

# 사진측량기법을 이용한 성곽시설의 3차원 모델 구축 가능성 연구<sup>†</sup>

최소정\*, 유세중\*\*, 이재용\*\*\*, 김충식\*\*\*\*

\*한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과 석사과정, \*\* (주)지오스토리 기술연구소 초분광기획팀 과장,

\*\*\*한국전통문화대학교 전통조경학과 조교수, \*\*\*\*한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과 교수

## 1. 서론

문화유산은 주기적으로 모니터링하여 보존대책을 수립해야 한다. 산성이나 읍성과 같은 구조물은 시간의 흐름에 따라 토압과 우수 유입 등으로 변위가 발생하고 붕괴와 진도 등의 훼손 발생 가능성이 있으므로 주기적인 모니터링이 필수적이다. 변위는 형상으로 계측되므로 3차원 모델을 구축하면 효율적이고 입체적인 모니터링이 가능하다. 문화유산의 3차원 모델 제작에 공용되는 레이저스캔 방식은 고정밀 데이터 획득이 가능하지만, 장시간의 데이터 취득과 후처리 과정을 거쳐야 한다. 변위를 발견하기 위해서는 일정 주기별로 측정이 반복되어야 한다. 그러나 대용량의 점군(points cloud) 데이터로 변위를 비교하고 발견하는 것이 어렵다는 한계도 있다. 또한, 지형의 굴곡이 가파르거나 절벽에 조성되는 대면적의 성곽 구조물에 대해서는 스캐너의 설치가 어렵고 폐색이 발생하여 제작 비용이 증가하는 문제가 있다.

반면, 최근 드론 촬영이 가능해지면서 사진측량기법을 활용하여 더욱 효율적이며 정밀한 3차원 모델 기록이 가능해지고 있다. 사진측량기법은 데이터 취득과 후처리 과정이 간단하고, 레이저스캔 대비 오차는 대면적의 전통조경공간에 GSD 3cm급 이하의 수준으로 크지 않다(김재용, 2020). 사진측량기법을 이용한 3차원 모델의 정확성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 오준영 외(2017)는 마애불을 대상으로 사진측량기법의 사실성을 밝혀 유용성을 증명하였다. 김성환 외(2019)는 레이저스캔과 더불어 드론을 이용한 사진측량을 통해 사람의 접근이 어려운 곳의 3차원 모델을 취득하였지만, 이를 모니터링 방법으로 활용하지는 않은 한계를 가진다. 본 연구는 대면적 문화재 중 단면 형상이 복잡한 성곽시설을 대상으로 사진측량기법을 수행하고, 성벽의 단면 비교분석을 실행하여 레이저스캔에서 사진측량기법으로의 대체 가능성을 증명하고자 하였다.

## 2. 연구방법

본 연구는 레이저스캔과 사진측량기법을 통한 3차원 모델 구축, 입단면 비교 분석의 순서로 진행되었다. 3차원 모델 구축은 기초조사, 지상기준점 측량, 3차원 데이터 취득, 후처리, 두 모델의 일치화의 순서로 진행하였다. 연구대상은 서산 해미읍성으로 '평산성(平山城)'이며, 그 평면 형태는 거의 원형에 가까운 대면적 문화재이다. 성벽의 높이는 평균 4.9m로 안쪽은 흙으로 내탁되어 있으며, 성벽 상부 폭은 2.1m 정도이다(동양조경문화사, 2016). 성곽의 단면을 이루는 성돌의 개수는 23개에서 26개이다. 연구범위는 드론을 이용한 3차원 형상 기록 기법 정립을 위한 연구범위와 입단면 비교를 위한 연구범위로 나뉜다. 전자는 서문에서 포루2까지의 성벽 구간(약 100m), 후자는 일부 구간(약 2m)으로 설정하였다.

레이저스캔을 통한 3차원 데이터 취득은 FARO사의 Focus 3D X330 HDR로 진행하였다. 사진측량기법을 통한 3차원 데이터 취득은 DJI Mavic Air와 DJI Mavic 2 Pro 드론 장비로 진행하였다. 사용하는 드론은 GPS 장치가 탑재되어 있어 3차원 모델 구축 시 취득된 위치좌표를 기반으로 사진 매칭이 가능하다. 하지만 실제 지형과 모델 간의 오차가 발생할 수 있으므로 오차를 줄이기 위해 지상 기준점 측량을 동시에 수행하였다. 지상기준점 측량은 Leica GS08+를 사용하여 VRS 방식으로 진행하였다. VRS 방식은 GPS 상시관측소로 이루어진 기준국을 이용해 가상기준점을 실시간으로 생성하고, 가상기준점과 이동국과의 실시간 이동측량을 통하여 정밀한 위치를 결정하는 방식이다. 모든 데이터 취득은 그림자가 없는 시간대로 정오에 진행하며, 2021년 06월 08일부터 11일까지 진행하였다. 레이저스캔과 사진측량을 통해 제작한 3차원 모델을 일치화하여, 성벽 일부 입단면을 비교하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 3차원 모델 제작

사진측량은 드론을 사용하여 성벽 구간 약 100m를 고도, 경사, 수직, 폐색 영역 촬영으로 진행하였다. 해미읍성의 성벽의 높이를 고려하여 고도 25m에서 공중 수직 및 경사 촬영을 진행하여 총 1227장을 취득하였다. 성벽의 굴곡진 영역과 폐색영역에 대해서는 저고도 수평 및 경사 촬영기법과 폐색영역 촬영기법으로 보완하였다. 드론을 수동으로 조작하여 성벽에서 10m 떨어진 지점에서 약 45° 카메라 각도로 3m, 5m, 7m 높이에서 저고도 수평 방향으로 촬영을 진행하여 1,049장을 취득하였다. 폐색영역은 카메라 노출, ISO 등 설정값을 조절하여 총 110장을 취득하였다. 후처리 과정은 Reality Capture를 사용하여 취득 영상 입력, 지상기준점 매칭, point cloud 구축, 3차원 메쉬 생성 순으로 진행하였다. 취득한 영상 2,386장 중 2,384장이 입력되었다.

<sup>†</sup>본 연구는 문화재청 및 국립문화재연구소의 2021년도 '문화유산 스마트 보존·활용 기술 개발' 사업으로 수행되었음(과제명: 대면적 문화재 입체적 진단 기술 개발, 과제번호: 2021A01D02-001, 기여율: 5%).

지상기준점 선정 시 주위의 맨홀, 보도블럭 등 지형지물을 이용하였다. 드론 촬영 시에 왜곡이 발생하지 않고 명확하게 구분할 수 있는 지역, 천정으로 부터 45° 이상의 시계가 확보되는 지역 등에 지상기준점을 선정하였다. GPS 측량은 직접관측법으로 시행하였고, 위치에 대한 정확도는 3cm 이하의 값으로 측량하였다. 정밀한 위치 정보 취득 및 3차원 모델 구축을 위해 0.01km<sup>2</sup>당 11점을 측량하였다.

영상과 VRS를 활용하여 측량한 지상기준점을 매칭시켜 영상에 절대좌표를 부여하였다. 그 결과, 성벽의 높이는 약 4.9m로 확인되었다. 영상은 대용량의 점군데이터(points cloud)로 추출하였는데, 이는 취득 영상의 시차를 계산하고 매칭되는 픽셀을 포인트로 추출하는 과정이다. 추출된 포인트는 자동 생성된 것이며 절대좌표값을 가진다.

레이저스캔은 성벽 위, 정면, 후면 총 3구역을 일렬로 5~7m 간격마다 스캔하였다. 성벽 위에서 18개, 성벽 정면에서 17개, 성벽 후면에서 16개로 총 51개의 데이터를 취득하였다. 후처리 과정은 정합, 병합, 절대좌표 입력 순으로 진행하였으며, Cyclone과 Geomagic Design x로 진행하였다. 세 군데 이상의 공통되는 점을 기준으로 전체 스캔 데이터를 매칭시켜 정합하였고, 정합한 모델을 하나의 모델로 병합하였다. 앞서 취득한 사진측량 모델의 절대 좌표를 병합한 3차원 모델에 입력하여 동일한 좌표를 갖도록 하였다. 사진측량과 마찬가지로 점군데이터(points cloud)로 추출하였다.

### 3.2 입단면 비교 분석 결과

입단면 비교를 위해 사진측량 모델과 레이저스캔 모델에서 모두 동일한 20개 지점에서 좌우 10cm 폭원을 선정해서 단면도를 제작하였다. 설정된 지점은 모델 중에서 그림자가 적고 비교 가능한 포인트가 많은 곳이다. 사진측량 모델의 각 샘플은 약 1,200~1,500개의 포인트로 구성되었으며, 레이저스캔 모델의 샘플은 약 68,000~120,000개의 포인트로 구성되었다. 사진측량 모델에 비해 레이저스캔 모델의 포인트가 최대 80배 이상으로 매우 정밀한 것을 알 수 있다.

20개 지점의 단면을 비교 분석한 결과, 레이저 스캔 샘플은 표면과 성돌과 성돌 사이의 깊은 홈까지 구체적으로 표현되지만, 사진측량 샘플은 표면과 얇은 홈만 표현되었다. 성돌과 성돌 사이 홈의 깊이 표현의 차이는 발생하고 있으나, 성돌이 돌출된 구간과 평면적으로 이어지는 구간에서는 두 샘플의 단면이 정확하게 일치하였다. 특히 Figure 1(b)와 (d)를 살펴보면, 레이저스캔 샘플은 상부에서 두 번째 돌과 세 번째 돌 사이 깊은 홈까지 표현되었지만, 두 샘플이 돌출된 정도는 일치하는 것이 확인된다. 또한, 레이저스캔 샘플과 사진측량 샘플 모두 성돌 자체의 굴곡진 형상도 표현이 되었다. 따라서 사진측량 모델이 레이저스캔 모델 대비 포인트 수는 적으나, 레이저스캔과의 일치도는 높다고 판단된다.

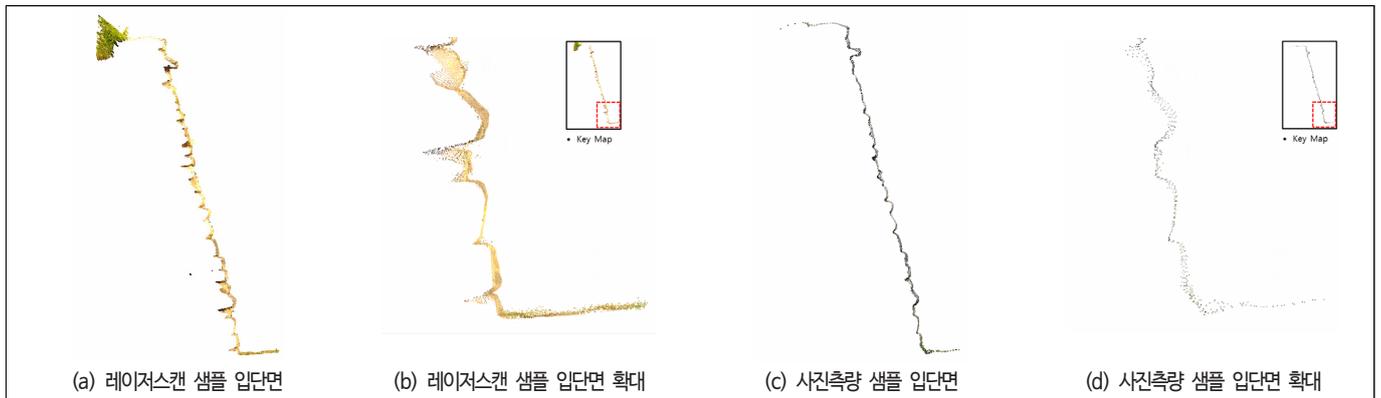


Figure 1. 레이저스캔/사진측량 샘플 입단면 비교

## 4. 결론

본 연구는 대면적 문화재이면서 복잡한 단면 형상을 가지는 성곽시설을 대상으로 레이저스캔과 사진측량기법을 이용하여 3차원 모델을 구축하였다. 두 모델의 단면 비교를 통해 사진측량기법 모델도 성곽의 변위 측정에 사용될 수 있을 정도로 단면이 정확함을 확인하였다. 성곽시설의 변위를 모니터링할 때에 성돌의 형상 계측이 요구된다. 사진측량기법으로 제작된 모델에서도 성돌의 형상과 굴곡을 파악하기에 충분히 자료가 제작되어 변위 계측 모니터링에 활용 가능할 것으로 보인다. 대면적 문화재 모니터링 시 레이저스캔에 집중된 3차원 모델 구축의 실정을 비용과 시간적 측면에서 효율적인 사진측량기법으로의 대체 가능성을 증명하였다.

### 참고문헌

- 김재용(2020) 전통조경 보존·관리를 위한 3차원 공간정보 적용방안. 문화재청 국립문화재연구소 연구원.
- 김성한, 이찬희, 조영훈(2019) 대전 계족산성 원형 성벽의 디지털 기록화 및 단기 모니터링 연구. 공주대학교 문화재보존학과.
- 오준영, 김충식(2017) 홍성 신성리 마애여래입상의 3차원 기록화를 통한 포토그래메트리의 유용성 연구. 한국전통문화대학교.