

# 철도교 상시계측시스템의 센서교정방안 연구

## A Study on Calibrations of health monitoring system installed in Railway bridge

이현석\*  
Lee, Hyun Suk.

이준석\*\*  
Lee, Jun Suk

최일윤\*\*\*  
Choi, Il-Yoon

임명재\*  
Yim, Myoung Jae

---

### Abstract

Calibration and gauge factor readjustment process made for the health monitoring system installed in the railway bridges is reviewed and some findings are explained in this study: specifically, the calibrators made for this purpose are illustrated and the regression processes of the calibration on long-term displacement using water level sensor, longitudinal displacement using LVDT sensor, instantaneous displacement using LVDT sensors and accelerometer are described in details.

Based on the regression results, new gauge factors are obtained from regression equation and another verification is made by performing another calibration again with new factors. From the second calibration, it was found that the suggested regression curves and their factors are appropriate and much better results are expected.

Future work will be concentrated on the long-term analysis of the measurement data and on the database structures so that the assessment of the structure such as damage detection and remaining life estimation is possible.

---

### 1. 서론

철도교량등의 토목구조물은 시공 정밀도 및 공용기간 등 여러 가지 복합적인 요인으로 인해 설계시 예측한 이상적인 거동과는 다른 양상을 보이며 이를 대비한 구조물의 안전성 확보대책이 요구된다.

현재, 국내 주요 교량 및 대표적인 구조물에 대하여는 상시계측시스템이 설치·운영되고 있으며 (이준석 등, 2000) 외국의 경우에도 설치 예가 보고된 바 있다 (Li 등, 2001). 그러나 상시계측시스템의 원활한 운영을 위하여는 계측센서의 적정 위치선정 (Heo 등, 1997) 및 주기적인 교정이 필수적이며 특히 전기저항식 센서를 채택하여 상시계측시스템을 구축하는 경우에는 적절한 검정 및 교정작업이 계측데이터의 정밀도를 향상시키는 필수조건이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 실제 교량 계측센서, 현장계측실내 데이터 저장장치 및 중앙계측실내 데이터베이스에 대한 종합적인 검정방안과 이에 따른 교정작업을 중심으로 최근의 연구결과를 기술하였다.

다음에서는 구조물 상시계측용 계측센서 및 관련 시스템에 대하여 2차례의 검교정을 통하여 그 결과를 분석하였고 교정계수 산정방안에 대하여 고찰하였다. 이를 위하여 박준오 등 (2002)에서 제안한 바 있는 검·교정장비를 이용하여 현실적으로 접근이 가능한 센서들에 대하여 교정작업을 수행하였다. 박준오 등 (2002)에서는 1차 검정작업 및 검정결과에 대해 기술한 바 있으며 본 연구에서는 1차 검교정에 대하여 각 센서에 대한 교정 후 2차 교정작업을 통한 결과를 중심으로 기술하였다.

---

\* 한국철도기술연구원 위탁연구원, 비회원

\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

\*\*\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

표 1 대상교량 현황

구분	내용	
교량명	철도교 1	철도교 2
구조형식	PSC Box	2연 PSC Box
연장	1,915m	1,332.7m
가설공법	MSS, FSM	동바리, FSM
계측구간	P11 ~ P13(2@40m)	P4 ~ P6(3@25m)

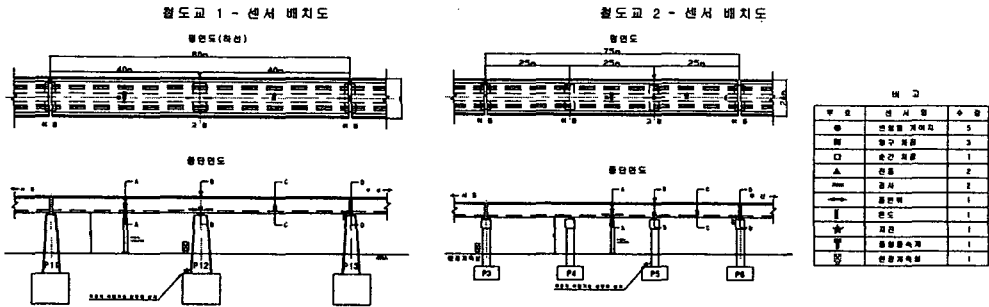


그림 1 계측센서 배치도

## 2. 계측기 검·교정 및 분석

본 연구에서는 계측센서로부터 현장계측실 및 중앙계측실에 저장되는 계측데이터의 검정을 위하여 2차에 걸친 검정 및 교정실험을 실시하였다. 실험방법은 구조물 내·외부에 부착된 각종 센서들을 분리한 후 자체 제작한 교정기(Calibrator)에 연결하여 교정기에서 변위나 가속도 등의 물리량을 일정하게 가한다. 이후 현장계측실에서 데이터를 수동으로 기록하거나 가속도계, 순간차집계와 같이 계측센서로부터 저장된 데이터파일을 획득하는 방식으로 수행하였다. 교정기의 계측정밀도는 각 교정기에 부착되어 있는 micrometer의 정밀도와 관련 있으며 1눈급당 10 $\mu$ m인 micrometer기의 LED를 이용하면 1 $\mu$ m까지의 정밀계측을 수행할 수 있는 제품을 선택하였다. 계측교량의 현황 및 센서 배치도는 표 1과 그림 1에 각각 나타내었다.

상시계측시스템 설치현장에서 1차검정을 통한 데이터로부터 계측기기의 교정식을 산정하여 회귀분석을 통하여 다음의 식 (1)과 같은 형식의 1차원 방정식을 획득하였다. 이 식으로부터  $a$ 의 역수를 계측센서의 당초 교정계수인 식 (2)의  $b$ 와 곱하고,  $c$ 와 같이 절편값이 있을 경우 이를  $d$ 와 가감하여 최종적으로 식(3)과 같은 값을 센서의 계수로 재입력하면 보다 정밀한 계측자료를 확보할 수 있게 된다.

$$Y = aX + c \quad (1)$$

$$Y = bX + d \quad (2)$$

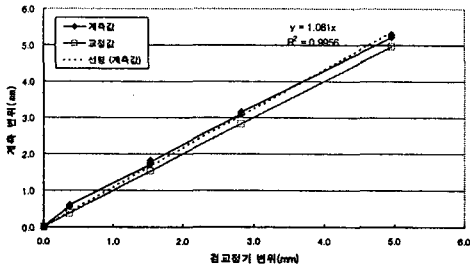
$$Y = (b/a)X + c + d \quad (3)$$

따라서, 다음에서는 1차 검정결과로부터 획득한 식 (1)을 각 센서에 적용하고 2차 교정을 통하여 제안한 식 (1)의 효용성을 검증하였다.

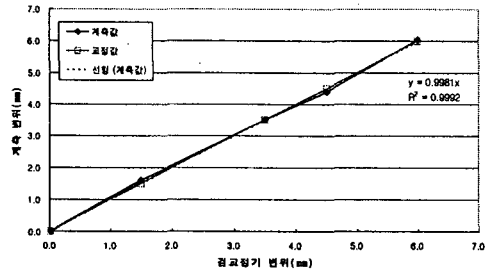
### 2.1 영구처짐계

영구처짐계는 교각과 좌우측 경간의 중앙부에 각 1개씩 모두 3개가 설치되어 있으며, 교각에 설치된 영구처짐계 2를 기준으로 하여 영구처짐계 1과 3의 수두차를 이용하여 계측하는 원리이다.

철도교 1의 영구처짐계에 대한 1차 검정 및 2차 교정 실험결과를 그림 2에 도시하였다. 그림에서 범례의 교정값은 교정기에서 실제로 가한 값을 나타내며, 그림 2(a)와 같이 계측값은 교량내부에 설치된 영구처짐계의 계측센서로부터 현장계측실에서 수집된 값이다. 또한 계측값의 회귀분석 결과는 점선으로 도시하였으며 이때의 방정식을 도출하였다. 한편 1차 검정은 하절기에, 2차 교정은 동절기에 수행하였으며 향후 온도변화에 대한 이력도 함께 고려하여야 할 것으로 판단된다.



(a) 1차 검정

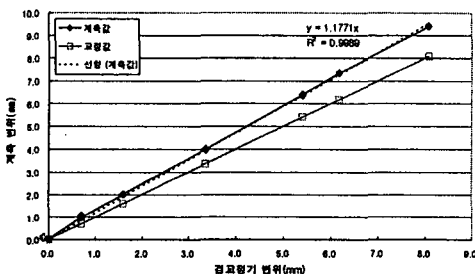


(b) 2차 교정

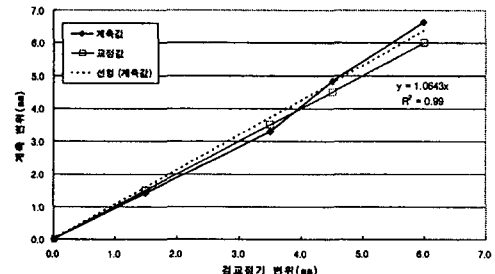
그림 2 철도교 1의 영구처짐계 - 검·교정 결과

그림 2(a)에서 알 수 있는 바와 같이 1차 검정시에는 계측값은 일관되게 나오지만 교정값보다 조금 높은 값을 나타낸다. 2차 교정시 그림 2(a)의 회귀분석식을 통한 교정에 의해서 계측값과 교정값이 거의 일치함을 알 수 있고 이는 1차 검정을 통한 교정작업이 비교적 정확히 수행되었음을 알 수 있다.

철도교 2의 영구처짐계에 대한 검·교정 결과는 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)에서 알 수 있는 바와 같이 계측시스템에 의한 계측값은 철도교 1과 비슷한 양상으로 일관적인 값을 보이지만 교정값보다는 다소 높게 나타났다. 교정작업을 거친 결과는 그림 3(b)에 나타내었으며, 그림에서 계측변위가 4mm가 넘는 부분에 대하여는 다른 경향의 데이터를 보이나 이는 교정자의 기기작동 오류에 의한 것으로 보이고 전반적으로 교정결과가 개선되었음을 알 수 있다.



(a) 1차 검정



(b) 2차 교정

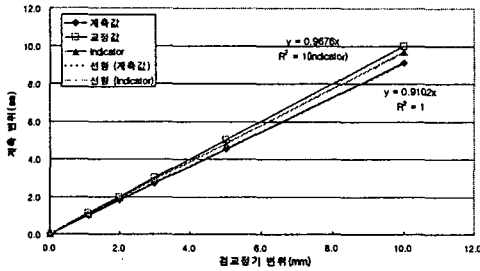
그림 3 철도교 2의 영구처짐계 - 검·교정 결과

## 2.2 중변위계

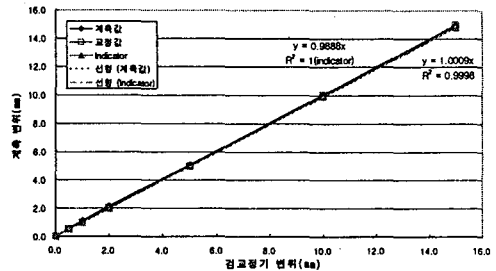
중변위계는 LVDT를 이용하여 거더의 중방향변위를 측정하는 형식으로 교각하부에 받침이 고정되어 있고 교량과는 LVDT로 연결되어 있으며, 신호변환기 및 Indicator를 인근에 따로 설치하여 계측의 정밀도를 향상시켰다.

철도교 1의 1차 검정 결과, 교정기에서 가한 교정값과 현장계측실내에서의 계측값간의 차이가 발생하였다. 그러나 이 경우, 일관된 차이를 보이고 있으며 이는 입력된 게이지 상수의 오류외에 indicator로부터 현장계측실로 데이터가 전송되는 과정에서 신호변환에 따른 일부 잡음발생이 원인인 것으로

파악되었다. 그림 4(a)와 같이 종변위계 인근의 Indicator 값을 비교하면 계측기 자체의 오류가 아님을 알 수 있다. 2차 검교정의 결과로 신호변환시 잡음을 제거한 결과 오류는 제거되었으며 그림 4(b)에 나타낸 바와 같이 2차 교정시 개선된 결과를 얻을 수 있었다. 철도교 2의 경우에도 같은 종류의 계측 기기 및 S/W를 사용하였으므로 철도교 1과 동일한 결과를 얻었고, 같은 교정과정을 거쳐 계측현장에 적용하였다.



(a) 1차 검정

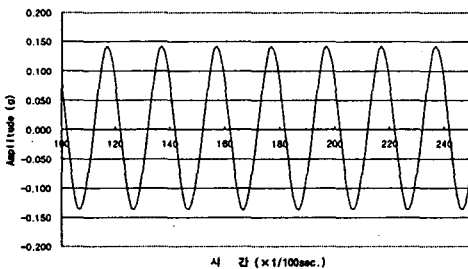


(b) 2차 교정

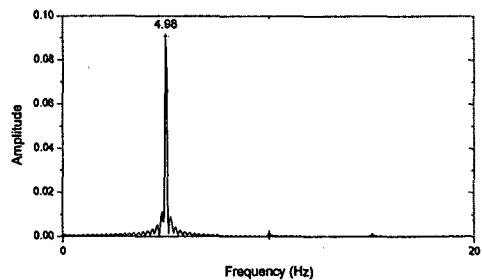
그림 4 철도교 1의 종변위계 - 검·교정 결과

### 2.3 가속도계

가속도계는 열차주행시 교량의 동적 거동을 파악할 목적으로 설치되어 있으며, 일정 진폭을 넘는 진동에 대하여 triggering 기능을 통하여 센서로부터 초당 100Hz로 샘플링하고 하나의 파일에는 16초간의 데이터 즉, 1600개의 계측 데이터가 저장된다. 1차 검정시에는 가진주파수에 따른 응답주파수는 비슷하나 가진진폭에 비해서 응답진폭이 약간 작게 계측되는 현상이 나타났다. 2차 교정시에는 좀 더 정밀한 가진기 (shaker)를 사용하여 교정을 실시한 결과, 그림 5와 같은 만족할만한 결과를 확인하였다.



(a) 가진실험 데이터



(b) FFT분석결과 (가진주파수 : 5Hz)

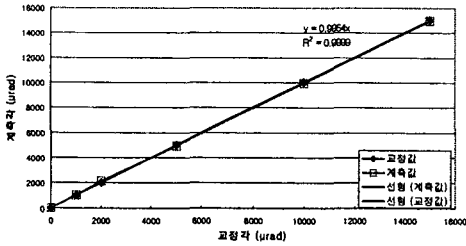
그림 5 철도교 2의 가속도계 - 검·교정 결과

### 2.4 교량경사계

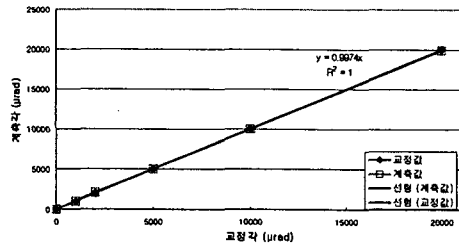
교량 경사계는 주행의 꺾임각을 측정할 목적으로 설치되었으며, 초당 20Hz의 데이터가 현장계측실로 전달되며 하나의 파일에는 80초 동안 획득한 1600개의 계측데이터가 저장된다. 1차 검정결과 시스템상의 문제점이 발견되어 안정화를 위한 H/W를 추가하였고 이를 토대로 2차 교정을 실시하였다. 교정은 0.001mm용 micrometer를 채택한 교정기를 이용하여 일정한 경사각을 가하고 현장계측실에 저장되는 데이터를 수집하는 과정을 반복하였다. 따라서 열차주행에 따른 동적 경사각의 변화량보다는 정적 경사각의 추이를 확인하고 정밀도를 향상시키는 데 주력하였다.

그림 6은 철도교 1 및 2의 중방향 경사계 교정결과를 나타내며, 두교량 모두 가해진 교정값과 획득

한 계측값이 일치함을 알 수 있고 따라서 계측센서 뿐만 아니라 시스템의 신뢰성을 확인할 수 있다.



(a) 철도교 1의 경사계



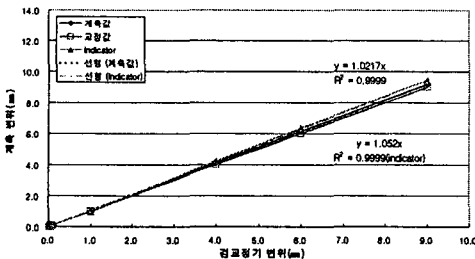
(b) 철도교 2의 경사계

그림 6 철도교 1 및 2의 경사계 - 검·교정 결과

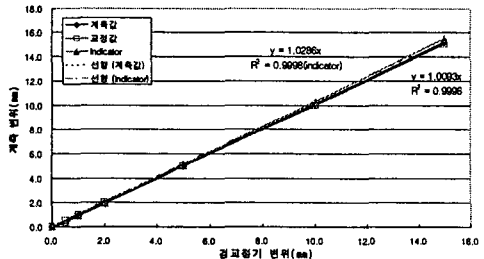
### 2.5 순간처짐계

순간처짐계는 종변위계와 동일한 형식의 LVDT를 사용하여 열차운행에 따른 교량의 처짐을 측정하며 따라서, 종변위계용 교정기를 적용하여 검·교정을 실시하였다. 실험결과, 그림 7(a)에 나타난 바와 같이 LVDT 연결부의 Indicator값과 현장계측실의 데이터가 약간의 차이를 보이고 있으나 회귀분석 작업을 거쳐 2차 검교정에서는 그 차이가 현저히 작음을 알 수 있다.

철도교 2의 경우에도 동일한 계측장비와 교정기를 적용하였으며 그림 7과 유사한 형태의 교정결과를 얻을 수 있었다.



(a) 1차 검정



(b) 2차 교정

그림 7 철도교 1의 순간처짐계 - 검·교정 결과

### 3. 결론

본 연구에서는 토목구조물 중에 하나인 철도교량에 설치되어 있는 상시계측시스템의 계측센서에 대하여 2차례에 걸친 검교정점을 통하여 안정적인 데이터확보를 위한 센서의 교정방안을 고찰하였다. 이를 위하여 접근이 불가능한 개소를 제외한 나머지 센서에 대하여 자체 제작한 교정기를 이용하여 2차례에 걸친 검·교정을 실시하였고 이를 통하여 센서 자체의 교정뿐만 아니라 계측시스템 전체의 안정화를 도모하였다. 이를 통하여 상시계측시스템에 의한 계측 데이터의 질이 정상계도에 올라와 있음을 확인할 수 있었으며 향후 일정 주기별로 교정작업을 수행하여 보다 안정적인 계측데이터가 확보될 수 있도록 하여야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 박준오 등, "철도교 상시계측시스템의 교정 및 교정상수 설정에 관한 연구", 한국철도학회논문집, Vol. 5, pp.148-157, 2002.
2. 이준석 등, "고속철도 선로구조물 성능확보를 위한 구조물 계측 및 평가시스템 개발(Ⅲ)", 한국철도기술연구원, 2000.
3. 최일윤, "정적응답을 이용한 교량구조물의 손상평가기법", 한양대학교 토목공학과 박사학위논문 2002. 12.
4. Heo, G., et al., "Optimal transducer placement for health monitoring of long span bridge", Soil Dyn. & Earth. Eng., Vol. 16, pp.497-502, 1997.
5. Lee, J. W., et al., "Health-monitoring method for bridges under ordinary traffic loadings", J. Sound & Vib., Vol. 257, pp.247-264, 2002.
6. Li, Z.X, Chan, T.H.T. & Ko, J.M., "Fatigue analysis and life prediction of bridges with structural health monitoring data", I. J. Fatigue, Vol. 23, pp.45-64, 2001.