

MMS와 UAV에 의한 수치표고모델의 정확도 및 특성 비교

박준규¹, 엄대용^{2*}

¹서일대학교 토목공학과, ²한국교통대학교 토목공학과

Comparison of Accuracy and Characteristics of Digital Elevation Model by MMS and UAV

Joon-Kyu Park¹, Dae-Yong Um^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Seoil University

²Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation

요 약 DEM(Digital Elevation Model)은 지형에 대한 높이를 수치로 저장한 3차원 공간정보로 식생과 인공지물을 포함하지 않는 지형만의 표고값을 의미하며, 지형에 대한 3차원 시각화, 경사분석, 건설공사를 위한 설계 및 물량산출 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 최근 3차원 공간정보 구축과 관련된 많은 연구들이 이루어지고 있지만 DEM 생성과 관련된 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 MMS(Mobile Mapping System), UAV 이미지 및 UAV LiDAR(Light Detection And Ranging)를 이용하여 DEM을 구축하였으며, 각각의 결과물에 대한 정확도 평가 및 분석을 수행하였다. 연구결과 MMS와 UAV LiDAR에 의해 생성된 DEM의 정확도는 $\pm 4.1\text{cm}$ 이내였으며, UAV 이미지를 이용한 DEM은 $\pm 8.5\text{cm}$ 의 정확도를 산출하였다. 또한 각각의 방법에 의한 자료처리 과정 및 결과물에 대한 비교를 통해 MMS, UAV 이미지, UAV LiDAR의 특징 및 효율성을 제시할 수 있었다. MMS 및 UAV를 활용한 DEM 구축은 지형에 대한 분석 및 가시화, 건설공사를 위한 기초자료 생성, 공간정보를 활용한 서비스 등 다양한 분야에 활용이 가능할 것이며, 관련 업무 효율성을 크게 향상시킬 수 있을 것이다.

Abstract The DEM(Digital Elevation Model) is a three-dimensional spatial information that stores the height of the terrain as a numerical value. This means the elevation of the terrain not including the vegetation and the artifacts. The DEM is used in various fields, such as 3D visualization of the terrain, slope, and incense analysis, and calculation of the quantity of construction work. Recently, many studies related to the construction of 3D geospatial information have been conducted, but research related to DEM generation is insufficient. Therefore, in this study, a DEM was constructed using a MMS (Mobile Mapping System), UAV image, and UAV LiDAR (Light Detection And Ranging), and the accuracy evaluation of each result was performed. As a result, the accuracy of the DEM generated by MMS and UAV LiDAR was within $\pm 4.1\text{cm}$, and the accuracy of the DEM using the UAV image was $\pm 8.5\text{cm}$. The characteristics of MMS, UAV image, and UAV LiDAR are presented through a comparison of data processing and results. The DEM construction using MMS and UAV can be applied to various fields, such as an analysis and visualization of the terrain, collection of basic data for construction work, and service using spatial information. Moreover, the efficiency of the related work can be improved greatly.

Keywords : DEM, Geospatial Information, Image, LiDAR, Mobile Mapping System, Unmanned Aerial Vehicle

이 성과는 2018년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2018R1C1B6004021)

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

email: dyum@ut.ac.kr

Received September 24, 2019

Revised October 14, 2019

Accepted November 1, 2019

Published November 30, 2019

1. 서론

DEM은 수치로 된 지형 데이터에 관한 일반적인 용어로서 식생과 인공지물을 포함하지 않는 지형만의 표고값을 의미한다[1]. DEM은 지형에 대한 경사 및 향 분석, 응영기복도 제작, 가시권 분석은 물론 건설공사의 설계 및 물량산출을 위한 기초자료로 이용되는 등 다양한 분야에 활용되고 있다[2]. 기존의 DEM 생성은 지상측량, 수치지형도 등을 활용해 왔으나 최근에는 MMS나 UAV를 활용한 방법이 시도되고 있다.

모바일맵핑기술의 개념은 기반이 되는 기술의 변화에 따라 변화해 왔다[2]. 초기에는 항공, 차량 등에 장착된 다양한 센서를 통하여 수집한 데이터와 별도로 취득한 지상의 기준점 성과를 이용하여 지형지물의 위치와 형상을 측정하는 개념으로 사용되었다[3]. 그러나 오늘날에는 GNSS(Global Navigation Satellite System)과 INS(Inertial Navigation System)의 사용이 보편화되고 센서통합기술이 발달함에 따라 별도의 지상기준점을 사용하지 않고 이동체에 장착된 센서를 이용하여 수집한 자료만으로 3차원 공간정보를 구축할 수 있는 기술로 사용하고 있다[4]. MMS는 이동체에 레이저 스캐너, GNSS 수신기, INS, 컴퓨터 등을 탑재하고 통합하여 고품질의 공간정보 데이터 취득 및 구축을 위한 항법 기술, 사진측량 기술 및 영상처리 기술이 합쳐진 신기술 통합 시스템이다. 한편, 공간정보 구축 분야에 많은 관심을 받고 있는 UAV는 4차 산업혁명을 위한 신성장동력으로 선정되었으며[5, 6], 지도제작, 지형모델링 등 공간정보 관련 분야에 활용이 활발히 이루어지고 있다[7]. MMS와 UAV는 대상지역에 빠르게 접근하여 데이터를 취득할 수 있으며, 자료처리를 통해 3차원 공간정보의 구축이 가능하다[8].

본 연구에서는 MMS 및 UAV를 이용하여 연구대상지의 데이터를 취득하고, 자료처리를 통해 대상지의 DEM을 생성하고, 정확도 및 특징을 분석하고자 한다. Fig. 1은 연구흐름도를 나타낸다.

2. 연구대상지 및 데이터 취득

본 연구에서는 MMS 및 UAV 이미지, UAV LiDAR를 이용한 연구대상지의 DEM 구축 및 분석을 위해 경기도 일원의 도로를 연구대상지로 선정하였다. 연구대상지는 연구센터 내부의 도로로 일반 차량의 운행이 통제되어 도로 및 지형에 대한 데이터 취득이 용이하였다. Fig. 2

는 연구대상지를 나타낸다.

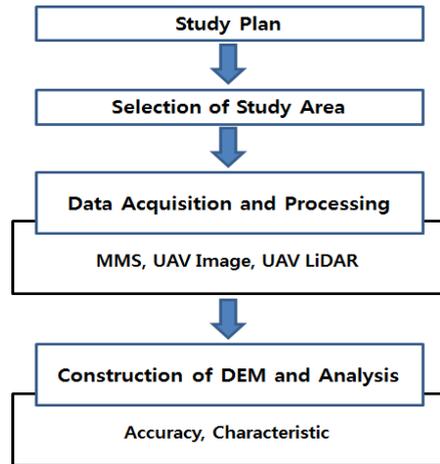


Fig. 1. Study flow

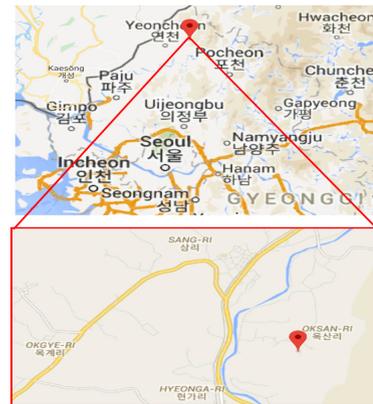
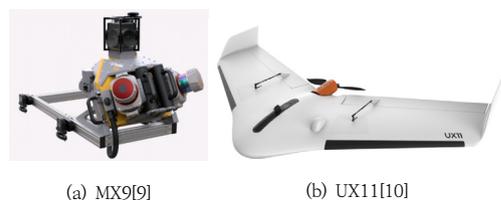


Fig. 2. Study area

데이터 취득은 연구대상지의 도로에 대해 MMS, UAV 이미지, UAV LiDAR를 통해 이루어졌다. MMS는 T사의 MX9 장비를 이용하였으며, UAV 이미지는 D사의 UX11, UAV LiDAR는 Y사의 Surveyor Ultra 장비를 이용하였다. Fig. 3은 데이터 취득에 이용된 MMS 및 UAV를 나타낸다.



(a) MX9[9]

(b) UX11[10]



(c) Surveyor Ultra[11]

Fig. 3. MMS and UAV

데이터 처리를 위해 4점의 GCP(Ground Control Point)를 측량하였으며, 정확도 평가를 위한 25점의 CP(Check Point)를 VRS(Virtual Reference Station) 방법으로 측량하였다. Table 1은 VRS 측량 성과 중 일부를 나타낸다.

Table 1. VRS survey result

Point	X(m)	Y(m)	H(m)
GCP01	613096.855	207531.753	72.917
GCP02	613157.025	207134.826	65.188
GCP03	613096.093	207140.347	66.665
GCP04	613219.733	207387.429	68.080
CP01	613110.290	207305.079	69.884
CP02	613129.447	207367.922	70.069
CP03	613126.696	207407.602	71.235
CP04	613137.841	207489.791	73.629
CP05	613134.956	207496.067	73.765
CP06	613145.436	207537.736	75.083
CP07	613164.997	207574.697	76.194
CP08	613200.041	207578.657	76.253
CP09	613228.868	207542.849	74.294
CP10	613234.262	207501.670	72.275
⋮	⋮	⋮	⋮
CP25	613117.659	207336.145	69.559

MMS를 이용한 데이터 취득은 도로 약 1km에 대해 GNSS, INS, 3D 레이저 스캐너를 통해 이루어졌으며, UAV 이미지는 연구대상지역에 대해 293매의 촬영이 이루어졌다. UAV LiDAR는 동일한 대상지역에 대해 약 10분의 비행으로 포인트클라우드 데이터를 취득하였다. Fig. 4는 취득된 데이터 중 일부를 나타낸다.

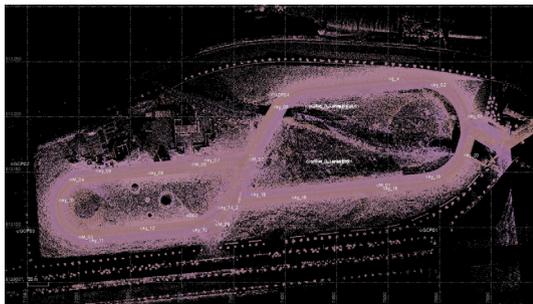


Fig. 4. Acquired data

3. 데이터 처리 및 분석

MMS 및 UAV LiDAR 데이터 처리는 데이터 입력, 경로처리, 지형모델의 생성 단계를 통해 수행되었으며, UAV 이미지는 데이터 입력, 항공삼각측량, 지형모델생성, 정사영상 생성의 단계로 수행되었다. 자료처리 결과 생성된 각각의 성과물을 이용하여 객체 자동 분류를 통해 지형에 대한 공간정보를 생성하였다. Fig. 5는 데이터 처리 과정을 나타낸다.

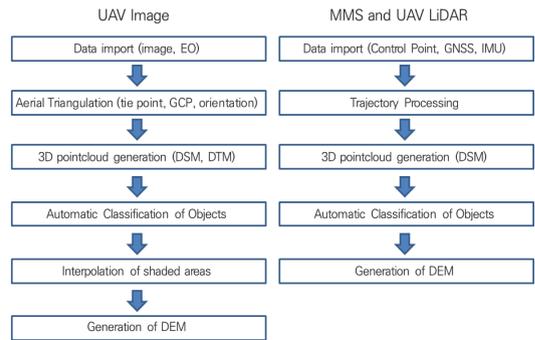
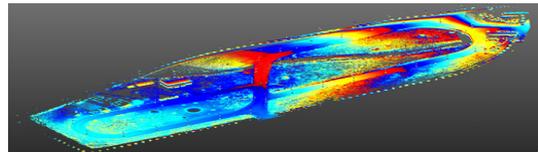


Fig. 5. Data processing

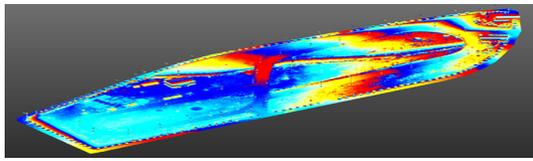
데이터 처리를 통해 MMS, UAV 이미지 및 UAV LiDAR를 이용한 DEM을 생성하였다. Fig. 6은 연구대상지의 DEM을 나타낸다.



(a) MMS



(b) UAV image



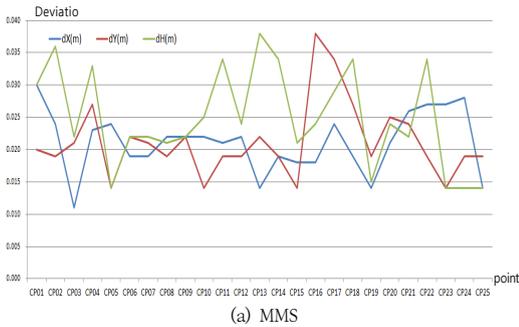
(c) UAV LiDAR

Fig. 6. Data processing results

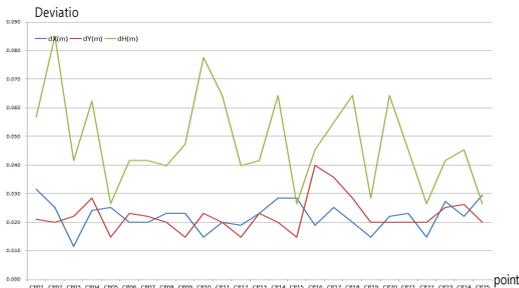
MMS, UAV 이미지 및 UAV LiDAR를 이용한 3차원 공간정보 생성은 빠른 데이터 취득이 가능하며, 자동화된 처리가 가능하기 때문에 DEM 구축에 효율성을 향상시킬 수 있다. 또한 UAV 이미지를 이용한 방법은 Fig. 6의 (b)에서 보는 바와 같이 색상값을 가지고 있는 포인트클라우드 데이터를 생성함으로써 대상지역을 효과적으로 가시화 할 수 있는 장점이 있다.

3.1 정확도평가

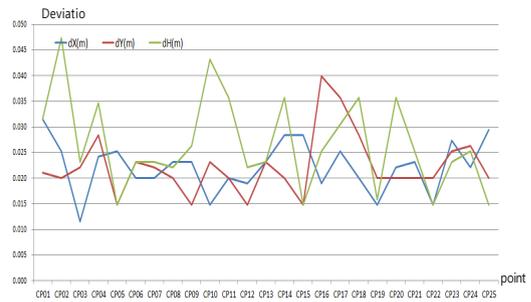
연구를 통해 생성된 각각의 3차원 공간정보의 정확도 평가를 위해 VRS로 취득한 25점의 CP성과와 MMS 및 UAV를 통해 생성된 DEM에서 취득한 성과를 비교하였다. Fig. 7은 정확도 평가 결과를 나타낸다.



(a) MMS



(b) UAV image



(c) UAV LiDAR

Fig. 7. Accuracy assessment result

각각의 방법으로 생성된 DEM의 정확도는 MMS와 UAV LiDAR의 경우, X, Y, H 각 축 방향으로 최대 0.041m, UAV LiDAR는 최대 0.085m로 나타났다. DEM의 정확도는 MMS와 UAV LiDAR가 비슷한 값을 나타내었으며, UAV 이미지가 가장 낮은 정확도를 나타내었다. 이는 탑재된 센서의 정확도에 따른 것으로 판단된다.

3.2 작업시간 및 DEM 특성 분석

DEM 생성을 위한 작업시간의 경우, 데이터 취득에 소요된 시간은 각각의 방법에서 큰 차이를 보이지 않았으나 데이터 처리 시간은 UAV 이미지를 이용하는 경우 가장 많은 시간이 소요되었다. Table 2는 데이터 취득 및 처리에 소요된 시간을 나타낸다.

Table 2. Data acquisition and processing time

Item	MMS (hours)	UAV Image (hours)	UAV LiDAR (hours)
Data acquisition	Plan(0.1)	Plan(0.1)	Plan(0.1)
	GCP survey(1.0)	GCP survey(1.0)	GCP survey(1.0)
	Data acquisition (0.5)	Data acquisition (0.5)	Data acquisition (0.5)
Data processing	2.0	6.0	1.0
Results	*.las	*.las, *.tif	*.las
Total	3.6	7.6	2.6

각각의 방법으로 구축된 DEM의 특징을 분석하기 위해 Fig. 8에 나타난 연구대상지 식생 지역의 데이터를 비교하였으며, Fig. 9에 DEM의 비교를 나타내었다.



Fig. 8. Region selection for characteristic comparison

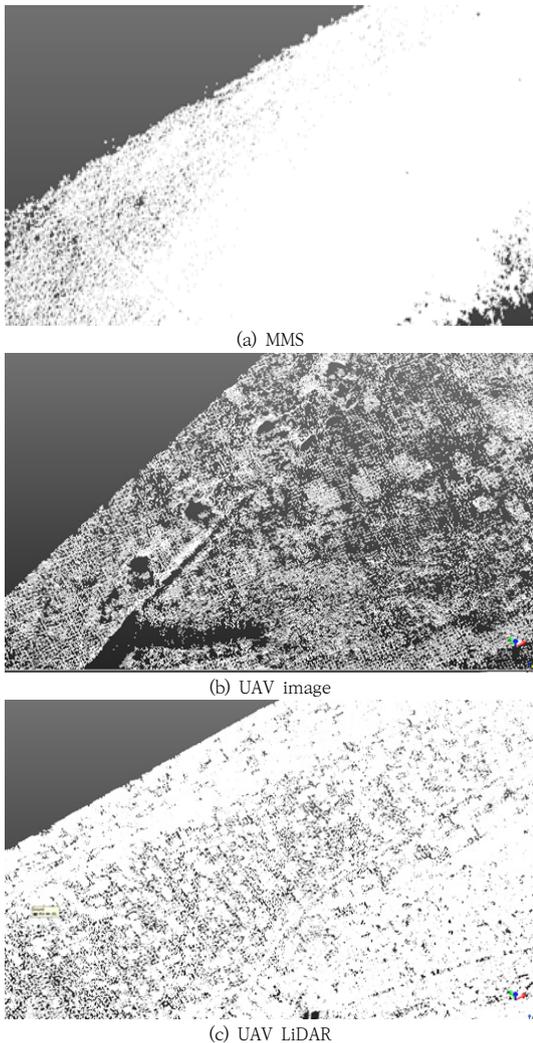


Fig. 9. DEM comparison for vegetation

해당 지역은 도로 주변의 식생 지역으로 UAV 이미지의 경우, 식생을 제거한 DEM의 생성이 가능하였지만

Fig. 9의 (b)와 같이 제거된 식생 부분의 데이터가 누락되는 것을 볼 수 있다.

MMS, UAV 이미지, UAV LiDAR를 이용한 DEM 구축은 대상지역과 목적에 따라 각각의 특징들에 대한 고려가 필요할 것으로 판단되며, 향후 MMS 및 UAV를 활용한 공간정보 구축은 공간정보를 활용한 서비스 및 관련 업무 효율성을 크게 향상시킬 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구는 MMS, UAV 이미지 및 UAV LiDAR를 이용하여 연구대상지역의 데이터를 취득하고, 데이터 처리를 통해 DEM을 구축한 것으로 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. MMS, UAV 이미지 및 UAV LiDAR를 이용하여 연구대상지역의 DEM을 생성하였으며, 각각의 방법에 대한 정확도 평가 및 특징의 분석을 통해 3차원 공간정보 구축을 위한 활용성을 제시하였다.
2. 정확도 평가 결과 MMS와 UAV LiDAR의 경우, X, Y, H 각 축 방향으로 최대 0.041m, UAV LiDAR는 최대 0.085m로 나타났다.
3. 식생지역에 대한 DEM 구축에서 각 방법의 특징을 제시하였으며, DEM 구축의 대상지역과 목적에 따라 MMS 및 UAV에 대한 활용에서 이러한 특징들에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.
4. 향후, MMS 및 UAV를 활용한 DEM 구축은 데이터 취득 및 처리과정에서 자동화된 자료처리가 가능하여 공간정보를 활용한 서비스 및 관련 업무 효율성을 크게 향상시킬 수 있을 것이다.

References

[1] K. D. Kim, S. H. Jung, K. H. Lee, Y. S. Choi, M. S. Kim, "Mobile Mapping System Development Based on MEMS-INS for Measurement of Road Facility", *Korean Society Of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.36, No.2, pp. 75-84, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2018.36.2.75>

[2] J. B. Lee, S. Y. Kim, H. M. Jang, Y. Huh, "Detection of Unauthorized Facilities Occupying on the National and Public Land Using Spatial Data", *Korean Society*

- Of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.36, No.2, pp. 67-74, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2018.36.2.67>
- [3] K. J. Ahn, D. S. Ko, "A Study on Reconstruction of 3-Dimensional Spatial Model Based on Photogrammetry Using V-World and Its Use as Urban 3D", *Journal of Digital Contents Society Content*, Vol.20, No.1, pp. 119-126, 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2019.20.1.119>
- [4] Y. R. Park, Y. O. Kang, D. E. Kim, J. Y. Lee, N. Y. Kim, "Analysis of Seoul Image of Foreign Tourists Visiting Seoul by Text Mining with Flickr Data", *Journal of the Korean Society For Geospatial Information Science*, Vol.27, No.1, pp. 11-23, 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2019.27.1.01>
- [5] M. K. Chung, C. J. Kim, K. H. Choi, D. K. Chung, Y. G. Kim, "Development of LiDAR Simulator for Backpack-mounted Mobile Indoor Mapping System", *Korean Society Of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.35, No.2, pp. 91-102, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2018.36.6.545>
- [6] S. K. Choi, G. H. Kim, J. W. Choi, S. K. Lee, D.Y. Choi, S. H. Jung, S. J. Chun, "UAV-based Land Cover Mapping Technique for Monitoring Coastal Sand Dunes," *Korean Society Of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.35, No.1, pp. 11-22, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2017.35.1.11>
- [7] T. H. Park, C. M. Jang, S. I. Jang, B. S. Chun, "Road-traffic Noise Mapping by Combining GIS DB and LiDAR Dataset", *Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng.*, Vol.28, No.4, pp. 483-489, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5050/KSNVE.2018.28.4.483>
- [8] J. M. Chun, S. H. Yoon, and D. Y. Kim, "Virtual Force(VF)-based Disaster Monitoring Network Using Multiple UAVs", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol.16, No.4, pp. 97-108, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.4.97>
- [9] B. G. Choi, Y. W. Na, Y. S. Shin, "A Comparative Study of Carbon Absorption Measurement Using Hyperspectral Image and High Density LiDAR Data in Geojedo", *Korean Society Of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.35, No.4, pp. 231-240, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2017.35.4.231>
- [10] Trimble Inc., MX9, [Internet]. Trimble Inc. Available From: <https://www.trimble.com> (accessed May. 10, 2019)
- [11] Delair-tech Inc., UX11, [Internet]. Delair-tech Inc. Available From: <https://delair.aero/> (accessed May. 10, 2019)
- [12] YellowScan Inc., LiDAR for Drone Solutions, [Internet]. Yellowscan Inc. Available From: <https://www.yellowscan-lidar.com/>(accessed May, 10, 2019)

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 : 서일대학교 토목공학과 부교수

〈관심분야〉
지형공간정보공학

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 토목공학과 교수

〈관심분야〉
지형공간정보공학, 사진측량학