

철도교 상시계측시스템의 교정 및 교정상수 설정에 관한 연구

Calibration of Health Monitoring System installed in the Railway Bridges

박준오¹, 이준석¹, 최일윤¹, 민경주²
Joon-Oh Park, Jun S. Lee, Il-Yoon Choi, Kyung-Ju Min

Keywords : Calibration(교정), Gauge factor (교정상수), Measurement System(계측시스템)

Abstract

A health monitoring system becomes a useful tool to obtain information on long term behavior of the important railway structures such as very long span and special type bridges. The health monitoring system not only gives the direct measurement data of the railway bridges but also provides the basic data on the maintenance of the structures. Therefore, periodic calibrations of the health monitoring system will be a necessary step toward precise and accurate assessment of the railway bridges.

In this study, the calibration and gauge factor readjustment process made for the health monitoring system installed in the railroad bridges is reviewed and some findings are explained in detail: 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 full length.

Based on the regression results, it was found that the gauge factors need to be readjusted according to the regression equation but, since the deviation or shift is not serious so far, long-term observation on each sensor is also recommended. Future work will be concentrated on the long-term analysis of each sensor and on the database creation so that the assessment of the structures is possible.

1. 서론

일정한 궤도를 따라 주행하는 대용량 운송수단인 철도의 경우, 구조물의 안전성 확보는 매우 중요한 과제이며 특히 경부고속철도와 같이 300km/hr의 속도로 고속주행하는 구조물의 설계·시공 및 유지관리

는 보다 엄격하게 수행되어야 한다. 현재 경부고속철도 노반구조물은 일반 철도구조물에 비하여 보다 엄격한 시방기준과 품질관리가 적용되고 있으며, 고속철도 노반구조물의 유지관리를 위한 여러 조치들이 강구되고 있다. 이 중, 열차의 고속주행에 의해 구조물에 미치는 장기적 거동에 대한 자료확보와 설계검증은 고속철도 구조물의 안정성 검증 및 유지관리에 있어 매우 중요하며, 현재 구조물의 장기거동특성을 파악하기 위하여 경부고속철도 시험선구간내 대표적

*1 정희원, 한국철도기술연구원 철도토목연구팀

*2 정희원, (주)철도안전연구소, 대표이사

인 노반구조물에 대하여 계측센서를 설치·부착한 후 계측된 데이터를 중앙계측실로 실시간 전송하는 상시 자동계측시스템을 운영 중에 있다.

상시계측시스템의 계측데이터에 대한 정확성을 확보하기 위해서는 주기적인 교정을 필요로 하며, 본 연구에서는 고속철도 노반구조물 상시계측용 계측센서에 대한 교정 과정 및 결과를 분석하고 교정계수 산정방안에 대하여 고찰하였다. 이를 위하여 관련 교정 장비를 제작하였고, 이 장비를 이용하여 현실적으로 접근이 가능한 센서들에 대하여 교정 작업을 수행하였다. 따라서, 고속철도용 교량의 교정장비에 대한 작동원리 및 교정을 통해 획득된 보정계수값 산정을 중심으로 기술하였다. 본 연구를 위해 제작한 교정기는 20℃에서 0.001mm오차를 갖는 micrometer를 채택하였으며 일부 교정기는 그 특성상 0.01mm의 micrometer를 사용하였다.

2. 상시계측시스템

2.1 시험대상 교량 및 상시계측 항목

교정을 위한 대상교량의 개략적인 현황은 Table 1 과 같다.

Table 1 대상교량 현황

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

대상구조물의 상시계측 항목은 Table 2와 같으며, 계측항목 중 영구처짐, 순간처짐, 가속도 및 종변위에 대한 교정 실험을 실시하였다.

Table 2 철도교량의 상시계측 항목

계측항목	목적
변형	주요부재의 응력 및 중립축 위치 파악
처짐	영구처짐 및 순간처짐 측정
진동	최대진동가속도 및 고유진동수 파악
경사	주형의 썩임각 측정
종변위	받침 가동여부 파악
온도	교체 온도 측정
지진	지진의 규모 및 지속시간 파악
풍향풍속	풍향 및 풍속 측정

2.2 계측항목별 관리기준(안)

계측데이터를 이용한 교량의 성능평가를 위하여 대표구조물별 구조해석 결과, 설계도, 각종 관련시방서 및 설계기준 (고속전철사업기획단, 1991), SYSTRA자료(SOFRRERAIL, 1994; SYSTRA, 1997) 등을 검토한 결과로부터 대표구조물의 계측항목별 관리기준[1]이 설정되어 있다. 이러한 관리기준은 계측시스템에 의한 대표구조물의 성능평가에 이용되고 그 결과에 따라 열차운행통제시스템에도 적용되어 열차의 운행안정성을 확보하는데 이용될 수 있다. 또한, 실제 계측데이터를 바탕으로 관리기준을 지속적으로 수정·보완하게 된다.

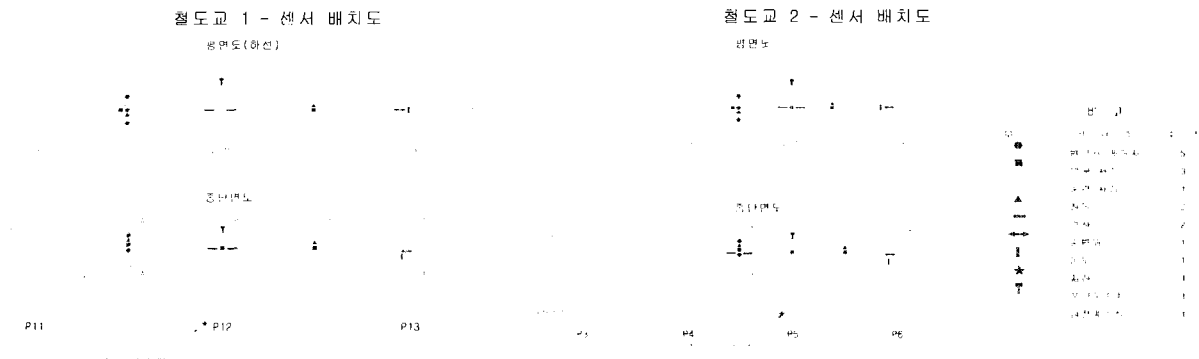


Fig.1 계측센서 배치도

2.3 계측 센서 위치

교량에 대한 계측센서의 위치는 Fig.1과 같이 철도교 1과 2에 각각 설치되어 있으며, 각 계측자료는 열차 운행시 트리거링(triggering) 조건에 의해 현장계측실로부터 중앙계측실로 자동전송되는 시스템으로 구성 되어 있다.

3. 각 센서에 대한 교정 실험

본 연구에서는 계측센서로부터 현장계측실에 저장되는 계측데이터의 검증을 위하여 교정실험을 실시하였다. 실험방법은 교량 내·외부에 부착된 각종 센서들을 분리한 후 Fig.2와 같이 자체 제작된 교정기(Calibrator)에 연결하여 교정기에서 변위나 가속도 등의 실제 거동치를 일정하게 가한다. 이후 현장계측실에서 데이터를 수동으로 기록하거나 가속도계, 순간처짐계와 같이 계측센서로부터 저장된 데이터파일을 획득하는 방식으로 수행하였다. 교정기의 계측정밀도는 각 교정기에 부착되어 있는 micrometer의 정밀도와 관련 있으며 1눈급당 10 μ m, micrometer기의 LED를 이용하면 1 μ m까지의 정밀계측을 수행할 수 있는 제품을 선택하였다.

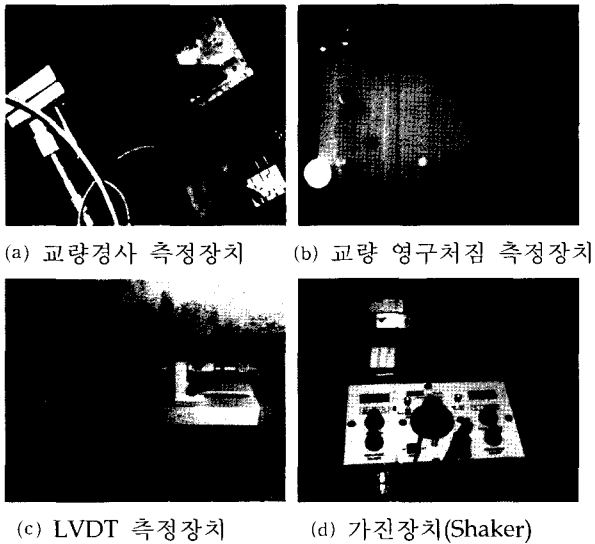


Fig.2 교정기

Fig.3은 계측대상구간의 전경 및 현장계측실 내부 모습이며, 이곳에서 트리거링 조건에 의해 계측데이터를 저장하는 동시에 중앙계측실로 자동 전송한다. 트리거링 조건은 고속열차의 운행에 의해 가속도계의 진폭이 일정수준 이상이거나 지진이 감지되는 때로 하였으며 열차진행 전 6초 및 진행중 10초 등 총 16초간의 데이터를 저장하도록 설정하였다.

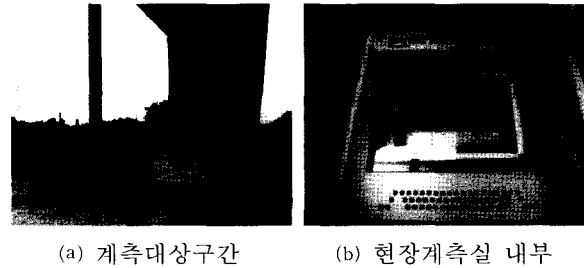


Fig.3 계측대상교량 및 현장계측실

3.1 영구처짐계

영구처짐계는 교각과 좌우측 경간의 중앙부에 각 1개씩 모두 3개가 설치되어 있으며, 교각에 설치된 영구처짐계 2를 기준으로 하여 영구처짐계 1 또는 3과의 수두차를 계측하는 원리로서, Fig.4(a)와 같이 영구처짐계를 Box내 하부 슬래브에서 분리한 후 Fig.4(b)와 같이 교정기에 영구처짐계를 고정하고 교정기에 있는 micrometer기를 일정 μ m만큼 회전시킨다. 이때, 영구처짐계가 교정기로부터 들어올려지게 되므로 들림량에 따라 수두차가 발생하게 된다. 즉, 들림량이 교정값이 되며, 계측센서로부터의 계측값을 획득하는 방법으로 측정을 실시하였다. 한편, 영구처짐계 자체의 정밀도를 고려하여 교정용 micrometer는 0.01mm까지 읽을 수 있는 제품을 선택하였다.

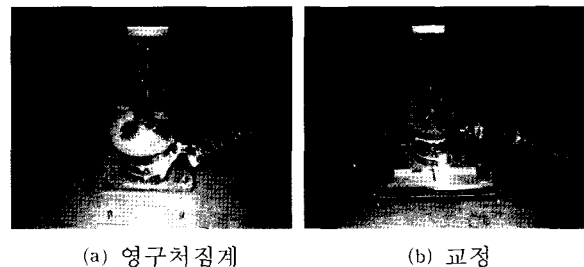
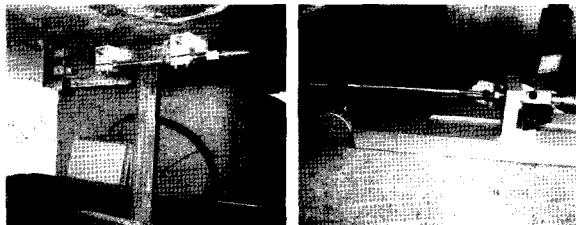


Fig.4 영구처짐계 및 교정

3.2 종변위계

Fig.5(a)와 같이 종변위계는 LVDT를 이용하여 거더의 종방향변위를 측정하는 형식으로 교각하부에 받침이 고정되어 있고 교량과는 LVDT로 연결되어 있으며, 종변위계 인근에는 현장에서 직접 확인할 수 있는 inch단위의 digital indicator가 설치되어 있다. 교정은 종변위계를 분리하여 교정기와 연결하고 앞서의 영구처짐계와 같이 최소단위 1 μ m인 micrometer기를 일정량 회전시킴으로써 가해진 변위량(교정값)과 종변위계 센서로부터의 계측값을 기록하는 방식으로 Fig.5(b)와 같이 교정을 실시하였다.



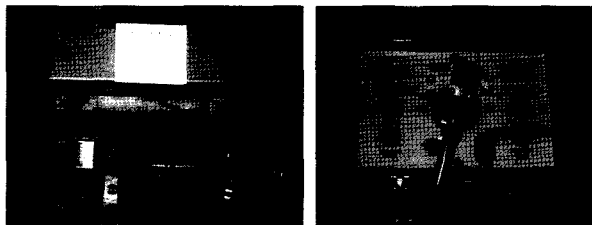
(a) 종변위계 (b) 교정

Fig.5 종변위계 및 교정

3.3 가속도계

가속도계는 Fig.6과 같이 교량내부의 경간중앙하부 슬래브에 설치되어 있으며, Fig.6(a)와 같은 가속도계를 주파수와 진폭을 조절할 수 있는 장비인 가진기를 이용하여 Fig.6(b)와 같이 제작한 지그를 이용하여 가속도계를 가진기(Shaker)에 연결한 후 교정을 실시하였다.

한편 교정은 현장전원을 이용하여 서보형 가속도계를 가진기에 고정한 후 일정 진폭과 주파수를 갖는 진동을 가하고 현장계측실의 데이터파일을 획득하여 분석하는 방법을 취하였다.



(a) 가속도계 (b) 교정

Fig.6 가속도계 및 교정

3.4 순간처짐계

순간처짐계는 Fig.7(a)와 같이 경간중앙 하부에 위치하며 원형 보호판 내부에 LVDT를 수직으로 설치하였다. LVDT를 고정시키기 위하여 노반으로부터 온도차 폐시설이 보완된 H-beam을 설치하여 순간처짐계의 받침부를 연결하여 고정하였으며, 교량내부에는 종변위계와 마찬가지로 digital indicator가 설치되어 있다. 교정 과정은 종변위계와 동일한 교정기를 이용하여 실시하였다.



(a) 순간처짐계 (b) 교정

Fig.7 순간처짐계 및 교정

4. 계측기 교정 및 분석

교정을 실시한 자료로부터 회귀분석을 수행하였으며, 식 (1)과 같은 형식의 1차원 방정식을 획득하였다. 이 식으로부터 a의 역수를 계측센서가 가지고 있는 식(2)의 b와 곱하고, c와 같이 절편값이 있을 경우 이를 d와 가감하여 최종적으로 식(3)과 같은 값을 센서의 계수로 재입력 한다면 보다 정밀한 계측자료를 확보할 수 있게 된다.

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

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

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

4.1 영구처짐계

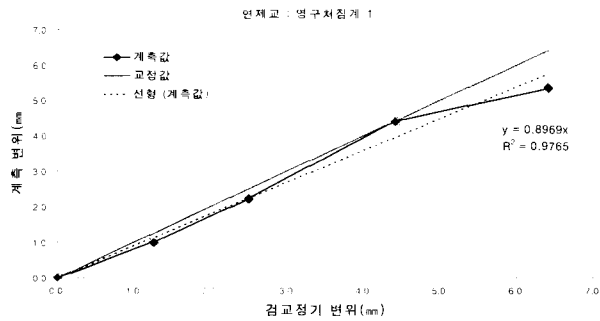
철도교 1의 영구처짐계에 대한 검정결과를 Fig.8과 같이 도시하였다. 그림에서 범례의 교정값은 교정기에서 실제로 가한 값을 나타내며 계측값은 교량내부에 설치된 영구처짐계의 계측센서로부터 현장계측실에서 수집된 값으로써 교정값과 일치하여야 하지만

실험회수에 따라 약간 상이한 형태를 보이고 있다. 또한 계측값의 회귀분석 결과는 점선으로 도시하였으며 이때의 방정식을 도출하였으며, Table 3에 결과를 정리하였다.

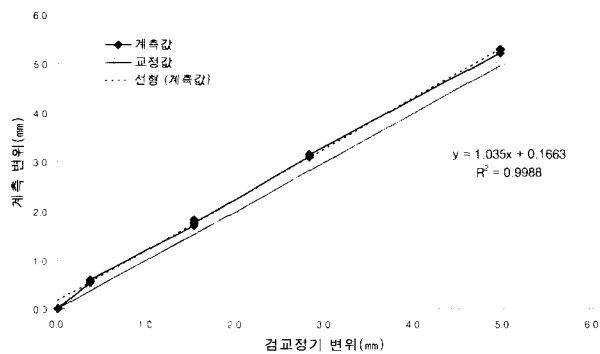
Table 3 영구처짐계 계측결과

교량	계측센서	실험회수	분석값 ($y=ax+c$)	비고
철도교 1	영구처짐계 1	2	$0.8969x$	0.9546x
	영구처짐계 3	1	$1.0350x+0.1663$	
철도교 2	영구처짐계 1	1	$1.1771x$	
		2	$1.1288x$	
	영구처짐계 3	1	$1.1269x$	
		2	$1.1256x$	

주) 비고의 값은 5mm 이내의 회귀분석 결과임.



(a) 영구처짐계 1



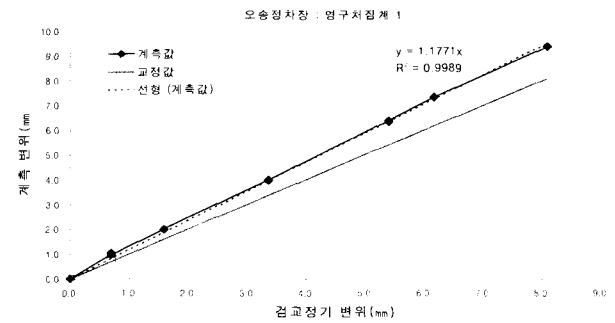
(b) 영구처짐계 3

Fig.8 철도교 1의 영구처짐계 - 분석결과

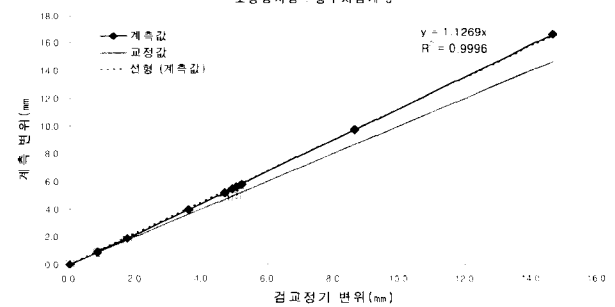
Fig.8(a)에 따르면 소규모 처짐영역에서는 계측시스

템에 의한 결과가 비교적 일관성 있는 형태를 보이나 5mm가 넘는 영역에 대하여는 다소의 오차를 나타내고 있다. 이는 계측기기의 오차라기보다 교정자의 인위적 계측오차인 것으로 판단되며, 5mm이상의 계측값을 무시한다면 Table.3의 비교와 같은 보정값을 취할 수 있다. 그러나 당분간 5mm를 넘는 과도한 영구변형은 없을 것으로 판단되며, 보정기기 자체의 미세 오차를 감안하면 장기적인 추이를 관찰하는 방안을 추천할 수 있다.

철도교 1의 영구처짐계 3에 대한 분석결과는 Fig.8 (b)와 같이 일정량의 처짐이 일관적인 형태로 더 발생하나 회귀분석 결과 직선식에 대한 상관계수는 매우 양호하게 나타났다. 따라서 Table 3 및 식 (3)과 같은 형태의 보정계수를 적용할 수 있다.



(a) 영구처짐계 1



(b) 영구처짐계 3

Fig.9 철도교 2의 영구처짐계 - 분석결과

철도교 2의 영구처짐계 1에 대한 검증결과는 Fig.9 (a)에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 계측시스템에 의한 계측값은 교정값에 비해 다소 크게 나타났으나 일관적인 양상을 보이고 있다. 또한 회귀분석도 직선식과 매우 흡사한 결과를 보이고 있으며

로 두 개의 회귀분석식을 이용하여 평균 보정값을 취한다. 그러나 영구치점 값이 미소한 경우에는 교정값과 계측값간의 차이가 현저하지 않으므로 교정기기의 오차범위를 감안할 때 당분간 추이를 분석하는 방안도 대안이 될 수 있다.

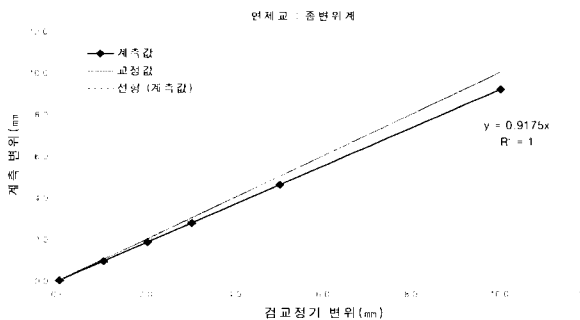
철도교 2의 영구치점계 3에 대한 분석결과는 Fig.9 (b)에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 같은 교량 영구치점계 1에 비해 훨씬 더 일관적인 결과를 보여주고 있으며 회귀분석 결과도 만족스러운 양상을 보인다. 따라서 Table 3과 같이 두 번에 걸친 교정결과를 평균하여 보정값을 취하는 방안을 제안하며, 온도변화에 따른 장기적인 계측값의 추이를 파악하기 위하여 추후 교정기간에 이르기까지 현 상태를 유지하는 방안도 추천할 수 있다.

4.2 종변위계

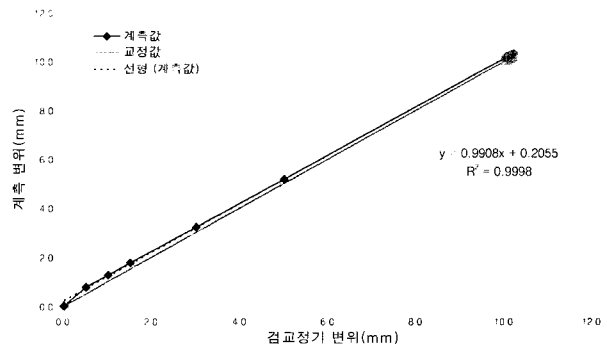
종변위계에 대한 검정결과 두 교량 모두 거의 유사한 값을 나타내고 있으며, 이에 대한 결과를 Fig.10 및 Table 4로 정리하였다.

철도교 1에 대한 종변위계의 검정결과 Table 4와 Fig.10(a)에서 볼 수 있듯이 수차례의 실험에서 일관된 차이를 보이고 있다. 따라서 회귀분석값의 평균값을 보정값으로 취할 수 있으며, 앞서의 경우와 마찬가지로 추후 교정기간까지 현 상태를 유지하는 방안도 검토될 수 있다.

Fig.10(b)는 철도교 2의 종변위계에 대한 분석결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 교정값 및 계측값 사이에는 소규모 shifting 현상이 발생하였으며 계측값이 커질수록 이 현상을 줄어듦을 알 수 있다. 이와 같은 결과로부터 Table 4의 교정값을 재입력하는 작업이 필요할 것으로 판단된다.



(a) 철도교 1 - 종변위계



(b) 철도교 2 - 종변위계

Fig.10 철도교 1 및 철도교 2 종변위계 - 분석결과

Table 4 종변위계 계측결과

교량	실험회수	분석값 (y = ax+c)	비고
철도교 1	3	0.9102x	
	4	0.9277x	
	5	0.9175x	
	6	0.8532x	
철도교 2	1	0.9908x+0.2055	

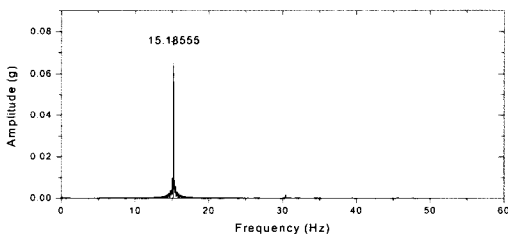
4.3 가속도계

가속도계는 교량위로 열차주행시 데이터를 획득할 목적으로 설치되어 있으며, 센서로부터 초당 100Hz로 계측되고 하나의 파일에는 16초의 데이터 즉, 1600개의 계측값이 저장된다. 실험을 통한 계측데이터를 FFT분석한 결과를 Fig.11~12, Table 5~6으로 정리하였다. 전체적으로 각각의 교량에 대해서 가진주파수에 따른 응답주파수는 거의 비슷한 경향을 보이고 있으나 Table 5 및 Table 6에서와 같이 가진진폭에 비해서 응답진폭이 약간 작게 측정되는 현상이 나타났다. 이는 본 실험의 교정에 사용한 상용 Shaker의 용량이 비교적 소형이고 가속도계 계측센서가 중량물(서보형)인 점을 감안하면 이에 따른 편차가 발생할 가능성을 무시할 수 없을 것으로 판단된다.

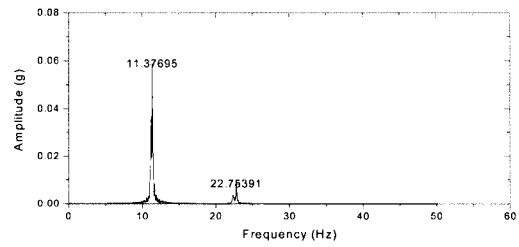
Table 5 철도교 1 가속도계 - FFT 분석결과

센서명	실험 회 수	Shaker (가진계)		응답주파 수 (Hz)	비고
		가진진 폭 (g)	가진주파 수 (Hz)		
가속도 계 1	1	0.05	11	11.52344	
	2	0.10	12	11.57227	
	3	0.10	15	15.18555	
	4	0.15	10	10.64453	
	5	0.20	10	10.64453	
	6	0.25	10	10.59570	
	7	0.25	15	13.76953	
	8	0.05	12	14.89258	
가속도 계 2	1	0.04	11	11.37695	
	2	0.01	11	11.32813	
	3	0.10	11	11.37695	
	4	0.15	11	11.37695	
	5	0.02	12	11.32813	
	6	0.05	11	11.37695	
	7	0.30	15	14.84375	
	8	0.05	12	11.42578	

Fig.11에는 철도교 1의 가속도계에 대한 검증결과를 도시하였다. Fig.11 및 Table 5에서 알 수 있는 바와 같이 전반적으로 가진주파수와 응답주파수 간에는 상관관계를 형성하고 있으나 일부 실험의 경우에는 비직선성을 나타내기도 한다. 이 현상은 앞서 언급한 바와 같이 본 실험에 사용된 가진기의 성능과도 관계가 있을 것으로 판단되며 low pass filter를 재조정하는 방안도 고려할 필요가 있다.

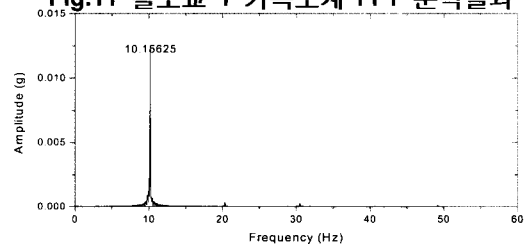


(a) 가속도계 1 - 가진값(0.10g, 15Hz)

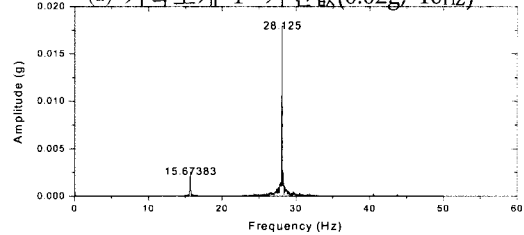


(b) 가속도계 2 - 가진값(0.10g, 11Hz)

Fig.11 철도교 1 가속도계 FFT 분석결과



(a) 가속도계 1- 가진값(0.02g, 10Hz)



(b) 가속도계 2 - 가진값(0.07g, 28Hz)

Fig.12 철도교 2 가속도계 FFT 분석결과

철도교 2의 가속도계 1 및 2에 대한 교정결과는 Fig.12에 나타내었다. 동일한 가진기를 사용한 Fig.12 및 Table 6으로부터 가진주파수에 대한 응답주파수는 철도교 1에 비해 훨씬 양호한 결과를 보여주며 철도교 1 및 2의 교정자가 다른 점을 감안할 때 교정자의 개인적인 기기작동 능력이나 가진기의 성능도 무시할 수 없음을 알 수 있다.

4.4 순간치짐계

순간치짐계는 100Hz로 현장계측실에서 데이터를 획득되며 각 교량마다 2회의 calibration을 실시하였다.

실험결과는 Fig.13에 도시하였으며 대부분의 계측값은 교정값과 일치함을 알 수 있고, 이에 대한 분석값은 Table 7로 정리하였다.

Table 6 철도교 2 가속도계 - FFT 분석결과

센서명	실험회수	Shaker (가진계)		응답주파수 (Hz)	비교
		가진진폭 (g)	가진주파수 (Hz)		
가속도계 1	1	0.02	10	10.15625	
	2	0.05	10	10.15625	
	3	0.08	10	10.15625	
	4	0.10	10	10.15625	
	5	0.15	10	10.15625	
	6	0.15	20	19.67773	
	7	0.07	30	29.24805	
	8	0.06	13	13.33008	
	9	0.14	34	34.03320	
	10	0.06	16	16.06445	
가속도계 2	1	0.09	10	10.54688	
	2	0.10	10	10.59570	
	3	0.08	10	10.15625	
	4	0.13	15	14.45313	
	5	0.15	20	19.09180	
	6	0.07	28	28.12500	
	7	0.18	10	10.15625	
	8	0.09	17	21.14258	
	9	0.10	23	22.80273	
	10	0.09	29	28.66211	

이상의 결과로부터 순간처짐계에 대한 교정값을 평균하여 적용할 수 있으나 앞서 다른 계측기와 마찬가지로 계절별 온도의 영향을 고려하는 방안이 바람직하며 따라서 추후 교정 기간의 결과와 비교한 후 교정을 실시하는 방안을 제안한다.

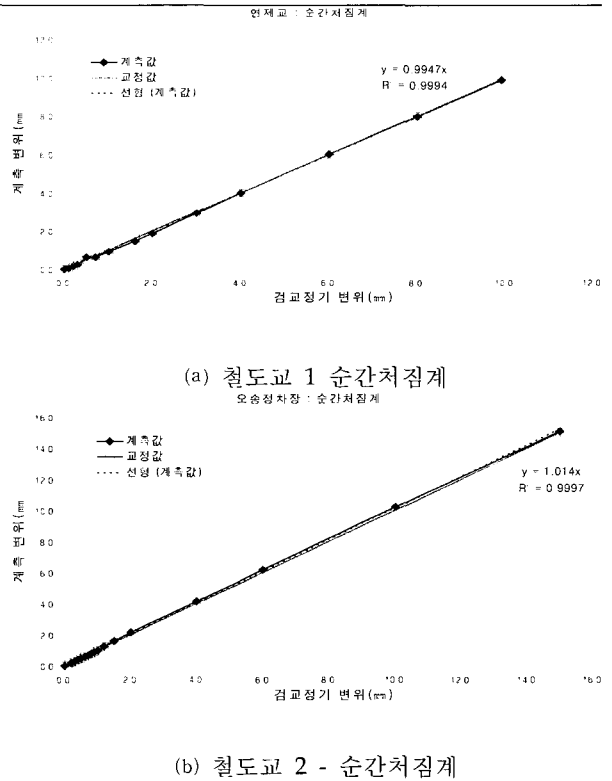


Fig.13 철도교 1 및 철도교 2 순간처짐계 - 분석결과

Table 7 순간처짐계 계측결과

교량	실험회수	분석값 (y=ax)	비교
철도교 1	1	0.9947x	
	2	1.0217x	
철도교 2	1	1.0140x	
	2	0.9261x	

5. 결론

본 연구에서는 고속철도교용 상시계측시스템의 계측센서 및 송수신모듈에 대한 교정 및 센서보정값 재설정 방안에 대하여 고찰하였다. 이를 위하여 매설형 센서 및 접근이 불가능한 개소를 제외한 나머지 센서에 대하여 교정용 calibrator를 제작하였으며 이를 이용하여 교정값 및 계측값을 비교·검토함으로써 센서 자체의 교정뿐만 아니라 계측시스템 전체의 안정화를

도모하였다.

본 연구를 통하여 획득한 결론은 다음과 같다.

• 교량용 영구처짐계

- 철도교 1 : 영구처짐계 1의 경우, 소규모 처짐영역에서는 계측시스템에 의한 결과가 비교적 일관성 있는 형태를 보이거나 약 5mm가 넘는 영역에 대하여는 회귀분석 결과의 신뢰도가 낮아진다. 그러나 현 단계에서 영구처짐이 5mm 이상 발생할 가능성이 희박하므로 5mm 이하 영역에 대한 회귀분석 결과를 적용하는 방안이 강구될 수 있다. 특히 영구처짐계 3의 경우는 일정량의 처짐이 일관적인 형태로 더 발생하나 회귀분석 결과 직선식에 대한 상관계수값은 매우 양호하게 나타났다. 따라서 각 회귀분석 결과를 입력하는 방안을 추천하며 보정기기 자체의 미세 오차를 감안하면 현 상태를 유지하고 장기적인 추세분석을 통하여 보정 여부를 판단하는 방안도 대안이 될 수 있다.

- 철도교 2 :

영구처짐계 1의 경우, 계측시스템에 의한 계측값은 교정값에 비해 다소 크게 나타났으나 일관적인 양상을 보이고 있다. 또한 회귀분석 결과도 직선식과 매우 흡사하므로 두 개의 회귀분석식을 이용하여 평균 보정값을 취할 수 있다. 그러나 영구처짐 값이 미세한 경우에는 교정값과 계측값간의 차이가 현저하지 않으므로 교정기기의 오차범위를 감안할 때 장기적인 추이를 분석하는 방안도 고려할 수 있다.

• 교량용 중변위계

두 교량 모두 교정기를 통한 교정값과 계측값의 상관계수는 1에 가까우며 직선적인 형태를 유지하고 있다. 따라서 회귀분석 결과를 평균하여 직접 적용하는 방안이 바람직하며 철도교 2에 대하여는 최초 shifting 부분에 대한 교정을 실시하여야 한다. 그러나 실제 오차범위가 미세한 점을 감안하면 일정기간 추이를 분석한 후 계절별 온도변화 이후의 교정값과 비교하는 방안도 고려할 수 있다.

• 교량용 가속도계

- 철도교 1 :

전반적으로 가진주파수와 응답주파수간에는 상관관계를 형성하고 있으나 일부 실험의 경우에는 비직선성을 나타내기도 한다. 한편 가진 진폭에 비해 응답진폭은 작은 값을 보여주고 있으며 이는 본 실험에 사용된 가진기의 성능과도 일부 관계가 있을 것으로

판단되며 계측시스템내에 설치된 필터의 대역을 재조정하는 방안을 고려할 수 있다.

- 철도교 2

철도교 2의 가속도계 1 및 2에 대한 검정결과, 가진주파수에 대한 응답주파수는 철도교 1에 비해 훨씬 양호한 결과를 보여줌을 알 수 있으나 시간-진폭 도표에 따른 응답진폭 분석결과는 필터링에 의해 좀 더 개선될 여지가 있을 것으로 판단된다. 이를 근거로, 고유진동수의 변화를 이용한 구조물의 손상유무를 파악하기 위하여는 현재 설치된 계측시스템보다 정밀한 H/W가 필요할 것으로 예측된다.

• 교량용 순간처짐계

철도교 1 및 철도교 2 모두 계측값은 교정값과 거의 일치함을 볼 수 있으며, 순간처짐계에 대한 교정값은 회귀분석값을 평균하여 적용할 수 있다. 그러나 앞서 다른 계측기와 마찬가지로 계절별 온도의 영향을 고려하는 방안을 검토할 수 있으며 따라서 일정기간의 결과를 분석한 후 교정을 실시하는 방안을 제안하였다.

본 연구를 위하여 제작한 각종 교정기의 검정은 따로 실시하지 않았으나 교정기에 사용된 micrometer는 제작사의 검정결과를 적용하였으며 향후 각 교정기의 검정방안이 함께 고려되어야 할 것으로 판단된다. 또한 향후 주기적인 교정을 통하여 온도 및 기간경과에 따른 센서 및 계측시스템 자체의 신뢰성을 향상시키는 방안이 모색되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 이준석 외, “고속철도 선로구축물 성능확보를 위한 구조물 계측 및 평가시스템 개발(Ⅲ)”, 한국철도기술연구원, 2000
2. 이준석, “고속철도 선로구축물 성능확보를 위한 구조물 계측 및 평가시스템 개발(Ⅱ)”, 한국철도기술연구원, 1999
3. 이준석 외, “수동계측, 계측센서 및 설비점검 보고서”, 한국철도기술연구원, 2002
4. “경부고속철도 시험선 구간외 선로구축물 자동화 계측 방안에 관한 연구 보고서”, 한국철도기술연구원, 1998
5. “교량유지관리 시스템의 개발 및 운용(1)”, 한국도로공사, 1997
6. “선로건설기준 및 건설규칙(안)”, 한국고속철도건설공단, 1998
7. “경부고속철도 제5-1공구 노반신설 및 기타공사 최종설계도면”, 한국고속철도건설공단, 1998
8. “교량관리체계개선, 교량유지관리지침(안)”, 건설교통부, 1995
9. “Detail of P.C Box Bridge Design Including Shop Drawings Longitudinal Flexure Analysis - N0. 44c Synthesis”, SYSTRA, 1997
10. Thompson, P.D., “PONTIS : The Maturing of Bridge Management Systems in the USA”, Bridge Management 2, Thomas Telford, 1993
11. Yokoyama 외, “Development of a Bridge Management System in Japan”, Bridge Management 3, E & F SPON, 1996