

다양한 3D 레이저 스캐닝 방법에 의한 임도건설용 산림공간정보 구축의 활용성 평가

박준규¹, 이근왕^{2*}

¹서일대학교 건설시스템공학과, ²청운대학교 멀티미디어학과

Evaluation of the Usability of Establishing Forest Geospatial Information for Forest Road Construction Using Various 3D Laser Scanning Methods

Joon-Kyu Park¹, Keun-Wang Lee^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Seoil University

²Department of the Multimedia Science, Chungwoon University

요약 우리나라는 1965년부터 전국 산림에 임도를 설치하고 있으며, 현재 24,929km의 임도가 설치되어 있으며, 산림의 효율적인 경영과 임업기계화 등의 역할이 커짐에 따라 필요성이 점점 증가하고 있다. 하지만 산림지역의 특성상 접근이 용이하지 않은 한계가 있고, 정밀한 측량이 이루어지지 못해 설계도면과 현장의 차이가 발생하는 문제가 발생하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 지상형, 드론 탑재형, 차량 탑재형 3D 레이저 스캐너를 이용하여 산림공간정보를 구축하고, 산림공간정보 구축을 위한 정확도 및 효율성을 분석하였다. 각각의 방법을 통해 포인트클라우드 기반의 산림공간정보를 구축하였으며, 정확도 분석 결과 지상형 3D 레이저 스캐너가 최대 0.02m로 가장 높은 정확도를 나타내었으며, 드론 및 차량 탑재형 3D 레이저 스캐너는 0.1m 이내의 정확도를 나타내었다. 이러한 결과는 건설공사 측량의 정확도 이내의 값으로 임도 건설에 포인트클라우드 기반 산림공간정보의 활용성을 제시하는 것이라 할 수 있다. 지상형 3D 레이저 스캐너는 비교적 높은 정확도를 가지고 있지만 데이터 취득에 소요되는 시간이 크고, 임도가 건설되기 전 현장에 접근이 어려운 단점이 있어 임도 시공 검사에 적절할 것으로 판단된다. 드론 탑재형 3D 레이저 스캐너는 비교적 짧은 시간에 넓은 지역의 데이터 취득이 가능하며, 접근성도 높아 임도의 설계에 활용이 가능할 것이다. 3D 레이저 스캐너는 포인트클라우드 기반의 정밀한 산림공간정보 구축이 가능하므로 임도의 설계 및 시공관리에 적용이 가능할 것이며, 관련 업무의 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다.

Abstract South Korea has been installing forest roads across the country since 1965 and currently has 24,929 km of these roads. The need for them is increasing as the role of efficient management of forests and forestry mechanization increases. However, due to the nature of a forest area, there are limitations to access, and precise measurements cannot be made. This is causing problems such as differences between design drawings and the site. Accordingly, in this study, forest geospatial information was constructed using Terrestrial LiDAR (light detection and ranging), drone LiDAR, and MMS (mobile mapping system), and the accuracy and efficiency of constructing forest geospatial information were analyzed. Point cloud-based forest geospatial information was constructed through each method. As a result of an accuracy analysis, the terrestrial 3D laser scanner showed the highest accuracy at a maximum of 0.02 m, and the drone LiDAR and MMS had accuracy of less than 0.1 m. These results are within the accuracy range needed for construction surveying and indicate the possibility of using point cloud-based forest geospatial information in forest road construction. Terrestrial 3D laser scanners have relatively high accuracy, but the time required to acquire data is large, and it is difficult to access the site before the forest road is constructed, so it is considered appropriate for forest road construction inspection. The drone LiDAR can acquire data from a large area in a relatively short period of time, and its accessibility is high, so it can be used for the design of forest roads. The 3D laser scanner is capable of constructing precise forest geospatial information based on a point cloud, so it can be applied to forest road design and construction management and can improve the efficiency of related work.

Keywords : 3d Laser Scanner, Drone, Forest Road, Mobile Mapping System, 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 September 13, 2023

Revised October 4, 2023

Accepted October 6, 2023

Published October 31, 2023

1. 서론

임도는 산불예방, 목재생산, 숲가꾸기 등 산림경영을 목적으로 산지에 개설되는 도로를 말한다[1-3]. 우리나라는 1965년부터 전국 산림에 임도를 설치하고 있으며, 현재 24,929km의 임도가 설치되었다[4-6]. 한편 임도는 산림의 효율적인 경영과 함께 임업의 자동화 촉진, 국민 보건 향상 등 공익 목적의 역할이 증가함에 따라 필요성이 더욱 커지고 있다[7-9]. 보통 임도의 건설은 노선의 선정, 측량, 설계 및 시공, 유지관리 등의 단계로 이루어진다. 기존의 임도에 대한 노선측량은 컴퍼스를 이용한 간략측량을 실시해 왔으며, 수치지형도를 바탕으로 설계도를 작성하였다[10-12]. 그러나 설계 및 시공의 과정에서 산림지역의 특성상 접근이 용이하지 않은 한계가 있고, 예산의 부족으로 인해 정밀한 측량이 이루어지지 못해 설계도면과 현장의 차이가 발생하거나, 준공 후의 건설된 임도 여기 설계 도면과 일치하지 않는 문제가 있어왔다[13,14]. 하지만 산림지역에서 정밀한 공간정보 구축을 위한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 지상형, 드론 탑재형, 차량 탑재형 3D 레이저 스캐너를 이용하여 산림공간정보를 구축하고, 산림공간정보 구축을 위한 정확도 및 효율성을 분석하고자 하였다. Fig. 1은 연구흐름도를 나타낸다.

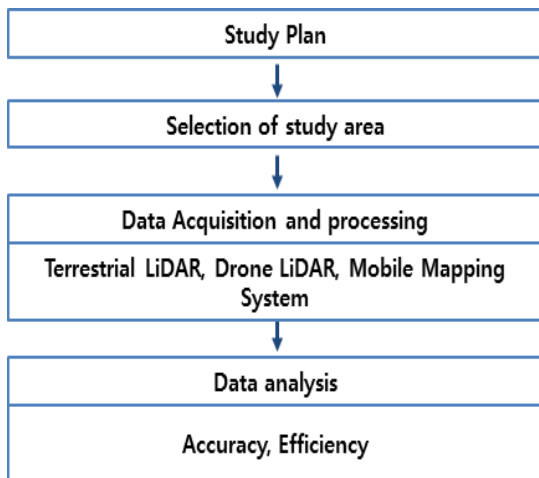


Fig. 1. Study Flow

2. 데이터 취득 및 처리

본 연구에서는 포인트클라우드 기반의 산림공간정보

구축을 위해 지상형, 드론 탑재형, 차량 탑재형 3D 레이저 스캐너를 이용해 임도의 산림공간정보를 취득하였다. 데이터 취득은 강원도 일원의 산림지역을 대상으로 수행되었다. Fig. 2는 연구대상지를 나타낸다.

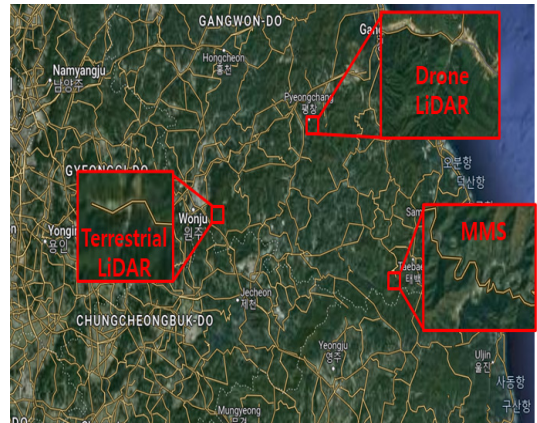


Fig. 2. Study Area

연구대상지의 데이터 취득에 사용된 장비는 T사의 X7, 3D 레이저 스캐너, Y사의 Mapper+, T사의 MX50이며, Table 1은 장비의 사양을 나타낸다[15,16].

Table 1. Specification of Equipment

Item	X7	Mapper+	MX50
Scan Speed	500,000 points/sec	240,000 points/sec	240 lines/sec
Weight	5.8kg	1.3kg	23kg
Maximum Range	80m	100m	80m
Accuracy	±0.003m	±0.03m	±0.02m
Operating Temperature	-20~50°C	-20~40°C	0~40°C
Data Acquisition Method	Operating on the ground	Mounted on a drone and operated	Mounted on a car and operated

지상형 3D 레이저 스캐너를 통한 데이터 취득은 100m 구간으로 6회의 스캐닝을 통해 이루어졌다. 데이터 취득에는 이동 및 장비의 설치 시간을 포함 총 1시간이 소요되었다. 데이터 처리는 6개 스캐닝 데이터의 정합을 수행하고, georeferencing을 위해 토털 스테이션으로 취득된 3개의 지상기준점 데이터를 이용하였다. 지상형 3D 레이저 스캐너를 통해 구축된 산림공간정보는 Fig. 3과 같다.

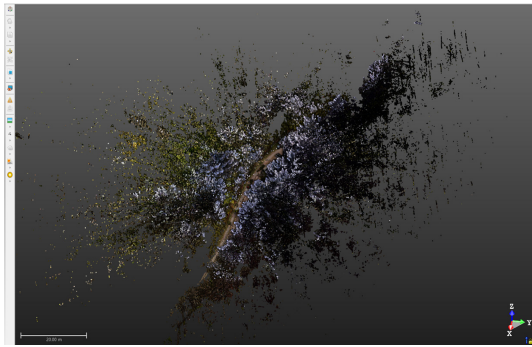


Fig. 3. Forest geospatial information by terrestrial LiDAR

드론 탑재형 3D 레이저 스캐너를 이용한 데이터 취득은 1km 구간에 대해 수행되었으며, 지상에 GNSS(Global Navigation Satellite System) 기준국을 설치하고, 1시간에 걸쳐 데이터를 취득하였다. 데이터 처리는 비행계획적 처리와 포인트클라우드 생성의 단계로 수행되었다. 드론 탑재형 3D 레이저 스캐너를 통한 데이터 취득에는 40분이 소요되었다. 드론 탑재형 3D 레이저 스캐너를 통해 구축된 산림공간정보는 Fig. 4와 같다.

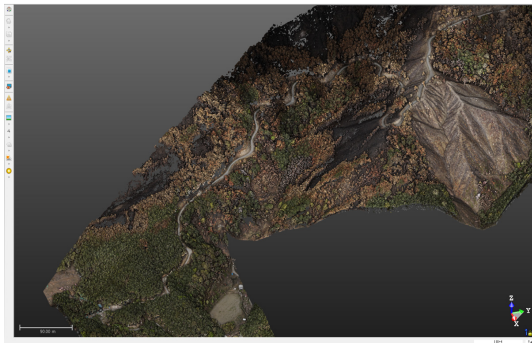


Fig. 4. Forest geospatial information by drone LiDAR

차량 탑재형 3D 레이저 스캐너를 통한 데이터 취득은 1km 구간에서 30분 동안 수행되었다. 취득된 데이터는 국토지리정보원에서 운용하는 위성기준점을 이용하여 경로처리를 수행하고, 포인트클라우드 데이터를 생성하였다. Fig. 5는 차량 탑재형 3D 레이저 스캐너를 통해 구축된 산림공간정보를 나타낸다.

지상형, 드론 탑재형, 차량 탑재형 3D 레이저 스캐너를 통해 취득된 데이터는 처리를 통해 절대 좌표를 가지는 포인트클라우드 형태의 성과물 생성이 가능하였다.

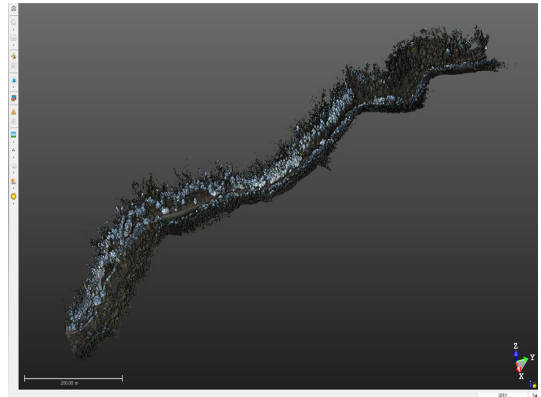


Fig. 5. Forest geospatial information by MMS

3. 데이터 분석

본 연구에서는 각각의 방법으로 구축된 산림공간정보의 활용성을 제시하기 위해 정확도 및 효율성을 분석하였다. 산림공간정보의 정확도 분석은 지상형, 드론 탑재형, 차량 탑재형 3D 레이저 스캐너를 통해 구축된 데이터와 토털스테이션을 통해 취득된 검사점의 성과를 비교하였다. Table 2는 정확도 평가 결과를 나타낸다.

Table 2. Result of accuracy evaluation

No.	Terrestrial LiDAR		
	dN(m)	dE(m)	dH(m)
1	0.02	0.01	0.01
2	0.01	0.01	0.02
3	0.02	0.01	0.01
4	0.03	0.01	0.01
5	0.02	0.02	0.01
min	0.01	0.01	0.01
max	0.02	0.02	0.02
No.	Drone LiDAR		
	dN(m)	dE(m)	dH(m)
1	0.09	0.07	0.10
2	0.08	0.06	0.08
3	0.07	0.05	0.07
4	0.08	0.04	0.09
5	0.09	0.05	0.06
min	0.07	0.04	0.06
max	0.09	0.07	0.10
No.	MMS		
	dN(m)	dE(m)	dH(m)
1	0.04	0.04	0.06
2	0.03	0.06	0.07
3	0.05	0.05	0.08
4	0.04	0.05	0.05
5	0.06	0.04	0.04
min	0.03	0.04	0.04
max	0.06	0.06	0.08

지상형 3D 레이저 스캐너의 정확도는 0.01~0.02m를 나타내었으며, 드론 탑재형과 차량 탑재형 3D 레이저 스캐너는 각각 0.04~0.10m의 정확도를 나타내었다. 기존의 수치지형도를 활용하는 경우 오차가 1m 이내 정도임을 고려할 때 연구에서 제시된 방법을 활용한다면 보다 정밀한 산림공간정보의 구축이 가능할 것이다. 한편, 임도 건설을 위한 각 센서의 효율성을 파악하기 위해 생성된 산림공간정보에서 지면에 대한 데이터를 추출하였다. Fig. 6~Fig. 8은 지면 추출 결과와 생성된 임도의 횡단면을 나타낸다.

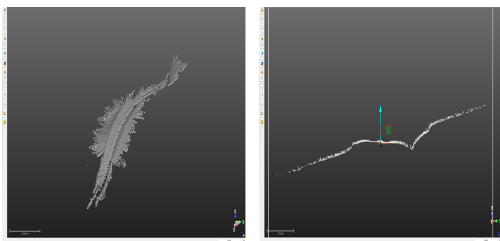


Fig. 6. Ground and cross section by terrestrial LiDAR

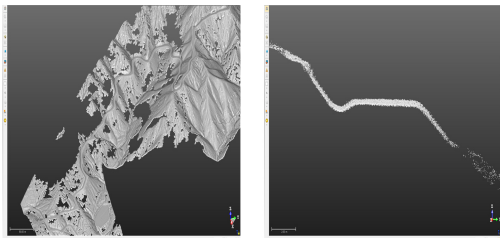


Fig. 7. Ground and cross section by drone LiDAR

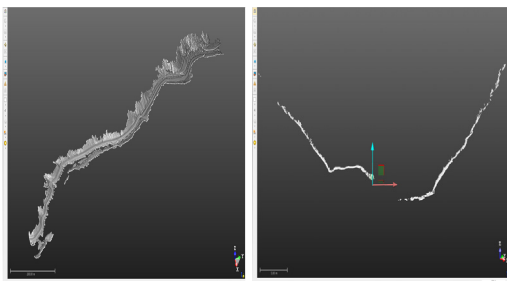


Fig. 8. Ground and cross section by drone MMS

Fig. 6~8에서 보는 바와 같이 포인트클라우드 기반 지면 데이터를 통해 횡단면을 효과적으로 추출할 수 있었다. 지상형 3D 레이저 스캐너가 최대 0.02m로 가장 높은 정확도를 나타내었으며, 드론 및 차량 탑재형 3D

레이저 스캐너는 0.1m 이내의 정확도를 나타내었다. 이것은 「일반측량 작업규정」 상의 건설공사 측량 정확도 이내의 값으로 임도 건설에 포인트클라우드 기반 산림공간정보의 활용이 가능함을 제시하는 것이라 할 수 있다. 한편, 효율성 판단을 위해 1km 당 데이터 취득에 소요되는 시간을 산정하였다. Table 3은 1km 당 데이터 취득에 소요되는 시간을 나타낸다.

Table 3. Time required to acquire data per 1km

Item	Terrestrial LiDAR	Drone LiDAR	MMS
Required time	10hour	1hour	0.5hour

지상형 3D 레이저 스캐너는 비교적 높은 정확도를 가지고 있지만 데이터 취득에 소요되는 시간이 크고, 임도가 건설되기 전 현장에 접근이 어려운 단점이 있어 임도 시공 검사에 적절할 것으로 판단된다. 또한 지상형 및 드론 탑재형 3D 레이저 스캐너를 함께 운용하여 지상형 3D 레이저 스캐너 데이터를 이용한 형상 정합 방법을 수행한다면 드론 탑재형 3D 레이저 스캐너의 정확도 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

드론 탑재형 3D 레이저 스캐너는 비교적 짧은 시간에 넓은 지역의 데이터 취득이 가능하며, 접근성도 높아 임도의 설계를 위한 산림공간정보 구축에 활용이 가능할 것이다. 3D 레이저 스캐너는 포인트클라우드 기반의 정밀한 산림공간정보 구축이 가능하므로 임도의 설계 및 시공관리에 적용을 통해 임도 건설 업무의 효율성 개선에 기여할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구는 지상형, 드론 탑재형, 차량 탑재형 3D 레이저 스캐너를 이용하여 산림공간정보를 구축하고, 산림공간정보 구축을 위한 정확도 및 효율성을 분석하고자 한 것으로 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지상형, 드론 탑재형, 차량 탑재형 3D 레이저 스캐너를 통해 취득된 데이터는 처리를 통해 절대 좌표를 가지는 포인트클라우드 형태의 성과물 생성이 가능하였으며, 지면에 대한 데이터 추출이 가능하여 임도 건설을 위한 설계 및 시공 관리 데이터로 활용

이 가능할 것이다.

2. 정확도 분석 결과 지상형 3D 레이저 스캐너가 최대 0.02m로 가장 높은 정확도를 나타내었으며, 드론 및 차량 탑재형 3D 레이저 스캐너는 0.1m 이내의 정확도를 나타내었다. 이러한 결과는 건설공사 측량의 정확도 이내의 값으로 임도 건설에 포인트클라우드 기반 산림공간정보의 활용 가능성을 나타내는 것이라 할 수 있다.
3. 지상형 3D 레이저 스캐너는 비교적 높은 정확도를 가지고 있지만 데이터 취득에 소요되는 시간이 크고, 임도가 건설되기 전 현장에 접근이 어려운 단점이 있어 임도 시공 검사에 적절할 것으로 판단된다. 드론 탑재형 3D 레이저 스캐너는 비교적 짧은 시간에 넓은 지역의 데이터 취득이 가능하며, 접근성도 높아 임도의 설계에 활용이 가능할 것이다.
4. 3D 레이저 스캐너는 포인트클라우드 기반의 정밀한 산림공간정보 구축이 가능하므로 임도의 설계 및 시공관리에 활용함으로써 업무의 효율성 향상에 기여할 수 있을 것이다.

References

- [1] 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>
- [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] 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>
- [4] H. S. Kim, S. W. Moon, and Y. S. Seo, "Major Factors Influencing Landslide Occurrence along a Forest Road Determined Using Structural Equation Model Analysis and Logistic Regression Analysis", *The Journal of Engineering Geology*, Vol.32, No.4, Dec. 2022, pp. 585-596. DOI: <https://doi.org/10.9720/kseg.2022.4.585>
- [5] 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>
- [6] H. Y. Park and S. M. Hong, "A Study on Exploring Conflict Resolution of Forest Fire Disaster Recovery - Focusing on the Restoration of Forest Fire-damaged Areas - ", *Journal of the Society of Cultural Heritage Disaster Prevention*, Vol.7, No.2, Aug. 2022, pp. 91-105.
- [7] 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>
- [8] 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>
- [9] 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>
- [10] 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>
- [11] 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>
- [12] 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>
- [13] 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>
- [14] 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>

- [15] Trimble, products, [Internet]. Trimble. Available From: <https://www.trimble.com/> (accessed August, 08, 2023)
- [16] YellowScan, products, [Internet]. YellowScan. Available From: <https://www.yellowscan.com/> (accessed August, 08, 2023)

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

이 근 왕(Keun-Wang Lee)

[종신회원]



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

<관심분야>

멀티미디어 통신, 멀티미디어 응용, 모바일 통신