

# 선로변 근접 공사관리에 적합한 철도 레일 변위 모니터링 시스템

## Railway Displacement Monitoring System appropriate for Close-track Construction Management

이승원\*, 이근호\*\*, 유지형\*\*\*, 김대성\*\*\*†

Seung-Won Lee\*, Keun-Ho Lee\*\*, Ji-Hyeong Yoo\*\*\*, Dae-Sung Kim\*\*\*†

**Abstract** Recently, large negligent accidents are rapidly increasing and the requirement for the safety management is also rapidly increasing cross nationally. Therefore, more differentiated scientific and systematical monitoring system is necessary. This study evaluated field applicability of monitoring system to measure the displacement of the railway which may occur during the construction. This technology is to attach the measurement sensor directly on the rail to measure to find the displacement of rail which gives better result than the existing method. By installing the measurement sensor on the railway, no impact on the concrete sleeper exists and installation is easier than the existing system. In addition, there is little impact on the railway after installation and removal of the measurement sensor. If this technology is applied to the close-track construction management, it is expected to construct railway facilities economically.

**Keywords** : Rail-mounted sensor, Displacement monitoring system, close-track construction

**초 록** 최근 사회적으로 대형 안전사고가 급증하고 있으며, 범국가적 차원에서 안전관리에 대한 요구가 급증하고 있다. 이에 기존 모니터링 시스템과 차별화된 과학적이고 체계적인 모니터링 시스템에 대한 필요성이 증대되고 있다. 본 논문에서는 공사시 발생가능한 철도 레일의 변위를 보다 정확하게 측정하기 위한 모니터링 시스템의 현장 적용성을 평가하였다. 본 기술은 철도 레일의 변위 측정을 위하여 계측센서를 레일에 직접 고정하는 방식으로 레일 변위를 직접적으로 확인할 수 있어, 기존 방식에 비하여 측정결과에 대한 신뢰성이 우수하다. 또한 계측센서를 철도 레일에 설치함으로써 콘크리트 침목에 미치는 영향이 없고, 기존 시스템에 비하여 설치방법이 간단하며, 센서의 설치 및 제거 후 철도 선로에 미치는 영향이 거의 없는 강점을 가지고 있다. 본 기술을 선로변 근접공사관리에 적용하면 보다 안전하고 경제적인 철도 시설물 공사가 이루어질 것으로 기대된다.

**주요어** : 레일부착식센서, 변위모니터링시스템, 선로근접공사

## 1. 서 론

철도는 한 쌍의 레일을 통하여 차량을 이동시키는 대규모 운송시스템이다. 철도 차량의 안전한 운행을 위해서는 선로변 공사로 인한 지반 침하나 진동 등에 의한 레일의 변위를 지속적으로 측정하여 철도 레일의 변위로 인한 탈선 방지가 필요하다. 현재까지의 철도 레일 변위 측정은 철도 침목에 계측센서를 설치하여 변위를 측정하는 방법이 일반적이다.

† 교신저자: 경일대학교 건설공학부(kimds0124@naver.com)

\* 경북대학교 건설환경디자인과, \*\* (주)호승이앤씨, \*\*\* 경일대학교 건설공학부

기존의 철도 레일의 변위 측정은 그림 1에서 보는 바와 같이 철도 침목 사이에 경사변위 센서를 설치하여 침목의 변위를 측정하여 레일 변위를 간접적으로 추정하는 방식으로 레일 자체의 변위를 직접적으로 측정하는 것에 비하여 측정데이터의 신뢰성이 낮다. 또한 고속철도의 도입으로 인하여 철도 침목은 대부분이 콘크리트 제품으로 이루어져 있다. 따라서 그림 2에서 보는 바와 같이 기존 방식의 레일 변위 센서 고정을 위한 앵커 설치 등으로 인하여 콘크리트 침목의 균열 및 파손에 대한 문제가 발생하게 된다.

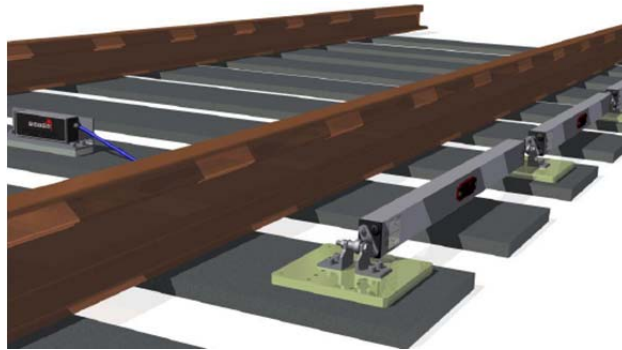


Fig. 1 Schematic of typical rail displacement monitoring system



Fig. 2 Installation example of typical rail displacement monitoring system

본 논문에서는 레일의 변위를 직접적으로 측정하기 위해 개발된 레일 부착식 변위 계측센서를 이용하여 선로변 근접공사로 인하여 발생된 레일의 변위를 실시간으로 측정하여 레일 부착식 변위 계측센서의 현장 적용성을 평가하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 철도 레일 변위 모니터링 시스템

#### 2.1.1 레일 부착식 변위 계측센서

레일 부착식 변위 계측센서는 MEMS 경사변위센서에 고성능 마이크로프로세서를 접목한 전자회로와 출력전압에 따른 각변위 변환시스템으로 구성되어 있으며, 기존 디지털 타입의 계측센서의 기능을 탑재하여 기존 자동계측시스템에 바로 접목이 가능하다. 그림 3은 레일 부착식 변위 계측센서 시제품을 레일 모형에 부착한 모습으로 콘크리트 침목에 미치는 영향이 없으며, 실제 레일에서 발생된 변위를 실시간으로 확인할 수 있다. 또한 센서의 설치 전후에 선로에 미치는 영향이 없어 기존 계측기법과 차별성을 가진다. 그림 4는 레일 부착식 변위 계측센서 설치 모식도이다.



Fig. 3 Prototype of rail-mounted displacement sensor

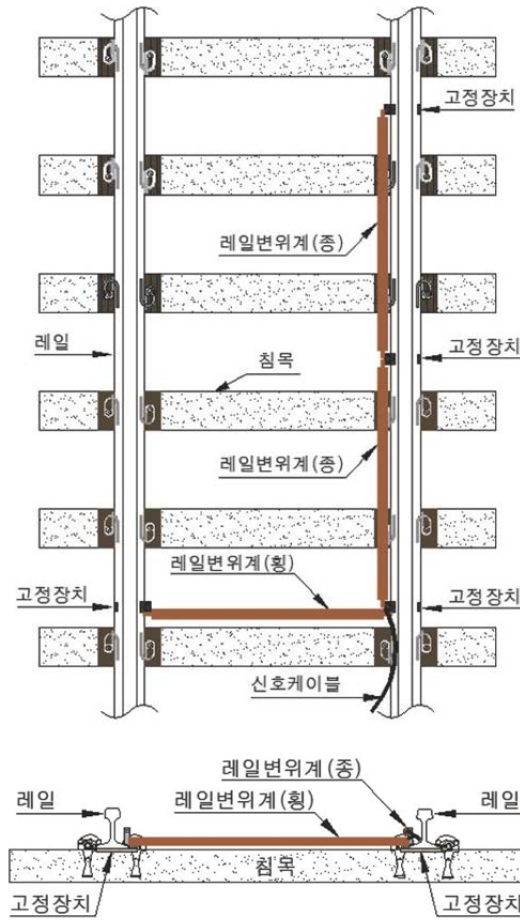


Fig. 4 Installation schematic of rail-mounted displacement sensor

### 2.1.2 레일 변위 모니터링 자동계측시스템

레일 부착식 변위 계측센서에서 측정된 결과는 그림 5에서 보는 바와 같이 무선통신을 통하여 사무실에 설치된 서버 컴퓨터에 저장되며, 서버에 저장된 계측데이터는 시공사, 감리사, 계측사 등 관련기관에 인터넷을 통하여 실시간으로 제공된다. 또한 그림 6과 같이 계측 모바일 프로그램을 이용하여 관리자가 스마트폰 어플리케이션을 통하여 실시간으로 계측데이터를 상시 확인 가능하며, 이상변위 발생시 담당자에게 실시간 자동 통보가 가능하다.

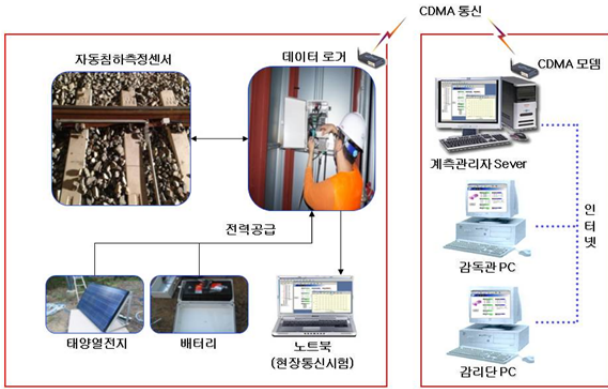


Fig. 5 Block diagram of rail displacement monitoring system



Fig. 6 Block diagram of measurement mobile program

## 2.2 현장적용

### 2.2.1 현장개요

대상현장은 서울 ○○주택 건설공사 현장으로 굴착 공사 중 인접 철도 레일 선로의 침하 변위를 측정하기 위하여 철도 레일에 일정간격으로 계측 센서를 설치하여 2015년 3월부터 2015년 7월까지 약 4개월간 선로 근접 굴착에 의한 변위 계측을 수행하였다. 그림 7은 계측센서 설치위치를 나타내고 있으며, 그림 8은 현장 전경을 보여주고 있다.

Table. 1 Project Summary

Name of Construction	Seoul ○○ housing construction
Method of Construction	Raker, Removable earth anchor, Strut
Depth of Excavation	3.5 ~ 9.5m
Period of Measurement	4 months
Measurement amount	Rail displacement sensor : 24ea Load cell : 9ea Strain gauge : 12ea Data logger : 2ea

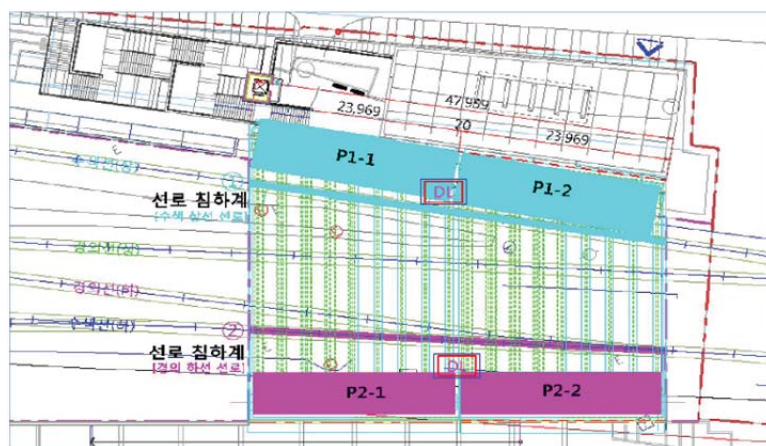


Fig. 7 Installation location of measurement sensors



**Fig. 8** Project site view

### 2.2.2 철도 레일 변위 모니터링 시스템 설치

현장에 적용된 모니터링 시스템은 시제품을 개량한 상용화 제품으로 선로 근접 굴착 시공으로 인하여 운행 중인 철도 레일 선로의 침하를 측정하기 위하여 레일 부착식 철도 레일 변위 모니터링 기법을 적용하였다. 그림 9는 레일 부착식 변위 계측센서를 설치하는 모습을 보여주고 있으며, 그림 10은 계측센서 설치 후 모습을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 레일에 부착하는 방식으로 철도 침묵에 영향을 주지 않으며 실제 레일의 변위를 직접적으로 측정할 수 있다. 또한 센서에서 데이터로거까지 1개의 통신케이블로 연결되며 데이터로거에서 무선통신을 통하여 서버PC로 계측데이터가 전송되며 모니터링 시스템을 통하여 사용자가 실시간으로 계측데이터를 확인할 수 있다.



**Fig. 9** Rail-mounted displacement sensor installation



**Fig. 10** Site view after sensors installation

### 2.2.3 계측결과

레일 부착식 변위 모니터링 시스템은 2015년 3월 19일에 설치하였으며, 설치 후 매 1시간 간격으로 자동계측을 실시하였다. 그림 11은 대표적인 계측결과를 보여주고 있다.

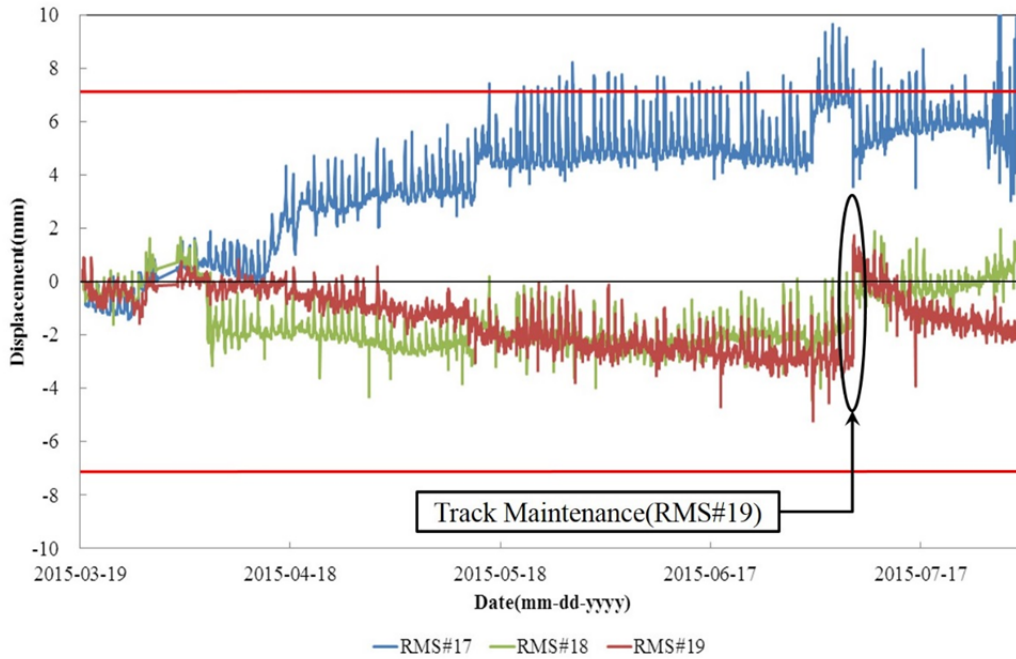


Fig. 11 Measurement result of rail-mounted displacement sensor

그림 11은 상행선 #17부터 #19지점에 연속적으로 설치된 센서에서 측정된 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 선로 근접 굴착시공으로 인하여 지속적으로 레일에 변위가 발생되었으며, #17 센서는 상부로 변위가 발생하였으며, #18과 #19 센서는 하부로 변위가 발생한 것으로 나타났다. 이는 철도 레일의 연속성에 의하여 레일의 한 지점이 침하되면 반대로 연결된 전후 지점이 상승하는 것으로 판단된다. 그리고 2015년 7월초 #19 지점에서 선로 보수작업을 실시하였으며, 선로 보수작업 후 #19 지점에서 발생한 변위는 보수에 의해 상승된 레일 아래 자갈 도상의 안정화에 의한 것으로 판단된다.

### 3. 결론

레일 부착식 변위 모니터링 시스템의 현장적용 결과, 계측센서의 설치와 철거에 따른 콘크리트 침목 및 선로에 미치는 영향이 거의 없었다. 그리고 설정된 계측주기에 따라 안정적으로 계측데이터가 수집되어 관리자가 실시간으로 철도 레일의 안정성을 확인할 수 있었다.

본 기술은 계측 센서를 레일에 직접 고정하는 방식으로 레일 변위를 직접적으로 확인할 수 있어, 기존의 침목의 변위를 측정하여 레일의 변위를 간접적으로 추정하는 방식에 비하여 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있다. 본 기술을 선로변 근접 공사 관리에 적용하면 보다 안전하고 경제적인 철도 시설물 공사가 이루어질 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- [1] K.H. Lee, K.J. Min, J.H. Yoon, G.D. Byeon (2015) Railway rail monitoring system using direct measurement method, *Railway Journal*, 18(4), pp. 104-109.