

# 임도 노선 계획 및 시공 검측을 위한 드론 LiDAR의 활용

박준규<sup>1</sup>, 엄대용<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>서일대학교 건설시스템공학과, <sup>2</sup>한국교통대학교 건설환경도시교통공학부

## Utilization of Drone LiDAR for Route Planning of Forest Road and Construction Inspection

Joon-Kyu Park<sup>1</sup>, Dae-Yong Um<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Seoil University

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation

**요약** 최근 임도는 임업의 디지털화 촉진과 국민의 안전, 휴양 등 공익 목적에 대한 기능이 커지고 있어 필요성과 수요가 더욱 커지고 있다. 본 연구에서는 드론 LiDAR(Light Detection And Ranging)를 이용하여 임도 건설 예정지의 지형 데이터를 취득하고, 시공 전 및 시공 중 데이터를 생성하고 비교 및 분석하였다. 드론 LiDAR 데이터를 이용하여 수목을 제거한 DEM(Digital Elevation Model)이 생성되었으며, 설계자료와 비교를 통해 임도 시공에 대한 토공량을 효과적으로 산정할 수 있었다. 드론 LiDAR를 이용한 토공량 산정은 기존의 수치지형도를 활용하는 방법보다 보다 정확한 토공량을 산출이 가능하기 때문에 설계 자료와 함께 임도의 노선 계획에 활용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 임도의 종단 설계와 비교한 드론 LiDAR의 정확도는 수평 및 수직 방향으로 각각 0.08cm, 0.09cm를 나타내어 「일반측량 작업규정」에서 정하고 있는 토공사 측량의 정확도를 만족하였으며, 이러한 결과는 임도의 시공 검측에 드론 LiDAR의 활용을 제시하는 것이라 할 수 있다. 향후 드론, LiDAR, 인공지능 등의 디지털 기술의 산림 분야 적용은 정확도를 향상시키고, 업무의 효율성을 개선함으로써 산림자원 관리에 크게 기여할 것이다.

**Abstract** Recently, the need and demand for forest roads has increased as forestry mechanization is promoted and the function for public purposes, such as public safety, health, and recreation, is increasing. In this study, data from a forest road construction site were acquired using drone LiDAR (Light Detection And Ranging). The data were generated, compared, and analyzed before and during construction. Using the drone LiDAR data, a DEM (Digital Elevation Model) with the trees removed was produced, and the amount of earthwork for forest road construction could be effectively calculated through a comparison with design data. Because the earthwork volume estimation using drone LiDAR can calculate the earthwork volume more accurately than existing digital topographic maps, it can be used in forest road route planning and design data. In addition, the accuracy of the drone LiDAR compared to the longitudinal design of the forest road was 0.08 cm and 0.09cm in the horizontal and vertical directions, respectively, satisfying the accuracy of earthwork surveying specified in the 「General Survey Work Regulations」. These results are consistent with the construction inspection of forest roads, highlighting the potential use of drone LiDAR. In the future, the application of digital technologies to the forest field, such as drones, LiDAR, and artificial intelligence, will contribute significantly to forest resource management by improving accuracy and work efficiency.

**Keywords** : Forest Road, Geospatial Information, LiDAR, Pointcloud, Route Planning, Volume Calculation

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. ((No. NRF-2021R1F1A1061677))

\*Corresponding Author : Dae-Yong Um(Korea National University of Transportation)

email: dyum@ut.ac.kr

Received December 1, 2023

Revised January 4, 2024

Accepted January 5, 2024

Published January 31, 2024

## 1. 서론

산림 분야에서 임도는 자연환경 보전과 지속가능한 자원 활용을 위해 중요한 역할을 한다[1,2]. 우리나라의 임도는 현재 전국 산림지역에 약 25,000km가 설치되어 있으며, 임업 디지털화 촉진과 국민의 안전, 휴양 등 공익 목적 기능이 커지고 있어 그 필요성과 수요가 더욱 커지고 있다[3-5]. Fig. 1은 우리나라의 임도 현황을 나타낸다[6].



Fig. 1. Forest Road Status

임도는 산림의 관리와 경영을 위한 산림관리의 기반 시설이며, 임산물 생산의 이동뿐만 아니라, 산림 병해충 방제, 산불의 진화, 산림 휴양 및 관광 등 다양한 목적으로 활용되고 있다. 하지만 우리나라는 급속도로 이루어진 산림복원에 비해 임도와 같은 산림경영을 위한 기반 시설은 부족한 실정이다[7-9].

임도의 설치는 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 의하여 10년 단위로 계획을 수립하고 있으며, 임도 시공은 산림 자원의 효율적인 관리를 위해 다양한 기술과 절차를 포함한다. Table 1은 일반적인 임도 시공의 절차를 나타낸다[10,11].

최근 산림분야에서 드론 LiDAR(Light Detection And Ranging)에 대한 관심이 증가하고 있다. 드론 LiDAR는 사람의 접근이 어려운 산림지역의 경사지나 절벽 같은 지역에 대한 공간정보의 취득이 가능하며, 기존의 인력이나 지상측량 장비에 비해 작업에 필요한 인력과 시간을 줄일 수 있는 장점이 있다[12,13]. 하지만 산림 내 임도의 시공 분야에 실제 드론 LiDAR의 적용은

Table 1. Specification of Image Sensor

Step	Description
Planning	Survey forest areas prior to construction of a forest road to determine appropriate location and spacing. Through this, a plan is established that takes into account resource management objectives and terrain.
Leveling	Check the ground slope and soil conditions and, if necessary, level the terrain to provide a suitable foundation.
Deforestation	This is the step of removing trees, and logging is carried out to secure an appropriate forest width. Proper logging methods and safety precautions are taken during this time.
Soil Preparation	Clear the work area by removing soil and removing unnecessary materials to maintain proper soil conditions.
Forest Road Installation	Forest roads are installed using various equipment and machines. At this time, appropriate spacing and direction are maintained, and work is performed taking environmental conservation into consideration.
Pavement and Stabilization	Pave forest roads to prevent soil erosion and increase stability. For this purpose, stones, pebbles, wood chips, etc. can be used.
Maintenance	Even after a forest road is installed, regular maintenance work is required. To ensure efficient management and sustainable use of forest resources, we continuously manage the condition of forest roads and perform necessary repair work.

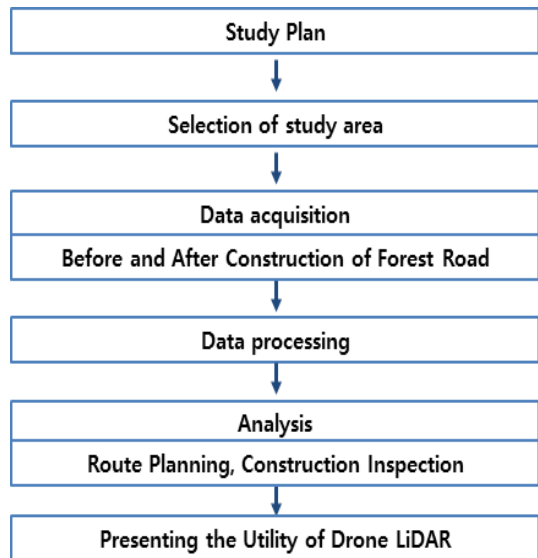


Fig. 2. Study flow

부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 드론 LiDAR를 이용하여 임도 건설 예정지의 데이터를 취득하고, 설계 자료와 비교를 통해 물량을 산출하고, 임도 시공 중 데이터를 취득하여 시공 검측에 활용하고자 하였다. Fig. 2는 연구흐름도를 나타낸다.

## 2. 데이터 취득 및 처리

본 연구에서는 임도 노선계획 및 시공 검측을 위해 강원도 일원의 임도 시공 예정지를 연구대상지로 선정하였다. Fig. 3은 연구대상지를 나타낸다.



Fig. 3. Study Area

연구대상지의 데이터 취득에는 산림지역 내 지면 데이터의 효과적인 생성을 위해 레이저의 반사 횟수가 3회 이상인 드론 LiDAR를 사용하였다. 데이터 취득에 사용된 드론 LiDAR는 Y사의 SurveyorUltra 모델이며, 주요 사양은 다음과 같다[14].



Fig. 4. SurveyorUltra

Table 2. Specification of Image Sensor

Item	Description
Scanner	HesaiXT32M2X
IMU	Applanix APX-15
Range	140m
Precision	3cm
Accuracy	3cm
Echo	3
Points/sec	640,000
FOV	360 degree
Weight	1.32kg
Operation Time	80minute

데이터 취득은 임도시공이 예정된 지역에 대해 수행되었으며, 미션플랜을 통한 자동비행으로 고도 100m에서 총 60분 동안 수행되었다. 드론 LiDAR 자료처리를 위해 좌표 성과를 알고 있는 기지점에 GNSS(Global Navigation Satellite System)를 설치하여 1초 간격으로 정지측량을 수행하였으며, RINEX 형식의 파일을 생성하여 데이터 처리에 이용하였다.

데이터 처리는 A사의 POSPac 소프트웨어를 이용하여 드론의 비행경로를 처리하고, Y사의 Cloud Station으로 대상지역의 포인트클라우드 데이터를 생성하였다. Fig. 5는 자료처리 과정을 나타낸다.

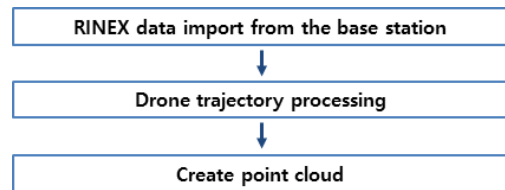


Fig. 5. Data Processing Step

데이터 처리를 통해 연구대상지의 포인트클라우드 데이터를 생성할 수 있었다. 취득된 원본 데이터에는 대상 지역의 지면과 수목에 대한 데이터가 함께 존재하기 때문에 지면을 추출하여 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하였으며, 설계 자료와 효과적인 비교 및 물량산출을 위해 임도 중심선을 기준으로 200m 폭으로 포인트클라우드를 추출하였다. Fig. 6은 임도 시공 전·후의 데이터를 나타낸다.

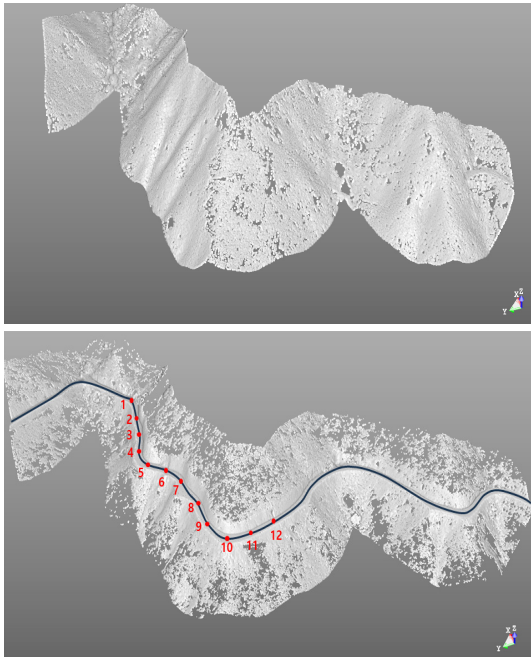


Fig. 6. Data of Before and After Forest Road Construction

### 3. 드론 LiDAR 데이터 활용

기존의 임도 계획 및 설계는 수치지형도를 기반으로 Fig. 7과 같이 일정 간격의 2차원 횡단도면을 생성하였다.

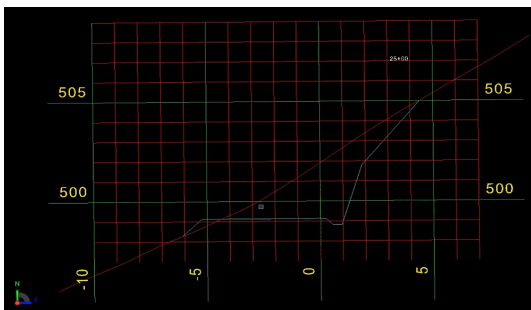


Fig. 7. 2D Design Drawing

본 연구에서는 드론 LiDAR를 통해 취득한 임도 시공 예정지의 자료를 기반으로 2차원 도면을 변환하여 3차원 메쉬 데이터를 생성하였다. Fig. 8은 2차원 도면을 이용한 3차원 메쉬 데이터를 나타낸다.

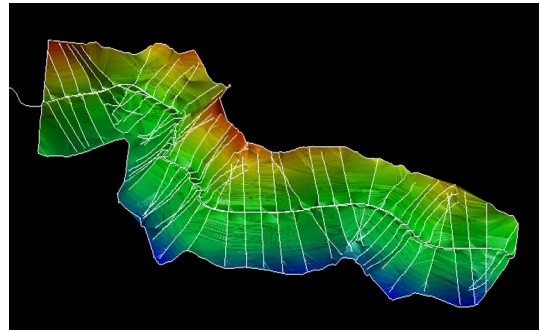


Fig. 8. 3D Mesh Data using 2D Drawings

시공 전 드론 LiDAR 자료와 설계의 비교를 통해 임도 시공을 위한 토공량을 산출하였다. Fig. 9는 메쉬데이터의 비교이며, Table 3은 토공량을 나타낸다.

Table 3. Comparison of Earthwork Volume

Process	Earthwork Volume(m <sup>3</sup> )	
	Fill	Cut
Pre-construction	8,834.4	6,775.2

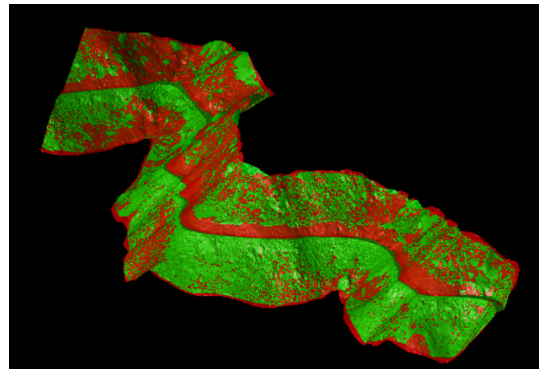


Fig. 9. Comparison of Mesh Data Before and After Forest Road Construction

드론 LiDAR 데이터를 통해 Table 3과 같이 임도 시공에 따른 토공량을 효과적으로 산정할 수 있었으며, 이러한 방법은 기존의 수치지형도를 활용하는 방법 보다 정확한 토공량을 산출할 수 있어 설계 자료와 함께 임도 노선 계획에 활용이 가능할 것이다.

한편, 드론 LiDAR 데이터의 시공검측 활용 가능성을 파악하기 위해 임도 중심선에 대한 좌표성적을 비교하였다. 임도의 종단 설계도와 Fig. 6에서 보는 바와 같이 드론 LiDAR 데이터에서 추출한 중심선 상의 12점에 대해 좌표성적을 비교하여 정확도를 분석하였다. Table 4는

정확도 평가 결과를 나타낸다.

Table 4. Accuracy Analysis of Drone LiDAR Data

No.	Deviation		
	dN(m)	dE(m)	dH(m)
1	0.08	0.07	0.05
2	0.07	0.05	0.08
3	0.08	0.04	0.08
4	0.08	0.05	0.08
5	0.07	0.05	0.09
6	0.08	0.06	0.08
7	0.08	0.04	0.08
8	0.08	0.06	0.07
9	0.06	0.07	0.06
10	0.08	0.06	0.07
11	0.08	0.07	0.08
12	0.07	0.06	0.08
max	0.08	0.07	0.09

드론 LiDAR 데이터의 정확도는 수평 방향으로 0.08cm, 수직 방향으로 0.09cm 이내의 값을 나타내었다. 임도 시공의 정확도를 정하고 있는 규정은 존재하지 않지만 「일반측량 작업규정」에서 정하고 있는[15] 토공사 측량의 정확도인 10cm 이내를 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 드론 LIDAR를 통한 임도의 시공 검측이 가능함을 제시하는 것이라 할 수 있다. 향후 드론, LiDAR, 인공지능 등의 디지털 기술의 산림 분야 적용은 효율적인 산림자원 관리에 크게 기여할 것이다.

#### 4. 결론

본 연구는 드론 LiDAR를 이용하여 임도 건설 예정지의 데이터를 취득하고, 시공 전 및 시공 중 데이터를 생성하고 비교 및 분석한 것으로 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 드론 LiDAR 데이터를 이용하여 수목을 제거한 연구 대상지의 DEM이 생성되었으며, 설계 자료와 비교를 통해 임도 시공에 따른 토공량을 효과적으로 산정할 수 있었다. 이러한 방법은 수치지형도를 활용하는 것 보다 정확한 토공량을 산출할 수 있기 때문에 설계 자료와 함께 임도 노선 계획에 활용이 가능할 것이다.
2. 임도의 종단 설계와 비교한 드론 LiDAR 데이터의 정확도는 수평 및 수직 방향으로 각각 0.08cm, 0.09cm를 나타내어 「일반측량 작업규정」에서 정

하고 있는 토공사 측량의 정확도를 만족하였으며, 이러한 결과는 임도의 시공 검측에 드론 LiDAR의 활용이 가능함을 확인하였다.

3. 향후 드론, LiDAR, 인공지능 등의 디지털 기술의 산림 분야 적용은 정확도를 향상시키고, 업무의 효율성을 개선함으로써 산림자원 관리에 크게 기여할 것이다.

#### References

- [1] K. W. Lee, J. K. Park, "MMS Data Accuracy Evaluation by Distance of Reference Point for Construction of Road Geospatial Information", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.39, No.6, Dec. 2021, pp. 549-554. DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2021.39.6.549>
- [2] K. W. Lee and J. K. Park, "Evaluation of Utilization of Unmanned Aerial Laser Surveying System for Road Geospatial Data Set Construction and Inspection", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.40, No.6, Dec. 2022, pp. 513-519. DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2022.40.6.513>
- [3] D. S. Kim, B. J. Kim, M. K. Lee, and H. K. Park, "A study on the Construction of Geospatial Importation of Forest Road using Mobile Mapping System", *Journal of The Korean Cadastre Information Association*, Vol.24, No.2, Aug. 2022, pp. 30-39. DOI: <https://doi.org/10.46416/JKCIA.2022.08.24.2.30>
- [4] H. J. Lee, J. J. Lee, H. S. Yun, "Strategic Utilization Plan Research of Spatial Data for Disaster Management on Slope Hazard Areas", *Journal of the Korean Society for Geospatial Science*, Vol.28, No.4, Dec. 2019, pp. 69-78. DOI: <https://doi.org/10.7319/kogsis.2020.28.4.069>
- [5] D. G. Yeom, J. S. Ryu, K. P. Bae, and B. J. Park, "A Study on the Forest Welfare Policies in Republic of Korea: Focusing on the Analysis Framework of Gilbert and Terrell", *The Journal of Korean institute of Forest Recreation*, Vol.26, No.2, Aug. 2022, pp. 1-16. DOI: <http://doi.org/10.34272/forest.2022.26.2.001>
- [6] Korea Forest Service, FGIS, [Internet]. map. Available From: <https://map.forest.go.kr/forest/> (accessed December, 11, 2023)
- [7] H. C. Sung, Y. Y. Chu, and S. W. Jeon, "Study on Application Plan of Forest Spatial Information Based on Unmanned Aerial Vehicle to Improve Environmental Impact", *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, Vol.22, No.6, Dec. 2019, pp. 63-76. DOI: <https://doi.org/10.13087/kosert.2019.22.6.63>
- [8] H. S. Kim, S. W. Moon, and Y. S. Seo, "Analysis of Factors Influencing Landslide Occurrence along a

Forest Road Near Sangsan Village, Chungju, Korea”, *The Journal of Engineering Geology*, Vol.32, No.1, Mar. 2022, pp. 73-83.

DOI: <https://doi.org/10.9720/kseg.2022.1.073>

- [9] D. G. Yeom, J. S. Ryu, K. P. Bae, and B. J. Park, “A Study on the Forest Welfare Policies in Republic of Korea: Focusing on the Analysis Framework of Gilbert and Terrell”, *The Journal of Korean Institute of Forest Recreation*, Vol.26, No.2, Aug. 2022, pp. 1-16.  
DOI: <http://doi.org/10.34272/forest.2022.26.2.001>
- [10] H. C. Sung, Y. Y. Chu, and S. W. Jeon, “Study on Application Plan of Forest Spatial Information Based on Unmanned Aerial Vehicle to Improve Environmental Impact”, *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, Vol.22, No.6, Dec. 2019, pp. 63-76.  
DOI: <https://doi.org/10.13087/kosert.2019.22.6.63>
- [11] L. G. Do, C. J. Kim, and H. S. Kim, “Improved Georeferencing of a Wearable Indoor Mapping System Using NDT and Sensor Integration”, *Korean Society Of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.38, No.5, Oct. 2020, pp. 425-433.  
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2020.38.5.425>
- [12] J. S. Hwang, K. H. Lee, and B. Y. Jim “Assessment of Running Speed of Large Logging Trucks on the Forest Road Structure”, *Journal of korean society of forest science*, Vol.110, No.4, Dec. 2021, pp. 622-629.  
DOI: <https://doi.org/10.14578/jkfs.2021.110.4.622>
- [13] E. J. Kim, “Validity Evaluation of the Criteria on Forest Growing Stock”, *Ilkam Real Estate Law Review*, Vol.24, No.4, Feb. 2022, pp. 15-25.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2022.23.4.015>
- [14] YellowScan, products, [Internet]. YellowScan. Available From: <https://www.yellowscan.com/> (accessed December, 13, 2023)
- [15] Korean Law Information Center, Law Search, [Internet]. Ministry of Government Legislation. Available From: <https://www.law.go.kr/> (accessed December, 15, 2023)

엄 대 용(Dae-Yong Um)

[정회원]



- 1997년 2월 : 충남대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)

• 2004년 4월 ~ 현재 : 한국교통대학교 건설환경도시 교통공학부 교수

<관심분야>

지형공간정보공학, 사진측량학

박 준 규(Joon-Kyu Park)

[종신회원]



- 2001년 2월 : 충남대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 건설시스템공학과 부교수

<관심분야>

지형공간정보공학