

Linear Scan Sensor를 활용한 구조물 동적 변위 측정 Measurement of Dynamic Deformation for Sturcture Using Linear Scan Sensor

김감래¹⁾ · 김명배²⁾ · Kwak Kang Youl³⁾ · 김주용⁴⁾

Kim, Gam Lae · Kim, Myoung Bae · Kwak Kang Youl · Kim Ju Yong

- 1) 명지대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail:kam@mju.ac.kr)
- 2) 명지전문대학 토목과 부교수(E-mail:kimmb@chollian.net)
- 3) 명지대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail:kwakky@empal.com)
- 4) 명지대학교 대학원 토목공학과 석사과정(E-mail:sayqop@nate.com)

Abstract

In order to impose an effective check on the existing methode of measurement, this study make an attempt to attach sensor on a structure, which can perceive a laser beam sent out from a light source at any place. This system makes it possible to measure an absolute of dynamic displacement according to accurately survey an amount of fluctuation in process of time.

This result of experiment to compare the products by means of each method was satisfactory for identification. Accordingly these facts attest to the possibility of accurate measurement owing to gauge an dynamic displacement amount of structure.

1. 서 론

최근 노후화된 구조물에 대한 정밀 안전진단을 실시하고 그 결과에 따라 보수보강을 하고 있다. 구조물에 대한 이상 유무 판단 방법 중 변위량을 통한 해석은 일반적으로 변위량 측정 게이지를 구조물에 부착하여 변위량을 측정하고 정량적으로 해석함으로써 판단하고 있다. 게이지를 통해 변위량을 측정할 경우 부착방법과 이에 따른 측정값의 신뢰성을 확보하는데 어려움이 있어서 이를 보완하기 위해 최근에는 레이저레벨 또는 토탈스테이션 등을 이용한 각점의 고저차 또는 3차원 위치좌표를 측정하는 방법을 이용하고 있다. 그러나 이러한 방법도 구조물에 대한 상대변위를 측정할 뿐만 아니라 측정과 계산방법이 복잡하고 정적 측정에 한정된다는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 구조물에 센서를 부착하고 임의의 지점에서 레이저 광선을 발사하여 부착된 센서가 이를 측정함으로써 시간 변화에 따른 구조물의 정적 및 동적 변위량을 측정할 수 있도록 하였다.

2. 레이저빔에 의한 구조물 측정원리

전자기파인 레이저빔 측정원리는 맥스웰(Maxwell)의 전파방정식에 의한 원리를 기본으로 하고 있다. 공간을 전파하는 전자파의 속도는 다음 식과 같다.

$$C = f \cdot \lambda = \frac{C_0}{\sqrt{\epsilon\mu}} \tag{1}$$

여기서, C : 전파속도, f : 주파수, λ : 파장, C_0 : 잔공중 광속도, ϵ : 공간 유전율, μ : 공간 투자율

1개의 송신기로 먼 거리에 이르는 주파수의 잔자파를 송출하는 것은 어려움이 있으므로 주파수가 약간 다른 전자파를 여러 개 사용하여 증폭현상을 일으켜서 이 문제를 해결할 수 있다. 반송파에 변조파수 f_A 와 f_B 의 신호파를 실어서 송출한다고 하면,

$$2L = \frac{C}{f_A} \left(n_A + \frac{\phi_A}{2\pi} \right), \quad 2L = \frac{C}{f_B} \left(n_B + \frac{\phi_B}{2\pi} \right) \quad (2)$$

따라서

$$2L \frac{f_A}{C} = \left(n_A + \frac{\phi_A}{2\pi} \right), \quad 2L \frac{f_B}{C} = \left(n_B + \frac{\phi_B}{2\pi} \right) \quad (3)$$

여기서 두 식의 각 변을 서로 정리하면

$$2L = \frac{C}{f_A - f_B} \left\{ (n_A - n_B) + \frac{\phi_A - \phi_B}{2\pi} \right\}, \quad (4)$$

이 식에서 $(f_A - f_B)$ 라는 신호파의 주파수차를 가진 것이 1개의 파와 마찬가지로 f_A, f_B 를 사용할 때의 위상차를 측정하면, $(\phi_A \sim \phi_B)$ 값은 주파수 $(f_A - f_B)$ 파의 위상차로 된다.

주파수 f_A 와 f_B 가 접근하여 있으면 $(f_A - f_B)$ 는 극히 작은 주파수의 파로 된다.

식(1)에 상당하는 파장을 $\bar{\lambda}$ 라고 하면,

$$\bar{\lambda} = \frac{C}{f_A} - f_B = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_A} - \frac{1}{\lambda_B}}, \quad (4)$$

3. 변위량 측정시스템 구성 및 실험

3.1 시스템 구성

레이저빔은 일반적으로 태양광선의 간섭을 받으므로 이를 소거하기 위해 적외광선을 합성한 광선을 이용하였다. 이 연구에서 사용한 수신센서는 0.0125mm 간격으로 분할된 칩 형태의 센서로서 임의의 위치에서 발사된 레이저빔이 센서에 수신되면 RS232 케이블을 통해 기록계에 전달될 수 있도록 하였다. 또한 측정값의 신뢰성을 향상시키기 위해 Multi sensor를 부착하였다. 이 때 레이저 광원의 전달크기에 대한 인식은 광원의 무게 중심 즉, 빛의 양이 가장 많이 전달되는 지점을 찾아 인식되도록 하였다. 또한 변위 측정에서 초기값은 시험 시작 전에 광원이 비추고 있는 상태에서 기록계에 영(0)설정을 한 후 상하 변위에 대한 동적 변위를 측정하도록 구성되어 있기 때문에 레이저 광원의 거리변화 및 레이저 광원의 세기 변화에 따른 파장의 주기가 다름에 따른 오차를 무시하도록 하였다. 본 시스템의 제원은 다음과 같다.

- 가) 레이저 광원 : 적색 레이저 및 적외선
- 나) 레이저 광원 파장 : 650nm
- 다) 레이저 출력 : 5mW
- 라) 측정 범위 : 0 - 50m
- 마) 수신센서 최소읽음값 : 0.0125mm

이 연구에서 사용된 변위측정시스템은 다음 그림과 같다.

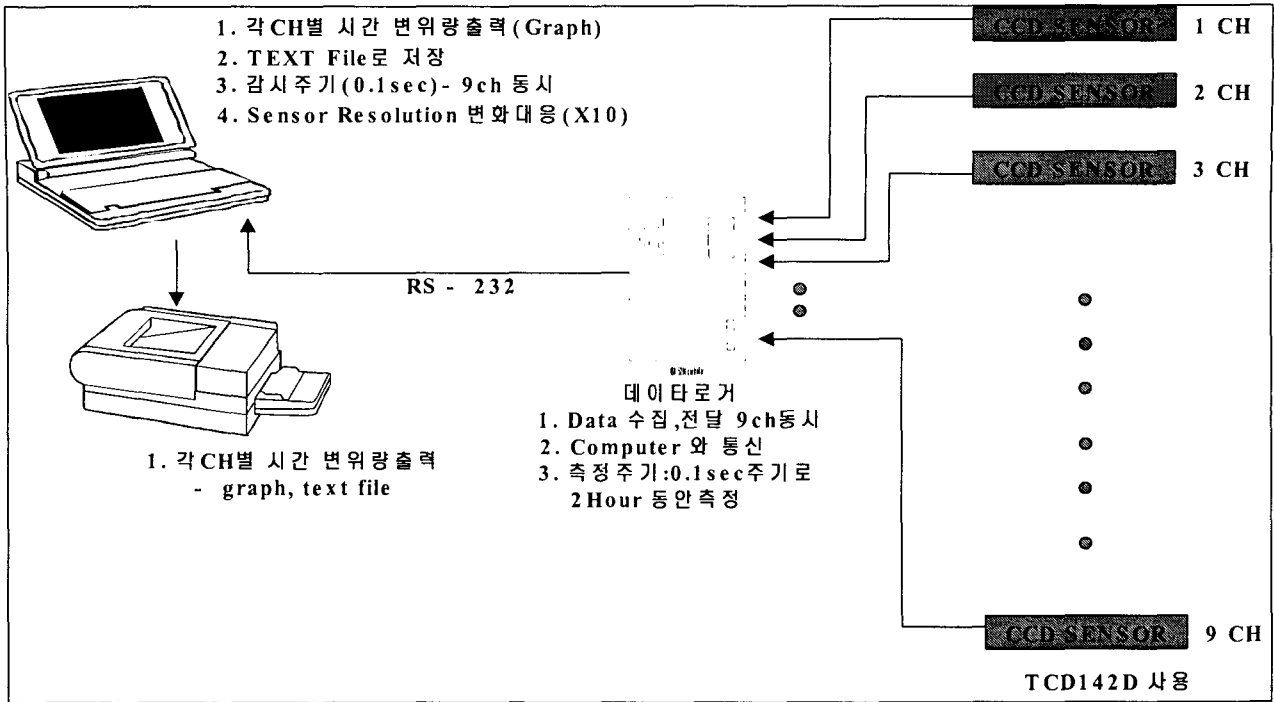


그림 1. 변위량 측정 시스템 구성

3.2 실험

이 연구에서는 하서천 상·하행 철도 교량을 대상으로 본 변위 측정시스템을 적용하여 실험을 실시하였다. 하서천 상행선은 호남선 김제-신태인 역간을 통과하는 교량구조물이며 9.76m@4경간의 슬래브교 형식으로 준공되었다. 이 교량구조물은 1914년에 판형교 형식으로 건설되었다가 2002년도에 호남선 전철화 사업을 위하여 개량하였으며 41.20m에 해당하는 콘크리트 슬래브 교량이다. 하서천 하행선은 9m@4경간의 T-Beam 형식의 교량으로 1982년에 완공된 콘크리트 교량이다.

본 시스템을 이용하여 철도 교량 구조물의 변위에 대한 정밀측정을 실시하였으며, 변위측정시스템의 정확도 분석을 위해 3차원 측량기와 동적응력측정기에 의한 변위측정장치를 동시에 이용하여 측정되도록 하였다. 각 구조물에 대한 변위량 산출에 따른 정확도 비교를 위해 3차원 측량기로 측정할 수 있는 테이프 타겟과 동적 변위측정기 및 레이저 광원에 대한 수신 센서를 동일 위치에 부착한 후 시간 변화에 따른 측정값을 획득하여 정확도를 분석하였다. 또한 동일 측정 장비들을 이용하여 철도 레일에 하중이 가해질 경우에 대한 철도 레일의 굴곡 변위량을 측정하였다.

4. 결과분석

고정밀도로 구조물 변위량을 실시간으로 측정하기 위해 레이저빔을 이용하여 철도 교량에 부착되어 있는 센서에 광원을 전파하여 교량 구조물 및 철도 레일의 변위량을 측정하였으며, 동적응력측정기와 3차원 측량기를 동시에 적용하여 정확도를 분석하였다.

교량 구조물에 대한 측정치의 정확도는 동적응력측정기에 의한 측정값을 기준으로 하였을 경우 레이저빔에 의한 변위량과의 평균표준편차가 0.00089~0.0014mm이고, 3차원 측량기로 측정한 결과를 기준으로 하였을 경우 레이저빔에 의한 측정 결과와는 0.00088~0.00149mm의 평균표준편차를 나타내고 있다. 이 결과에서 볼 수 있듯이 측정에 따른 오차는 거의 없음을 알 수 있었다. 또한 시간 변화에 따른 변위량 측정 결과에 대한 차이값은 응력 측정기에 의한 측정값을 기준으로 할 때 레이저빔에 의한 결과값과는 0.000~0.060mm의 차이가 발생하였으며, 3차원 측량기에 의한 값과는 0.000~0.010mm의 차이가 발생

하였다. 3차원 측량기와 레이저 변위측정시스템과의 결과 값 차이는 0.000~0.063mm로서 거의 차이가 발생하지 않았음을 알 수 있다.

철도 레일에 대한 굴곡량의 경우, 레이저빔을 이용한 변위량 측정 값의 정확도는 동적변위측정기에 의한 측정 값을 기준으로 할 때 0.000153mm, 3차원 측량기에 의한 측정 값을 기준으로 할 때 0.000146mm의 표준편차를 나타내고 있다. 이로부터 레이저빔에 의한 측정 결과에 오차가 거의 없음을 알 수 있었다. 또한 시간 변화에 따른 차이를 분석한 결과 변위측정기와는 0.000~0.050mm, 3차원 측량기와는 0.000~0.048mm의 차이가 발생하였으며 이로부터 거의 차이가 발생하지 않음을 알 수 있었다.

이상과 같이 각 측정 방법에 의해 거의 동일한 측정된 결과를 얻을 수 있었는데, 여기서 레이저광원에 의한 측정 방법은 센서의 측정 최소읽음값이 0.0125mm이고, 다른 방법은 0.001mm 단위까지 측정이 가능하였고, 센서에서의 레이저 광원에 대한 읽음 값이 센서의 각 경계선에서 가장 가까운 값을 읽도록 구성되어 있기 때문에 다른 측정 결과와 상호 상쇄된 결과이다.

5. 결 론

레이저빔에 의한 변위량 측정시스템을 적용하여 구조물의 동적 변위를 측정한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 레이저 측정 시스템을 이용한 변위량 측정결과는 정·동적응력측정기나 3차원 측량기를 이용한 방법 등에 의한 측정 결과와 비교할 때 거의 동일한 정확도로 측정할 수 있었다.
2. 구조물에 센서를 부착하여 변위량을 측정함으로써 구조물의 동적 절대 변위 측정값의 신뢰성을 향상시킬 수 있었다.
3. 레이저 광원의 위상차에 대한 오차는 센서에서의 영(0) 설정을 통해 소거 할 수 있었다.
4. 레이저빔의 발사위치는 측정 값에 영향을 미치지 않으나, 센서의 부착위치는 지면 또는 구조물에 대해 항상 연직 상태를 유지해야만 정밀 측정이 이루어짐을 알 수 있었다.

참고문헌

- 김감래, 김명배 (1997), 근거리사진측량에 의한 구조물 변형측정, 한국측지학회지, 한국측량학회, 제15권, 제1호
- 김병국 (1992), 광학기구기법을 이용한 가속기 진공챔버의 변형관측, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제12권, 제3호
- 서채현, 이계학 (1989), 전자파거리측량기 EDM의 신뢰성에 관한 실질적 연구, 한국측지학회지, 한국측량학회, 제7권, 제1호
- Isawa L., Morita Y. and Simbobe S. (1983), "Reliability of Electronic Distance Meter", Surveying and Mapping, Vol.33, No.6