

지상 LiDAR 측정 각도에 따른 오차분석

Error Analysis of Terrestrial LiDAR According to the Measurement Angle

김종석^{1)*} · 손홍규²⁾ · 김성삼³⁾ · 조형식⁴⁾ · 정성수⁵⁾

Kim, Jong-Suk¹⁾ · Sohn, Hong-Gyoo²⁾ · Kim, Seong-Sam³⁾ · Cho, Hyung-Sig⁴⁾ · Jeong, Seong-Su⁵⁾

- 1) 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정(E-mail:kjsppk2@yonsei.ac.kr)
- 2) 연세대학교 사회환경시스템공학부 부교수(E-mail:sohn1@yonsei.ac.kr)
- 3) 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사후과정(E-mail:samskim@yonsei.ac.kr)
- 4) 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정(f15kdaum@yonsei.ac.kr)
- 5) 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정(seongsu@yonsei.ac.kr)

요약

지상 LiDAR(Light Detection And Ranging)는 정밀하고 빠르게 물체의 3차원 형상을 측정할 수 있는 시스템이다. 기본적으로 종전의 레이저 측량기의 기능을 갖고 있으며, 초당 최대 5,000~50,000 point의 레이저를 대상체 표면에 발사하여 대상체면에 투사한 레이저의 간섭이나 반사를 이용하여 대상체면상의 point cloud의 공간정보를 취득하는 관측방식의 3차원 정밀 측량으로서 대상체의 표면으로부터 상대적인 3차원(X, Y, Z) 지형공간좌표를 각각의 Point 데이터로 기록한다. 이러한 측정방법은 레이저가 반사되어 돌아오는 시간을 계산하여 거리를 결정하고 θ_h (수평각)과 θ_v (수직각) 각도만큼 수평, 수직으로 회전하여 측정 한 점의 위치를 결정하므로 데이터 취득 각도에 따른 오차가 발생하게 된다. 본 연구에서는 지상LiDAR 데이터 취득각도에 따른 오차 시뮬레이션 실시하여 실제 실험과의 비교 및 입사각에 따른 정확도 분석을 실시하였다.

1. 서론

지상LiDAR는 정확한 3차원 좌표 취득 및 디지털 카메라를 이용하여 스캐닝과 동시에 디지털 영상 확보가 가능하여 3차원 모형의 구축 시 텍스처 자료의 활용이 가능하여 3차원 공간 정보 구축에 큰 편리성을 지니고 있다. 위와 같이 빠르고 정확하게 3차원 모델 구축이 가능한 지상LiDAR는 산업 현장, 문화재복원, 건설현장 등 폭넓은 곳에서 활용이 증대되고 있다. 이에 따라 보다 정확한 데이터를 얻기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 지상LiDAR의 정확도에 검증에 관한 국내 연구를 살펴보면 이재원 등

(2007)은 지상LiDAR를 이용 터널 변위 관측을 위하여 기선거리에 따른 정확도 분석을, 이종출 등(2005)은 수치사진측량과 지상 LiDAR 조합을 이용한 문화재 정밀 복원자료 구축을 위하여 공시체($\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$)를 검증대상물로 정하고 반복적인 스캔을 실시하여 체적을 구하여 정확도를 검증 하였으며, 홍성균 등(2003)은 지상LiDAR 스캐닝 시 발생하는 측정 및 레지스트레이션 오차를 감소시키는 방안에 관한 연구를 수행하였다. 또한 박재국 등(2007)은 산사태 모니터링 시 지상LiDAR 자료의 정확도 평가를 위하여 시범사면에 대하여 강제로 변위를 주어 변위 전·후 측량을 실시 DSM과 DEM을 그리드분석의 산술연산을 이용하

여 변위를 추출 정확도 평가를 실시하였다. 국외 연구로는 Tomoya 등(2005)은 산사태 지역에 대한 변위 관측 시 정확한 데이터의 정확한 기하학적 변환을 위하여 실내 및 실외에서 Prism, Reflector Sheet, Multi Surface Measurement 등을 이용하여 Control Point의 기하학적 변환 시 정확도 검증을 실시하였으며, Wolfgang 등(2003)은 지상 LiDAR의 종류에 따른 각, 거리, 해상도, 모서리 효과 표면 반사율 영향에 대한 정확도 분석을 실시하였다. 또한 Chris (2002)은 특수 제작된 원형 타겟을 벽면에 설치 무프리즘 토탈스테이션을 이용하여 위치결정 후 스캐닝된 데이터의 정확도 분석을 위하여 근거리에서는 가장자리 부분의 정확도를, 중거리에는 스캐너 측정범위 전 구간에 대한 실험을 실시하였다.

2. 지상LiDAR 측정원리 및 오차분석

2.1 지상LiDAR 측정원리

지상LiDAR의 거리측정 원리는 레이저를 발사하여 대상물에 반사되는 레이저가 지상LiDAR에 도달할 때까지의 시간을 관측하고 그 값에 빛의 속도를 곱하여 거리를 계산하는 방법으로 TOF(time of flight), 위상변위, 삼각측량 방식으로 나뉘어 진다(Boehler 등, 2002).

TOF 방식은 대상체에 레이저 빔을 보내는 레이저 다이오드가 장착되어 있어, 발사된 레이저 광은 대상체 표면에서 반사, 산란되어 일부가 수신기로 되돌아온다. 이 방법은 위상변위 방식, 삼각측량 방식 보다 먼 거리를 측정할 수 있고 정확도는 수 mm 에서 2~3cm이며 대상물체와 스캐너 사이의 거리에 의존한다. 대부분의 지상LiDAR는 TOF 방식을 사용하고 있으며, 시간차를 사용하므로 측정시간도 상당히 단축되는 장점이 있다(Blais 등, 2000).

2.2 측정각도에 따른 오차 시뮬레이션

지상LiDAR의 오차 분석을 위하여 벽면에 45개의 타겟을 부착해 테스트 대상지역으로

설정하였고 타겟을 대상으로 토탈스테이션과 지상LiDAR를 이용하여 좌표를 취득하였다.

또한 측정각도와 거리에 따른 오차시뮬레이션을 실시하여 실제 관측값과 비교 및 입사각에 따른 오차 분석을 실시하였다. TOF 방식의 지상 LiDAR는 그림 1과 같이 레이저가 반사되어 돌아오는 시간을 계산하여 거리를 결정하고 θ_h 와 θ_v 각도만큼 수평 수직으로 회전하여 측정된 점 P 위치를 결정하는 방법으로서, 아래의 식 1~3과 같이 삼각함수 계산에 따라 X, Y, Z 거리 및 오차의 계산이 가능하다.

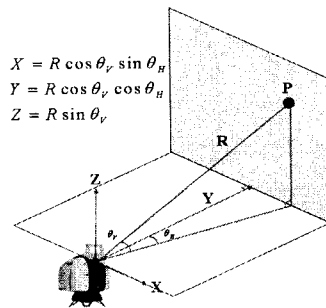


그림 1 TOF 방식의 거리측정방법

$$X = R \cos \theta_V \sin \theta_H$$

$$dX = \cos \theta_V \sin \theta_H dR - R \sin \theta_H \sin \theta_V d\theta_V + R \cos \theta_V \cos \theta_H d\theta_H \quad \text{식 (1)}$$

$$\sigma_X = \sqrt{(\cos \theta_V \sin \theta_H)^2 \sigma_R^2 - (R \sin \theta_H \sin \theta_V)^2 \sigma_{\theta_V}^2 + (R \cos \theta_V \cos \theta_H)^2 \sigma_{\theta_H}^2}$$

$$Y = R \cos \theta_V \cos \theta_H$$

식 (2)

$$dY = \cos \theta_V \cos \theta_H dR - R \sin \theta_V \cos \theta_H - R \cos \theta_V \sin \theta_H$$

$$\sigma_Y = \sqrt{(\cos \theta_V \cos \theta_H)^2 \sigma_R^2 + (R \sin \theta_V \cos \theta_H)^2 \sigma_{\theta_V}^2 + (R \cos \theta_V \sin \theta_H)^2 \sigma_{\theta_H}^2}$$

$$Z = R \sin \theta_V$$

식 (3)

$$dZ = \sin \theta_V dR + R \cos \theta_V d\theta_V$$

$$\sigma_Z = \sqrt{(\sin \theta_V)^2 \sigma_R^2 + (R \cos \theta_V)^2 \sigma_{\theta_V}^2}$$

여기서, σ_R^2 : 측정거리오차, $\sigma_{\theta_V}^2$: 수평각 오차, $\sigma_{\theta_H}^2$: 수직각오차 이다.

각도에 따른 σ_X , σ_Y , σ_Z 오차의 변화를 알아보기 위하여 그림 1과 같은 좌표계를 기준으로 하여 거리오차 4mm, 수평각오차 60 μ rad, 수직각오차 60 μ rad의 지상LiDAR를 기준으로 하여 측정거리 10m일 때 시뮬레이션 실시하여 그림 2~7로 나타내었고 실제 실험결과에 따른 결과를 그림 8~10에 나타내고 있다. 또한 그림 11은 입사각에 따른 측정거리의 오차이다.

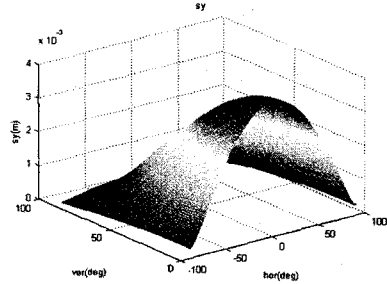


그림 3 측정거리 10m일때 σ_Y (mm) 오차 $\theta_H=(0\sim 180^\circ)$, $\theta_V=(0\sim 90^\circ)$

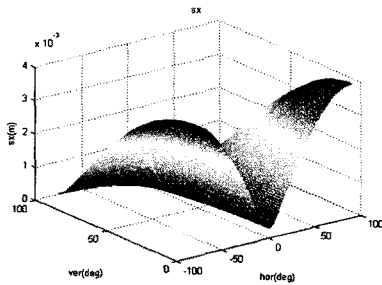


그림 2 측정거리 10m일때 σ_X (mm) 오차 $\theta_H=(0\sim 180^\circ)$, $\theta_V=(0\sim 90^\circ)$

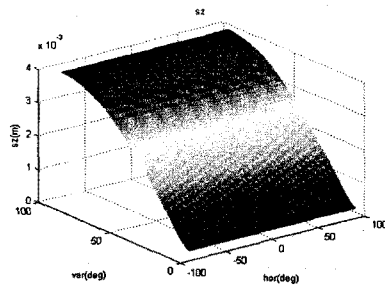


그림 4 측정거리 10m일때 σ_Z (mm) 오차 $\theta_H=(0\sim 180^\circ)$, $\theta_V=(0\sim 90^\circ)$

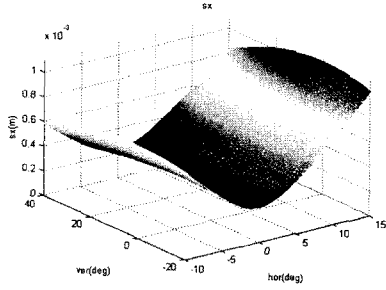


그림 5 측정거리 10m일때 σ_x (mm) 오차
 $\theta_H = (-10 \sim 15^\circ)$, $\theta_V = (-20 \sim 40^\circ)$

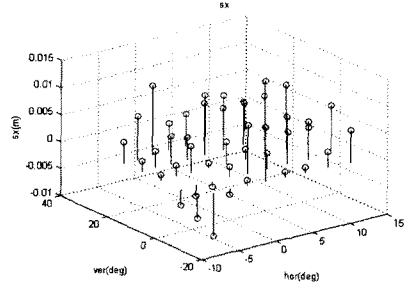


그림 8 측정거리 10m일때 Δ_x (mm)
 (실제 실험결과)

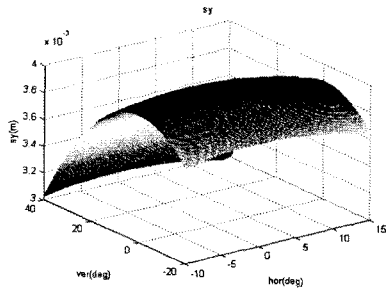


그림 6 측정거리 10m일때 σ_y (mm) 오차
 $\theta_H = (-10 \sim 15^\circ)$, $\theta_V = (-20 \sim 40^\circ)$

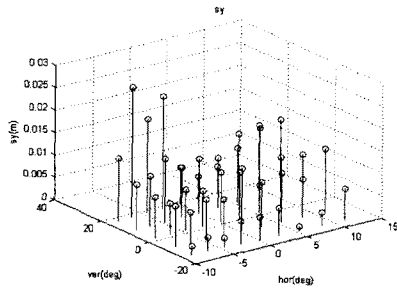


그림 9 측정거리 10m일때 Δ_y (mm)
 (실제 실험결과)

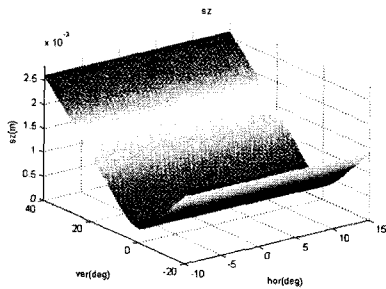


그림 7 측정거리 10m일때 σ_z (mm) 오차
 $\theta_H = (-10 \sim 15^\circ)$, $\theta_V = (-20 \sim 40^\circ)$

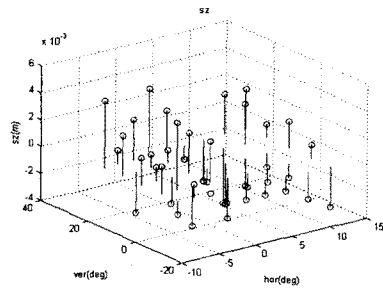


그림 10 측정거리 10m일때 Δ_z (mm)
 (실제 실험결과)

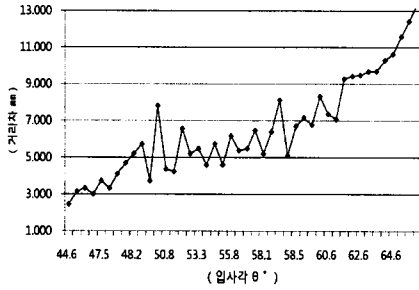


그림 11 입사각에 따른 거리차 증가 추세

3. 결론

지상 LiDAR의 오차 시뮬레이션 결과 σ_x 오차는 수평각이 클수록 증가하였으며, 수직각이 작을수록 오차가 증가하였다. σ_y 오차는 수평각이 작을수록 오차가 증가하였으며 수직각은 거의 변동을 보이지 않았다. σ_z 오차는 수평각에 따른 오차의 변화를 보이지 않았으며, 수직각이 클수록 오차가 증가 하였다.

또한 시뮬레이션 결과를 비교하기 위하여 측정거리 10m일 때 실제 실험을 통하여 오차를 분석한 결과 σ_x , σ_y , σ_z 의 오차가 시뮬레이션 결과와 다른 패턴을 나타냈다.

위와 같은 원인으로는 토탈스테이션으로 타겟 관측 시 지상LiDAR와 마찬가지로 측정 각도에 따른 영향에 따른 것으로 향후 실험 시 삼각측량을 실시 측정각도에 따른 오차 요인을 제거해야 할 것으로 생각된다.

이와는 별도로 입사각에 의한 정확도 분석을 실시하여 입사각이 44.5°에서 64.8°로 증가함에 따라 거리차가 1.732mm에서 13.416mm로 11.684mm 거리차를 보였다.

감사의글

본 연구는 건설교통부 첨단도시기술개발사업 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원 (07국토정보C04-측량기술활용 건설도면 작성 및 검증 기술개발)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

박재국, 이상운 (2008), "산사태 모니터링을 위한 지상라이다 자료의 정확도 평가", 한국측량학회, 제26권, 제2호, pp.117-127.

이재원, 김용석, 송연경 (2007), "3차원 레이저 측량기를 이용한 터널 변위 관측", 대한지구물리학회, 지구물리, 10권, 1호, pp.27-35.

이종출, 문두열, 김남식, 서동주 (2005), "수치사진측량과 3차원 레이저 스캐너 조합을 이용한 문화재 정밀 복원자료", 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.5108-5111.

홍성균, 김연술, 이희관, 김형찬, 양균의 (2003), "레이저스캐너를 이용한 측정 및 레지스트레이션시 오차감소에 관한 연구", 한국정밀공학회, 제20권, 제9호 pp.197-204.

Blais, F., Beraldin, J. A., El-Hakim, S. F. (2000), "Range Error Analysis of an Integrated Time-of-Flight, Triangulation and Photogrammetry 3D Laser Scanning System", Published in SPIE Proceedings AeroSense Orlando, FL April 24-28, Volume 4035, NRC 43649.

Boehler, W., Heinz, G., Marbs, A. (2002), "The Potential of Non-contact Close Range Laser Scanners for Cultural Heritage Recording", CIPA Working Group VI, pp.289-295.

Chris, T. (2002), "Testing and Verification of the Accuracy of 3D Laser Scanning Data", Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Canada Ottawa.
Tomoya, S., Jong H. J., Masataka, T. (2005), "Laser Scanner Measurement for Monitoring Landslide Displacement", Proceedings of the 26th Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi VIETNAM, pp.LID2-2.

Wolfgang, B. and Andreas, M. (2003), "Investigating Laser Scanner Accuracy", IPA Symposium, Turkey, October, Working Group 6.