

지상LiDAR와 토탈스테이션에 의한 측량성과의 정확도 비교분석

Comparison of the Accuracy to the Surveying Data by Terrestrial LiDAR and Total Station

양 인 태*
Yang, In-Tae

신 문 승**
Shin, Moon-Seung

이 성 구**
Lee, Sung-Koo

신 명 섭***
Shin, Myung-Seup

Abstract

Nowadays, the Surveying field is growing rapidly in terms of technology such as TS(Total Station) surveying, photographic surveying, digital aerial photogrammetry, utilization of GIS(Geographic Information System) using high-resolution satellite imagery, obtaining 3D Coordinate using GPS. But control point surveying, benchmark measuring, and field Surveying are still performed by the engineers in the field. So, 3D terrestrial laser scanner comes to the fore recently. 3D terrestrial laser scanner can get 3D coordinate about a number of sites of the subject in a short period with high accuracy. This paper compared the accuracy of data from the performance using 3D terrestrial laser scanner with that of TS. It also obtained the geopositioning accuracy result equivalent to the surveying result of TS. With further researches in the future, it is expected to be used not only in LiDAR itself but also in various areas like reconnaissance Surveying and construction by combining with TS or other Surveying equipments.

키워드 : 지상LiDAR, 토탈스테이션, 정확도
Keywords : *Terrestrial LiDAR, Total Station, Accuracy*

1. 서론

지금 측량분야는 토탈스테이션(Total-Station)측량, 사진측량기법, 디지털 항공사진측량, 고해상도 위성영상의 지리정보시스템(GIS)분야 활용, GPS에 의한 3차원공간좌표 획득 등 기술적인 측면에서 급속하게 발전하고 있다.

그러나 기준점 측량, 수준점측량, 현장조사 등은 여전히 현장에서 직접 기술자들에 의해 수행되고 있다. 특히 현장 기술자가 접근 불가능한 지역에서는 작업시간이 많이 소요되며, 작업위험도가 크고,

성과도 우수하지 못한 실정이다. 또한, 일반적으로 3차원공간좌표를 취득하는데 많이 이용되고 있는 사진측량기법은 대상물을 측정할 때 높은 정확도로 측정할 수 있지만 대상의 세부적인 부분 즉, 조형물과 같이 다양한 곡선과 곡면으로 이루어진 대상물의 굴곡부분을 높은 정확도의 3차원 모델링을 하기에는 어려운 점이 있다. 그래서 최근에 대두되는 것이 지상LiDAR이다. 3차원 지상레이저스캐너는 짧은 시간에 대상물의 수많은 위치에 대한 고정밀도의 3차원 좌표를 얻을 수 있으며, 접근이 어렵거나 문화재와 같이 보전을 위한 대상물에 실제 접촉하지 않고 대상물의 정확한 형상을 3차원 공간에 구현하여 디지털로 데이터를 보관하고, 이를 통해 각종 자료를 추출하는데 활용된다.

이러한 3차원 지상레이저 스캔기술의 발달로 실제 공간상에 존재하는 다양한 물체의 기하학적 정

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사, 교신지자

** 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정

*** 강원대학교 산업대학원 토목공학과 석사과정

보를 쉽게 취득할 수 있게 되면서 3차원적인 GIS를 구현하고 취득한 정보를 이용하여 구조물을 모델링하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 3차원 지상레이저 스캐너는 (이하 라이더, LIDAR: Light Detection And Ranging)는 짧은 시간 안에 높은 해상도의 3차원 영상정보를 획득할 수 있는 측량장비로서 다양한 분야에서 중요한 기능을 담당하고 있다.

본 연구에서 대상물을 지상LiDAR를 이용하여 3D모델링을 수행, 토달스테이션으로 측정한 데이터와의 정확도 비교에 관하여 다루었고, 토달스테이션 측량성과에 준하는 위치결정 정확도 결과를 얻었다. 이는 향후에 많은 연구를 통하여 지상라이더 단독, 뿐만 아니라 토달스테이션 및 다른 측량기기와의 결합을 통해, 토목현황측량 및 시공 등 다양한 분야로써 사용이 기대된다.

2. 지상LiDAR 측량의 원리

빛을 반사하여 산란·반사광이 돌아오는 시간과 강도, 주파수 편이, 편광 상태의 변화 등으로부터 측정 대상물의 거리와 농도, 속도, 형상과 같은 물리적 성질을 측정하는 방법 및 장치를 광 레이더(Optical Radar)라 한다. 그러나 실제로 사용되는 빛은 레이저 빛이기 때문에 레이저 레이더(Laser Radar) 또는 LiDAR(Light Detection And Ranging) 시스템이라고 한다.

LiDAR시스템은 이러한 레이저 펄스를 주사하여 반사된 레이저펄스의 도달시간을 측정함으로써 반사 지점의 공간 위치 좌표를 계산해내어 3차원 정보를 추출하는 측량기법이다. 이러한 LiDAR시스템은 지상기준점측량 작업이 어려운 해안지역, 암사면 같은 접근 불가능지역, 습지나 그림자 등에 의해 방해받는 산림지역에 3차원 데이터자료 획득에 유리한 장점이 있으며, 측량정확도에 있어서도 최적의 경우 수직위치정확도 15cm, 수평위치정확도 30cm를 보장하는 혁신적인 측량기법이다.

이러한 지상LiDAR를 이용할 경우 대상물의 특성에 따라 반사되는 시간이 모두 다르기 때문에 건물 및 지형지물의 정확한 수치표고모델(DEM, Digital Elevation Model) 생성이 가능하다. 또한 고해상도 영상과 융합되어 건물 레이더의 자동 구축, 광학영상에서 획득이 어려운 정보의 획득, 취득된 고정밀 수치표고모델을 이용하여 지형 DEM과 건물 및 구조물 DEM으로 구분하여 생성·융합함으로써 신속하고 효율적인 3차원 모델을 생성할 수 있다.

지상LiDAR는 측량용 무 타깃 토달스테이션과 동일한 원리로 작동된다. 하지만 토달스테이션은 측정하고자 하는 특정한 점에 레이저 빔의 각도를 조정하여 그 점을 측정하는데 반해, 지상라이더는

1초당 1,000~10,000포인트 이상의 측정 속도를 가짐으로서 상대적으로 짧은 시간 안에 대상물체 표면에 수많은 관측점(Point-Cloud)으로 3차원 공간 좌표를 기록한다. 그리고 스캐닝은 일정량 굴절각의 증분을 위하여 하나 또는 두개의 Mirror를 사용하여 수행되기도 하며, 물체의 완전한 3차원 형체 측량을 위해서 회전하기도 한다. 또한, 물체에 투사된 레이저 포인트의 위치를 결정하는 것은 거리와 각이므로 각 측정의 높은 정밀도는 매우 중요하다. 이러한 특징들이 두 장비의 큰 차이점이라고 볼 수 있다.

지상LiDAR측량은 레이저를 발사하여 대상물에 반사되는 레이저가 스캐너에 도달할 때까지의 시간을 관측하고 그 값에 빛의 속도를 곱하여 거리를 계산하는 방식으로 삼각측량방식(Triangulation Method)과 시간차방식(Time-of Flight Method)로 나누어진다. 본 연구에서는 레이저를 대상물에 발사한 후 레이저가 반사되어 돌아오는 시간차를 계산하여 위치를 결정하는 시간차방식을 사용하였고 식 1과 그림 1은 시간차방식의 원리를 보여주고 있다.

$$\rho = \frac{1}{2} c \Delta t, \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \cos \beta \cos \alpha \\ \rho \cos \beta \sin \alpha \\ \rho \sin \beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

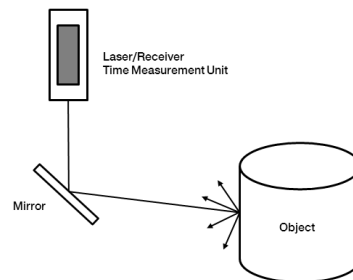


그림 1 시간차방식의 원리

여기서 ρ 는 거리이며, c 는 빛의 속도, Δt 는 시간차이다. 구하고자하는 특정점의 좌표를 x, y, z 라고 하면, α 는 수평각, β 는 수직각이다.

3. 연구 방법

3.1 연구흐름도

대상물에 대해 기준점을 설치, 지상LiDAR를 통해 데이터를 취득한 후 전처리 과정을 거쳐 3D모델링을 하고, 기준점에 대한 좌표값을 획득, 동일한 기준점에 대하여 토달스테이션을 이용하여 기준점에 대한 실좌표값을 획득하여 결과값을 비교, 분석하였다. 그림 2는 연구흐름도를 나타낸 것이다.

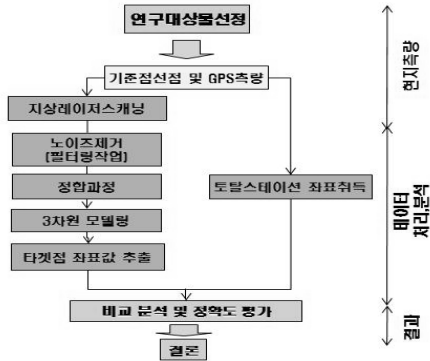


그림 2 연구흐름도

3.2 지상LiDAR 데이터의 처리

연구대상물은 지상LiDAR로 자료 취득이 용이한 강원도 춘천시 강원대학교 내의 크기 (3×3×8)m의 '미래창조의 상'으로 철골로 이루어진 구조물이다. 다 방향의 3차원 공간정보를 취득하기 위해 중복 스캔하여 하나의 좌표계로 통일하여 일원화를 수행하였다. 지상LiDAR 측량은 총 5개 방향을 선택하였고, 스캔 정밀도는 스캔시간과 대상물과의 평균거리를 고려하여 7mm로 결정하였다. 그리고 토달스테이션과의 실좌표값의 비교를 위해 대상물 정면 5번째 방향 데이터 취득은 3mm정밀도로 중복스캔을 실시하였다.

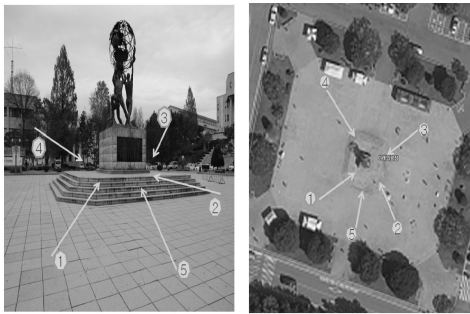


그림 3 연구대상물 데이터 취득방향

전처리와 후처리과정에 사용된 소프트웨어는 Polyworks10.0, Cyclone6.0 을 조합하여 사용하였다. 측정된 자료는 스캔작업과 동시에 장비와 연결된 USB로 실시간 저장된다. ASC파일로써 저장이 되며 후처리프로그램인 Ployworks10.0 나 Cyclone 6.0에서 구동이 가능하도록 하기 위해서는 Parser_rls 프로그램을 사용하여 xyz확장자를 가진 파일로 변환해야 한다.

그림 4는 Cycolne 6.0에서 지상LiDAR를 이용하

여 5방향에서 취득된 원시 자료를 나타낸 것이다.

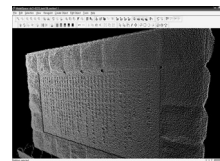
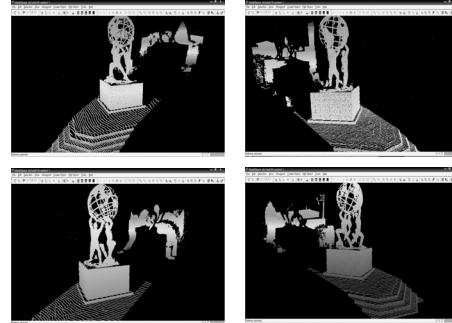


그림 4 취득된 원시 데이터

지상LiDAR측량에 의해 수집된 포인트 데이터는 측정대상물 외에 불필요한 부분의 데이터와 환경의 영향으로 발생한 노이즈 데이터가 포함되어 있다. 즉 3D 모델링을 하기 위해서 우선 데이터의 노이즈(불량점)를 각 원시자료들을 비교하면서 제거하는 작업을 수행하였다. 노이즈 처리를 해도 용량이 크기 때문에 필터링 처리를 추가로 수행하였다. 소프트웨어에서 자동으로 최적의 거리를 계산하고 삭제 처리하여 데이터의 용량을 1/3로 줄여서 사용하였다. 그림 5는 노이즈제거 및 필터링작업을 수행한 후의 모습이다.

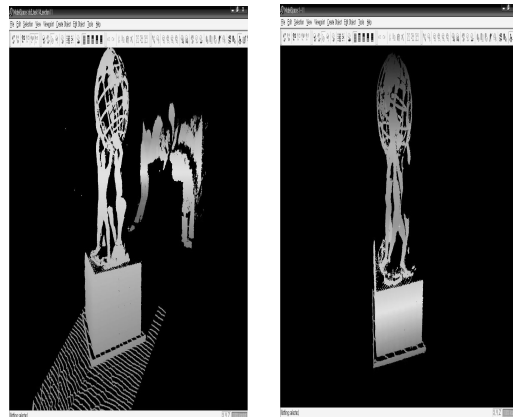


그림 5 노이즈제거 및 필터링작업 전, 후 원시데이터

이렇게 노이즈제거 및 필터링 작업이 수행된 후 데이터들을 정합과정을 통해 하나로 매칭하는 과정을 수행한다.

다음 그림 6은 매칭과정이다. 타깃을 설치하지 않았기 때문에 매칭을 수행 시 명확한 중복점의 선택이 결과물의 정밀도를 좌우한다.

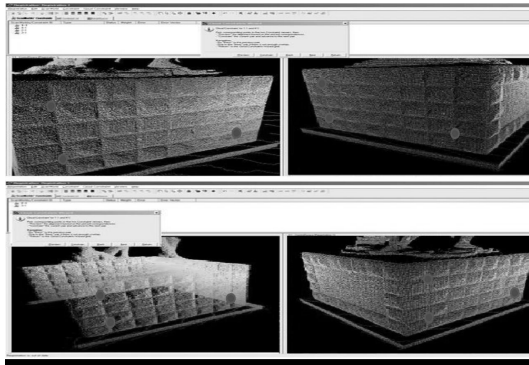


그림 6 360도 정합과정

3차원 모델링 구축을 하기 위해서는 정합과정을 거쳐 완성된 결과물은 폴리곤처리와 surface처리를 해야 한다. 폴리곤이란 3차원 컴퓨터 그래픽에서 입체영상을 표현할 때 가장 작은 단위인 다각형을 가킨다. 점군 데이터에서 각각의 점들을 이어주는 폴리곤 데이터 과정을 거쳐야만 비로소 3차원 입체형상이 완성된다. 포인트 데이터들은 원형과 동일한 형태로 축척된 점들의 집합체일 뿐, 면을 형성하지 못한 상태로서 이러한 무수한 점들을 근접한 3개의 점이 각각 꼭짓점을 갖는 삼각면인 폴리곤 데이터로 변환시킨다. 폴리곤 데이터를 서로 연결하여 1개의 면으로 변환하는 것이 surface 과정이다. Triangulate를 실행시켜 면처리 과정을 거쳐게 되면 그림 7과 같이 3차원 모델이 완성이 된다.

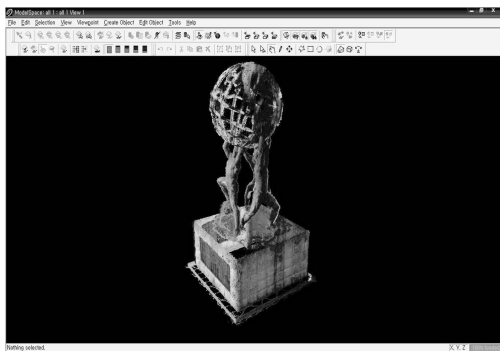


그림 7 구축된 3차원 모델

3.3 토탈스테이션에 의한 측량자료취득

용이한 토탈스테이션의 좌표점 취득을 위해 기준점 측량은 GPS로 실시하였다. 그림 8과 같이 기준국을 기지점에 설치하고, 총 2개의 기준점(Control Point)을 GPS수신기를 이용하여 측량 좌표를 표 1과 같이 획득하였다. 또한 연구 대상지역의 좌표계는 측량법에 명시되어 있는 TM(Transverse Mercator)으로 선정하고 좌표원점은 중부원점을 사용하였다.



그림 8 GPS 측량작업

표 1 GPS측량을 통한 기준점 좌표

측 점	중좌표(X)	횡좌표(Y)	지반고(H)
CP-01	485905.847	265410.416	134.176
CP-02	485887.192	265419.992	133.865

그림 9는 처리프로그램인 Cyclone 6.0상의 모습이다. 타깃점을 대상물 벽면 및 교차점에 3cm크기 5점 설치하고, 무타깃 토탈스테이션으로 3차원 좌표 측량을 실시하여 표 2와 같은 값을 얻었다.

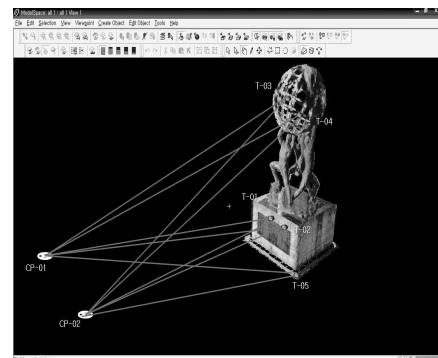


그림 9 토탈스테이션에 의한 좌표값 취득작업

표 2 토탈스테이션으로 취득된 타깃점 좌표

측점	CP-1			CP-2			최종좌표		
	X좌표	Y좌표	Z좌표	X좌표	Y좌표	Z좌표	X좌표	Y좌표	Z좌표
T-01	485918.324	265422.052	136.927	485918.323	265422.050	136.925	485918.324	265422.051	136.926
T-02	485918.070	265422.931	136.927	485918.076	265422.931	136.927	485918.073	265422.931	136.927
T-03	485918.775	265422.192	142.415	485918.776	265422.192	142.409	485918.776	265422.192	142.412
T-04	485918.804	265423.633	141.014	485918.803	265423.633	141.013	485918.803	265423.633	141.014
T-05	485917.526	265424.096	135.128	485917.530	265424.100	135.128	485917.526	265424.098	135.128

3.3 지상LiDAR에 의한 위치자료취득

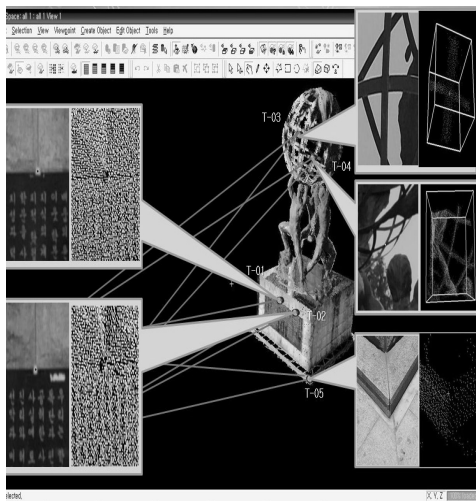


그림 10 지상레이저스캔데이터로부터 좌표값 추출

그림 10은 지상LiDAR로 취득된 데이터로부터 실제 타깃점과 비교하여 좌표값을 추출하는 과정이다. 3차원 지상레이저스캔데이터 측량성과에 대해서 토탈스테이션을 이용하여 정확도를 검증하기 위해서는 두 측량장비에서 획득된 타깃점의 좌표가

동일해야 한다. 하지만 지상LiDAR에서 획득된 3차원 좌표는 상대좌표이기 때문에 토탈스테이션에 의해서 획득된 타깃점 좌표를 이용하여 절대좌표로 변환해야 한다. 또한 절대좌표로 변환 시 오차가 허용오차에 범위 내에 있어야 한다.

다음의 표 3은 지상LiDAR로부터 추출된 좌표값을 나타내었다.

표 3 지상LiDAR를 통해 취득된 타깃점 좌표

기준	측점	중좌표(X)	횡좌표(Y)	지반고(H)
-	T-01	485918.324	265422.052	136.927
	T-02	485918.070	265422.931	136.927
	T-03	485918.761	265422.187	142.415
	T-04	485918.823	265423.625	141.031
	T-05	485917.525	265424.094	135.120

3.4 관측값 비교분석

표 4는 토탈스테이션으로 취득한 타깃 좌표값과 지상LiDAR로 취득한 좌표값 결과들을 비교분석하여 평균오차와 표준편차를 산출하였다.

표 4 지상LiDAR와 토탈스테이션의 관측값 비교분석

측점	지상LiDAR관측값			토탈스테이션 관측값			△X	△Y	△Z
	X좌표	Y좌표	Z좌표	X좌표	Y좌표	Z좌표			
T-01	485918. 324	265422. 052	136. 927	485918. 324	265422. 051	136. 926	0	0.001	0.001
T-02	485918. 070	265422. 931	136. 927	485918. 073	265422. 931	136. 927	-0.003	0	0
T-03	485918. 761	265422. 187	142. 415	485918. 776	265422. 192	142. 412	-0.015	-0.005	0.003
T-04	485918. 823	265422. 625	141. 031	485918. 803	265423. 633	141. 014	0.02	-0.008	0.017
T-05	485917. 525	265422. 094	135. 120	485917. 526	265424. 098	135. 128	-0.001	-0.004	-0.008
평균오차							0.001	0.004	0.006
표준편차							0.001	0.003	0.006

지상LiDAR의 위치정밀도를 평가하기 위해 토탈스테이션으로 측정한 후 동일측점에 대해 좌표성과를 비교한 결과 1mm~20mm의 오차를 보였고, 평균오차는 절대값에 대하여 각각 0.001m, 0.004m, 0.006m로 산출되었으므로 매우 적은 편차가 나타난 것이 입증 되었기에 지상LiDAR를 현장과 지형 조건에 따라 유용적으로 사용할 수 있는 가능성을 제시하였다.

4. 결론

본 연구에서는 토탈스테이션로 취득된 3차원포인트 좌표값과 지상LiDAR로 취득한 좌표값과의 정확도비교하는 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 지상LiDAR의 위치정밀도를 평가하기 위해 토탈스테이션으로 측정한 후 동일측점에 대해 좌표성과를 비교한 결과 1mm~16mm의 오차를 보였다. 하지만 특정점(타깃4점)같은 경우 높이오차가 크게 나타나는데 이것은 무타깃 측량인 점을 감안, 타깃점과 지상LiDAR 데이터 포인트 선점에 있어서의 오차가 발생했던 것으로 보인다.

2. X좌표값 평균오차 0.001m, Y좌표값 평균오차 0.004m, 높이값오차 평균 0.006m로 토탈스테이션 측량성과에 준하는 위치결정 정확도 결과를 얻었다.

3. 초정밀도를 요구하지 않는 측량 시 지상LiDAR를 이용하면 토탈스테이션측량보다 더 신속한 3차원 측량설계가 이루어질 수 있다고 판단된다.

4. 향후 지상LiDAR 단독, 뿐만 아니라 토탈스테이션 및 다른 측량기기와의 결합을 통해 토목현황 측량 및 시공, 교통사고 재조사와 교통사고가 잦은 장소의 설계개선 등 다양한 분야의 적용을 위해 더 많은 연구가 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 정철두, 오종민, 김승용, “지상라이다데이터에서 추출한 건물외곽선의 정확도 분석”, 한국지형공간정보학회 발표논문집, pp11~18, 2010.
- [2] 이인수, 차득기, 김수정, “지상 레이저 스캐너를 이용한 경지정리지역의 지적 현황측량”, 대한토목학회논문집, pp233~239, 2007.
- [3] 김성학, 최승필, 양인태, “지상 LiDAR자료를 이용한 모형사면의 모니터링”, 한국지형공간정보학회 발표논문집, pp17~23, 2008.
- [4] 이계동, 이재기, 정성혁, “3차원 영상취득에 의한 매장문화재의 효율적 측정기법”, 한국측량학회지, 제25권, 제2호, pp157~163, 2007.
- [5] 정성혁, 유정흠, 손세원, 이재기, “근거리사진 측량과 레이저스캐너를 이용한 문화재 정밀

- 측정”, 한국지형공간정보학회, pp493~496, 2003.
- [6] 유상근, “GPS 및 Total Station을 이용한 PC용 개체지향 도시 기반 시설물 관리 시스템 구축”, 한국측량학회지, 제18권, 제1호, pp. 41~49, 2000.
- [7] 안원태, 한양 측량 시스템 3D Laser Scanning System 보고서, 2005.
- [8] 신성용, 방기인, 조우석, “최적 매개변수 선정을 이용한 라이다 데이터로부터 3차원 평면 추출”, 한국지형공간정보학회지, pp. 113~117, 2011.
- [9] Bitelli G., Dubbini M., Zanutta A., “Terrestrial Laser Scanning and Digital Photogrammetry techniques to monitor landslide bodies” *Proceedings of ISPRS, Istanbul*, pp12~23 Luglio, 2004.
- [10] Olivier Faugeras, Luc Robert, “3D reconstruction of urban scenes from image sequences”, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 69, No. 3, March, pp. 292-309, 1998.