

## 석조문화재의 형상역공학적 특성연구

### Characteristic Studies on the Stone Cultural Heritage

#### by Shape Reversal Engineerings

손호웅<sup>1)</sup> · 이강원<sup>2)</sup>

Shon, Howoong · Lee, Kang Won

<sup>1)</sup> 정회원 · 배재대학교 공과대학 건설환경철도공학과 교수(E-mail: hshon@pcu.ac.kr)

<sup>2)</sup> 정회원 · 한진정보통신(E-mail: kwlee@hist.co.kr)

#### Abstract

Structures show the phenomena of deformation and lowering of function with time-lapse by artificial environments and changes of geotechnical conditions or accumulation of initial deformation elements. This study aims the structural assessment of cultural heritage. Non-destructive evaluation techniques were applied to protect it from survey: 3D precise laser scanning surveying system was applied to measure the exact size, displacement and declining angles.

Keywords : 3D laser scanning system, shape reverse engineering, displacement

#### 요 지

구조물의 시간경과에 따른 변형 및 성능저하 현상은 인위적 요인 및 시간경과에 따른 지반상태의 변화 혹은 지반 변위요인의 누적에 의해 발생한다. 본 연구에서는 석조 문화재를 3차원 레이저스캐닝시스템에 의한 역공학적 연구에 의해 정밀한 크기, 변위량, 변위방향 등 여러 가지 제원을 구하였다.

핵심어 : 3D 레이저스캐닝시스템, 형상역공학, 변위

#### 1. 서 론

구조물은 일반적으로 시간이 경과함에 따라 여러 가지 원인으로 변형 및 성능저하 현상이 나타난다. 즉, 자연환경에 노출되어 장기간에 걸친 풍화 및 기타 자연적, 인위적 요인에 의해 발생하게 되며, 시간경과에 따른 지반상태의 변화 혹은 초기 지반상태에서 지반 변위요인의 시간경과에 따른 누적에 의해 발생한다(손호웅 등, 2003).

본 연구에서는 석조문화재의 정밀한 변위량 측정 및 거동예측 등을 목적으로 3차원 레이저 스캐닝에 의한 첩성대의 3차원 공간위치정보( $x, y, z$ )를 취득하여 형상역공학(shape reverse engineering)에 의한 3차원 벡터이미지 형상구현 및 첩성대의 크기, 변위량, 변위방향 등 여러 가지 제원을 구하고자 하였다.

## 2. 연구방법

형상역공학(shape reverse engineering)은 형상을 재현하는 기술로서 고밀도 고정밀 3차원 측량을 통하여 실물을 측정하고, 측정데이터를 구조화된 점집합 모델로 변환하며, 변환된 점집합 모델로부터 3D 모델 및 texture를 갖는 3차원 형상 모델을 구성하게 된다. 이를 위하여 3차원 레이저스캐너(3D laser scanner) 혹은 지상라이다(terrestrial LiDAR)를 활용한다. 지상라이다 시스템은 정밀하고 빠르게 물체의 3차원 형상을 측량할 수 있는 시스템이다. 3D laser scanning system은 기본적으로 종전의 레이저 측량기의 기능을 갖고 있으나, total station의 단순한 1점측량에서 벗어나 현재로서는 초당 최대 500,000점까지 레이저를 대상체 표면에 발사하여 대상체의 표면형태를  $(x, y, z)$ 의 공간위치정보를 갖는 무수한 측정군(point-cloud)으로서 표현하게 된다. 이로써 토목, 플랜트 시설과 같은 산업시설에서부터 건축물, 지형 및 문화재들을 3차원 도면 및 수치화하여 관리 할 수 있게 되었다(Bohler *et. al.*, 1989; 손호웅 등, 2003).

3D laser scanning system의 대상체면에 투사한 laser光의 간섭이나 반사를 이용하여 대상체면상의 측정점의 공간정보를 획득하는 측정방식으로서, 3차원 정밀 측량은 대상체의 표면으로부터 상대적인 3차원( $x, y, z$ )공간좌표를 각각의 point data로 기록하며, 측정방법에 따라 일정량의 굴절각 증분을 주기 위해 하나 또는 두 개의 mirror를 사용하거나, 장비 전체가 회전하여 3차원 공간좌표를 얻는다. 본 연구에서는 주행시간법에 의한 3차원 Laser scanning 장비를 적용하였다. 주행시간(time-of-flight; TOF)측정방법은 Ranging으로도 불리며, Fig. 1에서와 같이 레이저가 반사되어 돌아오는 시간을 계산하여 거리를 결정하고  $R_h$ 와  $R_v$  각도만큼 수평, 수직으로 회전하여 측정된 점 P 위치를 결정하는 방법이다.

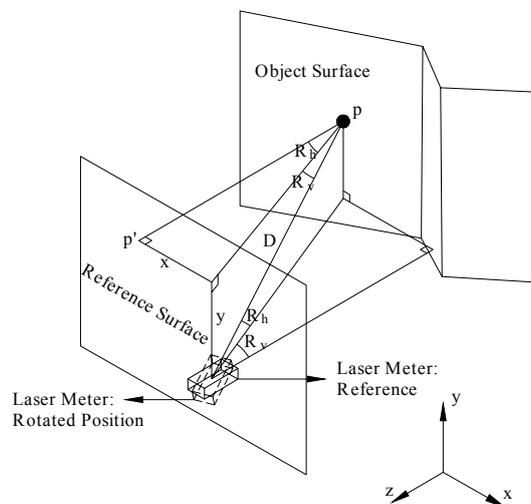


Fig. 1 Time-of-Flight Method

### 3. 연구결과

본 연구에서 석조구조물은 침성대를 대상체로 하였으며, 3차원 구조물이므로 세 방향 이상에서 측정을 하여, 각 측정군을 정합함으로써 3차원 형상을 구현하였다(Fig. 2).

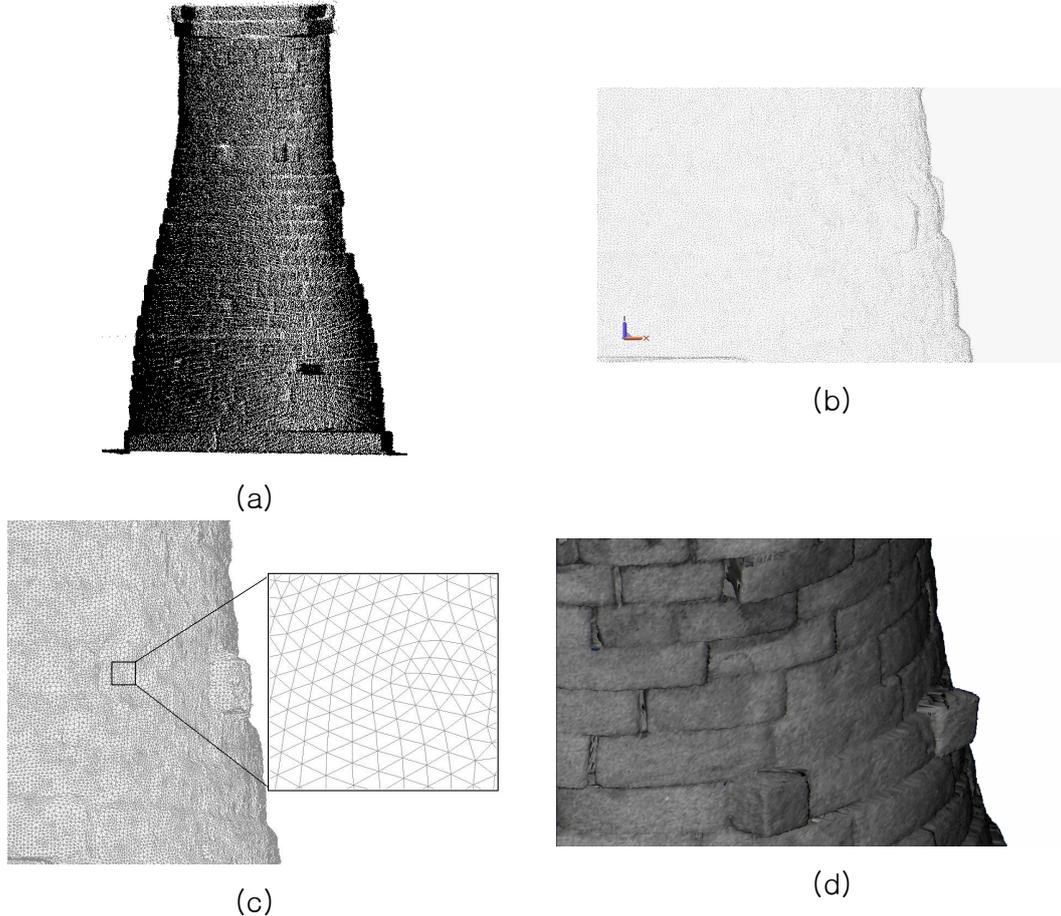


Fig. 2 Laser scanner data. (a) points-cloud, (b) points that has spatial position information, (c) triangulated points, (d) surface modelling

침성대는 축조이후 그 형태가 변형되어 있고, 특히 북쪽 기단부의 기초 부등침하, 원통석들의 이음매의 벌어짐 및 상부 정자석의 변형 등, 전체적 변형 육안으로도 식별할 수 있을 정도이다. 현재의 변형상태를 정확히 측정하고 앞으로 미세한 변형을 추적하기 위하여 정밀한 측량이 필요하게 되었다. 본 연구에서는 이러한 필요성에 따라 침성대에 대하여 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 침성대의 3차원 공간정보를 가진 측정군(points-cloud)으로 부터 각종 공학적 도면을 얻기 위하여 형상 역공학을 적용하였다. 침성대의 상태 및 변형의 정도를 알아보기 위하여 최적원(Fig. 3a)을 만들었으며, 이를 토대로 각 단별로 최적단면의 크기, 중심점 및 중심축을 분석을 하였다. 분석결과 침성대의 전체적인 기울기의 변화정도는 단이 증가함에 따라 중심축의 이동 및 기울기의 증가를 보이고 있으며(Fig. 3b), 침성대 내부의 채움재 유무에 따라 다른 양상을 보이고 있다. 이는 침성대의 내부 채움재가 블록의 변화를 막아주는 구속력을 가지고 있는 것으로 판단되어 진다. 침성대 전체의 기울기는 기단석을 중심으로 동쪽으로  $0.745^\circ$  북쪽으로  $1.91^\circ$  만큼 기울어져 있다(Fig. 4).

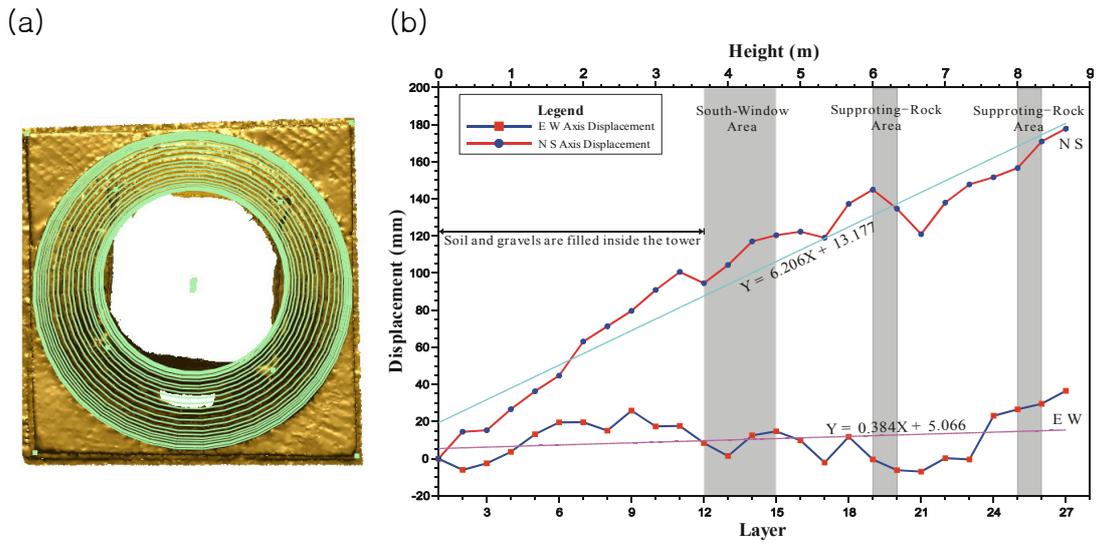


Fig. 3 Optimum circles, declining angles and displacement of Chumsungdae: (a) top view of optimum circles, (b) declining angles, and (c) displacement.

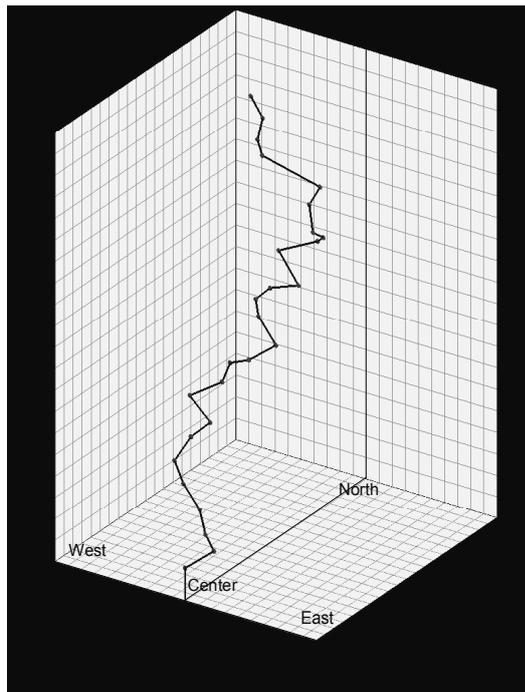


Fig. 4 3D Displacement of central axis

#### 4. 결론

본 연구에서는 석조문화재, 특별히 첨성대를 연구대상으로 오랜 시간경과에 따른 첨성대의 변위를 3차원 정밀 측량을 통하여 동쪽으로 0.7°, 북쪽으로 1.9° 전체적으로는 북동방향 약 2°정도의 기울어 졌으며, 동쪽으로 29mm, 북쪽으로 171mm, 전체적으로는 북동방향 173mm의 최대 변위량을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 지능형국토정보기술혁신사업과제의 연구비 지원(07국토정보C02)에 의해 수행되었으며, 한국과학재단 특정기초연구사업(R01-2007-000-20194-0)의 일부 지원으로 이루어졌습니다.

## 참고문헌

- 손호웅, 김지수, 송영수, 윤왕중, 김인수, 서만철, 김기영, 조인기, 김학수, 2002, *지반 환경물리탐사*: 시그마프레스.
- 이수곤, 이성민, 박현구, 이중호, 1999, *석축의 고유진동수에 관한 연구*: 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집.
- 이성민, 박현구, 이수곤, 2000, *홍예교량의 고유진동수에 관한 연구*: 대한건축학회, 2000년 춘계학술발표대회 논문집.
- 이성민, 2002, *석조문화재의 동적특성에 관한 연구*: 전남대학교 박사학위 논문.
- Bohler, W., Heinz, G., 1989, *Documentation, Surveying, photogrammetry: XVII CIPA Symposium, Recife, Brazil, Proceedings*.
- Juhasova, E., 1991, *Seismic Effects on Structures: Elsevier*.