

빔부재의 실시간 상태 평가를 위한 최적변위 계측

The optimum displacement measurement to estimate realtime states of Beam structure

김형중* · 김성남** · 박남회*** · 박종섭**** · 임정순***** · 강영종*****

Kim, Hyung-Joong · Kim, Sung-Nam · Park, Nam-Hoi · Park, Jong-Sub · Lim, Jung-Soon · Kang, Young-Jong

ABSTRACT

Recently, several displacement measuring instruments such as a GPS are substantially developed by development of an artificial satellite. Considering this trend, in future displacement measurement will be a very efficiency method, therefore we need to develop structure maintenance & management by using displacement measuring instruments. In this study, I suggest to maintenance & management method about simple beams and cantilever beams which are very important structure in civil engineering by using displacements. I suggest a system which trace behavior of beams by combining some measurement points and a specific displacement function and research that the proper number of measurement and optimum measurement points to efficiently use the system.

Keywords: displacement measurement, structure maintenance, optimum measurement, realtime states.

1. 서론

합리적이고 안전한 구조물의 설계, 시공, 유지관리를 위한 연구가 수행되어 왔고 이와 같은 연구를 바탕으로 다양한 계측 및 유지 관리 방안 등이 제시되어왔다. 국내의 경우 계측시스템에 광파기, 레이저 변위계, 가속도계, 변형률계, 경사계 등의 여러 종류의 계측기를 사용하고 있다. 이러한 계측 데이터의 활용 중에서 변위에 대한 계측은 기존 계측기의 형식에서는 계측 방법이 수월하지 않았고, 정확한 값을 측정해내기가 매우 어려웠으며 실시간으로 변위를 계측 하는 방법이 어려워 최대변위 지점에서의 변위를 측정 용도로 주로 활용될 뿐이다.

* 고려대학교 토목환경공학과 석사 E-mail: gemol@naver.com

** 고려대학교 토목환경공학과 박사과정 E-mail: magach7@korea.ac.kr

*** 고려대학교 토목환경공학과 연구 교수 E-mail: nhpark@korea.ac.kr

**** 상명대학교 토목환경공학과 교수 E-mail: jonpark@smu.ac.kr

***** 경기대학교 토목환경공학과 교수 E-mail: jsim@kyonggi.ac.kr

***** 고려대학교 토목환경공학과 교수 E-mail: yjkang@korea.ac.kr

하지만 최근 GPS를 비롯하여 각종 변위를 정확하게 측정할 수 있는 여러 가지 계측 방법들이 제안되고 있으며, 정밀도와 경제적인 면에서 향상되고 있다. 따라서 변위를 단순 최대 변위를 측정하는 범위를 넘어서 구조물의 전체 거동을 파악 할 수 있다면 이는 구조물 유지관리에 있어서 중요한 요소가 될 것이다. 현재, 구조물의 변위를 통한 구조물 유지 관리 방법은 계측의 어려움과 다중 위치에서의 동시 계측이 어려워 현재 연구가 미비하다. 본 연구에서는 변위를 구조물 유지관리에 효율적으로 사용하는 방법을 제시 하도록 한다.

2. 변위 함수 이론

빔 이론식에서 하중 형태와 변위 형상은 다음과 같은 관계를 가진다.

$$EIy'''' = q$$

이를 토대로 하여 생각하면, 등분포 하중이 주가 되는 경우, 변위 함수는 주로 4차 함수형태가 될 것이다. 변위함수가 4차 함수일 경우 변위 함수를 알아내기 위해서는 5개의 데이터를 알아야 한다. 단순 빔의 경우 양쪽 경계조건을 알 수 있다. 따라서 3개의 계측점을 추가로 알 수 있다면 4차 변위 함수를 알아낼 수 있다.

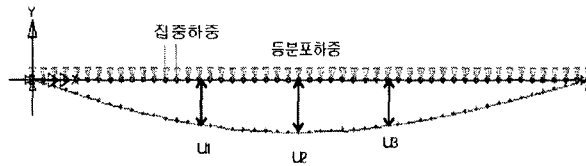


그림2.1 단순보에서의 변위 계측

만약, 위의 그림과 같이 집중하중과 등분포 하중이 작용하는 경우 U1~U3의 변위 값을 안다면 빔의 변위 함수를 찾아낼 수 있으며, 이를 바탕으로 빔 전체적인 변위를 구할 수 있다.

3. 빔 부재에 대한 최적 위치 선정

3.1 계측기 오차

단순보 4차 함수를 예를 들어서 설명하면, 계측되는 지점은 3곳이 된다고 앞서 언급했다. 계측기의 오차는 3 곳의 계측 지점에서 동시에 발생할수도 있고, 한 곳의 계측기에서만 발생할 수도 있다. 이러한 계측기의 오차가 발생하는 경우의 수를 모두 종합하면 3곳의 계측의 경우 오차가 발생하지 않는 경우의 수까지 포함하여 $3^3=27$ 가지의 오차가 발생한다.

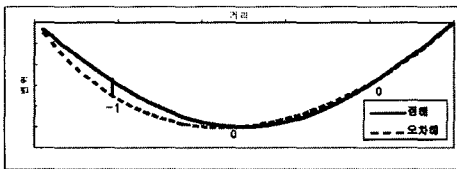


그림3.1 오차Case2) -1,0,0

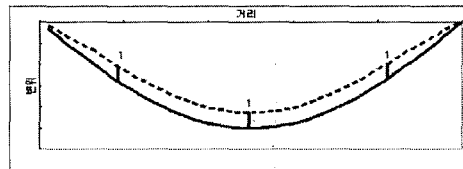


그림3.2 오차Case27) 1,1,1

그림3.1,그림3.2는 계측기 오차가 적용되는 27가지 Case에 대한 설명이다. Case1)은 0,0,0으로써 계측기의 오차가 없이 정해의 값과 일치하는 것이고, 이로부터 마지막 Case27) 1,1,1 까지 27가지 Case가 있다.

3.2 계측 오차(Input Error)에 의한 구조물 전체 변위 (Output Error) 크기 결정

계측기 자체의 오차 또는 측정간 오차가 발생하여, 계측오차가 발생하면, 이에 따라서 전체적인 변위 함수에 영향을 주게 되어, 구조물 전체 거동, 즉 구조물의 전체 변위에 영향을 주게 된다. 결국 계측 오차라는 Input Error가 전체 변위의 오차라는 Output Error를 발생시키게 되며, 이를 최소화시키는 것이 필요하다.

계측 오차에 의한 구조물 전체 변위의 오차량에 영향을 주는 요소는 계측 지점 수(변위함수), 계측 지점 위치, 계측기 오차의 크기, 오차 발생확률의 4가지이다. 이들 중 계측 지점 수(변위함수), 계측 지점 위치를 최적화시켜서 Output Error를 줄였다.

3.3 오차비

위에서 언급한 것과 같이 다양한 계측 오차의 값들은 변위 함수의 다양한 오차를 발생시킨다. 이러한 값들을 객관적으로 비교하기 위해서 오차의 값들을 오차비의 값으로 표현하였다. 오차비는 구조물 변위의 전체적인 오차량을 계측기의 오차량으로 나눈 값이다.

이를 쉽게 설명하기 위해서 다음과 같은 예를 들겠다. 오차 Case 3)의 경우 정해와 오차해의 차이를 표시하면, 즉 오차량을 구하면, [그림3.4]의 맨 위 부분에 있는 그래프가 된다.

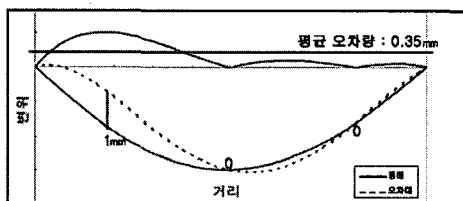


그림3.3 오차비 개념

위의 그림에서 변위오차 그래프의 평균값을 내었을 때 0.35mm가 나왔으며, 계측기가 가지고 있는 오차는 1mm인 상태 이므로, 오차비 값은 $0.35\text{mm}/1\text{mm} = 0.35$ 의 값이 된다. 이러한 오차비를 사용하는 이유는, 방금 계산에서 볼수 있듯이 무차원의 값으로 표현을 할 수 있기 때문에 일반적인 적용에서 유리해지기 때문이다. 실제로 오차 Case가 같은 경우라면 오차 크기에 관계없이 오차비는 같게 나왔다.

3.4 계측 위치 선정

- 단순 빔 요소의 경우는 중양을 중심으로 하여 좌우 대칭으로 배치하였다. .



그림3.5 단순보에 계측 지점 선정 기준

- 캔틸레버 빔요소の場合は 변위가 최대인 끝점을 고정 배치하고, 나머지는 자유롭게 배치하였다.

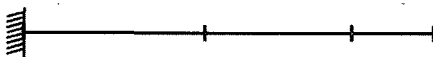


그림3.6 캔틸레버보 계측 지점 선정기준

3.5 계측 위치의 선정 방법의 예시(4차함수)

중양의 계측점과 양쪽 점의 계측점간의 거리를 측정 거리 그리고 측정 거리/전체길이=측점거리비로 정의 하였다.

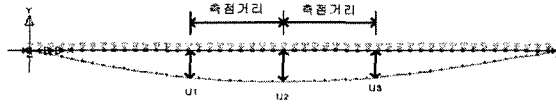


그림 3.7 측정 거리

이러한 측정 거리를 전체 길이의 변화시켜가면서 오차비의 값을 계산하였다.

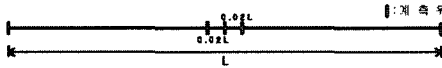


그림 3.8 Case1) 측정거리비=0.02

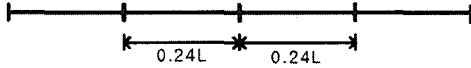


그림 3.9 Case2) 측정거리비 = 0.24

3.6 계측 위치별 오차비 결과(4차함수)

위와 같은 여러 종류 측정 거리에 따라서 오차비의 값이 어떤 양상으로 변화하는지를 조사하였다.

- 오차비

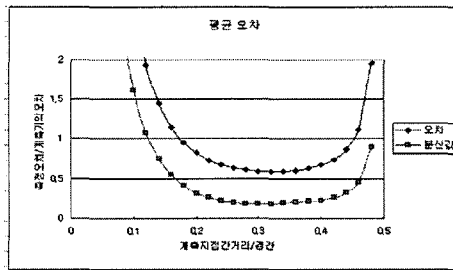


그림 3.10 측정거리비에 따른 오차비의 변화

[표3.1] 측정거리의 비 0.26~0.34에서의 값

측점 거리비	0.26	0.28	0.3	0.32	0.34
오차비	0.633131	0.607651	0.593467	0.588369	0.592008
오차비분산	0.203753	0.194163	0.191522	0.193006	0.197667

위의 표에서 알 수 있듯이 측정 거리비가 0.30 ~ 0.32일 때 가장 적은 값을 나타내었다. 따라서 계측 지점의 배치는 다음과 같이 배치하는 것이 가장 적합하다. 이러한 과정을 거쳐서 각 최적 위치를 구하였다.

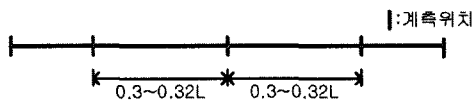


그림 3.11 단순보 4차함수 최적 계측위치

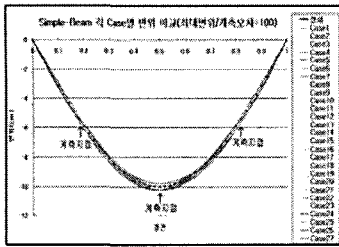


그림5.2 단순보 변위 하중

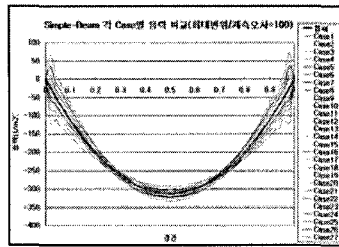


그림5.3 단순보 변위 응력 결과

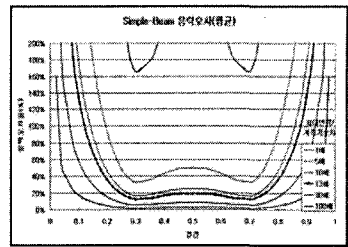


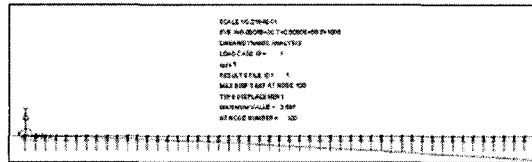
그림5.4 단순보 응력 오차율

위에서 알 수 있듯이 응력 값은 양쪽 바운더리 부분에서 오차가 크게 발생하였다. 응력 오차율 값은 그림 5.4와 같다. 최대변위/계측기 오차 값을 다양하게 변화 시켜 가면서 구하여 다음과 같은 결과가 나왔다.

- 1) 응력이 큰 경간 중앙에서의 응력 오차율의 값은 적게 나왔다. 가장 응력이 크게 발생하는 지점에서 오차율이 적게 나온 점은 실 적용에 있어서 좋은 결과라고 할 수 있다.
- 2) 최대변위와 계측기 비율이 점점 더 커질수록 응력 오차가 적어졌다. 이는 최대변위가 점점 커지는 Critical한 상태일수록 정확해진다는 것으로, 역시 적용성에 유리한 결과라고 할 수 있다.

5.2 캔틸레버 빔 구조 해석

- 캔틸레버 빔 구조물의 제원은 다음과 같으며, 사용한 해석 프로그램은 Lusas 13.6이다.



재료 특성치		단면 제원(H 100x100 17.2kg)	
탄성계수	$3 \times 10^4 \text{ t/m}^2$	Area	0.00219000 m^2
포아송비	0.2	Iyy	0.00000883 m^4
단위중량	2.4 t/m^3	Izz	0.0000134 m^4

그림5.5 캔틸레버보 역해석 구조물 제원

- 입력한 변위 하중 형태, 및 응력은 단순보의 방법과 동일하다.

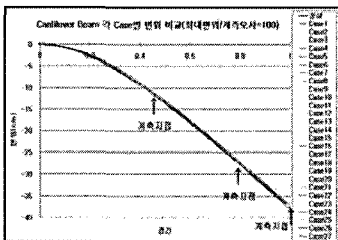


그림5.6 캔틸레버보 변위 하중

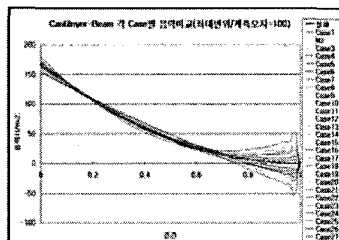


그림5.7 캔틸레버보 응력 결과

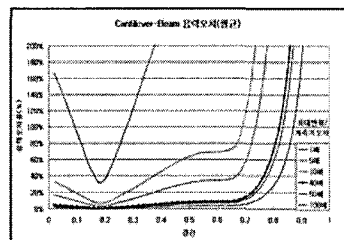


그림5.8 캔틸레버보 응력 오차율

- 캔틸레버 빔의 경우도 단순 빔의 경우와 같은 양상을 나타내었다. 즉 응력이 크게 작용하는 고정단 부분의 오차율이 적게 나왔으며, 최대변위/계측기오차의 비율이 커질수록 응력 오차율이 적게 나왔다.
- 캔틸레버 빔의 경우는 4차함수에서 3차함수로 유불 리가 넘어가는 경우는 최대변위/계측기오차가 40배 인 경우였으며, 이때를 기준으로 하면, 큰 응력이 작용하는 고정단으로부터 70%이내 부분에서는 평균적으로 17%이하의 응력 오차율을 보였다.

6. 결론

본 연구에서는 변위계측을 통해서 구조물의 상시 계측을 할수 있는 시스템을 제안하였다.

- 1) 우리가 알 수 있는 값인 계측기의 성능(오차크기와 오차발생율) 및 교량의 최대변위의 값을 구한다.
- 2) 4장의 최적 함수를 구하는 방법을 적용하여, 구조물에 맞는 최적 함수를 무엇으로 할지를 정한다.
- 3) 3장의 최적 위치를 구하는 방법을 적용하여, 계측기의 배치를 결정한다.
- 4) 이러한 배치에서 구한 변위를 가지고 구한 구조물 역해석으로부터 응력등 구조해석을 한다.

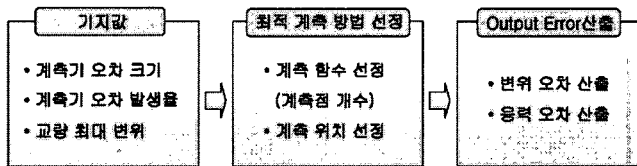


그림6.1 변위를 이용한 구조물 유지 관리

결론적으로, 사전에 구할 수 있는 계측기의 성능과 구조물의 최대 변위 값으로부터 계측기 배치 및 개수 (변위 함수)를 선정할 수 있고, 다시 이로부터 구조물 전체 변위 및 응력의 오차가 어느 정도 발생하는지 구할 수 있다. 이런 방법으로 구조물의 실시간 상태평가를 하여 구조물 유지관리를 하는 것을 본 연구에서 제안하였다.

감사의글

본 연구는 2005년 고려대학교 토목환경공학과 강구조 연구실에서 이루어진 것으로, 본 연구에 도움을 주신 교수님을 비롯한 모든 분들에게 감사드립니다.

참고문헌

- 한국 도로 교통 협회 (2005) 도로교 설계 기준,서울 p.474
- 한국 도로 공사 (1999) 교량유지관리 시스템의 개발 및 운용,서울 p.420page
- 한국 도로 공사 (2001) 서해대교 유지관리 보고서,서울 p.162page
- 건설 교통부 (2005) 구조물 계측에 최적화된 고정밀 GPS 측위 알고리즘 및 모듈 개발,서울 p.190page