

# 최적 변위 계측 방법에 의한 교량 휨부재의 상태 평가

## The Optimum Displacement Measurement to estimate Realtime States of Beam Structure

김형중<sup>1)</sup> · 김성남<sup>2)</sup> · 한택희<sup>3)</sup> · 강영종<sup>4)</sup>  
Kim, Hyung-joong·Kim, Sung-nam·Han, Taek-Hee·Kang Young-jong

---

### ABSTRACT

There are several methods which estimate the behavior of the Structures. Recently, several displacement measuring instruments such a GPS are substantially developed. So, considering this technique, displacement measurement will be a very efficient method for estimating the behavior of the Structures and maintenance. Therefore we need to develop methods of structure maintenance & management by using displacement measuring instruments. In this study, I suggest to maintenance & management method by using displacements about simple beams and cantilever beams which are very important structure in civil engineering. The results show that the proposed method is capable of estimating the displacement and stress of the Beam Member by combining the proper number of measurement and optimum measurement points,

---

### 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 있으며, 계측된 자료를 바탕으로 구조물의 상태평가를 하고 있다. 이러한 계측 데이터의 활용면에서 변위에 대한 계측은 기존 계측기의 형식에서는 계측 방법이 수월하지 않았고, 정확한 값을 측정하는 것과 실시간으로 변위를 계측하는 방법이 어려워 최대변위 지점에서의 변위를 측정하는 용도로 주로 활용되고 있을 뿐이다. 그러나 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 파악할 수 있다면 이는 구조물 유지관리에 있어서 앞으로 중요한 요소가 될 것이다. 본 연구에서는 계측 변위를 통한 효율적인 휨부재의 상태 평가 방안을 제시하도록 한다.

### 2. 변위 함수

---

1) 고려대학교 사회환경시스템공학과·공학석사 E-mail: [gemo13@korea.ac.kr](mailto:gemo13@korea.ac.kr) Tel:(02)953-1617 Fax:(02)953-1617  
2) 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 E-mail : [magach7@korea.ac.kr](mailto:magach7@korea.ac.kr) Tel:(02)953-1617 Fax:(02)953-1617  
3) 정회원·고려대학교 공학기술연구소 연구조교수·공학박사 E-mail : [taekie@korea.ac.kr](mailto:taekie@korea.ac.kr) Tel:(02)924-0190 Fax:(02)953-1617  
4) 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과 교수·공학박사 E-mail : [yjkang@korea.ac.kr](mailto:yjkang@korea.ac.kr) Tel:(02)3290-3317 Fax:(02)927-7715

하중 형태와 변위 형상은 다음과 같은 관계를 가진다.

$$EIy'''' = q$$

(1)

등분포 하중이 주어지는 경우, 변위 함수는 주로 4차 함수형태가 될 것이다. 변위함수가 4차 함수일 경우 변위 함수를 알아내기 위해서는 5개의 데이터를 알아야 하며 단순 보의 경우 양쪽 경계조건의 변위 값이 0이므로 3개의 계측점을 추가로 알 수 있다면 4차 변위 함수를 알아낼 수 있다.

### 3. 휨 부재에 대한 최적 위치 선정

#### 3.1 계측기 오차

단순보 4차 함수의 경우 계측 지점은 3지점이며 계측기의 오차는 계측 지점에서 동시에 발생할 수도 있고, 한 곳의 지점에서만 발생할 수도 있다. 이러한 계측기의 오차가 발생하는 경우의 수를 모두 종합하면 3지점 계측의 경우  $3^3=27$ 가지이다. 그림3.1,그림3.2는 계측기 오차가 적용되는 27가지 Case에 대한 예이다.

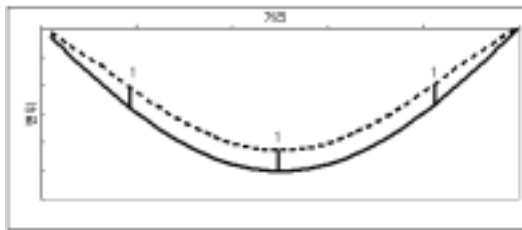


그림 3.1 오차Case27) 1,1,1

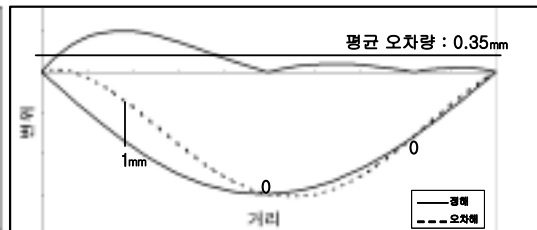


그림 3.2 오차비 개념

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

계측기 자체의 오차 또는 측정상 오차가 발생하여 계측오차가 발생하면 전체 변위 함수에 영향을 미친다. 계측 오차라는 Input Error가 전체 변위의 오차라는 Output Error를 발생시키며, 이를 최소화시키는 방안이 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 최소화한다.

#### 3.3 오차비

다양한 계측 오차의 값들은 변위 함수의 여러 오차를 유발하며 이러한 값들을 객관적으로 비교하기 위해서 오차비라는 개념을 도입하였다. 오차비는 구조물 변위의 전체적인 오차량을 계측기의 오차량으로 나눈 값이다. 오차 Case 3)의 경우 정해와 오차해의 차이 즉 오차량은 그림3.2 상단의 그래프이다. 위의 그림에서 변위오차 그래프의 평균값을 내었을 때 0.35mm가 나왔으며, 계측기가 가지고 있는 오차는 1mm인 상태 이므로, 오차비 값은  $0.35\text{mm}/1\text{mm} = 0.35$  이다. 이러한 오차비를 사용하는 이유는, 방금 계산에서 볼 수 있듯이 무차원의 값으로 표현을 할 수 있어 일반적인 적용에서 유리하기 때문이다.

#### 3.5 계측 위치의 선정 방법과 계측 위치별 오차비 결과 (4차 함수)

중앙과 계측점간의 거리를 측정 거리 그리고 측정 거리/전체길이=측점거리비로 정의하였다.



그림 3.3 측점 거리

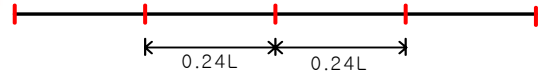


그림 3.4 Case12) 측점거리비 = 0.24

위와 같은 여러 종류 측점 거리에 따라서 오차비의 값이 변화 양상을 제시하였다. 그림 3.5에서 알 수 있듯이 측점 거리비가 0.30 ~ 0.32일 때 가장 작은 값을 나타내었다. 따라서 계측 지점의 배치는 다음과 같이 배치하는 것이 가장 적합하다. 이러한 과정을 거쳐서 각 최적 위치를 구하였다.

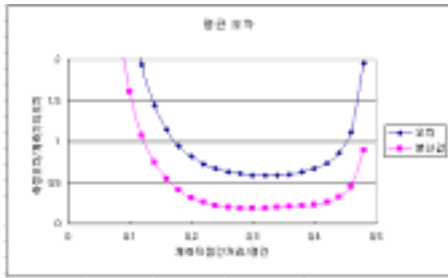


그림 3.5 측점거리비에 따른 오차비의 변화

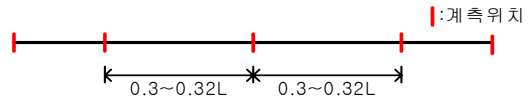


그림 3.6 단순보 4차함수 최적 계측위치

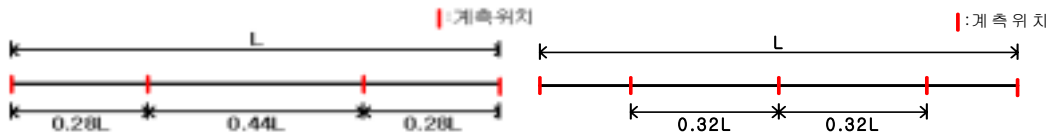


그림 3.7 단순보요소 3차함수~4차함수 최적위치

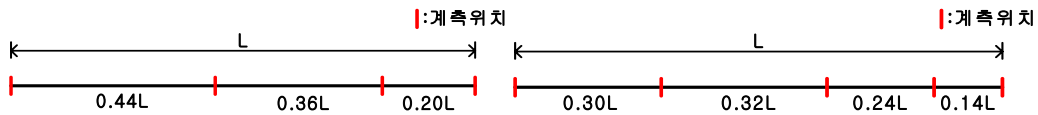


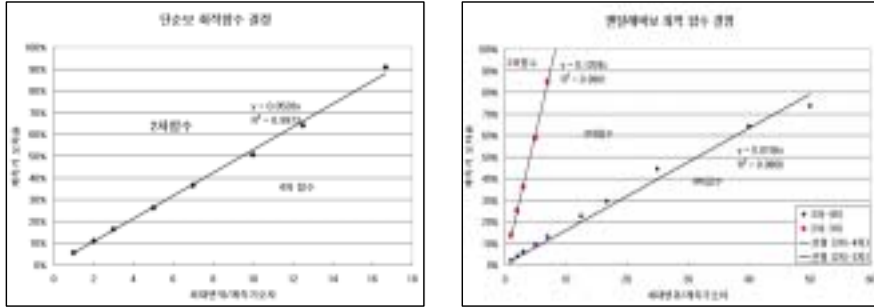
그림 3.8 캔틸레버보 요소 4차함수~5차함수 최적위치

#### 4. 힘 부재에 대한 최적 함수 선정

##### 4.1 최적 함수 선정을 위한 2가지 오차의 비교

계측오차의 경우는 저차 함수로 갈수록(측점이 적을수록) 유리한 값을 가지며, 함수오차의 경우 고차 함수로 갈수록(측점이 많을수록) 유리한 값을 가지게 된다. 이들에 영향을 주는 요소는 1) 계측 최대 변위/계측기 오차 2) 계측기 오차 발생 확률 3) 구조물 거동 형태이며, 이를 가지고 최적 함수를 찾아낼 수 있다. 1), 2)의 요소를 변화시켜가면서 함수간 비교하였다.

##### 4.2 최적 함수 결정



$\alpha =$  계측기 오차 크기(mm)  
 $\beta =$  계측기 오차 확률

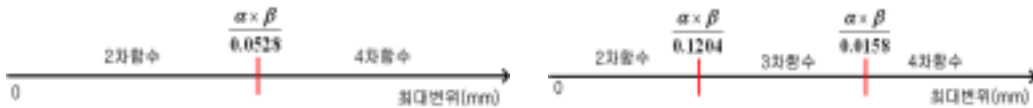


그림 4.1 등분포 하중 재하-단순보 및 캔틸레버보 요소 최적 함수 결정

위의 결과를 통해서, 우리는 현재 계측기의 오차 크기와 계측기의 오차 확률 즉 계측기의 성능 팩터와 구조물의 예상되는 최대 변위만을 통해서 계측기를 어떤 방법으로 배치해야 하는지를 알아낼 수 있다.

### 5. 구조 해석을 통한 응력 측정

지금까지, 최적 계측 함수 설정과, 최적 계측 지점을 설정하는 방법을 알아내었다. 이제 이러한 계측 방법으로 통해서 구해진 변위로 역해석을 하여 응력 오차의 값이 어느 정도 발생하는지 알아볼 것이다. 본 연구에서는 등분포 하중하에서, 3개의 계측점과 4차 함수의 변위함수를 조합하여 구한 변위로부터의 역해석을 수행하였다.

#### 5.1 단순 보 구조 해석

단순 보 구조물을 범용 해석 프로그램 Lusas 13.6으로 해석 하였다. 입력할 변위 하중은 그림5.1과 같다. 점으로 연결된 굵은선이 원래의 정해 변위이며, 최대변위/계측오차100의 값으로 하여 오차를 발생시켜서 Case1)~Case27)까지 하중 재하하였고, 응력 결과는 그림 5.2와 같다.

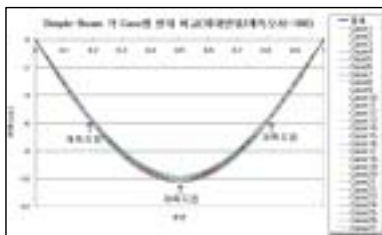


그림 5.1 단순보 변위 하중

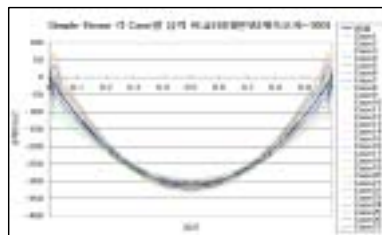


그림 5.2 단순보 변위 응력 결과

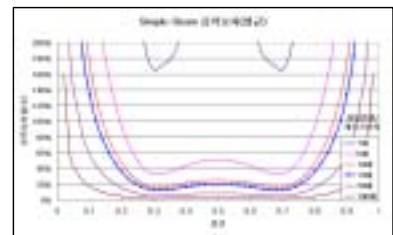


그림 5.3 단순보 응력 오차율

위에서 알 수 있듯이 응력 값은 양쪽 경계조건에서 오차가 크게 발생하였다. 응력 오차율 값은 다음과 같다. 최대변위/계측기 오차 값을 다양하게 변화시켜 가면서 산정하였다..

- 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 상태 일수록 정확하다는 것으로, 역시 적용성에 유리한 결과라고 할 수 있다. 캔틸레버 보의 경우도 단순 보의 경우와 같은 양상을 나타내었다. 즉 응력이 크게 작용하는 고정단 부분의 오차율이 적었으며, 최대변위/계측기오차의 비율이 커질수록 응력 오차율이 적게 보인다. 캔틸레버 보의 경우는 4차함수에서 3차함수로 유불 리가 넘어가는 경우는 최대변위/계측기오차가 40배인 경우였으며, 이때를 기준으로 하면, 큰 응력이 작용하는 고정단으로부터 70%이내 부분에서는 평균적으로 17%이하의 응력

오차율을 보였다.

## 6. 결론

본 연구에서는 변위계측을 통해서 휨부재의 상태평가를 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.

산정된 변위를 하중으로 재하 하여 구조물 역해석으로부터 응력 등 구조해석을 한다.

## 감사의글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 시행한 [2005년도 건설핵심기술연구개발사업 A02-07]의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 지원기관에 깊은 감사를 포함합니다.

## 참고문헌

1. 한국 도로 교통 협회 (2005) 도로교 설계 기준
2. 한국 도로 공사 (1999) 교량유지관리 시스템의 개발 및 운용
3. 한국 도로 공사 (2001) 서해대교 유지관리 보고서
4. 건설교통부 (2003) 안전 점검 및 정밀 안전진단 세부지침
5. 한국 지형 공간 정보 학회 (2003) GPS를 이용한 구조물 변위 관리 시스템 개발
6. 건설 교통부구조 (2005) 구조물 계측에 최적화된 고정밀 GPS 측위 알고리즘 및 모듈 개발
7. 대한 토목 학회 (2003) GPS와 가속도계를 이용한 거대구조물 모니터링
8. 한국측량학회 (2001) 위성측량을 이용한 교량 경보 시스템 구축