

토탈스테이션과 3D 레이저 스캐너에 의한 광산공간정보 구축

박준규¹, 이근왕^{2*}

¹서일대학교 토목공학과, ²청운대학교 멀티미디어학과

Construction of Mine Geospatial Information by Total Station and 3D Laser Scanner

Joon-Kyu Park¹, Keun-Wang Lee^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Seoil University

²Department of the Multimedia Science, Chungwoon University

요 약 광산은 자원확보를 위한 중요한 기반시설이지만 운영과정에서 근로자의 안전문제가 발생할 수 있고, 지반침하와 같은 재해가 발생할 수 있다. 최근 광산 규모의 대형화와 기계화로 인해 채광공정이 과거에 비해 매우 복잡해져 체계적이고, 안전한 광산 운영을 위해 광산에 대한 정확한 공간정보 구축이 필요한 실정이다. 기존의 광산공간정보는 주로 토탈스테이션을 이용해 구축되어 왔지만 이 방법은 목표물을 일일이 시준하고 측정해야 하기 때문에 많은 작업시간이 필요한 단점이 있다. 본 연구에서는 토탈스테이션과 3D 레이저 스캐너로 광산에 대한 데이터를 취득하고, 형상 정합 방법을 이용하여 광산공간정보를 구축하고자 하였다. 토탈스테이션의 기준점 측량성고를 적용한 일부 영역의 고정식 스캐너 데이터를 이용하여 이동식 스캐너로 취득된 넓은 지역에 대한 정확한 성과를 효과적으로 구축할 수 있었으며, 구축된 광산공간정보의 정확도 평가를 통해 평균 0.083m의 편차를 보임으로써 연구결과의 적용성을 제시하였다. 연구를 통해 구축된 포인트클라우드 형태의 성과물은 갱내 형상의 가시화, 거리, 면적, 경사도 등 정량적인 분석과 단면 형상에 대한 도면 생성의 자동화 등이 가능하여 광산관리의 효율성 향상에 기여할 것이다.

Abstract Mines are an important infrastructure for securing resources, but safety problems can arise in the course of operation. Recently, the mining process is very complicated due to the large scale and mechanization. Therefore, it is necessary to construct accurate geospatial information on mine for systematic and safe mine operation. The geospatial information construction using the existing total station has a disadvantage that a lot of work time is required because the target must be collimated and measured. In this study, the data of the mines were acquired with the total station and the 3D laser scanner, and the mine spatial information was constructed by using the shape based registration method. By using the static scanner data of some area applying the reference point surveying result of the total station, it was possible to construct the accurate result on the wide area acquired by the mobile scanner effectively. Also, the accuracy of the constructed geospatial information was evaluated and the deviation of mean 0.083m was shown. Point cloud products constructed through the research can contribute to the efficiency improvement of mine management by enabling quantitative analysis such as visualization of mine shape, distance, area and slope, and automation of drawing creation for cross section shape.

Keywords : 3D Laser Scanner, Control Point, Geospatial Information, Mine, Shape Based Registration

1. 서론

광산은 지하자원의 확보차원에서 매우 중요한 기반이

지만 운영과정에서 근로자의 안전문제나 지반침하와 같은 환경문제가 발생할 수 있다[1,2]. 광산으로 인한 재해는 피해규모가 크고, 재해조사와 복구에 많은 시간이 필

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

*Corresponding Author : Keun-Wang Lee(Chungwoon Univ.)

Tel: +82-10-3764-1697 email: kwlee@chungwoon.ac.kr

Received January 15, 2019

Revised February 25, 2019

Accepted March 8, 2019

Published March 31, 2019

요하며, 추가적인 피해가 지속적으로 일어날 수 있어 체계적인 관리가 요구된다[3].

현재 광업 분야는 효율적인 자원 채취를 위해 고도로 기계화된 대량생산 장비를 현장에 투입하고 있다[4]. 광산 규모의 대형화와 기계화로 인해 채광공정은 과거에 비해 복잡해졌고, 광물의 생산성은 크게 증대되었다[5]. 광산관리는 투입되는 장비관리, 원격제어, 적재 및 운반 시스템의 시뮬레이션, 자료관리 등의 요소가 있으며[6], 공간정보는 모든 관리공정에서 기반이 되는 중요한 자료라 할 수 있어 안전한 광산 운영을 위해 광산에 대한 정확한 공간정보 구축이 필요한 실정이다.

우리나라의 광산은 전국적으로 약 2,700여 개가 운영 중이며, 불규칙한 지질구조로 인해 복잡한 갱도의 형상을 가지고 있다. 하지만 광산관리를 위해 구축된 공간정보는 2차원 도면이 대부분을 차지한다[7]. Fig. 1은 광산에 대한 2차원 도면의 예를 나타낸다.

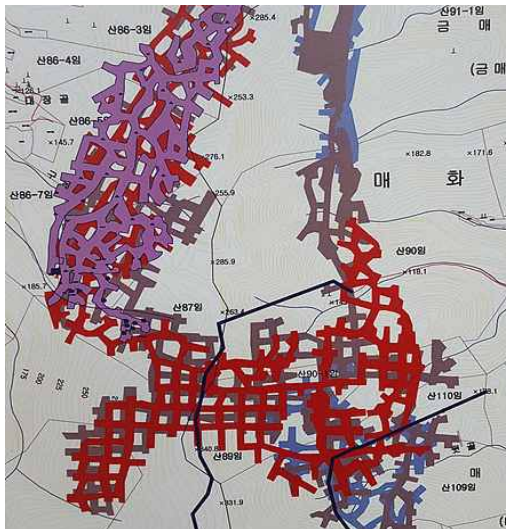


Fig. 1. Examples of mine drawings[8]

한편, 기존의 광산 공간정보는 주로 토탈스테이션을 이용해 구축되어 왔지만 이 방법은 목표물을 일일이 시준하고 측정해야 하기 때문에 많은 작업시간이 필요한 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 기존의 광산공간정보 구축 방법을 보완할 수 있도록 토탈스테이션과 3D 레이저 스캐너로 데이터를 취득하고, 형상 정합 방법을 이용하여 정밀한 광산공간정보를 구축하고자 하였다. 2장의 데이터 취득에서는 토탈스테이션을 이용하여 갱내 공간

정보 구축을 위한 기준점 측량을 수행하고, 기준점에 3D 레이저 스캐너를 설치하여 georeferencing된 데이터를 취득한다. 광산 갱내 전체에 대한 효과적인 자료취득을 위해 이동식 스캐너를 이용하여 데이터를 취득한다. 3장에서는 고정식 스캐너 데이터를 기준으로 형상 정합 기법을 적용하여 전체적인 데이터를 구축하고, 정확도를 평가한다. Fig. 2는 연구 흐름도를 나타낸다.

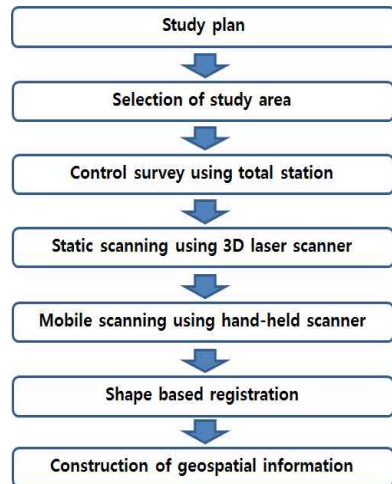


Fig. 2. Study flow

2. 데이터 취득

2.1 토탈스테이션을 이용한 데이터 취득

본 연구에서는 토탈스테이션과 3D 레이저 스캐너를 통한 공간정보 구축을 위해 강원도 일원의 석회석 광산을 연구대상지로 선정하였다. Fig. 3은 연구대상지 갱내 전경을 나타낸다.



Fig. 3. Study area

토텔스테이션을 이용한 기준점 측량은 총 거리는 약 3.4km에 대해 폐합트래버스를 구성하였다. Fig. 4는 토텔스테이션 측량 현황이며, Table 1은 토텔스테이션 측량 성과 중 일부를 나타낸다.

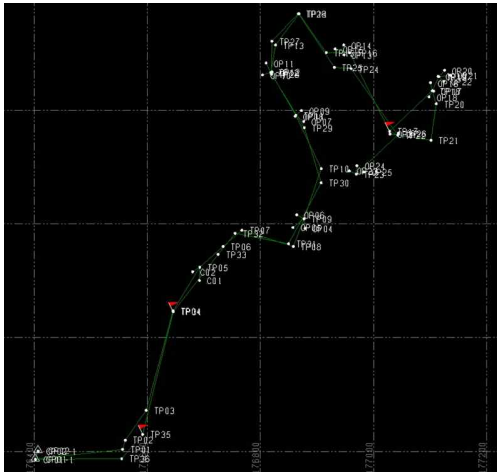


Fig. 4. Status of total station survey

Table 1. Traverse survey result

Point	X(m)	Y(m)	H(m)
CP01	524386.339	176401.984	549.041
TP01	524403.48	176556.221	551.338
TP02	524419.904	176561.049	551.377
TP03	524472.399	176598.12	551.839
TP04	524647.046	176645.456	554.401
TP05	524723.921	176692.824	548.210
TP06	524760.242	176734.007	546.903
TP07	524788.766	176766.979	540.646
TP08	524760.263	176858.102	530.213
TP09	524808.78	176877.12	530.242
TP10	524897.037	176907.41	535.464
TP11	524990.751	176862.614	554.769
TP12	525066.203	176818.415	565.250
TP13	525114.307	176826.76	571.316
TP14	525169.437	176868.318	571.943
TP15	525100.854	176916.364	572.219
TP16	525100.88	176957.482	572.835
TP17	524962.827	177028.469	576.010
TP18	525033.949	177103.766	576.004
TP19	525058.662	177115.085	575.806
TP20	525011.179	177110.816	576.090
⋮	⋮	⋮	⋮
TP36	524387.452	176554.767	549.707

2.2 3D 레이저 스캐너를 이용한 데이터 취득

트래버스 측량에 의해 설치된 기준점에 고정식 3D 레이저 스캐너를 설치하여 형상 정합의 기준이 되는 데이

터를 취득하였다. 총 6회에 걸쳐 데이터가 취득되었으며, 기준점 성과를 이용하여 georeferencing된 포인트클라우드를 생성하였다. Fig. 5는 고정식 스캐너이며, Fig. 6과 Fig. 7은 각각 고정식 스캐너로 취득된 데이터의 전체 현황과 포인트클라우드를 나타낸다.



Fig. 5. Static 3D laser scanner

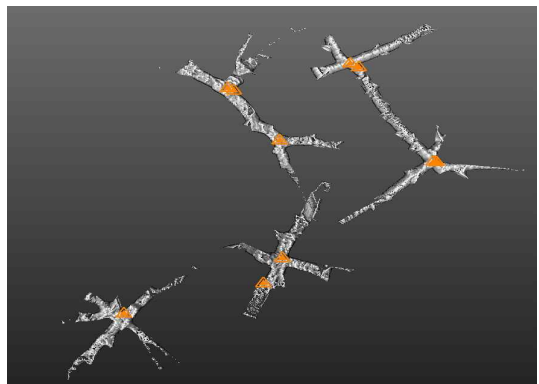


Fig. 6. Status of data acquired by static scanner

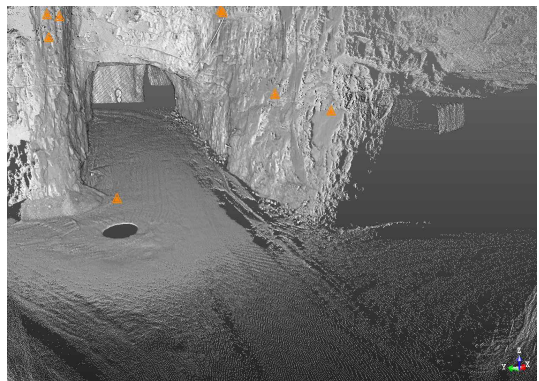


Fig. 7. Point cloud by static scanner

광산 갱내는 매우 복잡한 형상을 가지고 있어 고정식 스캐너로 데이터를 취득하는 경우, 장비의 설치 횟수가

많아지기 때문에 작업의 효율이 매우 떨어진다 따라서 갱내 데이터의 취득은 작업의 효율성을 고려해 이동식 스캐너를 이용하였다. Fig. 8은 이동식 스캐너이며, Fig. 9과 Fig. 10에 이동식 스캐너 데이터를 나타내었다.



Fig. 8. Hand-held scanner

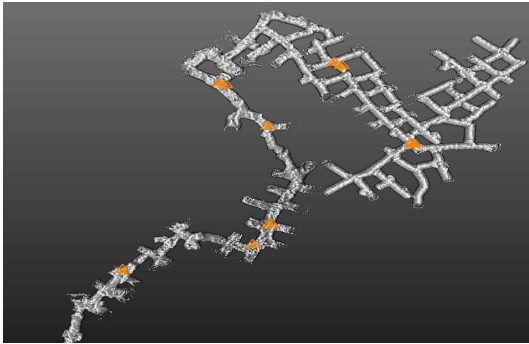


Fig. 9. Status of data acquired by hand-held scanner

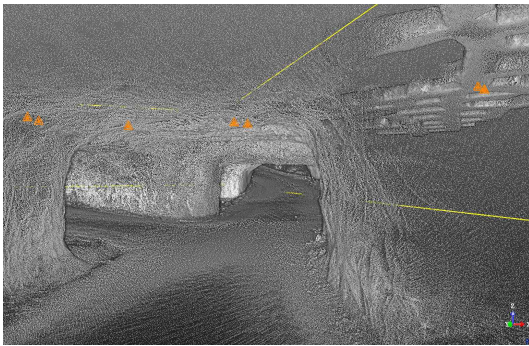


Fig. 10. Point cloud by hand-held scanner

3. 광산공간정보 구축 및 정확도 평가

이동식 스캐너로 취득된 광산 갱내 전체에 대한 데이터는 상대적인 위치값을 가지는 데이터이기 때문에 정확한 광산공간정보 구축을 위해서는 정합 과정이 필요하

다. 스캐너를 통해 취득된 포인트클라우드 형태의 데이터는 타겟을 이용한 정합 방법이 주로 이용되어 왔지만 광산과 같이 좁고 이동거리가 긴 현장의 경우, 타겟의 설치와 수거에 소요되는 시간이 커지기 때문에 작업의 효율성이 떨어진다. 이에 본 연구에서는 고정식 스캐너의 데이터를 기준으로 형상 정합 기법을 적용하여 이동식 스캐너 데이터를 정합하였다. Fig. 11은 고정식 스캐너와 이동식 스캐너 데이터의 정합 결과를 나타낸다.

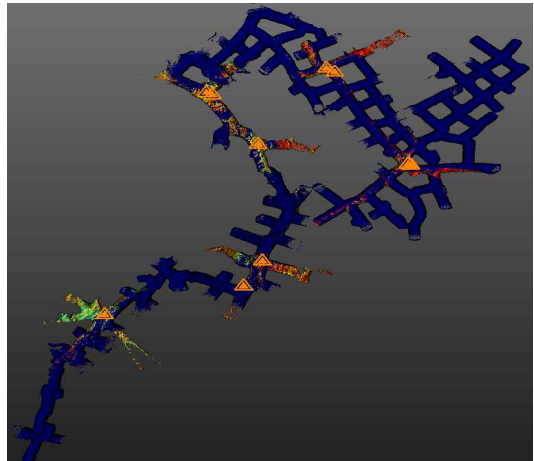


Fig. 11. Registered point cloud data

Fig. 10에서 파랑색은 이동식 스캐너로 취득한 데이터이며, 붉은색과 주황색은 고정식 스캐너 데이터이다. 그림에서 보는 바와 같이 georeferencing된 일부 영역의 데이터를 이용하여 전체 데이터를 효과적으로 구축할 수 있었다.

기준점 성과와 형상 정합을 통해 구축된 데이터의 검증은 위해 토털스테이션으로 측정한 검사점 10점에 대한 성과를 비교하였다. Fig. 12는 검사점 일부를 나타내며, Table 2는 정확도 평가 결과를 나타낸다.

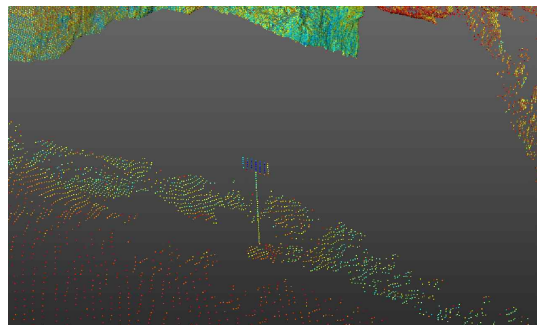


Fig. 12. Check point

Table 2. Accuracy analysis

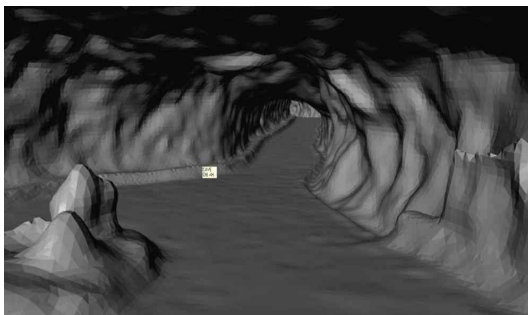
Point	dX(m)	dY(m)	dH(m)
OP01	-0.04	0.08	-0.12
OP02	0.11	-0.04	-0.04
OP03	0.08	-0.04	0.07
OP04	0.09	-0.10	0.06
OP05	0.08	0.11	-0.14
OP06	0.09	0.09	0.05
OP07	0.10	-0.04	-0.03
OP08	0.14	0.08	0.05
OP09	0.15	0.09	0.04
OP10	-0.14	0.07	-0.14

구축된 광산공간정보의 정확도 평가 결과 레이저 스캐너 성과는 X, Y 및 Z 방향으로 토털스테이션 측량 성과와 최대 0.014m와 평균 0.083m의 편차를 나타내었다. 이러한 결과는 축척 1:1,000 수치지도의 평면 및 표고 허용정확도를 만족하는 것으로 기준점 성과와 레이저 스캐닝 데이터의 형상 정합을 이용한 방법의 적용성을 제시하는 것이라 할 수 있다. Table 3은 국토교통부 용역사업 검사기준의 수치도화에 대한 허용 정확도를 나타낸다.

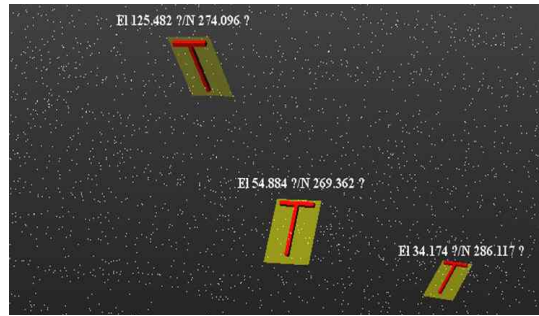
Table 3. Allow accuracy[11]

RMSE(m)			Maximum error(m)		
plane	Contour	Height	plane	Contour	Height
0.2	0.3	0.15	0.4	0.6	0.3

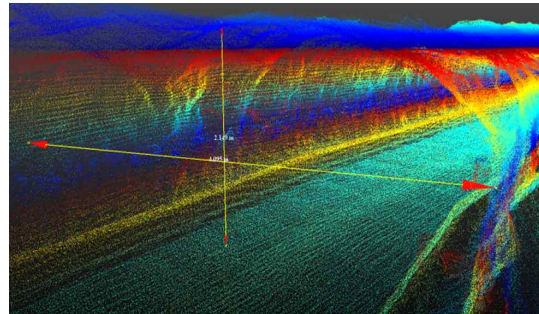
본 연구에서 광산공간정보 구축에 이용한 레이저 스캐너 데이터의 형상 정합 방법은 기존의 토털스테이션만을 이용한 방법에 비해 갱내 형상에 대한 정밀한 데이터를 얻을 수 있다. 또한 포인트클라우드 형태의 데이터는 각각의 점들이 3차원 위치를 가지고 있기 때문에 광산관리를 위한 기초자료로 활용성이 크다. Fig. 13은 포인트클라우드 데이터의 활용 예를 나타낸다.



(a) Mine visualization



(b) Slope measurement



(c) Distance measurement

Fig. 13. Examples of point cloud utilization

Fig. 13에서 보는 바와 같이 연구성과는 포인트클라우드 형태의 데이터를 가공하여 갱내 형상을 가시화 할 수 있으며, 거리, 면적, 경사도 등 정량적인 분석과 단면 형상에 대한 도면 생성의 자동화가 가능하다.

기준점 성과와 형상 정합을 이용한 방법은 효과적인 광산공간정보 구축은 물론 정량적 분석 자료를 제공할 수 있어 광산관리의 효율성 향상에 기여할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 토털스테이션과 3D 레이저 스캐너로 광산에 대한 데이터를 취득하고, 형상 정합 방법을 이용하여 광산공간정보를 구축하고자 한 것으로 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 토털스테이션의 기준점 측량성과를 적용한 일부 영역의 고정식 스캐너 데이터를 이용하여 이동식 스캐너로 취득된 넓은 지역에 대한 정확한 성과를 효과적으로 구축할 수 있었다.
2. 연구를 통해 구축된 데이터는 토털스테이션으로

측정한 검사점과 비교하여 최대 0.014m와 평균 0.083m의 편차를 보였으며, 이러한 결과는 축척 1:1,000 수치지도의 평면 및 표고 허용정확도를 만족하는 것으로 기준점 성과와 레이저 스캐닝 데이터의 형상 정합을 이용한 방법의 적용성을 제시 하였다.

3. 포인트클라우드 형태의 성과물은 갱내 형상의 가시화, 거리, 면적, 경사도 등 정량적인 분석과 단면 형상에 대한 도면 생성의 자동화 등이 가능하여 광산관리의 효율성 향상에 기여할 것이다.

DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.9.355>

- [8] Ohmynews, Namsu Mine [Internet]. Ohmynews. Available From: <http://www.ohmynews.com> (accessed Jan., 7, 2019)
- [9] Trimble Inc., SX10, [Internet]. Trimble Inc. Available From: <https://www.trimble.com> (accessed Jan., 8, 2019)
- [10] GeoSLAM, ZEB REVO RT [Internet]. GeoSLAM. Available From: <https://geoslam.com/> (accessed Jan., 8, 2019)
- [11] National Law Information Center, Regulation of Technology Service enterprise [Internet]. the Office of Legislation. Available From: <http://www.law.go.kr/> (accessed Jan., 8, 2019)

References

- [1] S. Y. Kim, J. H. Yu, Y. G. Yu, H. J. Lee, "Database Enhancement for Development of Open-pit Mine Monitoring System in Open Source Environments", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.34, No.1, pp.21-32, Jan. 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7848/ksgpc.2016.34.1.21>
- [2] J. K. Park, K. Y. Jung, "Application of Laser Scanner for Mine Management and Mining Plan", *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol.7, No.6, pp.693-700, Jun. 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/ajmahs.2017.06.89>
- [3] S. H. Ju, S. H. Yoon, S. Y. Park, J. Heo, "Simulation based Target Geometry Determination Method for Extrinsic Calibration of Multiple 2D Laser Scanning System", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.36, No.6, pp.443-449, Dec. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2018.36.6.443>
- [4] S. Y. Soh, Y. J. Chun, Ambrose J. M. Itika, "A Study on Leaching and Solvent Extraction for the Recovery of Copper Ore for Small-Scale Mining in Tanzania", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.18, No.4, pp.438-445, Apr. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.4.438>
- [5] S. P. Hong, E. M. Kim, "Classification of 3D Road Objects Using Machine Learning", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.36, No.6, pp.535-544, Dec. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.5.85>
- [6] J. K. Park, M. G. Kim, "Application of scanning total station for efficiency enhancement of tunnel surveys", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, No. 4, pp. 242-247, Apr. 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.4.242>
- [7] J. K. Park, K. W. Lee, "Analysis of the Status of Mine and Methods of Mine Geospatial Information Construction Technology for Systematic Mine Management", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.19, No.9, pp.355-361, Sep. 2018.

Joon-Kyu Park

[Life member]



- Feb. 2001 : Chungnam National Univ., Dept. of Civil Engineering, Bachelor
- Feb. 2003 : Chungnam National Univ., Dept. of Civil Engineering, Master's degree
- Aug. 2008 : Chungnam National Univ., Dept. of Civil Engineering, Doctor's degree
- Mar. 2011 ~ current : Seoil Univ., Dept. of Civil Engineering, Associate Professor

<Research Interests>

Geospatial Information

Keun-Wang Lee

[Life member]



- Feb. 1993 : Hanbat National Univ., Dept. of electronic computing, Bachelor
- 1996 : Soongsil Univ., Dept. of Computer, Master's degree
- 2000 : Soongsil Univ., Dept. of Computer, Doctor's degree

- Feb. 2001 ~ current : Chungwoon Univ., Dept. of Multimedia Science, Professor

<Research Interests>

Multimedia Communication, Multimedia Application, Mobile Communication