

드론 라이다와 영상에 의한 포장 노면의 평탄성 분석 Roughness Analysis of Paved Road using Drone LiDAR and Images

정갑용¹⁾ · 박준규²⁾

Jung, Kap Yong · Park, Joon Kyu

Abstract

The roughness of the road is an important factor directly connected to the ride comfort, and is an evaluation item for functional evaluation and pavement quality management of the road. In this study, data on the road surface were acquired using the latest 3D geospatial information construction technology of ground LiDAR, drone photogrammetry, and drone LiDAR, and the accuracy and roughness of each method were analyzed. As a result of the accuracy evaluation, the average accuracy of terrestrial LiDAR were 0.039m, 0.042m, 0.039m RMSE in X, Y, Z direction, and drone photogrammetry and drone LiDAR represent 0.072~0.076m, 0.060~0.068m RMSE, respectively. In addition, for the roughness analysis, the longitudinal and lateral slopes of the target section were extracted from the 3D geospatial information constructed by each method, and the design values were compared. As a result of roughness analysis, the ground LiDAR showed the same slope as the design value, and the drone photogrammetry and drone LiDAR showed a slight difference from the design value. Research is needed to improve the accuracy of drone photogrammetry and drone LiDAR in measurement fields such as road roughness analysis. If the usability through improved accuracy can be presented in the future, the time required for acquisition can be greatly reduced by utilizing drone photogrammetry and drone LiDAR, so it will be possible to improve related work efficiency.

Keywords : Accuracy Analysis, Drone, Roughness Analysis, Geospatial Information, LiDAR, Photogrammetry

초 록

도로의 평탄성은 승차감과 직결되는 중요한 요소이며, 도로의 기능평가 및 포장품질 관리를 위한 평가항목이다. 본 연구에서는 지상 LiDAR, 드론 사진측량 및 드론 LiDAR의 최신 3차원 공간정보 구축 기술을 활용하여 도로 노면에 대한 데이터를 취득하고, 각각의 방법에 대한 정확도 및 평탄성을 분석하였다. 정확도 평가 결과 지상 LiDAR는 X, Y, Z 방향으로 각각 0.039m, 0.042m, 0.039m의 RMSE를 나타내었으며 드론 사진측량과 드론 LiDAR는 각각 0.072~0.076m, 0.060~0.068m의 RMSE를 나타내어 측량 및 지도제작 분야에 각각의 방법이 충분히 활용 가능함을 제시하였다. 또한 편평도 분석을 위해 각각의 방법으로 구축된 3차원 공간정보에서 대상 구간에 대한 종방향 경사와 횡방향 경사를 추출하고, 설계값과 비교를 수행하였다. 평탄성 분석 결과 지상 LiDAR는 설계값과 동일한 경사를 나타내었으며, 드론 사진측량 및 드론 LiDAR의 경우 설계값과 다소 차이를 보였다. 도로의 평탄성 분석과 같은 측량 분야에 드론 사진측량 및 드론 LiDAR를 활용하기 위한 정확도를 향상 방안 연구가 필요하다. 향후 정확도 향상을 통한 활용성을 제시할 수 있다면 드론 사진측량 및 드론 LiDAR를 활용하여 취득에 소요되는 시간을 크게 감소시킬 수 있으므로 관련 업무 효율성 향상이 가능할 것이다.

핵심어 : 정확도 분석, 드론, 평탄성 분석, 공간정보, 라이다, 사진측량

Received 2021. 01.25 Revised 2021. 02. 18, Accepted 2021.02.24

1) Member, Visiting Professor, Department of Construction Engineering Education, Chungnam National University, Republic of Korea (E-mail: jungjusa@hanmail.net)

2) Corresponding author, Member, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Seoul University, Republic of Korea (E-mail: jkpark@seoul.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

도로 포장면의 상태는 주행 차량의 안전성과 쾌적성에 큰 영향을 미치게 되므로 지속적인 관리가 중요하다(Rhee and Choi, 2017; Choi, 2020; Nam and Kim, 2019). 포장면의 상태 파악 지표에는 단차, 미끄럼마찰, 평탄성, 균열 등이 있는데 이중 평탄성은 승차감과 직결되는 중요한 요소이다(Jung and Chong, 2018; Kim and Kim, 2018; Park, 2018). 평탄성은 노면 요철 정도를 평가하는 지표로서, 주행차량의 쾌적성에 큰 영향을 주는데, 일본 도로 공단은 보수공사 경우 3m 간격의 단면 측정을 하며, 건설공사 경우 8m 단면의 측정 방법을 사용한다(Ha *et al.*, 2019). 한편, 최근 공간정보 취득 및 구축 기술의 빠른 발전으로 3차원 공간정보를 이용한 다양한 연구가 수행되고 있다(Ham and Lee, 2020; Lee and Park, 2020; Yoo, 2020; Kim, 2020). 드론 사진측량을 이용하여 하천에 대한 3차원 공간정보를 구축하고, 구축된 데이터베이스를 활용하여 하천의 환경변화, 시계열 및 지형분석이 수행되었으며(Oh, 2017; Kim and Yu, 2020), 드론 라이다를 이용하여 수목과 식생을 제거한 공간정보를 구축하고, 활용성을 분석한 연구가 수행되었다(Park and Um, 2020). 도로에 대한 정밀한 공간정보 구축을 위해 MMS (Mobile Mapping System)을 활용한 연구도 활발하게 수행되고 있다(Park *et al.*, 2018; Won *et al.*, 2019; Lee and Park, 2018). 하지만 기존의 공간정보 관련 연구에서는 대부분 도로, 지형, 건물 등에 대한 3차원 공간정보 구축에 초점이 맞추어져 있으며, 도로와 같은 인프라 시설물에 대한 유지관리를 위한 활용 방안을 파악한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 지상 LiDAR, 드론 사진측량 및 드론 LiDAR를 활용하여 도로 노면에 대한 데이터를 취득하고, 각각의 방법에 대한 정확도를 파악하는 한편, 도로의 평탄성 분석에 활용성을 평가하고자 하였다. Fig. 1은 연구 흐름도를 나타낸다.

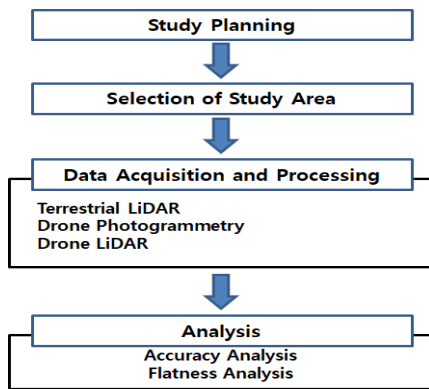


Fig. 1. Study flow

2. 데이터 취득 및 자료처리

본 연구에서는 지상 LiDAR, 드론 사진측량 및 드론 LiDAR를 활용한 도로 노면의 평탄성 분석을 위해 충청남도 서산 인근의 도로 건설현장을 연구대상지로 선정하였다. 연구대상지는 자동차 시험을 위한 트랙으로 정밀한 도로 시공이 수행되었으며, 도로의 종단 및 횡단 경사에 대한 설계값을 확보할 수 있어 연구대상지로 선정하였다. 지상 LiDAR, 드론 사진측량, 드론 LiDAR를 이용한 데이터 취득은 각각 Trimble사의 SX10, Wingtra사의 WingtraOne, YellowScan사의 SurveyorUltra를 이용하였다. Fig. 2는 연구대상지이며, Fig. 3은 데이터 취득에 사용된 장비이며(Trimble, 2021; Wingtra, 2021; YellowScan, 2021), Table 1에 LiDAR 장비의 사양을 나타내었다.



Fig. 2. Study area



Fig. 3. Data acquisition equipment

Table 1. Specification of equipment

Item	SX10	SurveyorUltra
Scan rate	26,600 pts/sec	600,000 pts/sec
Scan range	600m	200m
Accuracy	0.0025m @ 100m	0.05m @ 50m
Weight	7.5kg	1.7kg

2.1. 지상 LiDAR

지상 LiDAR 데이터 취득은 연구대상지 직선 구간 일부에 대해 수행되었다. 데이터의 Georeferencing을 위한 지상기준점 측량을 VRS (Virtual Reference Station) 방법으로 수행하였다. 데이터 취득은 총 6개의 측점에서 수행되었으며 데이터 취득에는 2시간이 소요되었다. 지상 LiDAR 데이터 처리는 registration과 지상기준점을 이용한 Georeferencing을 수행하였다. Figs. 4와 5는 각각 자료처리 결과와 평탄성 분석 대상을 나타낸다.



Fig. 4. Terrestrial LiDAR data



Fig. 5. Target area for roughness analysis

2.2. 드론 사진측량

드론 사진측량은 1km×2km 면적의 연구대상지 전체에 대해 수행되었다. GCP (Ground Control Point)는 6점을 설치하였으며, 드론 사진은 중중복도 80%, 횡중복도 70%로 총 16개의 strip으로 취득하였으며, 비행고도는 200m로 GSD (Ground Sample Distance)는 5cm로 나타났다. 데이터 취득에 소요된 시간은 50분 이었으며, 총 699장의 사진이 취득되었다. 자료처리는 Trimble사의 UAS Master 소프트웨어를 사용하였으며, 외부표정요소와 지상기준점을 이용한 항공삼각측량, DSM (Digital Surface Model) 생성, 정사영상 생성의 순서로 수행되었다. DSM 생성에는 SGM (Semi Global Matching) 방법을 이용하였으며 점밀도는 최대로 설정하였다, 정사영상은 DSM을 이용하여 폐색영역 보정, 모자이크 처리, 칼라매칭의 과정을 통해 수행되었다. Fig. 6은 GCP 위치이며, Fig. 7과 Fig. 8은 DSM과 정사영상을 나타낸다.



Fig. 6. Location of GCP

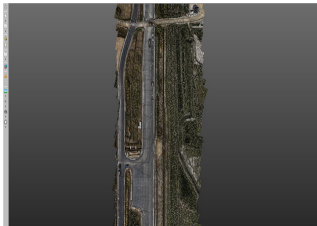


Fig. 7. DSM

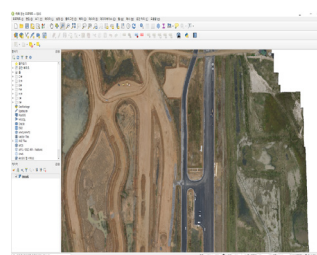


Fig. 8. Ortho image

2.3. 드론 LiDAR

드론 LiDAR는 연구대상지 데이터 취득을 위해 고도 80m에서 운용하였으며, 드론 사진측량과 동일한 영역의 데이터를 취득하였으며, 2시간이 소요되었다. 지상의 기준점에 GNSS 수신기를 설치하고, 1초 간격의 정지측량을 수행하였다. 기준점에 대한 GNSS 정지측량 데이터와 드론의 GNSS 및 IMU (Inertial Measurement Unit) 데이터를 POSPAC 소프트웨어를 이용한 경로처리를 수행하였으며, Cloud Station 소프트웨어로 포인트클라우드를 생성하는 과정으로 수행되었다. 처리 결과 중 일부 식생 데이터를 제거하고, 지면을 분류하여 DEM (Digital Elevation Model)을 생성하였다. Fig. 9는 드론 LiDAR 데이터이며, Fig. 10은 DEM을 나타낸다.

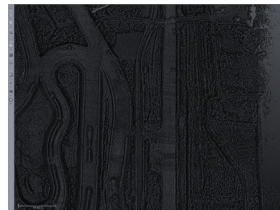


Fig. 9. Drone LiDAR data

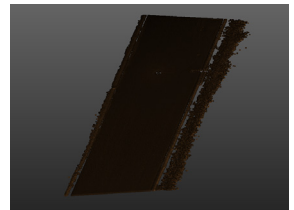


Fig. 10. DEM

3. 정확도 및 평탄성 분석

본 연구에서는 지상 LiDAR, 드론 사진측량, 드론 LiDAR를 통해 구축된 연구대상지의 3차원 공간정보에 대한 정확도 분석을 수행하였다. 정확도 및 평탄성 분석의 대상 구간은 설계 도면을 확보할 수 있는 직선 구간으로 설정하였다. 정확도 분석은 연구대상지의 검사점 타겟을 이용하였으며, 총 20점의 검사점을 선정하고, VRS 측량을 수행하여 검사점 성과를 취득하였다. Table 2는 검사점 성과 및 위치를 나타낸다.

정확도 평가는 검사점 성과와 지상 LiDAR, 드론 사진측량, 드론 LiDAR로 취득한 좌표성과의 편차를 계산하는 방법으로 수행하였다. 포인트클라우드 데이터에서 타겟의 중심이 정확하게 나타나지 않기 때문에 가장 근접한 포인트의 좌표 성과를 비교하였다. Table 3은 지상 LiDAR, 드론 사진측량 및 드론 LiDAR 데이터의 제공미터 당 점밀도이며, 각 방법에 대한 정확도 평가 결과를 Table 4-Table 6에 나타내었다.

Table 2. Coordinate of check points

No.	X(m)	Y(m)	Z(m)	No.	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	141077.441	349712.470	3.200	11	141077.388	349677.419	3.192
2	141093.392	349712.452	3.358	12	141093.432	349677.423	3.352
3	141077.429	349705.432	3.204	13	141077.389	349670.358	3.199
4	141093.410	349705.450	3.356	14	141093.416	349670.327	3.360
5	141077.401	349698.426	3.199	15	141077.409	349663.422	3.211
6	141093.433	349698.437	3.352	16	141093.364	349663.435	3.358
7	141077.388	349691.485	3.191	17	141077.389	349656.576	3.208
8	141093.425	349691.490	3.351	18	141093.439	349656.489	3.373
9	141077.405	349684.459	3.189	19	141077.386	349649.603	3.211
10	141093.411	349684.447	3.350	20	141093.382	349649.586	3.352

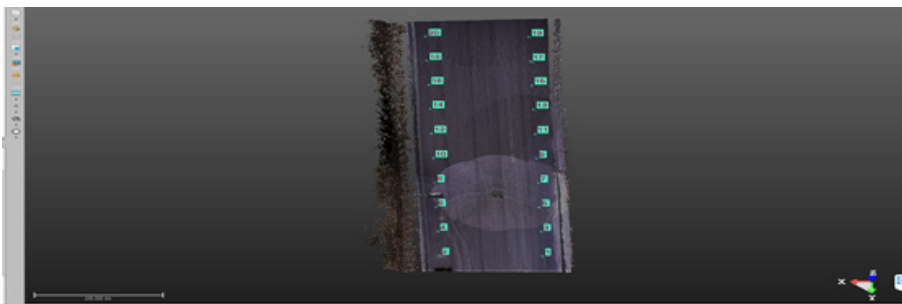


Table 3. Point density per square meter

Item	Terrestrial LiDAR	Drone Photogrammetry	Drone LiDAR
Number of Points/m ²	113	119	86

Table 4. Accuracy analysis result - Terrestrial LiDAR

Terrestrial LiDAR							
No.	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	No.	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
1	-0.025	0.058	-0.037	11	-0.051	0.038	0.052
2	0.024	0.057	0.038	12	0.053	0.039	-0.051
3	0.026	-0.054	-0.036	13	-0.057	0.041	0.041
4	-0.021	0.055	0.031	14	0.058	0.045	0.043
5	0.036	-0.056	0.028	15	0.059	-0.047	-0.048
6	0.032	0.047	0.029	16	-0.034	0.042	0.049
7	-0.031	0.045	-0.021	17	0.035	0.034	0.028
8	0.041	0.042	0.027	18	0.022	-0.031	0.027
9	-0.048	0.041	0.055	19	-0.023	0.059	0.021
10	0.042	-0.043	0.054	20	0.028	-0.027	-0.024
Maximum Deviation(m)					0.059	0.059	0.055
Minimum Deviation(m)					-0.057	-0.056	-0.051
RMSE(m)					0.039	0.042	0.039

Table 5. Accuracy analysis result - Drone Photogrammetry

Drone Photogrammetry							
No.	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	No.	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
1	0.041	-0.051	0.068	11	0.091	0.071	-0.079
2	-0.048	0.053	-0.062	12	0.110	0.085	0.074
3	0.049	0.054	0.064	13	-0.117	-0.086	0.098
4	0.042	-0.048	-0.055	14	0.113	0.081	0.091
5	0.058	0.042	0.058	15	0.068	0.099	0.088
6	-0.059	0.044	-0.051	16	-0.063	0.096	-0.114
7	0.051	-0.069	0.048	17	0.067	-0.111	0.118
8	-0.074	0.061	-0.041	18	-0.085	0.117	0.049
9	0.073	0.077	0.046	19	0.084	0.091	0.048
10	-0.095	-0.075	0.079	20	0.081	0.098	0.041
Maximum Deviation(m)					0.113	0.117	0.118
Minimum Deviation(m)					-0.117	-0.111	-0.114
RMSE(m)					0.076	0.074	0.072

Table 6. Accuracy analysis result - Drone LiDAR

Drone LiDAR							
No.	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	No.	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
1	0.045	-0.054	-0.084	11	-0.065	-0.064	0.062
2	-0.048	0.052	-0.083	12	0.071	0.065	-0.052
3	-0.047	0.058	0.089	13	0.075	0.079	0.058
4	0.049	-0.056	-0.085	14	-0.074	-0.078	0.049
5	-0.047	0.024	0.044	15	0.088	0.089	0.047
6	0.054	0.025	-0.045	16	0.085	-0.086	-0.021
7	0.052	-0.028	0.048	17	-0.082	0.085	0.029
8	-0.058	0.047	0.078	18	0.081	0.096	-0.023
9	0.064	-0.049	-0.072	19	-0.094	-0.092	0.035
10	0.062	0.066	0.074	20	0.095	0.094	0.036
Maximum Deviation(m)					0.095	0.096	0.089
Minimum Deviation(m)					-0.094	-0.092	-0.085
RMSE(m)					0.069	0.068	0.060

정확도 평가 결과 지상 LiDAR는 -0.057~0.059m의 편차를 나타내었으며, dX, dY, dZ 방향으로 0.039m, 0.042m, 0.039m의 RMSE를 나타내었다. 드론 사진측량은 -0.117~0.118m의 편차를 나타내었으며, 0.076m, 0.074m, 0.072m의 RMSE를 나타내었으며, 드론 LiDAR는 -0.094~0.096m의 편차와 0.069m, 0.068m, 0.060m의 RMSE를 나타내었다. 지상 LiDAR가 가장 높은 정확도를 나타내었으며, 드론 LiDAR는 수직 방향에 비해 수평 방향의 정확

도가 낮게 나타나는 경향을 보였다. 이는 색상이 없는 점군 데이터에서 검사점의 좌표를 정확하게 추출하기 어렵기 때문으로 판단된다. 데이터 취득 및 처리 시간으로 비교한 각각의 작업 효율성은 지상 LiDAR에 비해 드론 사진측량 및 드론 LiDAR가 3 배 이상 높은 것으로 나타났다. Table 7은 데이터 취득에 소요된 시간을 나타낸다.

Table 7. Data acquisition & processing time and area

Item	Terrestrial LiDAR	Drone Photogrammetry	Drone LiDAR
Data acquisition time	120minute	50minute	120minute
Data processing time	60minute	240minute	60minute
Data acquisition area	0.4km ²	2km ²	2km ²
Working time(2km ²)	900minute	290minute	180minute

정확도 평가 결과에서 보는 바와 같이 드론 사진측량 및 드론 LiDAR를 이용한 방법 모두 지도제작에 충분한 정확도를 확보할 수 있으므로 측량 및 지도제작 분야에 드론 사진측량 및 드론 LiDAR의 활용이 가능할 것으로 기대된다. Table 8은 1:1,000 수치지형도 구축을 위한 허용정확도이다(Ministry of Government Legislation, 2020).

Table 8. Permissible accuracy for 1:1,000 digital map

Maximum error(m)		
Plane	Contour	Height
0.4	0.6	0.3

평탄성 분석은 연구대상지 도로의 직선구간에 대해 수행되었다. Figs. 11~13는 평탄성 분석 구간에 대한 지상 LiDAR, 드론 사진측량 및 드론 LiDAR 데이터이며, Fig. 14는 데이터 중첩 결과를 나타낸다.

Fig. 13의 빨강색 점군은 지상 LiDAR 데이터이며, 녹색은 드론 사진측량, 회색은 드론 LiDAR 결과를 나타낸다. 평탄성 분석은 각각의 방법으로 구축된 3차원 공간정보에서 대상 구간에 대한 종방향 경사와 횡방향 경사를 추출하였다. 검사점 측량이 수행된 분석 구간에 대해 1m 간격의 격자를 생성하고, 경사도 추출을 위한 수평인 기준면을 생성하여 기준면과의 차이를 나타내는 heatmap을 생성하였다. Figs. 15, 16은 평탄성 분석을 위한 자료처리 과정 중 분석 구간에 대한 1m 격자와 실제 데이터를 이용한 기준면 생성을 나타내며, Figs. 17~19는 heatmap을 나타낸다.

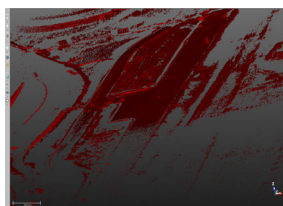


Fig. 11. Roughness analysis area - Terrestrial LiDAR

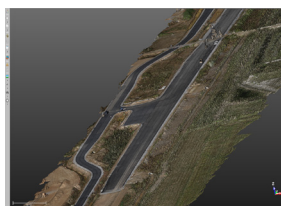


Fig. 12. Roughness analysis area - Drone Photogrammetry

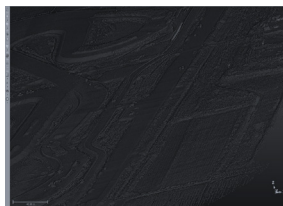


Fig. 13. Roughness analysis area - Drone LiDAR

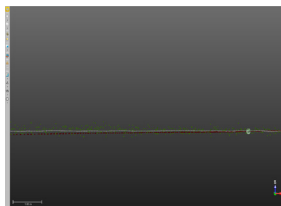


Fig. 14. Data overlap results

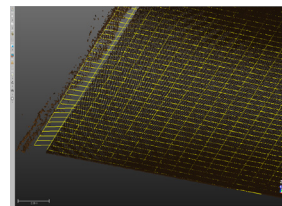


Fig. 15. Grid creation

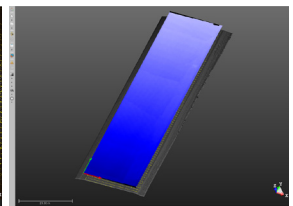


Fig. 16. Horizontal plane Creation

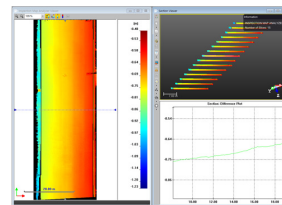


Fig. 17. Heatmap - Terrestrial LiDAR

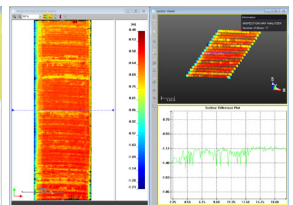


Fig. 18. Heatmap - Drone Photogrammetry

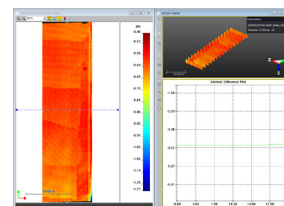


Fig. 19. Heatmap - Drone LiDAR

Figs. 17~19에서 보는 것과 같이 지상 LiDAR와 드론 LiDAR는 평탄한 단면을 나타내었지만 드론 사진측량의 경우 노이즈로 인해 단면에 많은 굴곡이 나타남을 알 수 있었다. 평탄성 분석을 위해 드론 사진측량 데이터의 필터링을 수행하여 노이즈를 감소시켰다. 필터링은 Cloud Compare 소프트웨어를 이용하였으며, SOR (Statistical Outlier Removal) 방법으로 평균거리 추정에 사용한 포인트는 6점이며 standard deviation multiplier threshold는 1Sigma로 설정하였다. 각각의 방법으로 생성된 지형모델을 기반으로 대상 구간에 대한 종방향 및 횡방향의 경사를 계산하였으며, 설계값과 비교하였다. Fig. 20은 평탄성 분석 결과 중 일부이며, Table 9는 평탄성 분석결과와 설계값의 비교를 나타낸다.

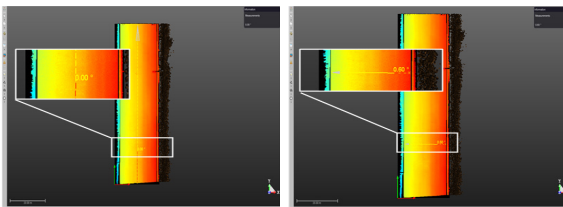


Fig. 20. Roughness analysis result - Terrestrial LiDAR

평탄성 분석 결과 지상 LiDAR는 설계값과 동일한 값을 보였으며, 드론 사진측량과 드론 LiDAR는 다소 차이를 나타내었다. 드론 LiDAR는 종단방향으로 같은 값을 나타내었지만 횡단방향에서 설계값과 차이가 나타났으며, 드론 사진측량은 종단방향과 횡단방향 모두 설계값과 차이를 보였다. 드론 사진측량 및 드론 LiDAR를 통해 구축되는 3차원 공간정보는 측량 및 지도제작 분야에 충분히 활용이 가능하지만 도로의 평탄성 분석과 같은 계측 분야에 활용하기에는 정확도를 향상시킬 수 있는 방안에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 지상 LiDAR에 비해 드론 사진측량 및 드론 LiDAR를 활용하는 방법이 데이터 취득에 소요되는 시간을 크게 감소시킬 수 있으므로 도로 평탄성 분석을 위한 적절한 데이터 취득 및 정확도 향상 방안이 마련된다면 관련 업무 효율성을 크게 향상시킬 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구는 지상 LiDAR, 드론 사진측량 및 드론 LiDAR를 활용하여 도로 노면에 대한 데이터를 취득하고, 각각의 방법에 대한 정확도 및 평탄성 분석을 수행한 것으로 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다. 지상 LiDAR, 드론 사진측량, 드론 LiDAR를 통해 연구대상지에 대한 3차원 공간정보를 구축하고, VRS 방법으로 측량한 검사점과 비교한 정확도 평가를 수행하였다. 정확도 평가 결과 지상 LiDAR는 X, Y, Z 방향으로 각각 0.039m, 0.042m, 0.039m의 RMSE를 나타내었으며 드론 사진측량과 드론 LiDAR는 각각 0.072~0.076m, 0.060~0.068m의 RMSE를 나타내었다. 정확도 평가 결과를 통해 드론 사진측량 및 드론 LiDAR의 측량 및 지도제작 분야 활용성을 제시할 수 있었다. 평탄성 분석을 위해 각각의 방법으로 구축된 3차원 공간정보에서 대상 구간에 대한 종방향 경사와 횡방향 경사를 추출하고, 설계값과 비교를 수행하였다. 평탄성 분석 결과 지상 LiDAR는 설계값과 동일한 경사를 나타내었으며, 드론 사진측량 및 드론 LiDAR의 경우 설계값과 다소 차이를 보였다. 도로의 평탄성 분석과 같은 계측 분야에 드론 사진측량 및 드론 LiDAR를 활용하기 위한 정확도를 향상 방안 연구가 필요하며, 향후 정확도 향상을 통한 활용성을 제시할 수 있다면 드론 사진측량 및 드론 LiDAR를 활용하여 취득에 소요되는 시간을 크게 감소시킬 수 있으므로 관련 업무 효율성 향상이 가능할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2018R1C1B6004021)

Table 9. Comparison of roughness analysis results and design values

Item	Longitudinal slope(degree)	Transverse slope(degree)
Designed	0	0.6
Terrestrial LiDAR	0	0.6
Drone Photogrammetry	0.13	0.33
Drone LiDAR	0.01	0.22

References

- Choi, M.K. (2020), A Study on the Selection of Partial Section Repair Range Using Impact Echo Method, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 22, No. 4, pp. 75-75. (in Korean with English abstract)
- Ha, M.H., Kim, D.H., Shin, H.C., and Choi, J.H. (2019), Benchmarking Highway Maintenance Practices for Standardized Guideline Development, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 20, No. 6, pp. 44-56. (in Korean with English abstract)
- Ham, S.W. and Lee, I.P. (2020), Automatic Generation of Georeferenced Building Facade Ortho-images for Monitoring of Urban Regeneration, *Journal of The Korea Society For Geospatial Information System*, Vol. 28, No. 1, pp. 55-63. (in Korean with English abstract)
- Jung, I.T. and Chong, K.S. (2018), Development of Information Technology Infrastructures through Construction of Big Data Platform for Road Driving Environment, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 3, pp. 669-678. (in Korean with English abstract)
- Lee, B.K. and Park H.K. (2018), Review of High Definition Road Map Utilization for Cadastral Resurvey Project, *Journal of the Korean Association of Cadastre Information*, Vol. 20, No. 1, pp. 97-108. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.W. and Park J.K. (2020), Construction of Tree Management Information Using Point Cloud Data, *Journal of Digital Convergence*, Vol. 18, No. 11, pp. 427-432. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.W. (2020), A Measures to Implements the Conservation and Management of Traditional Landscape Architecture using Aerial Photogrammetry and 3D Scanning, *Journal of the Korean Institute of Traditional Landscape Architecture*, Vol. 38, No. 1, pp. 77-84. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.J. and Kim, J.W. (2018), Improvement of Access Control at Partially Grade-Separated Intersection, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 12, pp. 725-733. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.J. and Yu, Y.G. (2020), A Study for River Change Analysis using Spatial Information and Drone Photogrammetry, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 28, No. 3, pp. 29-37. (in Korean with English abstract)
- Ministry of Government Legislation, Regulation, Public Survey Work Regulations, *Ministry of Government Legislation*. Available From: <https://www.law.go.kr/> (last date accessed: 16 Dec 2020)
- Nam, J.Y. and Kim (2019), M.J., A Study on the Development of BIM Property Classification System in Road and River Field, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 20, No. 2, pp. 773-784. (in Korean with English abstract)
- Oh, Y.K. (2017), A Study on the Survey Methodology in Riverbed Private Use using Integration Drone Photogrammetry and Cadastral Information, *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, Vol. 47, No. 2, pp. 135-144. (in Korean with English abstract)
- Park, C.H., Choi, K.A., and Lee, I.P. (2018), Analysis of Applicability of Land-based MMS Surveying and Aerial Photography Mapping for Precise Road Maps, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 26, No. 1, pp. 37-47. (in Korean with English abstract)
- Park, J.K. and Um, D.Y. (2020), Usability Evaluation of the Drone LiDAR Data for River Surveying, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 21, No. 5, pp. 592-597. (in Korean with English abstract)
- Park, M.C. (2018), A Study on Stability and Economic feasibility according to Height on the MSE Wall with Pacing Panel, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 5, pp. 54-63. (in Korean with English abstract)
- Rhee, J.Y. and Choi, J.J. (2017), Relative Permittivity of Damaged Concrete Bridge Deck According to the Weather Conditions, *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, No. 4, pp. 209-215. (in Korean with English abstract)
- Trimble Inc., products, *SX10*. Available From: <https://www.trimble.com/> (last date accessed: 16 Jan. 2021)
- Wingtra, products, *WingtraOne*. Available From: <https://wingtra.com/mapping-drone-wingtraone/> (last date accessed: 16 Jan. 2021)
- Won, S.Y., Moon, J.Y., Yoon, S.Y., and Choi, Y.S., The Future Direction of HD Map Industry Development Plan and Governance, *Journal of the Korean Association of*

Geographic Information Studies, Vol. 22, No. 3, pp. 120-132. (in Korean with English abstract)

YellowScan, products, *SurveyorUltra*. Available From: <https://www.yellowscan-lidar.com/> (last date accessed: 16 Jan. 2021)

Yoo, S.D. (2020), Drone-based Smart Quarantine Performance Research, *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, Vol. 6, No. 2, pp. 437-447. (in Korean with English abstract)