

# 직접 측정 방식을 이용한 철도 레일 모니터링 시스템



이근호  
(주)호승이앤씨 대표이사  
hamspro@daum.net



민경준  
(주)호승이앤씨 상무  
geogate2000@nate.com



윤주호  
(주)호승이앤씨 차장  
hamspro@chol.com



변기돈  
(주)호승이앤씨 부장  
hamspro@chol.com

## 1. 서론

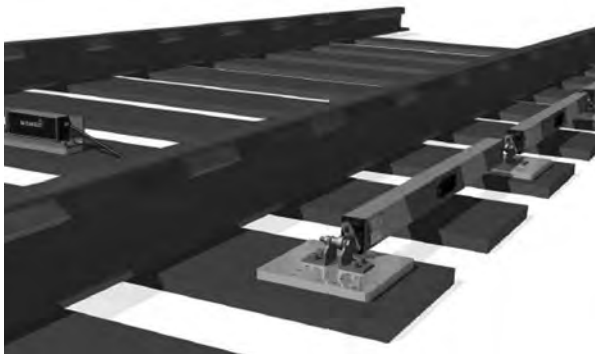
철도는 일반적으로 자갈도상 위에 폭 방향으로 다수의 침목이 설치되고, 그 침목 위에 한 쌍의 레일이 설치되어 있다. 철도 차량의 안정적인 운행을 위해서는 지반 침하 등으로 인한 레일 변위를 지속적으로 측정하여 레일의 지속적인 이상 관리 및 탈선 방지가 필요하다. 철도 레일의 변위의 측정은 침목에 일정 간격으로 받침대를 설치하고 그 위에 센서를 설치하여 레일의 변위를 측정하는 방식이 일반적이다. 이러한 방식은 레일 자체의 변위를 직접적으로 측정하는 것이 아니라, 침목의 변위를 측정하여 레일의 변위를 간접적으로 추정하는 방식으로 측정된 데이터의 신뢰도가 낮다. 또한 침목에 센서 설치를 위한 받침대 고정을 위하여 앵커 방식을 주로 사용하고 있어, 앵커 설치로 인한 침목의 균열 및 파손에이 발생할 수 있다. <그림 1>은 기존

레일변위 측정 센서설치 모식도를 보여주고 있다.

본 고에서 소개하는 철도 레일 변위측정 기술은 철도 레일의 변위를 측정하기 위하여 계측센서를 침목이 아닌 레일에 직접 고정하는 방식으로 레일의 변위를 직접적으로 확인할 수 있어, 기존 방식에 비하여 레일 변위 측정결과 의 신뢰성이 우수하다.

## 2. 철도 레일 모니터링 시스템

지금까지의 철도레일 변위 계측기법은 그림2에서 보는 바와 같이 철도 침목 간에 경사변위 센서를 설치하여 침목의 변위를 측정하여 레일의 변위를 간접적으로 확인하는 방식이 주를 이루고 있다. 또한 최근 철도의 침목이 대부분 콘크리트 제품으로 대체됨으로 기존 방식의 레일 변



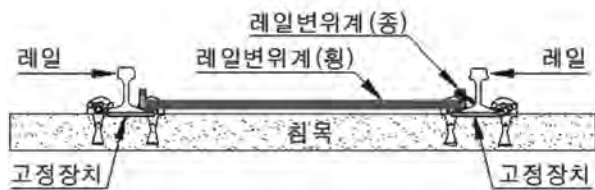
<그림 1> 기존 레일변위 측정 모식도



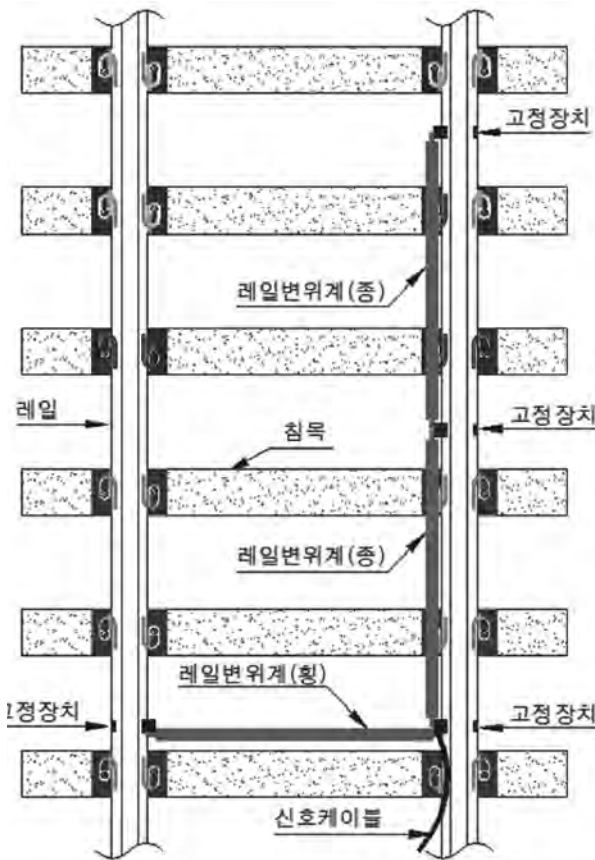
<그림 2> 기존 레일변위계 설치사례

위 측정방법에 대한 문제점이 나타나고 있다. 콘크리트 침목에 계측센서를 설치할 경우, 센서의 고정을 위해 앵커를 설치하기 위한 천공작업을 수행하게 되며 이로 인하여 콘크리트 침목의 균열 및 파손에 대한 문제가 발생하게 된다.

이에 상기에 기술된 문제점을 해결하기 위하여 콘크리트 침목에 설치되지 않고 레일에 직접적으로 설치하여 침



〈그림 3〉 철도레일 직접변위 측정기법 단면도



〈그림 4〉 철도레일 직접변위 측정기법 평면도

목의 변위 측정이 아닌 실제 레일의 변위 측정이 가능한 시스템을 개발하였다.

### 2.1 레일변위 계측센서 및 직접측정 기법

레일 변위 계측센서는 16Bit 고성능/저전력 마이크로프로세서와 MEMS 기울기 센서를 접목한 전자회로와 출력 전압에 따른 각변위 변환시스템, 저전력 장치, 유·무선통신 및 데이터 서버 장치 등으로 구성되어 있으며, 현장에서 발생된 변위를 실시간으로 확인할 수 있을 뿐만 아니라 기존의 자동계측시스템에 바로 접목이 가능하다. <그림 3>은 직접 측정방식을 이용한 레일변위 측정기법의 단면도를 보여주고 있다.



MODEL	RMS-15
Output signal	16bit digital signal
Communication	RS-485
Input voltage	12 V/DC
Power consumption	15mA
Operating Temp	-10 ℃ ~ 80 ℃
Accuracy	0.01 Degree / Digit
Range	±15 Deg
Longitudinal(L)	2,000mm
Transversal(T)	1,435mm

〈그림 5〉 철도 레일 변위 측정센서 시제품 및 제품사양

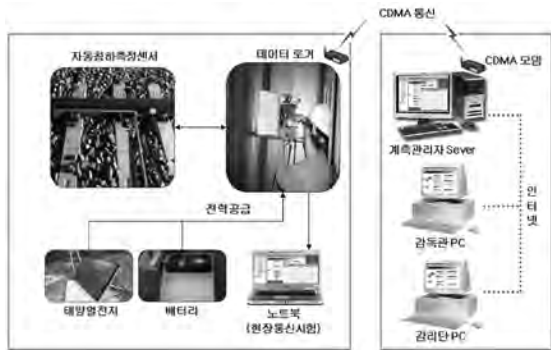
철도레일의 변위를 직접적으로 측정하기 위하여 <그림 4>에서 보는 바와 같이 계측센서를 레일에 직접 설치함으로써 콘크리트 침묵에 미치는 영향이 없으며, 실제 레일에 발생하는 변위를 측정할 수 있다. 또한 기존 방법에 비해 설치방법이 간단하며, 계측센서 설치 및 제거 후 철도선로에 미치는 영향이 없는 장점을 가지고 있다. 직접측정 방식을 이용한 철도 레일 변위 측정센서의 주요 특징은 다음과 같다.

- ① 레일의 변위를 직접 측정
- ② 철도 레일에 직접 설치하여 침묵 손상 없음
- ③ 디지털 출력방식으로 외부 노이즈 영향이 매우 적음
- ④ 간편한 설치 및 제거, 반연구적 측정 가능
- ⑤ 부식 및 외부충격에 강함
- ⑥ 장거리 유선측정 가능(최장 1km)
- ⑦ 독립적인 고유번호(ID) 및 가상번호(ID) 이용 측정
- ⑧ 여러 개의 센서를 1개의 통신케이블을 이용한 직렬 통신 방식으로 전원공급 및 데이터 송수신 우수

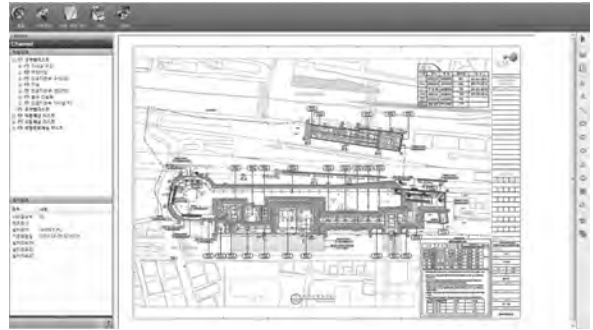
<그림 5>는 직접측정 방식을 이용한 철도 레일 변위 측정센서의 시제품과 사양을 보여주고 있다.

### 2.2 레일변위 모니터링 자동계측시스템

철도 레일 변위계측 센서에서 측정된 계측데이터를 무선통신(CDMA, 블루투스, 지그비 등의 방식)을 통하여 지정된 사무실에 설치된 서버에서 수집 및 관리하며, 수집된 데이터는 계측사, 감리단, 기타 관련자들이 인터넷 및 스



<그림 6> 철도 레일 모니터링 시스템 구성도



<그림 7> 레일 모니터링 자동계측시스템 메인화면

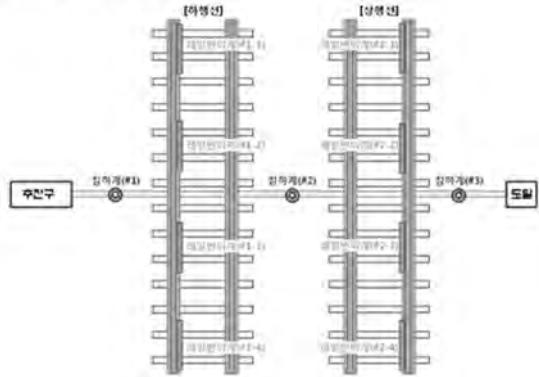
마트폰 앱을 통하여 실시간 공유된다. 계측결과 이상변위 발생시, 계측관리 담당자 및 스마트폰 앱을 공유한 관계자에게 실시간 자동 통보가 가능하다. <그림 6>은 철도 레일 모니터링 시스템의 구성을 보여주고 있다.

<그림 7>은 철도 레일 모니터링 자동계측시스템 결과 처리 프로그램을 보여주고 있으며, 이 프로그램의 특징은 다중 현장관리 및 다중 로거시스템, 다중 사용자 지원 가능하며, 유선 및 무선모뎀, 블루투스, 사내 네트워크망, 외부 인터넷망 등의 다양한 방법으로 데이터 통신 지원 가능하다. 또한 범용 DB로의 자료저장 및 타 데이터 형식으로 변환 지원이 되며, 계측결과 값에 대한 연산 수식 적용을 통한 임의 분석기능 지원과 데이터 자동 백업과 복원 지원이 가능하며, 데이터 유효범위 설정을 통한 이상 데이터 유입 방지 및 각 데이터 자료에 대한 결과 분석용 후처리 기능, 다중 축 복합도시 기능을 포함한 사용자 위주의 GUI 지원이 가능하다. 또한 <그림 8>에서 보는 바와 같이



<그림 8> 계측 모바일 프로그램

【 호남선 장성-임곡간 164.6km 구간 】



〈그림 9〉 계측센서 설치위치도



〈그림 10〉 현장전경

계측 모바일 프로그램(Hamspro APP)을 이용하여 실시간으로 스마트폰을 이용하여 측정결과를 확인할 수 있다.

### 3. 현장적용 사례

#### 3.1 공사개요

대상현장은 장성군 00 하수관거 정비사업 중 철도횡단 하수관거 압입공사 현장으로 철도레일의 하부를 통과하는 강관 압입 공사 중 지표침하에 의한 레일 선로침하 변위를 측정하기 위하여 철도레일 주변에 일정간격으로 측정 센서를 설치하여 2014년 12월부터 2015년 1월까지 약 2개월간 굴진에 의한 변위 계측을 수행하였다. 현장개요는 <표 1>과 같다.

<그림 9>는 계측센서 설치 위치를 나타내고 있으며, <그림 10>은 현장 전경을 보여주고 있다.

#### 3.2 철도 레일 변위 모니터링 시스템 설치

당 현장에 적용된 철도 레일 변위 모니터링 시스템은 개발된 시제품을 개량한 상용화 제품으로 강관압입 시공으로 인하여 운행 중인 철도 레일의 중단 및 횡단 침하량을 측정하기 위하여 직접 측정방식의 레일 변위 모니터링 기



〈그림 11〉 계측센서 설치전경

〈표 1〉 현장개요

공사명	철도횡단 하수관거 압입공사 현장
공법	강관 압입(D800, t=10mm)
굴진길이	약 46.0m, 토피 5.6m
계측기간	2개월
계측수량	철도레일 변위계 : 종방향 16ea(8ea/레일) 철도레일 변위계 : 횡방향 16ea(8ea/레일) 철도노반 지표침하계 : 3개소



〈그림 12〉 종방향 계측센서 설치전경



〈그림 13〉 횡방향 계측센서 설치전경



〈그림 14〉 데이터로거 설치전경

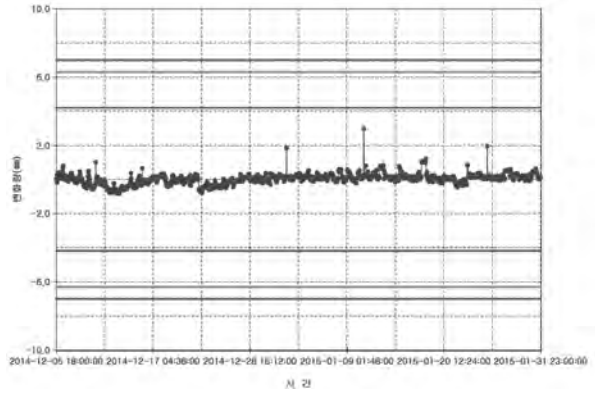
법을 적용하였다.

〈그림 11〉은 철도 레일에 센서를 설치하는 모습을 보여주고 있으며, 〈그림 12〉와 〈그림 13〉은 종방향과 횡방향 센서 설치 후 모습을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 레일에 직접 설치하는 방식으로 철도 침묵에 영향을 주지 않으며 실제 레일의 변위를 직접 측정할 수 있다. 〈그림 14〉는 데이터로거 설치 전경을 보여주고 있다. 센서에서 데이터로거까지 1개의 통신케이블로 연결이 되고, 데이터로거에서 무선통신을 통하여 서버PC로 전송되는 모니터링 시스템을 통하여 사용자가 실시간으로 계측 데이터를 확인할 수 있다.

### 3.3 계측 결과

철도 레일 변위 모니터링 시스템은 2014년 12월 01일에 개소에 설치하였으며, 설치 후 매 1시간 간격으로 자동계측을 실시하였다. 그림 15는 계측결과를 보여주고 있다.

철도 레일 변위 계측센서는 상행선에 8개소(중/횡 각 16ea), 하행선 8개소(중/횡 각 16ea) 설치하였으며, 종단방향은 -8.6mm~4.6mm의 최종변위를 보였으며, 횡단방향



No	조기일시	변위량 (mm)						
		12/31 12:00:00	01/05 12:00:00	01/10 12:00:00	01/15 12:00:00	01/20 12:00:00	01/25 12:00:00	01/31 12:00:00
#1-종단	2014. 12. 15	-1.6	-4.2	-6.3	-6.9	-7.7	-8.2	-8.6
#1-횡단	2014. 12. 15	1.8	2.8	3.7	4.4	4.4	3.1	2.3
#2-종단	2014. 12. 15	-3.1	-2.8	-3.2	-3.0	-3.5	-3.4	-3.7
#2-횡단	2014. 12. 15	0.2	0.1	0.4	0.3	0.1	0.1	0.4
#3-종단	2014. 12. 15	0.4	0.6	0.2	0.4	0.1	0.4	0.1
#3-횡단	2014. 12. 15	-0.2	-0.4	-0.4	-0.2	-0.3	0.1	0.0
#4-종단	2014. 12. 15	4.9	5.0	5.0	5.0	4.8	4.7	4.6
#4-횡단	2014. 12. 05	-0.7	-0.6	-0.3	-0.1	0.3	-0.1	0.6
#5-종단	2014. 12. 15	0.4	0.5	0.3	0.4	0.2	0.2	-0.3
#5-횡단	2014. 12. 15	1.7	2.0	2.3	2.6	2.7	2.6	2.9
#6-종단	2014. 12. 15	2.1	2.2	2.3	2.5	2.4	2.5	2.3
#6-횡단	2014. 12. 15	0.5	0.2	0.7	0.8	0.2	0.2	1.3
#7-종단	2014. 12. 05	-3.1	-3.0	-3.2	-3.2	-3.0	-3.2	-3.3
#7-횡단	2014. 12. 15	-0.1	-0.0	0.5	-0.8	-1.4	-2.0	-1.3
#8-종단	2014. 12. 15	0.5	0.6	0.1	0.2	-0.0	0.7	0.4
#8-횡단	2014. 12. 05	2.9	3.7	3.1	2.8	4.5	4.2	5.9
#9-종단	2014. 12. 17	-0.1	-0.0	0.0	-0.1	0.1	0.1	-0.0
#9-횡단	2014. 12. 15	-2.6	-3.5	-3.3	-4.5	-5.0	-6.1	-9.4
#10-종단	2014. 12. 15	1.7	2.0	1.5	0.2	0.3	0.1	-0.4
#10-횡단	2014. 12. 05	3.2	3.1	3.1	2.1	1.1	-0.3	-5.1
#11-종단	2014. 12. 05	-0.1	0.1	-0.3	0.0	-0.1	-0.0	0.3
#11-횡단	2014. 12. 15	1.0	0.8	1.4	0.4	0.3	-0.8	-2.8
#12-종단	2014. 12. 05	0.7	0.9	0.3	0.6	0.1	0.3	0.5
#12-횡단	2014. 12. 15	0.1	-0.3	-0.6	-0.9	-1.2	-1.2	-1.3
#13-종단	2014. 12. 05	2.6	3.2	2.2	2.7	1.3	2.8	2.2
#13-횡단	2014. 12. 15	2.4	2.2	2.0	2.0	1.3	1.7	1.3
#14-종단	2014. 12. 15	-0.8	-0.5	-0.3	-0.3	-0.1	-0.4	-0.4
#14-횡단	2014. 12. 15	-3.0	-4.2	-4.9	-5.5	-6.4	-6.2	-7.2
#15-종단	2014. 12. 15	-1.6	-1.8	-1.8	-2.2	-2.5	-2.5	-2.2
#15-횡단	2014. 12. 15	-0.7	-0.7	-0.7	-1.5	-2.2	-1.9	-1.8
#16-종단	2014. 12. 15	0.6	0.6	0.4	0.7	0.5	0.6	0.5
#16-횡단	2014. 12. 15	0.3	0.5	0.9	0.4	0.6	0.2	0.8

〈그림 15〉 레일 변위 계측결과

은 -9.4mm~5.9mm의 최종 변위를 보였다. #1 종단 -8.6mm, #4 종단 4.6mm, #8 횡단 5.9mm, #9 횡단 -9.4mm, #10 횡단 -5.1mm, #14 횡단 -7.2mm 최종 변위가 측정되었으며, 현장 확인 결과 굴침으로 인한 선로 변위가 아닌 현장 선로 보수 작업으로 인한 변위로 확인 되었다.



〈그림 16〉 서울 △△ 행복주택 건설공사 (지상부)



〈그림 17〉 서울 △△ 행복주택 건설공사 (터널부)



〈그림 18〉 △△△역 고가교 확장공사 현장



〈그림 19〉 00역 공항철도 선로 처짐부

### 3.4 현장적용 결과

직접측정 방식의 철도 레일 변위 모니터링 시스템의 현장적용 결과, 공사기간 동안 현장작업자, 관리자들이 실시간으로 철도 레일의 안정성을 확인할 수 있었으며, 계측결과 또한 설정한 계측주기에 따라 안정적으로 측정됨을 확인할 수 있었다.

직접측정 방식의 철도 레일 모니터링 시스템은 당 현장을 포함하여 현재 7개 현장(〈그림 16〉~〈그림 19〉)에 적용하여 계측관리를 수행하였으며, 적용된 모든 현장의 계측 결과, 안정적인 계측데이터의 수집 및 원활한 계측관리가 이루어졌다. 또한 계측센서의 특성으로 센서의 설치 및 철거시 콘크리트 침목 및 철도 선로에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

## 4. 맺음말

최근 들어 국가적으로 안전에 대한 의식이 향상됨에 따라 체계적이고 과학적인 모니터링 시스템에 대한 요구가 늘어나는 실정이다. 본 고에서 소개된 직접 측정방식의 철도 레일 모니터링 시스템은 철도 레일의 변위를 측정하기 위하여 계측센서를 침목이 아닌 레일에 직접 고정하는 방식으로 레일의 변위를 직접적으로 확인할 수 있어, 기존 방식에 비하여 레일 변위 측정결과의 신뢰성이 우수하며, 계측센서를 레일에 직접 설치함으로써 콘크리트 침목에 미치는 영향이 없다. 또한 기존 방법에 비해 설치방법이 간단하며, 계측센서 설치 및 제거 후 철도선로에 미치는 영향이 거의 없는 장점을 가지고 있다. 본 기술을 이용한다면 보다 안전하며, 경제적인 철도시설물 관리가 이루어질 것으로 판단된다. ☺