 이론식 산출값( $v/F$ )과 실측값( $v/F$ )과의 비교 분석과 반복계산법에 의해 궤도정적강성  $K_s$  획득이 가능하다.

### 2.3.3 WAK을 통한 궤도 상태평가 예비시험 실시

WAK테스트기법의 궤도현장적용 가능성을 판단하기 위해 Scale-Down된 모형콘크리트침목을 활용하여 예비시험을 실시하였다. 우선 틈새(gap)의 유무 및 크기에 따른 궤도강성변화 측정정을 위해 모형침목 밑에 서로 다른 크기의 틈새를 조성(틈새없음, 20cm)하고 쇠석으로 침목을 설치하였다.

WAK테스트기법은 충격을 가할 수 있는 Impact hammer와 충격량을 측정할 수 있는 지오폰(Geophone), 측정값을 수치화하는 DAQ시스템 등으로 간단히 구성된다. 시험방법은 충격재하장치 또는 Impact hammer를 이용하여 침목 및 슬래브 상면에 충격을 재하하고 Geophone을 이용한 충격재하 시 측정된  $F(t)/v(t)$ 를 DFT(Discrete Fourier Transformation) 처리하여  $F(w)/v(w)$ 을 산출한다. 식(4)를 활용하여 콘크리트궤도의 Mobility ( $v/f$ )를 산출하여 궤도노반의 정적지지강성( $k_s$ )을 도출한다.

측정결과 Fig.7에서 보는 바와 같이 틈새크기와 모형콘크리트침목의 Mobility값이 비례함을 확인할 수 있었다. 따라서, 이와 같은 WAK 시험법에 의해 콘크리트 침목 또는 슬래브 하부의 들뜸 또는 틈새 부존에 따른 궤도강성 저하를 평가할 수 있음을 확인하였다.

$$mobility = \left| \frac{v(z, \omega)}{F(\omega)} \right| \quad (4)$$

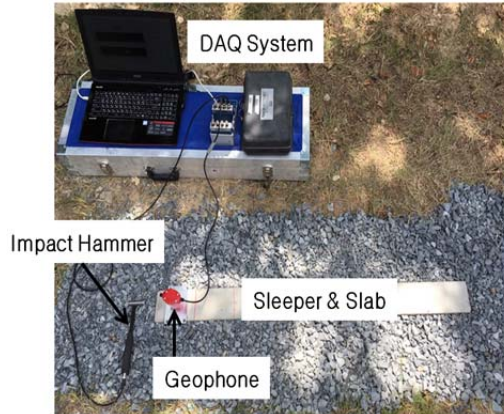


Fig. 6 WAK test setup

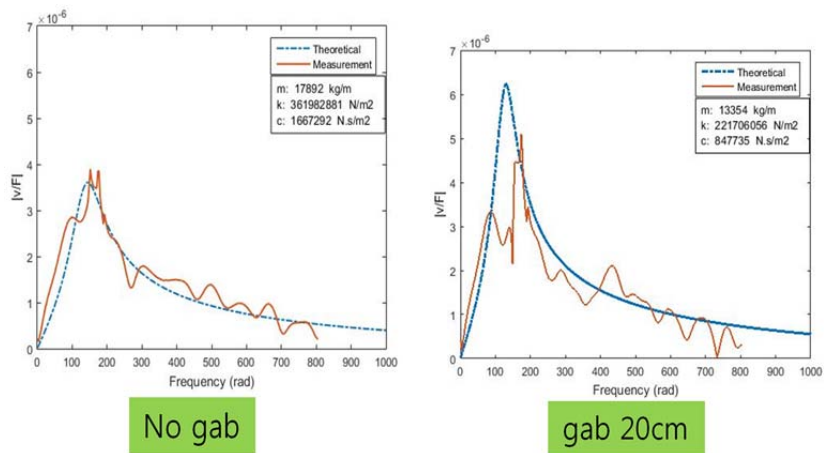


Fig. 7 Typical WAK test results on a model concrete slab

### 3. 결 론

본 연구에서는 국내 콘크리트궤도 또는 콘크리트 침목의 상태평가 목적으로 WAK테스트기법의 활용가능성을 시험을 통해 확인하였다. 모형시험을 통하여 궤도하부 들뜸 또는 뜬 침목 등의 발생으로 인한 강성변화를 측정, 분석하고 이를 통하여 콘크리트궤도의 상태를 평가할 수 있음을 확인하였다. 향후 실물 궤도에 최적화 시킨 시험시스템을 개발하고 이를 현장시험을 통하여 신뢰도를 확보한다면, 신뢰성 있는 콘크리트궤도의 상시 상태평가 시스템으로 적용할 수 있을 것이다.

### 후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(16RTRP-B114179-01)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] Jean-Louis Briaud, Philippe Lepert (1990) WAK test to find spread footing stiffness, J. Geotech. Engrg., 116(3): 415-431