

임도 건설을 위한 산림공간정보 구축의 레이저 스캐닝 기술 활용성 평가

박준규¹, 이근왕^{2*}

¹서일대학교 건설시스템공학과, ²청운대학교 멀티미디어학과

Usability Evaluation of Laser Scanning Technology in Establishing Forest Geospatial Information for Forest Road Construction

Joon-Kyu Park¹, Keun-Wang Lee^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Seoil University

²Department of the Multimedia Science, Chungwoon University

요약 최근 공간정보는 스마트 산림경영과 임업 자동화의 촉진 등 공익적 역할 증가와 함께 그 필요성이 더욱 증가하고 있다. 임도의 설계는 기본조사, 현지측량, 도면제도 등의 순으로 이루어지며, 임도의 시공을 위한 기초자료로 이용된다. 임도 설계를 위한 현지 측량은 사람의 접근이 용이하지 않은 한계가 있고, 예산의 부족으로 인해 정밀한 측량이 이루어지지 못해 설계도면과 현장의 차이가 발생하거나 이로 인한 시공의 문제점이 있었다. 이에 본 연구에서는 드론에 탑재한 3D 레이저 스캐너를 이용하여 산림지역의 공간정보를 구축하고, 산림지역 도로 및 시설물 도면 생성 및 활용 방안을 제시하고자 하였다. 연구를 통해 구축된 데이터의 정확도 분석 결과, 정확도는 수평방향으로 0.01~0.08m, 수직 방향으로 0.01~0.05m를 나타내었다. 수평 방향에 비해 수직 방향의 정확도가 높은 값을 나타내었으며, 수치지형도를 활용하는 경우 수 m의 오차가 발생할 수 있음을 고려할 때 3D 레이저 스캐너를 활용한 방법이 보다 정밀한 산림공간정보 구축이 가능함을 알 수 있었다. 연구를 통해 생성된 포인트클라우드 형태의 데이터는 대상지역에 대한 형상을 가지고 있어 단면도의 생성이 가능하였으며, 횡단면도를 효과적으로 구축할 수 있었으며, 대상 지역의 가시성 높은 3차원 표현이 가능하였다. 연구를 통해 구축된 포인트클라우드 데이터는 효과적으로 3차원 형태의 도면을 생성할 수 있어 향후 스마트 컨스트럭션, 시공 자동화 등에 활용이 가능할 것이다.

Abstract Recently, the need for forest roads has increased along with their increasing public interest role, such as promoting smart forest management and forestry automation. Forest roads are designed in the order of basic survey, field survey, and drawing system and are used as basic data for constructing a forest road. Local surveying for forest road design has limitations because it is not easily accessible to people, and precise surveying has not been possible due to a lack of budget, resulting in differences between design drawings and the site or problems in construction. Accordingly, this study attempted to establish spatial information about forest areas using a 3D laser scanner mounted on a drone and propose ways to generate and utilize drawings of roads and facilities in forested areas. An analysis of the accuracy of the data constructed through research, the accuracy was 0.01 to 0.08 m in the horizontal direction and 0.01 to 0.05 m in the vertical direction. The accuracy in the vertical direction was higher than that in the horizontal direction, and considering that errors of several meters may occur when using digital topographic maps. The method using a 3D laser scanner could provide more precise forest spatial information. The point cloud-type data generated through the study had the shape of the target area, making it possible to produce a cross-sectional view, effectively construct a cross-sectional view, and enable a three-dimensional representation of the target area with high visibility. The point cloud data built through research can generate 3D drawings and be used in future smart construction and construction automation.

Keywords : Design, Drone, Forest, Geospatial Information, LiDAR, Point Cloud

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

*Corresponding Author : Keun-Wang Lee(Chungwoon University)

email: kwlee@chungwoon.ac.kr

Received October 4, 2023

Revised November 2, 2023

Accepted November 3, 2023

Published November 30, 2023

1. 서론

산림 내 설치되는 임도는 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」 제9조 “산림관리기반시설의 설치 등”에 의하여 산림의 생산기반 확립과 공익적 기능을 증진하고 산불 예방·진화시설 등 산림 기능을유지하고 보호하기 위한 시설로 전국의 임도는 같은 법 제5조 “산림관리기반시설의 범위 및 기준 등”에서 10년 단위로 계획을 수립하고 있다[1-3]. 1960년대 중반부터 설치되기 시작한 임도는 현재 약 25,000km가 설치되어 있다[4,5]. 이러한 임도는 최근 스마트 산림경영과 임업 자동화의 촉진 등 공익적 역할 증가와 함께 그 필요성이 더욱 증가하고 있다[6-8]. 임도의 건설은 노선 선정, 현지조사, 설계, 시공 등의 단계로 이루어지며, 지속적인 유지관리가 필요하다. 이 단계 중 임도의 설계는 기본조사, 현지측량, 도면제도 등의 순으로 이루어지며, 임도의 시공을 위한 기초자료로 이용된다[9,10]. Fig. 1은 임도의 설계 과정을 나타낸다.

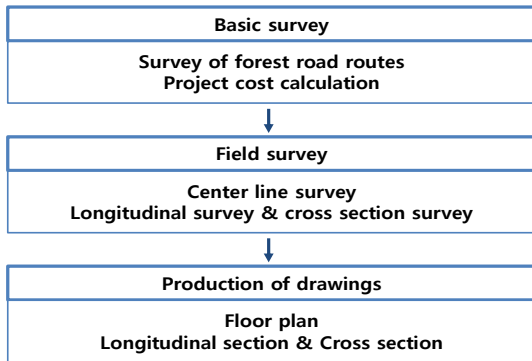


Fig. 1. Forest Road Detailed Design Process

임도 설계를 위한 현지 측량은 사람의 접근이 용이하지 않은 한계가 있고, 예산의 부족으로 인해 정밀한 측량이 이루어지지 못해 설계도면과 현장의 차이가 발생하거나 이로 인한 시공의 문제점이 있었다[11-13]. 한편, 최근 산림분야에서 3D 레이저 스캐닝 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 드론에 탑재한 3D 레이저 스캐너는 사람이 직접 접근하지 못하는 경사지, 절벽 같은 위험한 산지에 대한 정보의 수집이 가능하며, 기존 방법이 많은 인력과 시간이 소요되고, 측정 장비를 이용한 간접 측정에 의해 오차가 발생하는 등 기존 조사 방법의 단점을 보완할 수 있을 것으로 기대되고 있다[11-13]. 이에 드론에 탑재한 3D 레이저 스캐너를 이용하여 산림지역의 공간정보를 구축하고, 산림지역 도로 및 시설물 도면 생성 및 활용 방안을 제시하고자 하였다.

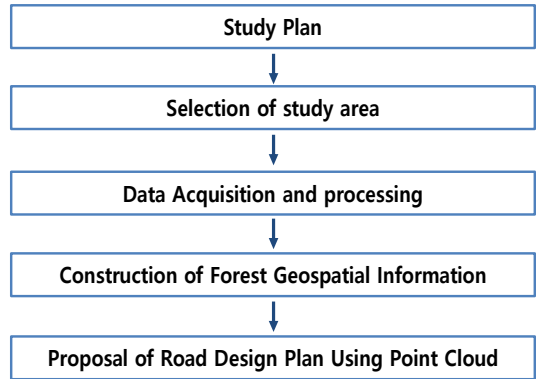


Fig. 2. Study Flow

2. 데이터 취득 및 처리

본 연구에서는 산림지역의 도로 및 시설물 건설을 위한 산림공간정보 구축을 위해 드론 탑재형 3D 레이저 스캐너를 활용하였다. 연구에 사용된 3D 레이저 스캐너는 G사의 X3모델이며, 약 200m까지 데이터 취득이 가능하다. Table 1은 드론 탑재형 3D 레이저 스캐너의 사양을 나타낸다[14].

Table 1. Specification of Equipment

Item	Description
Detection Range	190m @ 10% reflectance
Dimensions	136*106*129mm
Weight	1.25kg
System Accuracy	5cm @ 70m
Scan Rate	720,000 points/s
Field of View	70.4°(Horizontal) × 4.5° (Vertical)



Fig. 3. Study Area

데이터 취득을 위한 연구대상지는 경기도 일원으로 산림 지역에 도로를 포함한 시설물 건설이 예정되어 있다. Fig. 3은 연구대상지를 나타낸다.

드론 탑재형 3D 레이저 스캐너를 이용한 데이터 취득은 가로 2km, 세로 1km 구간에 대해 수행되었으며, PPK(Post Processed Kinematic) 방법으로 데이터가 취득되었다. 비행은 총 6회에 걸쳐 수행되었으며, 비행 시간은 2시간이 소요되었다. 3D 레이저 스캐너의 데이터 처리는 비행궤적 처리, 포인트클라우드 생성, 컬러 포인트클라우드 생성의 단계로 수행되었으며, 데이터 처리를 통해 컬러 값을 가지는 포인트클라우드가 생성되었다. Fig. 4는 컬러 포인트클라우드를 나타낸다.



Fig. 4. Color Point Cloud

드론과 3D 레이저 스캐너를 통해 취득된 데이터는 컬러 값을 가지는 포인트클라우드 형태의 결과물 생성이 가능하였으며, 이 데이터는 절대 좌표를 가지고 있기 때문에 기존의 현지 조사와 측량을 통해 얻어지는 도면 생성에 활용이 가능하다.

3. 데이터의 활용

본 연구에서는 산림지역의 도로 및 시설물 건설을 위한 포인트클라우드 데이터의 활용 방안을 제시하기 위해 정확도를 분석하고, 성과물을 활용한 도면을 생성하였다. 정확도 분석은 드론 탑재형 3D 레이저 스캐너를 통해 구축된 데이터와 GNSS(Global Navigation Satellite System)을 통해 취득된 검사점 좌표를 비교하였다. 정확도 분석은 검사점 10개에 대해 이루어졌다. Fig. 5는 검사점의 위치이며, Table 2는 정확도 분석 결과를 나타낸다.

Table 2. Result of accuracy evaluation

No.	dN(m)	dE(m)	dH(m)
1	0.06	0.08	0.05
2	0.03	0.02	0.04
3	0.03	0.04	0.05
4	0.05	0.02	0.05
5	0.04	0.05	0.02
6	0.05	0.06	0.01
8	0.04	0.05	0.02
9	0.02	0.04	0.04
0	0.05	0.04	0.03
10	0.05	0.02	0.03
min	0.02	0.02	0.01
max	0.06	0.08	0.05
RMSE	0.01	0.02	0.01

드론 탑재형 3D 레이저 스캐너의 정확도는 수평방향으로 0.01~0.08m, 수직 방향으로 0.01~0.05m를 나타내었다. 수평 방향에 비해 수직 방향의 정확도가 높은 값을 나타내었으며, 수치지형도를 활용하는 경우 수 m의 오차가 발생할 수 있음을 고려할 때 3D 레이저 스캐너를 활용한 방법이 보다 정밀한 산림공간정보 구축이 가능함을 알 수 있다.

한편, 연구를 통해 생성된 포인트클라우드 형태의 데이터는 대상지역에 대한 형상을 가지고 있어 단면도의 생성이 가능하다. 포인트클라우드 데이터에서 산림지역의 식생을 제거하고, 지면에 대한 데이터를 이용해 20m 간격으로 횡단도면을 작성하였다. Fig. 5는 횡단도면의 일부를 나타낸다.

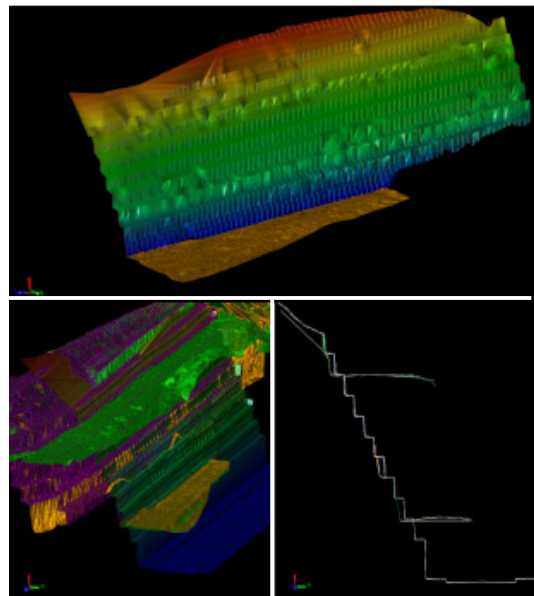


Fig. 5. Cross Section

정확도 분석 결과에서 보는 바와 같이 3D 레이저 스캐너에 의한 포인트클라우드 데이터의 활용은 기존 인력에 의한 조사 및 측량 방법보다 정밀한 산림공간정보의 구축이 가능하다. 한편, 포인트클라우드 데이터와 사진을 이용하여 시공 현장을 3차원으로 표현하는 것도 가능하므로 가시성 높은 데이터를 생성할 수 있다.



Fig. 6. Visualization Data

포인트클라우드 데이터는 연구대상지의 현지조사와 측량에 활용이 가능하며, 이를 활용한 도면의 생성이 가능하였다. 연구를 통해 구축된 정밀한 포인트클라우드 데이터를 활용하여 공사가 진행 중인 현장의 3차원 도면을 생성하였다. Fig. 7은 기존 도면과 연구를 통해 생성된 3차원 도면의 비교를 나타낸다.

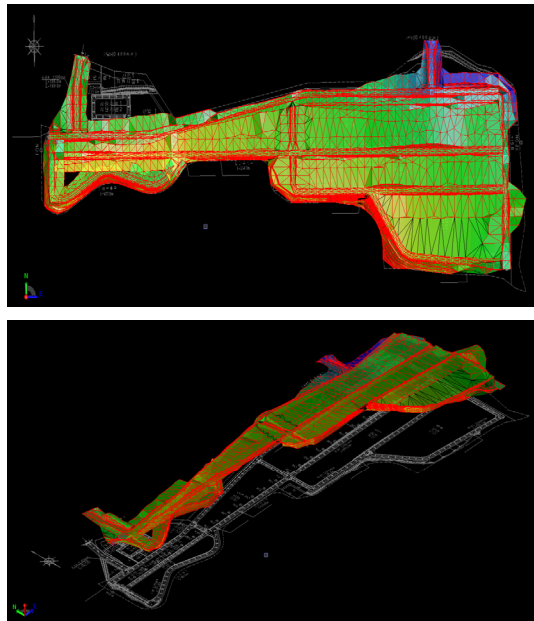


Fig. 7. Comparison of Existing Drawings with 3D Drawings Created through Research

기존의 설계도면은 2차원의 평면도와 종단면도, 횡단면도로 제작되었다. 하지만 최근 스마트 건설력선과 시공 자동화에 요구되는 3차원 데이터에는 적절하지 않은 형태이다. 반면, 연구를 통해 구축된 포인트클라우드 데이터는 효과적으로 3차원 형태의 도면을 생성할 수 있다. Fig. 8은 포인트클라우드를 통해 생성된 3차원 형태의 도면을 나타낸다.

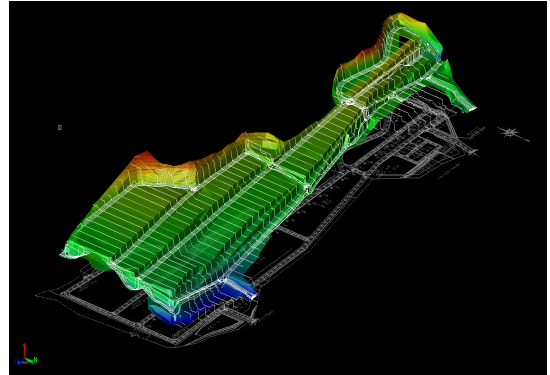


Fig. 8. 3D Drawing Created through Point Cloud

4. 결론

본 연구는 드론에 탑재한 3D 레이저 스캐너를 이용하여 산림지역의 공간정보를 구축하고, 산림지역 도로 및 시설물 도면 생성 및 활용 방안을 제시하고자 하였다.

1. 드론에 탑재한 3D 레이저 스캐너를 통해 2km² 면적의 연구대상지에 대한 데이터를 짧은 시간에 취득할 수 있었으며, 자료처리를 통해 컬러 값을 가지는 포인트클라우드 형태의 결과물 생성이 가능하였다.
2. 구축된 데이터의 정확도 분석 결과, 정확도는 수평 방향으로 0.01~0.08m, 수직 방향으로 0.01~0.05m를 나타내었다. 수평 방향에 비해 수직 방향의 정확도가 높은 값을 나타내었으며, 수치지형도를 활용하는 경우 수 m의 오차가 발생할 수 있음을 고려할 때 3D 레이저 스캐너를 활용한 방법이 보다 정밀한 산림공간정보 구축이 가능함을 알 수 있었다.
3. 연구를 통해 생성된 포인트클라우드 형태의 데이터는 대상지역에 대한 형상을 가지고 있어 단면도의 생성이 가능하였으며, 20m 간격의 횡단면도를 효과적으로 구축할 수 있었으며, 사진과 포인트클라

우드를 이용해 대상 지역의 가시성 높은 3차원 표현이 가능하였다.

4. 연구를 통해 구축된 포인트클라우드 데이터는 효과적으로 3차원 형태의 도면을 생성할 수 있어 향후 스마트 컨스트럭션, 시공 자동화 등에 활용이 가능할 것이다.

References

- [1] S. W. Lww and C. H. Lim, "Exploring the Priority Area of Policy-based Forest Road Construction using Spatial Information", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 25, No.4, Dec. 2022, pp. 94-106.
DOI: <https://doi.org/10.11108/kagis.2022.25.4.094>
- [2] J. S. Hwang, K. H. Lee, and B. Y. Ji, "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. 2022, pp. 622-629.
DOI: <https://doi.org/10.14578/jkfs.2021.110.4.622>
- [3] Korean Law Information Center, Law search, [Internet]. Ministry of Government Legislation. Available From: <https://www.law.go.kr/> (accessed Oct, 1, 2023)
- [4] 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>
- [5] 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>
- [6] 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>
- [7] 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/JKCA.2022.08.24.2.30>
- [8] S. W. Lee and C. H. Lim, "Exploring the Priority Area of Policy-based Forest Road Construction using Spatial Information", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol.25, No.4, Dec. 2022, pp. 94-106.
DOI: <https://doi.org/10.11108/kagis.2022.25.4.094>
- [9] H. J. Lee, J. J. Lee, and H. S. Yun, "Strategic Utilization Plan Research of Spatial Data for Disaster Management on Slope Hazard Areas", *The Korea Society For Geospatial Information System*, Vol.28, No.4, Dec. 2020, pp. 69-78.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2020.28.4.069>
- [10] 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>
- [11] H. Zhang, J. Zhu, C. Wand, H. Lin, J. Long, L. Zhao, H. Fu, and Z. Liu, "Forest Growing Stock Volume Estimation in Subtropical Mountain Areas Using PALSAR-2 L-Band PolSAR Data", *Forests*, Vol.10, No.3, Mar. 2019, pp. 1-22.
DOI: <https://doi.org/10.3390/f10030276>
- [12] 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>
- [13] 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>
- [14] Green Vally International, products, [Internet]. GVI. Available From: <https://www.greenvalleyintl.com/> (accessed October, 02, 2023)

박 준 규(Joon-Kyu Park)

[중신회원]



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

<관심분야>

지형공간정보공학

이 근 왕(Keun-Wang Lee)

[종신회원]



- 1993년 2월 : 한밭대학교 전자계산학과 (공학사)
- 1996년 : 송실대학교 컴퓨터학과 (공학석사)
- 2000년 : 송실대학교 컴퓨터학과 (공학박사)
- 2001년 2월 ~ 현재 : 청운대학교 멀티미디어학과 교수

〈관심분야〉

멀티미디어 통신, 멀티미디어 응용, 모바일 통신