

지상 Scanning LiDAR에 의한 암사면의 3차원 모델링 3D Modelling of Steep Rock Face by Terrestrial Scanning LiDAR

이용창¹⁾

Lee Yong Chang

¹⁾ 시립인천전문대학 토목공학과 교수(E-mail : gpsgis@icc.ac.kr)

Abstract

LIDAR is a relatively new technological tool that can be used to accurately georeference terrain features, and also is becoming an important 3D mapping tool in GIS. In this study it is described the capabilities of terrestrial LIDAR that was used to build a 3D terrain model of extremely steep rock face, along with the useful data and examples of contributions terrestrial lidar has made to outcrop studies. For this, High-resolution terrestrial lidar acquisition, processing, interpretation are discussed and applied to mapping of geological surfaces in three dimensions. We expected that lidar is a tool with which we can improve our current field methods and quantify the observations geologists make.

1. 서론

Laser를 활용한 거리측량은 여러 Remote sensing 그룹에 의해 폭넓게 사용되어 왔다. NASA (National Aeronautics and Space Administration)에서는 10여년 이상, 위성을 추적하는데 laser를 사용해 왔다. LiDAR라는 용어가 처음으로 언급된 것은 1960년대 지구과학분야의 대기 aerosol 연구에서 확인할 수 있다. 1960년 이래로 LiDAR(Light Detection And Ranging 또는 Ladar, optical radar, laser radar)의 응용은 점차 증가했으며 과학분야, 측량분야 및 건설분야 등 다양한 응용분야에서 널리 활용되고 있다. 3차원 공간정보의 취득 방법에는 다양한 측량 기술이 이용되고 있으며, 최근에는 LiDAR를 이용한 레이저 측량을 통해 공간객체 및 건물의 외형을 나타내는 3차원 위치정보 및 속성정보를 효율적으로 취득할 수 있게 되었다. LiDAR scanning 기술에는 탑재기의 위치에 따라 항공 LiDAR 스캐닝기술(ALS ; Airborne Laser Scanning)과 지상 LiDAR 스캐닝기술(TLS ; Terrestrial Laser Scanning)로 나눌 수 있다. LiDAR 시스템은 지형지물 및 구조물의 거리와 종류에 따라 레이저파가 반사되는 시간과 반사강도가 다르기 때문에 지표면 모델링은 물론 고해상도 영상과 결합되어 건물 및 도로 외곽선 등의 선형 추출이 용이하고, 광학영상에서는 추출이 어려운 3차원 위치정보를 쉽게 추출하여 고정밀 수치지형모델을 생성할 수 있다. 항공레이저측량에 이용되는 LiDAR는 레이저 스캐너와 GPS/INS로 구성되어 있으며, GPS/INS에서 제공되는 3차원 위치정보의 정확도에 크게 좌우된다. GPS 기술이 도입된 1980년대 후반부터 본격적인 개발이 시작되어 1990년대 중반에 상용화된 제품이 출시된 이후, 장비성능과 측량정확도의 향상, 자료처리 및 활용 등을 위한 지속적인 기술개발로 최근 DEM(Digital Elevation Model), DSM(Digital Surface Model) 및 DTM(Digital Terrain Model) 등 지형정보 구축을 위한 다양한 수치표고자료를 효율적으로 획득할 수 있게 되었다. 지상레이저 측량은 LiDAR 시스템을 삼각대 위에 장착하여, 레이저 펄스를 피사체면에 주사하고 반사된 레이저파의 도달시간을 이용하여 반사체의 3차원 위치좌표를 계산해 낼 수 있으며 특히, 사면조사, 토목시공분야, 문화재 관리 등에 효율적으로 활용될 수 있다. 최근 지속적인 매립개발에 의한 토취장의 확대, 산간지대의 도로건설 및 단지개발 등에 의한 절토구간의 확대로 인해 과학적인 토취장의 관리는 물론 사면의 정확한 위치, 규모의 모니터링과 정밀한 사면안전관리가 절대 요청되고 있다. 따라서 그동안의 재래식 측량 및 도면에 의한 토취장 및 사면안전 관리의 대체 기술이 절실하다. 본 연구에서는 지상 LiDAR 스캐닝기술을 활용하여 가파른 암반사면의 3D 모델링은 물론 암반 사면의 기하학적 해석을 위한 다양한 기본 자료를 제공할 수 있음을 제시한다. 이를 위해 가파른 암반사면을 대상으로 측정 Cloud 자료군을 획득하고 필터링(샘플링)기법에

의한 나무, 식물 및 인공 장애물 등을 제거한 후, 3차원 모델링, 중·횡단면도면 작성, 등고선제작, 사면의 절·성토물량 산출, 측점의 좌표, 측점간 거리, 암반사면의 주향경사 및 경사도 등 토목공사에 의한 암반 및 절토사면의 안전관리를 위해 재래적 관리방법을 대체할 수 있는 LiDAR 스캐닝기술의 기본자료 획득과정(Work Flow)을 고찰한다.

2. 기본원리 및 암사면 Cloud 자료획득

LiDAR의 기본원리는 측정 대상 물체에 레이저 빔을 발사하고 반사되어 되돌아오는 시간을 계산하여 거리를 산출하고 측정 대상의 3차원 좌표 값을 측정하게 되며 이 때 얻어지는 3D 형상을 화면에서 동시에 확인, 모델링 단계를 거쳐 다양한 사면관리 해석을 위한 기본 자료를 산출하게 된다. 그림 1 및 그림 2는 사면의 LiDAR의 측정원리 및 지상 Laser Scanning 작업광경, 사면 Cloud를 도시한 것이다.

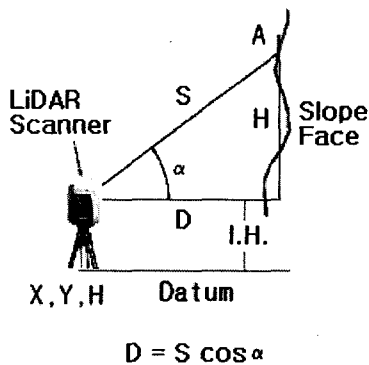


그림 1. LiDAR 기본원리

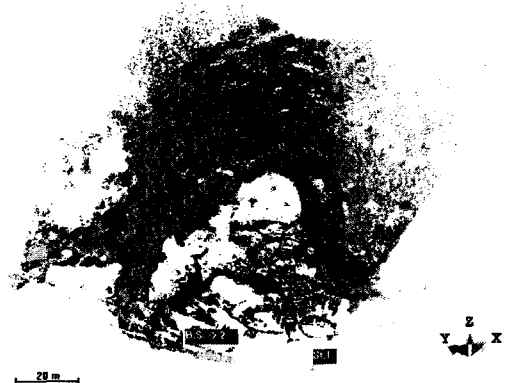


그림 2. 지상 LiDAR 실험 및 사면 Cloud 자료

본 연구에서는 지상 LiDAR 스캐닝기술을 활용하여 가파른 암반사면을 대상으로 측점 Cloud 자료군을 획득하였다. 실험은 2007년 2월 11일, 인천광역시 동춘동 소재 송도 석산의 암반사면을 대상으로 1초에 5,000점을 스캐닝할 수 있는 Trimble 사의 GX 3D 지상 LiDAR를 활용하였다. 피사체에 대한 스캐닝 소요 시간은 요구되는 해상도 및 LiDAR와 피사체간의 거리에 종속되므로 사면의 상태와 LiDAR/노트북의 배터리 및 수평·수직 해상도별 관측소요시간을 종합적으로 고려하여 해상도, 1측점에 대한 반복측정회수, 관측점, 기상상태정보 등을 사전계획으로부터 결정하였다. 관측대상이 아치형 급경사면인 관계로 사면에 대한 측정자료의 공백부분을 최소화 할 수 있도록 두 측점(St.1, St.2) 에서 각각 8cm 및 12cm의 수평·수직해상도로 laser를 교차 주사하여 cloud를 획득하였고 특히, 외관적으로 암사면 주향경사의 방향이 크게 변화되는 아치 중앙부분의 경우, 2.5cm 수평·수직해상도의 별도 laser cloud를 취득하였다. LiDAR 장비에서 사면까지의 거리는 두 관측소에서 15m ~ 120m의 범위로 사면 및 주변지형에 대하여 총 2,166,792측점의 4회 반복측정에 의한 3차원 위치정보(point cloud data)와 RGB 색상정보, 경사정보 및 반사강도 정보를 획득하였다. 표 1은 수평·수직 해상도별 관측 소요시간, 두 측점에서 취득한 Cloud의 제원을 정리한 것이다.

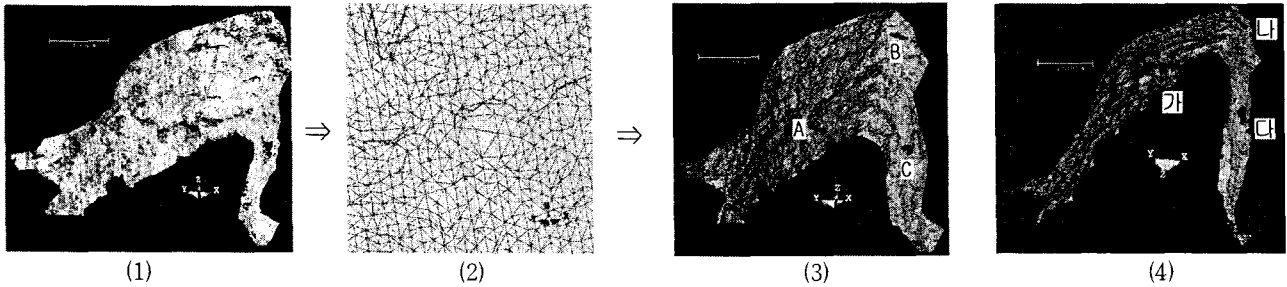
표 1. 해상도별 관측 소요시간 및 취득한 사면 Cloud의 제원

사전 계획			사면 관측 Cloud			
수평·수직 해상도	관측 소요시간 (4회 평균)	관측점 수	관측점	측점1(St.1)	중앙부	측점2(St.1)
			제원			
8cm	1h 7m 18s	1,756,798	수평·수직해상도	8cm	2.5cm	12cm
5cm	2h 38m 17s	4,498,108	측점 총수	1,113,910	342,471	710,411
1cm	52h 57m 14s	112,464,210	관측 소요시간	51m 58s	10m 34s	46m 8s
5mm	195h 3m 10s	449,907,435	평균 관측점수/s	351	540	323

3. 사면 Cloud 자료의 처리 및 해석

관측자료는 RealWorks survey S/W의 기능 중 샘플링(필터링)기술을 적용하여 장애물 및 불필요한 부분을 제거하고 암사면 Cloud 측정자료로부터 TIN을 구성하여 3D 모델링을 구현하였다. 또한 암사면의 안전관리를 도모할 수 있도록 사면 상 임의측점의 좌표, 측정간 거리측정, 사면의 주향경사 및 경사도 등 암반사면 모니터링 자료를 획득하였고 주변 지형을 포함한 등고선 삽입, 임의 계획 선에 따른 종횡단면도의 제작 및 절성토물량의 산출 등 토목건설공사를 위한 다양한 자료를 도출하였다. 그림 3은 원 Cloud 자료(그림 2)로부터 해석구간을 선택한 후, 불연속 및 장애물(방해물) 속성에 대한 필터링 작업 후, 사면 Cloud의 비정규삼각망(TIN)으로부터 암사면의 3D 모형을 구성한 과정을 도시한 것이다.

그림 3. 암사면의 3D 모델링 과정



다양한 RGB 색상 조합으로 임의 투영기준 하에 접근 불가능한 암사면에 대한 고해상 3D 영상의 다양한 질감 모형(texture model)을 가시화하여 피사체 해석에 고려할 수 있도록 부가정보를 제공할 수 있었다. 필터링과정에서 반사강도(Intensity)는 특정 laser 주파수에 종속되지만 일반적으로 피사체의 색상과 함수량에 따라 민감하게 반응한다. 본 연구에서 선정된 암사면에는 사면 곳곳에 잡초가 서식하고 있지만 겨울철인 관계로 잡초의 색상과 함수량이 암사면과 유사하여 반사강도에 의한 특성 추출에는 차별화에 어려움이 있었다. 따라서, 본 연구에서는 3D 모형구성에 방해가 되는 장애물을 지형 필터링으로부터 최대한 제거할 수 있도록 하였다. 그림 3의 (1)은 지형 필터링 효과의 예를 나타낸 것이다. 특히, 그림 3의 (3) 및 (4)는 각각 암사면의 측면 및 평면을 나타낸 것으로 (3)의 "A", "B" 및 "C" 부분은 각각 (4)의 "가", "나" 및 "다"에 해당되는 자료 공백부로서 이는 사면 중간 곳곳에 형성된 단차 형 지형관계로 LiDAR 자료 취득 시 Laser주사가 불가능한 결과로 판단된다. 아울러 사면 요철부분과 TIN의 Mesh경계선(그림 3-(2))을 고찰해 보면 형상이 일치함으로 고 해상 Cloud을 획득한 경우, Mesh 경계선을 이용한 사면 경계면 해석이 가능할 것으로 사료되었다. 그림 4의 3D 모형을 분석하면 중앙 부분을 중심으로 좌측사면은 상하방향, 우측사면은 좌우방향의 주향특성을 나타내고 있다.

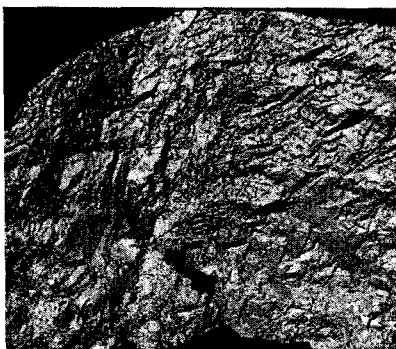


표 2. 해상도 별 추출된 측정 수 (중앙부 2.5cm 해상도제외)

해상도	측점수	해상도	측점수	해상도	측점수	해상도	측점수
0.01m	1,802,574	0.06m	1,276,111	0.2m	324,785	0.7m	42,818
0.02m	1,765,500	0.07m	1,144,712	0.3m	175,227	0.8m	33,955
0.03m	1,686,134	0.08m	1,023,239	0.4m	110,526	0.9m	27,364
0.04m	1,561,774	0.09m	910,448	0.5m	76,359	1.0m	22,656
0.05m	1,415,720	0.1m	812,033	0.6m	56,078	1.5m	10,600

그림 4. 중앙부 고 해상 3D 모형

또한, 레이저의 수평·수직 해상도(공간 격자간격)에 따른 사면 3D 모형의 변화양상을 고찰하기 위하여 사면 및 주변지형에 대해 획득한 총 2,166,792측점 중 중앙부의 추가 관측량(342,471 측점)을 제외한 1,824,321측점에 대한 일정간격의 공간 샘플링을 실시·재구성된 자료군의 TIN으로부터 각 경우별 3D 모형을 구성하였다. 표 2 및 그림 5는 공간 해상도별 샘플링 된 측정수와 경우별 3D 모형을 도시한 것이다. 그림6은 사면관리 및 안전성을

Cloud 상에서 직접 측정하고 검토할 수 있는 해석 예를 나타낸 것이다.

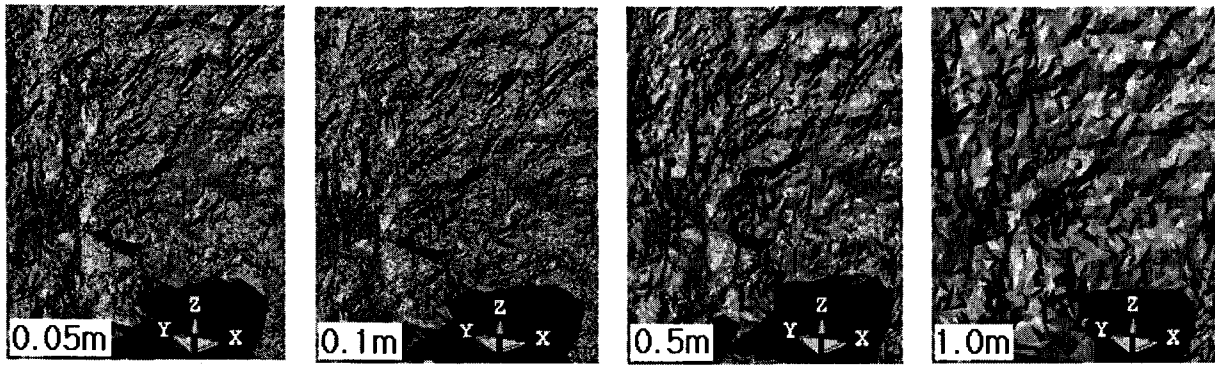


그림 5. 해상도(격자간격)별 3D 모형 예

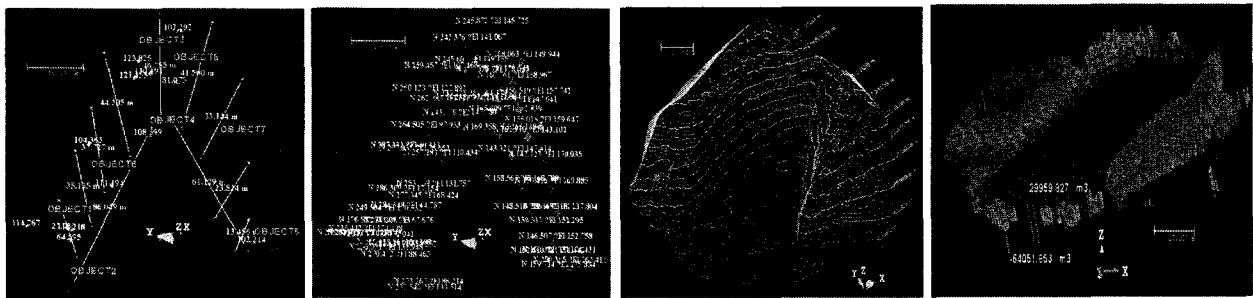


그림 6. 사면해석을 위한 자료 추출

그림 7. 토목공사용 물량산출 자료 추출

그림 7은 토목공사용 물량 산출을 위한 중·횡단면도 작성 및 임의 계획선에 대한 절성도 물량산출 정보를 도출한 예를 제시한 것이다. 본 연구에서는 사면에 대한 별도의 점검용 기준점 측량을 실시하지 않은 관계로 사면 모델링 및 제반자료에 대한 상대적인 정확도를 비교할 수 없지만 향후, 지면과 사면에 점검용 기준점을 설치하고 지상 LiDAR는 물론 항공 LiDAR와의 조합 또는 사진해석을 통한 사면 모델링 연구와 병행한다면 보다 향상된 다양한 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구를 통하여 지상 LiDAR 스캐닝 기술은 단 시간 내에 피사체에 대해 고밀도의 3차원 위치정보와 RGB 색상정보, 반사강도 및 경사 정보를 기본으로 자동 DTM 생성 및 3D 모델링, Texture mapping, 자료 Filtering(반사율, 컬러, 격자간격 등), 중·횡단, 등고선, 면·체적 산정은 물론 피사체의 Laser Cloud 상에서 거리, 좌표, 주향경사, 경사도 등을 직접 측정할 수 있었으므로 여러 환경 하에 있는 사면의 관리와 안전진단, 토목공사용 물량산출 등과 관련한 매우 효용성 있는 자료를 제공할 수 있음을 확인할 수 있었다. 특히, 자료 공백부의 최소화와 질감 효과를 극대화 할 수 있도록 지상 및 항공 LiDAR 자료, 또는 지상 사진측량과 조합·해석한다면 보다 효율적인 응용 수단으로 그 활용이 기대된다.

참고문헌

1. Robert Burch, *LiAR principles and applications*, Paper presented at the 2002 IMAGIN Conference, Traverse City, MI.
2. Trimble, "Trimble RealWorks Survey User Guide".
3. J.A. Bellian, C. Kerans, and D.C. Jennette, "Digital outcrop models : Applications of terrestrial scanning LiDAR technology in stratigraphic modelling", *Journal of sedimentary research*, vol. 75, no. 2, March, 2005, p.166-176

감사의 글

본 연구가 원활히 수행될 수 있도록 도움을 주신 (주)금륜하이텍에 깊은 감사를 드립니다.