



공공지하시설물 관리를 위한 증강현실 시스템 개발

이 효진¹ · 김지성² · 서호석³ · 조영식^{4*}

^{1,2,3}(주)지오맥스소프트 지리환경기술연구소

^{4*}한림성심대학교 디지털문화콘텐츠과

Development of Location based Augmented Reality System for Public Underground Facility Management

Hyo-Jin Lee¹ · Ji-Sung Kim² · Ho-Seok Seo^{3*} · Young-Sik Cho^{4*}

^{1,2,3}Institute of Geographic & Environmental Technology, GEOMEXSOFT, LTD., Chuncheon, Korea

^{4*}Hallym Polytechnic University, Chuncheon, Korea

[요 약]

공공지하시설물은 대부분 지하에 매립되어 있어 지하시설물에 대한 정확한 도면이 있어도 현장작업자가 지하시설물의 위치를 정확히 인지하기 어렵다. 이러한 지하시설물의 위치정보를 현장에서 직관적으로 파악하기 위해 증강현실을 이용하는 방법이 연구되었으나 공공지하시설물 공간정보는 2차원의 형태로 구축되어 있어 현장에서 증강현실로 이용하기 위해서는 3차원 객체 모델 데이터베이스 구축 작업이 필요하다. 본 연구에서는 기 구축되어 있는 2차원 지하시설물 데이터를 추가적인 3차원 데이터베이스 구축 없이 3차원 증강현실 데이터로 자동 변환하여 활용할 수 있는 모바일 어플리케이션 기반의 증강현실 시스템을 개발하였다.

[Abstract]

Most of public underground facilities are installed under the ground, thus it is difficult to recognize the accurate location even with the drawings. Studies are conducted to understand exact position of underground facilities using augmented reality. However, in those studies, establishing of additional 3D object model database is needed when AR system is used at field. Because most of public underground facility information are established as 2 dimensional. In this study, AR system is developed as mobile application which can use original 2D underground facility data to transfer 3D AR data automatically without additional 3D database establishment.

색인어 : 지하시설물, 증강현실, 3차원 객체 스타일링, 영상정합, 스마트 장치

Key word : Underground Facility, Augmented Reality, 3D Object Styling, Image Registration, Smart Device

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2018.19.2.237>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 09 February 2018; **Revised** 22 February 2018

Accepted 26 February 2018

***Corresponding Author; Young-Sik Cho**

Tel: +82-33-2240-91108

E-mail: choys@hsc.ac.kr

I. 서론

1-1 연구배경 및 목적

상수도관, 하수도관, 가스관 등의 공공지하시설물은 대부분 지하에 매립되어 있어 지하시설물에 대한 정확한 도면이 있어도 현장작업자가 지하시설물의 위치를 정확히 인지하기 어렵다. 따라서 굴착공사시 수도관 파열, 가스폭발, 단선 등의 사고가 빈번하게 발생하고 있으며 이러한 사고는 단전, 단수, 안전사고 등의 사회적 비용을 발생시킨다.

기존에는 현장에서 종이도면을 이용하여 지하시설물의 위치를 파악하였으나, 도면의 경우 휴대가 불편하고 지하시설물의 위치를 정확히 파악하기 어려운 문제점이 있었다. 따라서 지하시설물의 위치정보를 현장에서 정확히 파악하기 위한 다양한 방법이 연구되었다. 전자지도, 혹은 지리정보시스템(GIS;Geographic Information System)를 이용한 방법[1],[2]이 이용되고 있으나, 현장에서 위치를 확인하기 위해서는 해당위치로 이동하여 위치를 측정해야하는 불편함이 있다. QR(Quick Response)코드와 RFID(Radio Frequency Identification)[3]를 이용하는 경우는 기술도입을 위한 시설투자가 필요하다는 단점이 있고 이러한 단점을 극복하기 위하여 지하시설물 관리에 증강현실 기술을 적용하는 방법이 연구되었다[4],[5].

공공지하시설물을 관리하는 기관에서 구축한 공공지하시설물 공간정보는 2차원의 도면 형태로 구축되어 있고 지하시설물의 관리에 필요한 각종 속성정보들을 포함하고 있다. 이러한 지하시설물 정보를 현장에서 증강현실로 사용하기 위해서는 3차원 객체 모델링이 필요하나 3차원 객체모델 데이터베이스를 구축하여 활용하는 기존의 방법은 2차원 데이터베이스를 3차원 데이터베이스로 재구축하여 활용해야하는 불편함을 가지고 있다. 이러한 2차원 공간정보를 3차원으로 모델링 없이 직접 이용할 경우, 3차원으로 모델링된 공간정보에 비하여 적은 저장 공간을 필요로 하고 적은 데이터 전송량으로도 현장에서 필요한 데이터의 빠른 전송이 가능하다는 장점을 가지게 된다.

따라서 본 연구에서는 현장에서 지하시설물의 위치를 증강

현실 기술로 파악하기 위하여 기구축되어 있는 2차원 지하시설물 데이터를 추가적인 3차원 데이터베이스 구축 없이 3차원 증강현실 데이터로 자동 변환하여 활용할 수 있는 모바일 어플리케이션 기반의 증강현실 시스템을 개발을 목적으로 하였다.

1-2 연구동향

국내의 경우 스마트폰이나 테블릿PC 같은 모바일 기기의 낮은 성능과 모바일 기기에 내장되어 있는 위성항법장치(GPS;Global Positioning System)의 낮은 성능으로 인하여 지하시설물을 대상으로 한 위치기반 증강현실 기술의 모바일 어플리케이션의 구현이 어려웠다. 그러나 최근의 모바일 기기의 성능 향상과 보급형 GPS의 정확도 향상[6]으로 인하여 증강현실 기술의 현장활용이 가능해졌다. QR코드를 이용하여 지하시설물 정보를 증강현실기법을 통해 단말에 보여주는 시스템이 개발되었으나 전자표지점의 부착이 필요하다[3]. 이에 전자표지점을 사용하지 않고, 원거리 위치측정 기능을 추가함으로써 이러한 불편함을 개선하여 지하수 시설물을 모니터링하는 증강현실 기능이 개발되었다[4].

해외의 경우 증강현실기술을 이용하여 지하시설물을 표출할 수 있는 기술이 개발되었으며[7], 스마트 기기를 이용하여 지하시설물을 관리할 수 있는 모바일 증강현실 시스템에 대한 연구가 진행되었다[8]. 그리고 최근에는 2D 데이터를 모바일에서 3D로 표출하는 연구가 진행되었다[5].

II. 개발개요 및 시스템 구성

본 연구에서는 기 구축된 2차원 공간정보를 3차원으로 자동 변환하기 위한 3차원 스타일링 정보를 관리하는 AR 클라우드 서버와 서버로부터 객체의 정보 및 3차원 스타일링 정보를 수신 받아 증강현실로 표출하는 AR 어플리케이션으로 시스템을 구성하였다(그림 1).

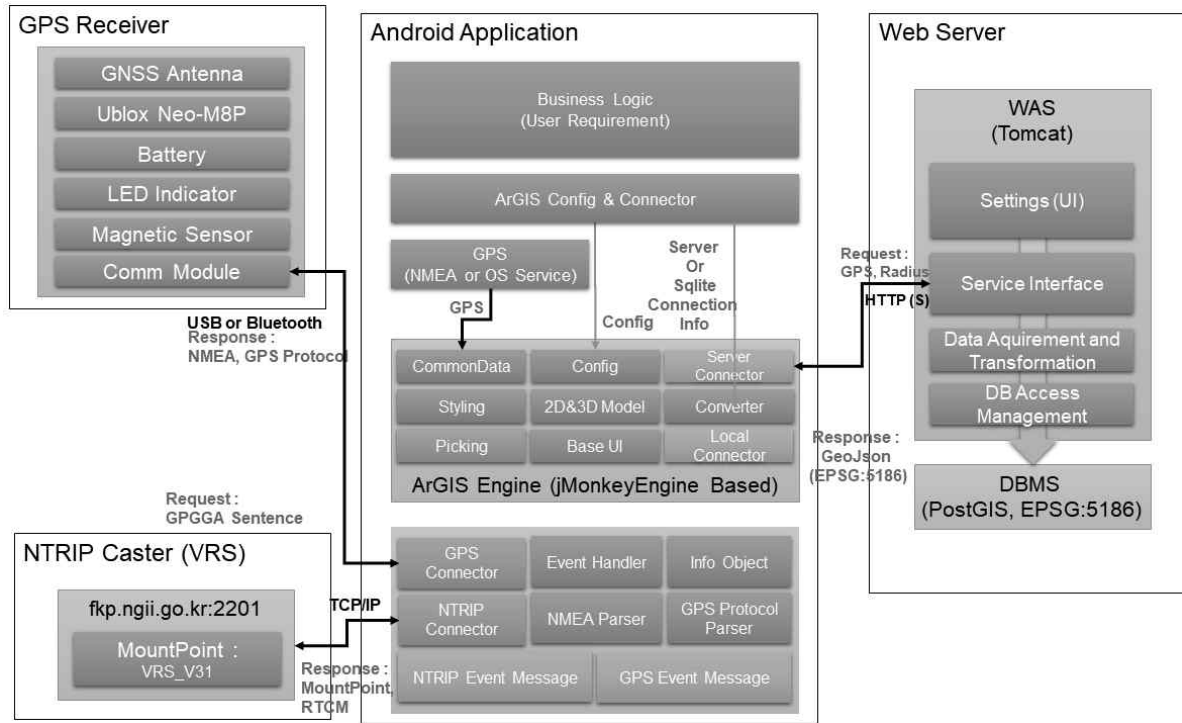


그림 1. 증강현실 시스템 구성도
 Fig. 1. Augmented Reality System Architecture

III. 기능구현

3-1 공공지하시설물 AR 클라우드 서버

AR 클라우드 서버는 2차원 지하시설물 공간정보와 3차원 스타일링 정보를 관리하기 위한 기능들로 구성하였다(그림 2).

모바일 장치에서 증강현실을 구현하기 위해서는 공간정보를 3차원으로 표현하여야 한다. 따라서 기존에 구축된 2차원의 공간정보를 화면상에 3차원으로 표현하기 위하여 2차원 객체의 3차원 스타일을 정의하고 2차원 객체에 적용하여 3차원으로 변환되도록 하였다. 클라우드 서버는 2차원의 공간객체를 3차원으로 표현하기 위한 스타일링 정보를 저장하고 어플리케이션에 제공하도록 하였다.

2차원의 객체는 점형(Point) 객체, 선형(Line) 객체, 면형(Polygon) 객체로 구성되며 서버에 저장되는 스타일링 정보는 객체의 종류에 따라 다르게 정의하였다. 점형 객체의 스타일링 정보는 평면원, 평면 사각형, 구, 원기둥, 반구, 정육면체, 직육면체 등으로 표현할 수 있도록 정의하였고, 선형 객체의 스타일링 정보는 선형, 원형, 각형의 형태로 표현할 수 있도록 정의하였다. 면형 객체의 스타일링 정보는 외곽선, 채우기, Hole 등과 같은 정보들을 표현할 수 있도록 정의하였다.

클라우드 서버에 저장되어 있는 공간정보와 스타일링 정보를 관리하기 위한 기능으로 서비스 레이어의 편집기능, 속성과

필드 관리 기능, 텍스트 및 폰트 리소스 파일 관리 기능을 구현하였고, 클라우드 서버는 이러한 기능들을 사용하여 RestfulAPI를 통해 GeoJson 타입으로 어플리케이션에 데이터를 제공하도록 하였다.



그림 2. AR 클라우드 서버의 기능 화면
 Fig. 2. Display of AR Cloud Server Functions

3-2 공공지하시설물 AR 어플리케이션

공공지하시설물의 위치를 증강현실로 파악하기 위한 어플리케이션은 안드로이드 운영체제를 기반으로 개발하였다(그림 3).

어플리케이션은 GPS 정보로 사용자의 위치를 파악하고, 자이로센서와 가속도계를 통해 스마트 기기의 카메라가 향하는 방향을 계산한다. 그리고 클라우드 서버로부터 사용자의 위치를 기준으로 주변의 지하시설물 정보와 스타일링 정보를 수신하고 그 정보들을 사용하여 화면상에 3차원으로 표현하여 속성 정보들이 표출되도록 하였다.

클라우드 서버로부터 주변의 지하시설물 정보와 스타일링 정보를 수신하기 위하여 어플리케이션은 Server Connector를 통해 AR 클라우드 서버와 HTTP(S) 프로토콜로 연결되며, 서버와 연결된 어플리케이션은 단말기의 위치와 검색반경을 기준으로 해당되는 위치정보, 속성정보, 스타일 정보와 같은 시설물 데이터를 GeoJson 형태로 클라우드 서버로부터 수신하여 3D 객체를 생성, 표출하도록 하였다.

수신된 2D 공간정보 및 스타일 정보를 사용하여 3D 객체를 생성하고 표출하기 위하여 어플리케이션의 GoBase 모듈은 2D 객체의 공간정보를 정의하고 ArStyleBase는 객체의 스타일링을 정의한다. ArLayer는 GoBase에서 정의된 2차원 공간정보와 ArStyleBase에서 정의된 스타일링 정보를 통합하여 하나의 3차원 레이어를 생성하고 이렇게 만들어진 3차원 레이어는 ArApplication 모듈을 통해 Drawing, 환경설정, Picking, 공유메모리, 데이터 변환 등의 제어가 가능하도록 하였다.

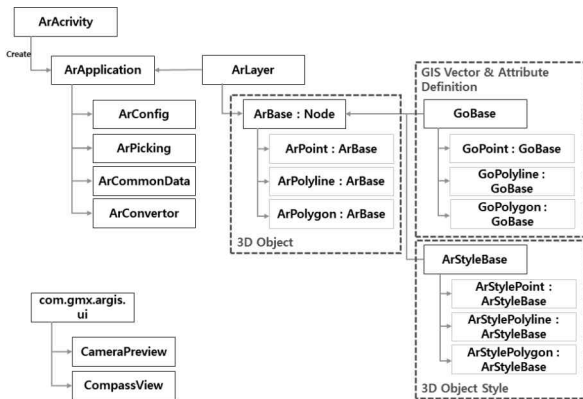


그림 3. 공공지하시설물 증강현실 어플리케이션의 구조
 Fig. 3. Application Structure of Public Underground Augmented reality application

사용자는 어플리케이션의 UI를 통해 지하시설물의 정보를 확인하며, 어플리케이션의 UI는 카메라의 화각과 기기의 해상도, 렌즈에 의한 화면 왜곡량 등을 제어하는 CameraPreview와 객체 및 센서정보를 필터링하여 표출하는 CompassView에 의해 구현되도록 하였다. 정확한 영상정합을 위하여 단말기의 방향과 기울기 정보는 실시간으로 수집되며, 3D 객체들의 방향과 기울기는 칼만 필터(Kalman Filter) 알고리즘을 통해 보정될 수 있도록 하였다[9].

3-3 공간정보 표출 및 조회

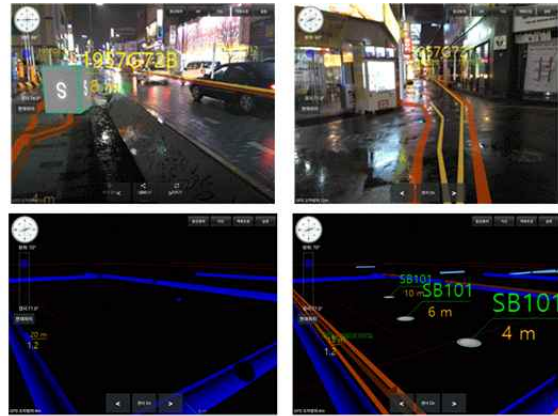


그림 4. 공공지하시설물 증강현실 어플리케이션에서 3D 객체와 실세계 영상의 정합 화면
 Fig. 4. Display of 3D Object Adjustment in Public Underground Augmented reality application

그림 4는 개발된 어플리케이션을 사용하여 단말기의 카메라 영상에 3D 객체가 정합되어 표출된 화면이다. 실시간으로 갱신되는 카메라 화면에 따라 지하시설물 2D 공간정보에서 변환된 3D 객체가 레이어로 변환되어 실시간으로 정합되어 표출되도록 하였으며, 각 레이어의 보이기 여부와 투명도 및 라벨링 등의 레이어 제어가 가능하도록 하였다.

지하시설물의 세부 정보를 조회하기 위한 속성정보의 조회가 가능하며, 사용자가 기기를 터치할 경우 터치한 지점으로부터 기기의 카메라 방향으로 가상의 Ray 선을 생성하면 Ray 선이 통과하는 3D 객체들의 속성정보가 조회되도록 하였다.

IV. 영상정합 정확도 검증

증강현실 시스템에서 특징점을 추출하여 영상정합의 정확도를 검증하는 방법은 제시되어 있으나[10], 실제 지형지물과 영상으로 표현된 객체의 위치오차를 측정하여 영상정합의 정확도를 검증하는 방법은 제시된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 개발된 공공지하시설물 증강현실 시스템의 영상정합도를 검증하기 위하여 개발 시스템이 설치된 스마트 기기의 카메라로부터 들어온 영상내 목표객체의 화면상 위치와 증강현실로 표출된 목표객체의 3D객체의 위치의 차이를 분석하였다(그림 5). 검증작업은 3개의 맨홀을 대상으로 하였으며 각각의 맨홀 위치를 GNSS(Global Navigation Satellite System) 장비(GSX2, SOKKIA, Japan)로 측정하여 화면에 표출 될 3D객체의 위치 속성값으로 입력하였다. 각 시설물로부터 2.5 m, 5.0 m, 7.5 m, 10.0 m 떨어진 장소를 촬영 지점으로 설정하고 스마트 기기의 카메라를 촬영지점 1.5 m 높이에 거치한 후에 5회 반복하여 영상을 촬영하였다. 개발 시스템은 현장에서 이동하며 사용하기 때문에 반복 촬영시 스마트 기기의 카메라 위치를 중심으로 스마트 기기를 1회 360도 회전한 후에 촬영하였다.

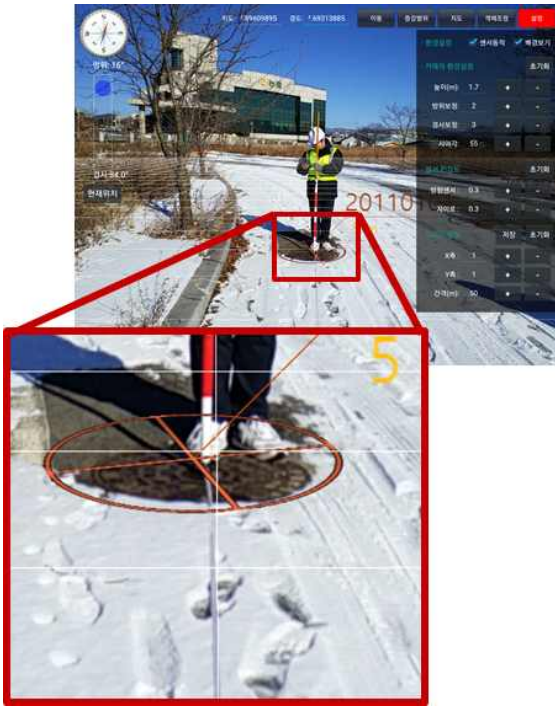


그림 5. 현장 검증 사진
Fig. 5. Picture of Site Inspection

화면상에 표시되는 목표객체의 위치와 증강현실로 표시된 3D객체의 위치의 차이는 화면상의 X축과 Y축의 픽셀단위로 측정하였으며, 실제 시설물을 기준으로 화면상에 표시된 1 m 격자를 기준으로 픽셀 거리를 실제 거리로 환산하였다. 실제 시설물 위치를 기준으로 표현된 3D 객체의 위치를 실제거리로 표현하고(그림 6) 촬영 거리에 따른 시설물과 3D 객체의 위치오차를 계산하였다(그림 7).

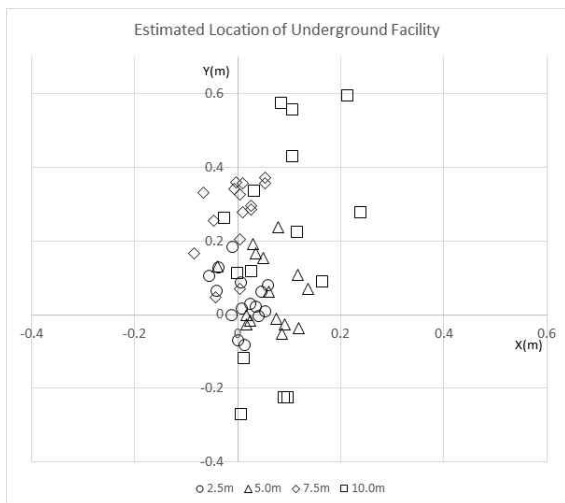


그림 6. 증강현실로 표시된 3D 객체의 위치
Fig. 6. Position of 3D Object Displayed by AR

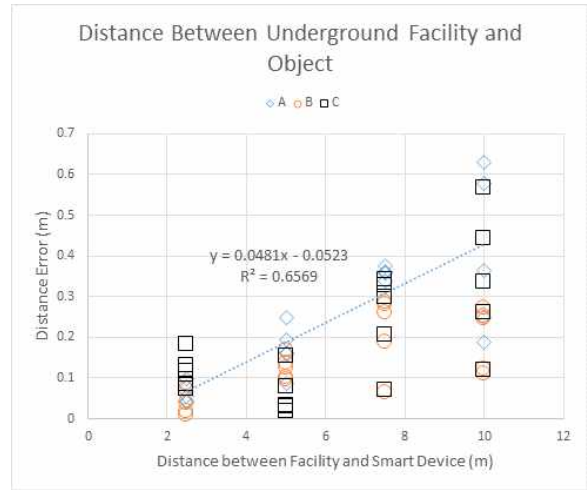


그림 7. 거리에 따른 시설물 위치 오차
Fig. 7. Facility Location Error Depending on Distance

표 1. 시설물의 위치오차(m)

Table 1. Facility Location Error (m)

Distance	2.5 m	5.0 m	7.5 m	10.0 m
Site 1	0.063m ±0.024	0.074m ±0.036	0.098m ±0.043	0.122m ±0.056
Site 2	0.044m ±0.033	0.060m ±0.049	0.074m ±0.059	0.095m ±0.077
Site 3	0.117m ±0.043	0.161m ±0.062	0.199m ±0.076	0.256m ±0.098
Average	0.075m ±0.045	0.098m ±0.066	0.124m ±0.079	0.158m ±0.103

촬영 거리가 증가함에 따라 실제 목표 객체와 3D 증강현실 객체의 영상정합도의 오차가 증가하였으며 2.5 m 거리에서 약 7.5 cm, 5 m 거리에서 약 9.8 cm, 7.5 m에서 약 12.4 cm, 10 m 거리에서 약 15.8 cm의 오차가 발생하였다(표 1). 표준편차는 2.5 m 거리에서 0.045 m, 5 m 거리에서 0.066 m, 7.5 m에서 0.079 m, 10 m 거리에서 0.103 m로 촬영 거리가 증가함에 따라 표준 편차도 증가하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 현장에서 지하시설물의 위치를 증강현실 기술로 파악하기 위하여 모바일 어플리케이션 기반의 증강현실 시스템을 개발하였다. 증강현실 기술 적용을 위한 3차원 데이터베이스 구축 비용을 줄이기 위하여 2차원 지하시설물 데이터가 3차원 증강현실 데이터로 자동 변환하여 활용되도록 구현하였으며, 이를 위하여 AR 클라우드 서버가 2차원 지하시설물의 데이터와 이를 3차원으로 표현하기 위한 스타일링 데이터를 저장하고 관리할 수 있도록 구현하였다. 현장에서 사용되는 AR

어플리케이션은 스마트 장비의 각종 센서들을 사용하여 사용자의 위치정보를 획득하고 AR 클라우드 서버로부터 전송받은 시설물의 공간정보 및 스타일링 데이터를 사용하여 스마트 기기의 화면상에 시설물 정보가 증강현실로 표출되도록 구현하였다. 표출된 증강현실 데이터의 위치 정확도는 목표 객체와 스마트기기의 거리가 멀어질수록 증가하였고, 2.5 m 거리에서 약 7.5 cm, 5 m 거리에서 약 9.8 cm, 7.5 m에서 약 12.4 cm, 10 m 거리에서 약 15.8 cm의 오차가 발생하였다. 본 연구에서 개발된 시스템은 현장에서 공공지하시설물의 위치를 신속하고 직관적으로 비교적 정확하게 파악할 수 있도록 지원하여 굴착공사의 작업효율을 높이고 사고 발생을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 SW융합기술고도화 사업(R-20170404-001366)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] J. M. Jang, "Construction of Integrated Infrastructure System on Underground Facilities Using Web Based GIS," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 25, No. 2D, pp. 317~323, March 2005.
- [2] S. B. Lee, J. M. Sim, "A Study on the Construction of Underground Facilities Map based on Cadastral Map," *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, Vol. 6, No. 2, pp. 141~152, December 2004.
- [3] Y. W. Lee, S. H. Kim, Sung Hun, "A study on the development of Smart Information Mark and the method for Underground facility management," *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, Vol. 14, No. 2, pp. 77~89, December 2012.
- [4] J. Shin, M. Sung, M. Lee, "Development of monitoring solution for riverside groundwater facilities using an augmented reality," *Journal of the Geological Society of Korea*, Vol. 52, No. 4, pp. 501~510, August 2016.
- [5] M. Cordonnier, S. Martino, C. Boisseau, S. Paslier, J. P. Recapet, F. Blanc, B. Augusting, "Contribution of augmented reality to the maintenance of network equipment," *IET Journals, 24th International Conference & Exhibition on Electricity Distribution (CIRED)*, Glasgow, pp. 87-90, October 2017.
- [6] Y. C. Lee, "Assessing the Real-time Positioning Accuracy of Low-cost GPS Receiver using NTRIP-based Augmentation Service," *Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information Science*, Vol. 23, No. 3, pp. 31~39, September 2015.
- [7] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Hollerer, A. Webster, "A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment," *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 1, No. 4, pp. 208-217, December 1997.
- [8] G. Schall, E. Mendez, E. Kruijff, E. Veas, S. Junghanns, B. Reitinger, D. Schmalstieg, "Handheld Augmented Reality for Underground Infrastructure Visualization," *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 13, No. 4, pp. 281-191, June 2008.
- [9] F. M. Mirzaei, S. I. Roumeliotis, "A Kalman Filter-Based Algorithm for IMU-Camera Calibration: Observability Analysis and Performance Evaluation," *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 24, No. 5, pp. 1143-1156, October 2008.
- [10] J. Y. Lee, J. S. Kwon, "Error Correction Scheme in Location-based AR System Using Smartphone," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 16, No. 2, pp. 179-187, April 2015.



이호진(Hyo-Jin Lee)

2006년 : 히로시마대학교 대학원 (석사)
2011년 : 히로시마대학교 대학원 (박사)

2011년~2013년: 히로시마대학교 Assistant Professor
2013년~2014년: 성균관대학교 건설환경연구소 연구원
2015년~현 재: (주)지오맥스소프트 지리환경기술연구소 소장
※관심분야 : 지리정보시스템(GIS), 증강현실(AR), 위치기반서비스(LBS) 등



김지성(Ji-Sung Kim)

2015년 : 성균관대학교 대학원 (석사)

2015년~2017년: 성균관대학교 대학원 박사과정
2017년~현 재: (주)지오맥스소프트 지리환경기술연구소
※관심분야 : 지리정보시스템(GIS), 위성항법시스템(GNSS) 등



서호석(Ho-Seok Seo)

2012년 : 순천대학교 대학원 (공학석사)

2002년~2005년: 한솔정보기술(주)
2005년~2016년: 신명유아이(주)
2006년~현 재: (주)지오맥스소프트 지리환경기술연구소
※관심분야 : 지리정보시스템(GIS), 증강현실(AR), 위치측위시스템(GPS) 등



조영식(Young-Sik Cho)

1995년 : 강원대학교 대학원 (석사)
2002년 : 강원대학교 대학원 (박사)

2012년 ~ 2015년 : 한림성심대학교 전산원장
1997년 ~ 현재 : 한림성심대학교 디지털문화콘텐츠과 교수