

TLS와 FEM을 이용한 구조물의 응력평가 모델 개발

Estimation Model on Stress of Structures using TLS and FEM

강덕신^{*} · 이홍민^{**} · 박효선^{***} · 이임평^{****}

Kang, Deok Shin · Lee, Hong Min · Park, Hyo Seon · Lee, Impyeong

Abstract

Terrestrial Laser Scanning(TLS) was developed at the mid-to-late 1990s. This technique enables to perform reconnaissance surveying of regions or structures hard to access. Besides, TLS has been extended its application gradually such as preservation of historical remains, underground surveys, slopes, glaciers monitoring and so on. However, though the technique has a lot of advantages, an application for structural health and safety monitoring is a beginning stage and it need much research. Therefore in this study, as a groundwork, the estimation model on stress of structures using TLS and Finite Element Method(FEM) applied by the Digital Elevation Model(DEM) technique of geoinformatics is proposed. For the verification of this model, experiments were performed with a continuous steel beam subjected to point loads and outputs were compared with those of electrical strain sensors.

key words : Structural Health Monitoring, Vision Based Monitoring, Terrestrial Laser Scanning, Finite Element Method

1. 서 론

구조물의 건전성 및 안전성 평가는 구조물이 고층화, 복잡다양화, 대형화되어질수록 더욱 중요한 화두로 떠오르고 있다. 그 중, 구조물 각 부의 응력평가는 구조물의 상태를 파악하는데 매우 중요한 단서를 제공하며 건전성 및 안전성 평가에 대한 중요한 척도가 된다. 이에 대한 방법론적 접근으로 여러 센서 및 장비들을 활용한 응력계측 기술이 다양한 측면에서 연구되어지고 있다. 이미 전기식 변형률 센서나 FBG(Fiber Bragg Grating) 센서와 같은 광섬유 센서들은 변형률을 통한 응력평가에 있어 상당한 정확도를 보이고 있으며, 다양한 목적으로 실제 활용되고 있다.

90년대 중후반 개발된 TLS(Terrestrial Laser Scanning: 지상레이저스캐닝)는 접근이 곤란한 지역 및 구조물의 현황측량에 활발히 이용되고 있다. 또한 문화재 보존 및 복원(J. L. Lerma, J. M. Biosca, 2005), 지하탐사, 산사태(K. A. Rowland et al., 2003) 및 빙하(A. Bauer et al., 2006) 등의 자연물 대상 모니터링 등에 사용되면서 그 응용범위를 점점 넓혀가고 있다. 하지만 TLS의 구조물 건전성 및 안전성 평가 분야에 대한 활용은 그것이 가지는 장점에 비해 아직 부족한 실정이며 더 많은 연구를 필요로 하고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 TLS와 FEM을 접목한 구조물 응력평가 모델을 제시하고자 한다.

2. TLS

TLS는 정밀한 3차원 좌표를 가지는 수많은 점들로 이루어진 point cloud를 통하여 대상 구조물을 구현한

* 정회원 · 연세대학교 대학원 건축공학과 · 석사과정 · E-mail: dskang@yonsei.ac.kr
** 정회원 · 연세대학교 대학원 건축공학과 · 박사과정
*** 정회원 · 연세대학교 건축도시공학부 · 교수
**** 정회원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 · 교수

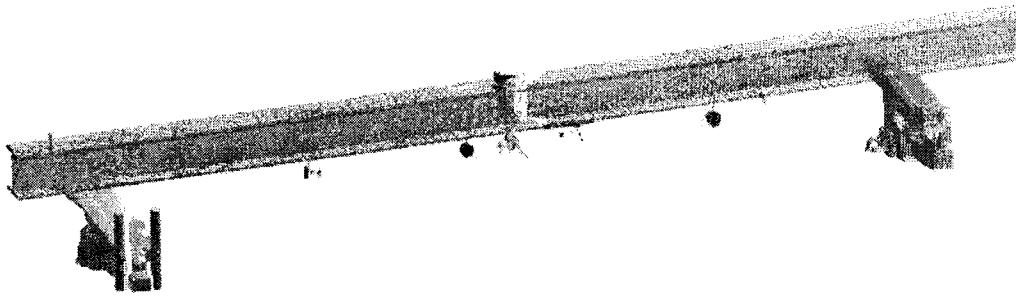


그림 1. 스캐닝으로 구현된 구조물의 3차원 형상정보

다. 이러한 3차원 정보는 스캐너에서 발사된 레이저 신호가 임의의 물체에 반사되어 되돌아오는 시간과 발사된 레이저의 각도를 이용하여 얻어진다. 본 논문에서 사용된 Trimble's GX 3D 스캐너의 정확도는 100m 거리에서 $\pm 7\text{mm}$ 에 이르며, 측정 가용범위는 350m 이내이고 초당 5000개의 점들을 발생시킬 수 있다. (Trimble GX 3D Scanner Brochure, 2006)

이와 같이 TLS는 원거리 측정방식으로서 구조물에 직접 센서를 부착하거나 접근할 필요가 없기 때문에 고층 및 대형 구조물이나 위험 구조물에 대한 계측에 더 적합하다. 또한 수많은 센서들을 부착할 필요 없이 단 번의 스캐닝으로 구조물 표면 전체에 걸친 3차원 정보를 알 수 있으며, 장비의 설치 및 데이터 획득 과정이 간편한 장점을 지닌다.

3. 응력평가모델

TLS와 FEM을 이용한 응력평가 모델의 상세 내용은 아래와 같다.

3.1 구조물의 형상 정보 추출

제시된 모델의 첫 번째 과정은 구조물의 3차원 형상정보를 레이저스캐닝을 통하여 얻어내는 것이다. 대상 구조물에 대해 시야가 잘 확보된 곳의 지반에 스캐너를 단단히 고정시키고 가력전후에 구조물을 스캐닝하여 3차원 변형정보를 얻는다. 이렇게 얻어진 데이터는 그림 1과 같이 point cloud로 구조물을 표현하게 된다.

3.2 3차원 데이터의 보간

위와 같은 방법으로 얻어진 3차원 데이터를 통해 변형형상의 시각적 확인은 가능하나 개개의 점들은 비교적 큰 오차를 내포하고 있으며 구조물의 표면 전체에 걸쳐 불규칙하게 분포되어 있기 때문에 임의의 점에서의 변위를 계산하기 위해서는 몇 개의 고정된 위치의 좌표가 필요하다. 따라서 대표점 위치 설정과 동시에 유한요소해석을 위한 보간 과정을 거쳐야 한다. 본 연구에서는 지적정보 분야의 DEM(Digital Elevation Model: 수치고도모델) 기술(Im-Pyeong Lee et al., 2003)을 응용하여 보간을 실시하였으며 다음과 같은 과정을 포함한다.

먼저 3차원 좌표들을 일정간격의 구역을 설정하고 구역 중앙점을 대표점으로 설정한다. 오차가 심한 좌표데이터를 제거하는 사전 보정 작업을 거친 후, 주어진 구간안의 좌표들의 평균값을 이용하여 정해진 대표점들의 z 좌표를 생성한다. 이러한 일련의 과정을 통해 보다 정확한 변형전후 구조물의 3차원 형상정보를 추출할 수 있다.

3.3 유한요소해석

보간을 통해 얻어진 새로운 좌표점들을 통해 철골보 각 부의 변위를 근사적으로 획득할 수 있다. 구조물에 가해진 하중을 알지 못한다 하더라도 이러한 변위데이터에 유한요소해석을 적용하면 각 위치에 발생하는 응력과 변형률을 간접적으로 계산할 수 있다.

따라서 먼저 변형전의 3차원 데이터를 이용하여 유한요소모델링을 수행한다. 그리고 대표점들의 z 좌표를 이용하여 변위를 계산하며 유한요소해석 프로그램을 이용하여 응력을 평가한다.

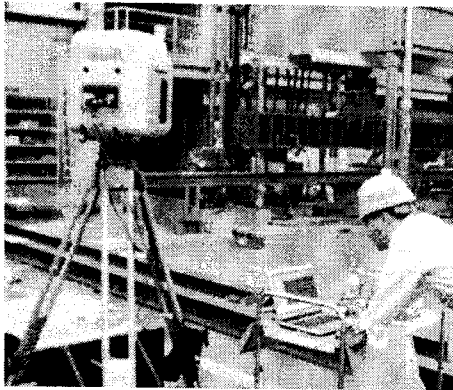


그림 2. 레이저스캐너 설치

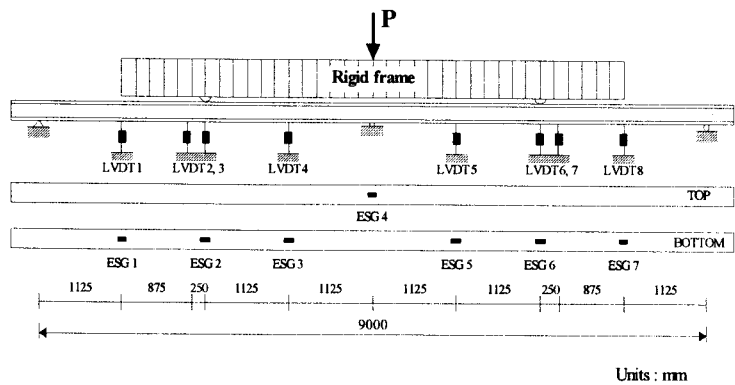


그림 3. 실험체 및 전기식 변형률 센서 위치

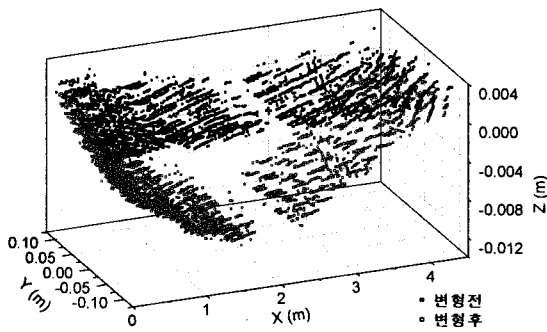


그림 4. 보간 전 3차원 데이터

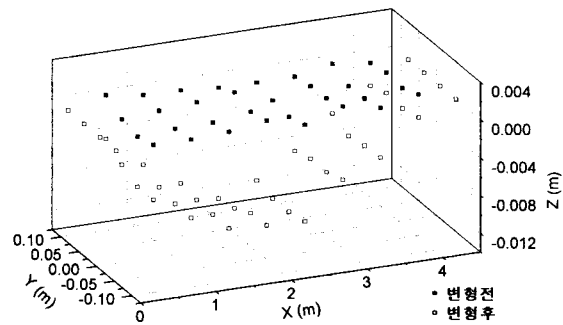


그림 5. 보간 후 3차원 데이터

4. 모델의 적용 및 검증

4.1 실험 구성

본 모델의 검증을 위해 중앙에 집중하중을 받는 4.5m 등경간의 철골 연속보(H-200×200×8×12, 단위: mm)를 이용하여 실험을 수행하였으며 연속보 왼편의 상부플랜지 데이터에 제시된 모델을 적용하였다. 레이저스캐너는 그림 2에서 보는 바와 같이 철골보의 위치에서 약 10m 떨어진 곳에 설치되었으며 실험 전후에 있어 이동이 없도록 지면에 고정하였다. 앞서서도 본 바와 같이 그림 1은 철골보에 스캐닝을 수행한 결과이다. 집중하중은 유압잭을 통해 가해졌으며, 제시된 모델을 통한 결과값의 비교를 위하여 보의 L/4, L/2, 3L/4 (L = 철골보의 지점간 거리) 위치에 그림 3과 같이 전기식 변형률 센서를 부착하였다.

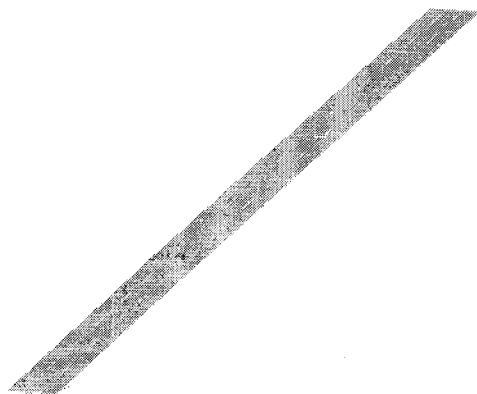


그림 6. 변형전 유한요소모델



그림 7. 변형후 유한요소모델과 응력분포

4.2 응력평가모델적용

그림 4는 레이저스캐너를 통하여 얻어진 연속보 원편의 상부 플랜지에 대한 보간 전의 데이터를 나타내며 그림 5는 보간을 통해 구간별로 대표값을 생성한 결과를 보여준다. 이렇게 생성된 3차원 위치 데이터를 기초로 유한요소해석 프로그램을 이용하여 모델링을 수행한다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 초기상태는 철골보에 변형이 전혀 없는 것으로 가정하였다. 다음으로 대표점들의 변형전후 좌표간 거리를 이용해 변위하중을 적용시켰다. 그림 7은 변위하중을 적용시킨 것을 보여주며 철골보 상부플랜지의 응력분포를 근사적으로 보여준다.

4.3 결과

철골의 탄성계수가 실험체 전체에 걸쳐 전체적으로 동일하다는 가정 하에 전기식 변형률 센서로 측정된 변형률 값에 철의 탄성계수를 곱하여 응력을 계산할 수 있다. 여기서는 유한요소해석 프로그램에서 적용한 $E=2.0594 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ 을 동일하게 탄성계수 값으로 사용하였다. 하중 점에서의 전기식 변형률 센서로 계측된 응력의 값은 144 MPa 이었으나, 동일한 점에서의 TLS와 FEM에 의해 추정된 값은 119.3 MPa 로 전기식 변형률 센서의 값에 비해 -17.2% 의 오차를 보였으며 응력분포 또한 최대응력발생지점을 중심으로 방사상의 형태를 보였다. 이러한 차이는 철골의 응력값은 작은 변형에도 크게 변동하는데 대표점들간의 거리에 비해 수직변위의 오차가 크게 일어났기 때문으로 판단된다.

5. 결 론

TLS와 FEM을 이용한 응력평가 모델의 경우 장비와 보간 방법의 한계로 인해 아직 오차가 크게 발생할 수 있으며 실제 구조물에 적용하기에는 더 많은 개선이 필요한 것이 사실이지만 전기식 변형률 센서나 FBG에 비해 이 모델이 가지는 장점으로 볼 때 충분히 더 연구를 진행할 가치가 있다. 고층 및 대형구조물 또는 접근이 난해하고 위험한 지역의 경우 비접촉방식의 TLS를 이용하는 응력평가 방식은 훌륭한 대안이 될 수 있을 것이다. 또한 3차원 데이터의 구역설정을 좀 더 넓게 설정하고 보간 방법을 개선한다면 더욱 정확도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2005-01504).

참고문헌

1. J. L. Lerma, J. M. Biosca (2005). "Segmentation and filtering of laser scanner data for cultural heritage", CIPA 2005 Torino, Italy.
2. K. A. Rowlands, L. D. Jones and M. Whitworth (2003). "Landslide Laser Scanning: a new look at an old problem", Photographic Feature, pp. 155-157
3. A. Bauer, G. Paar and V. Kaufmann (2006). "Terrestrial Laser Scanning for Rock Glacier Monitoring", Permafrost, Phillips, Springman & Arenson(eds), 2003 Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 90 5809 582 7, Austria, pp. 55-60
4. Trimble. (2006), Trimble GX 3D Scanner Brochure. Retrieved March, 2006 from: <http://www.trimble.com/3dlaserscanners.shtml>.
5. Im-Pyeong Lee, Yun-Soo Choi and Jae-One Lee (2003). "Generation of High-Resolution Precise DEMs through Airborne LIDAR Surveys on Huge Antarctic Regions", Vol. 3 No.2, pp. 1-7.