

BIM을 활용한 증강현실 기반 지하시설물 관리 시스템 개발에 관한 연구

신재섭^{1*} · 안송강² · 송정욱³

¹정회원, 한국전력기술 전력기술연구원 책임연구원

²비회원, 한국전력기술 전력기술연구원 연구원

³비회원, 한국전력기술 전력기술연구원 책임연구원

Development of an augmented reality based underground facility management system using BIM information

Jaeseop Shin^{1*} · Songkang An² · Jeongwoog Song³

¹Senior Researcher, Power Technology Institute, KEPCO Engineering & Construction

²Junior Researcher Power Technology Institute, KEPCO Engineering & Construction

³Senior Researcher, Power Technology Institute, KEPCO Engineering & Construction

*Corresponding Author : Jaeseop Shin, shinjs@kepc-enc.com

Abstract

In Korea, safety accidents are continuously occurring due to the aging of underground facilities and lack of systematic management. Moreover, although the underground space is continuously being developed, the current status information is not clearly recorded and managed, so there is a limit to the systematic management of underground facilities. Therefore, this study developed an augmented reality-based system that can effectively maintain and manage underground facilities that are difficult to manage because they are located underground. In order to develop an augmented reality-based underground facility management system, three essential requirements, 'precise localization', 'use of BIM information', and 'ensure usability' were derived and reflected in the system. By utilizing Broadcast-RTK, the positional precision was secured to cm level, and the configuration and attribute information of the BIM was converted into the IFC format to construct a system that could be implemented in augmented reality. It developed an application that can optimize usability. Finally, through simulation, the configuration and attribute information of structures and mechanical systems constituting underground facilities were implemented in augmented reality. In addition, it was confirmed that the accurate and highly consistent augmented reality system works even in harsh environment (near high-rise building).

Keywords: Augmented reality, Underground facility, Management system, Design information, BIM (building information model)

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association
24(6)525-538(2022)
<https://doi.org/10.9711/KTAJ.2022.24.6.525>

eISSN: 2287-4747

pISSN: 2233-8292

Received September 27, 2022

Revised October 18, 2022

Accepted October 20, 2022



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution

Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2022, Korean Tunnelling and Underground Space Association

www.kci.go.kr

초 록

우리나라에서는 지하시설물의 노후화와 체계적인 관리 부족으로 인한 안전사고가 지속적으로 발생하고 있다. 하지만 지하공간이 지속적으로 개발되고 있음에도 지하시설물의 관리 주체가 다양하고 이에 대한 현황정보가 명확하게 기록·관리되고 있지 않아, 체계적인 지하시설물 관리에 한계가 있는 상황이다. 따라서 본 연구는 지하에 위치해 확인하기 어려운 지하시설물을 증강현실로 구현하여 유지관리 과정에서 효과적으로 사용할 수 있는 시스템을 개발하였다. 증강현실기반 지하시설물 관리 시스템 개발을 위해 세 가지 필수 요구사항인 ‘정밀 위치파악’, ‘BIM 설계정보 활용’, ‘사용성 확보’를 도출하여 이를 시스템 개발에 반영하였다. Broadcast-RTK를 활용하여 위치정밀도를 cm급으로 확보하였고, BIM 모델의 형상 및 속성정보를 IFC포맷으로 변환하여 증강현실로 구현하는 시스템을 구성하였다. 또한 사용성을 최적화할 수 있는 Application을 개발하였다. 마지막으로, 시물레이션을 통해 지하시설물을 구성하는 구조체 및 기계 시스템의 형상, 속성정보를 증강현실로 구현하였다. 또한 가혹한 환경(고층 빌딩 인접)에서도 정밀하고 정합성 높은 증강현실 시스템이 작동함을 확인할 수 있었다.

주요어: 증강현실, 지하시설물, 관리시스템, 설계정보, 빌딩정보모델

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

일상생활에선 볼 수 없지만 우리 발 아래엔 생활에 필수적인 상수도, 전기, 통신, 가스, 공동구 등의 지하시설물이 존재한다. 업통상부 ‘노후 기반시설 현황’에 따르면 우리나라 전체 지하시설물 중 20년 이상 노후화된 지하시설은 송유관 1,310 km, 도시가스배관 19,680 km, 열수송관 1,163 km로 각각 전체의 97.5%, 37.6%, 26.2%에 이른다.¹⁾ 특히 서울시의 경우 이런 지하시설물이 1970~80년대 집중적으로 건설되어 상수도관의 12.9%, 하수도관의 50.4%가 30년 이상 경과되었다(Lee and Yoon, 2019). 실제로 2019년 상수도관 노후화로 인한 파열로 충무로 일대의 지반침하와 도로침수, 교통마비 사고가 발생하였고, 2018년 열수송관의 노후화 손상으로 목동 일대의 온수 및 난방이 중단되었다. 이 외에도 2018년 KT 아현지사 통신구 화재사고로 약 80억원의 재산피해와 통신장애 등 2차 피해가 발생하여 지하시설에 대한 체계적 관리 필요성이 대두되었다. 이처럼 국내 지하시설물의 노후화와 체계적인 관리 부족으로 인한 안전사고는 지속적으로 발생하고 있다. 하지만 지하시설물의 관리 주체가 다양하고 지하공간이 지속적으로 개발되고 있음에도 이에 대한 현황정보가 명확하게 기록, 관리되고 있지 않아 체계적인 지하시설물 관리에 한계가 있다.

따라서 본 연구는 BIM을 기반으로 지하시설물을 형상정보와 속성을 체계적으로 관리하고 증강현실 기술을 이용해 지하에 매설되어 보이지 않는 지하시설물을 손쉽게 확인하고 관리할 수 있는 시스템 개발에 목적이 있다.

1) 지뢰발같은 지하 배관시설 일체점검해야(이투데이, 2020.10.12.).

1.2 연구의 범위 및 절차

본 연구는 지하시설물의 체계적 관리를 위한 증강현실기반 지하시설물 관리 시스템 개념 디자인을 제안하였다. 시스템 구현을 위한 필수요구사항을 도출하고 필요기술을 도입하여 시제품 개발과 시범시설을 대상으로 시뮬레이션과 평가 및 검증 수행을 본 연구의 범위로 선정하였다. 이를 위한 연구방법과 절차는 Fig. 1과 같다.

- 1) BIM 정보를 활용한 증강현실기반 지하시설물 관리 시스템 구현 필수 요구조건 도출
 - 증강현실 사용자 정밀위치 파악, 지하시설물 설계형상, 속성정보 활용, 증강현실 사용성 향상
- 2) 도출한 필수 요구조건을 구현할 기술 및 방법을 도입하고, 세부 시스템을 설계
 - 통신기지를 이용한 RTK, BIM (빌딩정보모델), 최적화된 AR User-interface
- 3) 시범시설 선정 및 시뮬레이션을 수행하고 결과를 평가
 - 고층빌딩과 인접한 지하시설을 대상으로 증강현실 구현

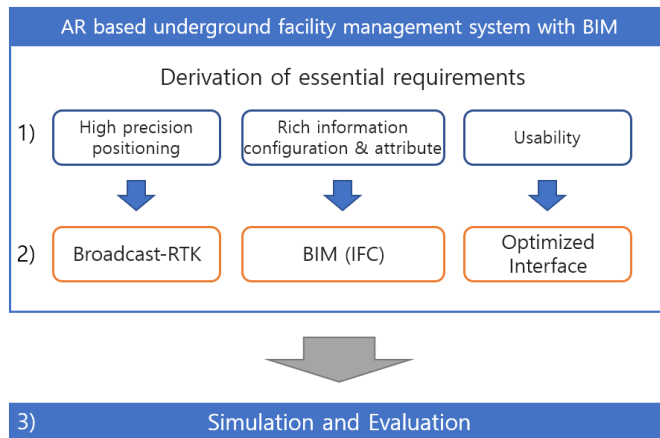


Fig. 1. Research flow

2. 배경이론 및 선행연구 고찰

2.1 증강현실 기술

증강현실(Augmented Reality)이란 현실세계와 가상의 체험을 결합하는 기술로, 실제 환경에 가상 사물 및 그래픽을 합성하여 원래 환경에 존재하는 사물처럼 보이도록 하는 그래픽 기법이다(Bang and Choi, 2010).

증강현실을 구현하는 방법은 Fig. 2와 같이 ‘Optical See-through’ 방식과 ‘Video See-through’ 방식으로 나뉜다. Optical See-through는 사용자의 눈앞에 반투과성 광학 합성기가 부착되어 이곳에 가상의 그래픽이 투과되는 방식이다. 스마트글래스와 자동차 운전석의 HUD (Head-up Display) 등이 대표적이다. 반면 Video See-through는

카메라가 인식하는 현실을 가상 영상과 합성하여 디스플레이에 구현하는 방식이다. 사용자는 스마트폰, 태블릿 PC 등을 활용하여 Video See-through 방식의 증강현실을 구현할 수 있다. Optical See-through는 Video See-through에 비해 사용자의 몰입감이 높은 장점이 있지만, 디스플레이 선명도와 운용 편의성²⁾ 등에 한계가 있다.

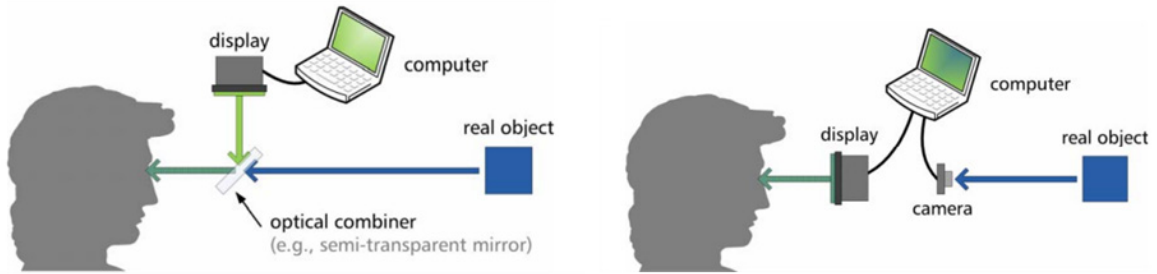


Fig. 2. AR implementation methods: Video See-through (left), Optical See-through (right) (Billinghurst, 2004)

2.2 GNSS 기반 RTK

RTK (Real Time Kinematic, 실시간 이동측위)란 GNSS³⁾ 위치 데이터의 정밀도 향상을 위해 기준점(Base station)의 반송파 위상에 대한 보정정보를 이용하여 이동국(Rover)에서 센티미터급 오차의 정확한 위치측위 방법을 의미한다. RTK 기술은 주로 측량이나 토목분야에서 한정적으로 사용되었으나 최근 자율주행차, 드론, 로봇 등 무인이동체의 자율주행 기기 제어를 위한 수요가 증가하고 있다(KISA, 2020).

하지만 기존의 RTK는 Fig. 3과 같이 기준점을 설치해야 하기 때문에 경제성 및 사용편의성 측면에서 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하고자 국토지리정보원 기준국의 보정신호를 받는 Network-RTK와 여기에 더해 DMB

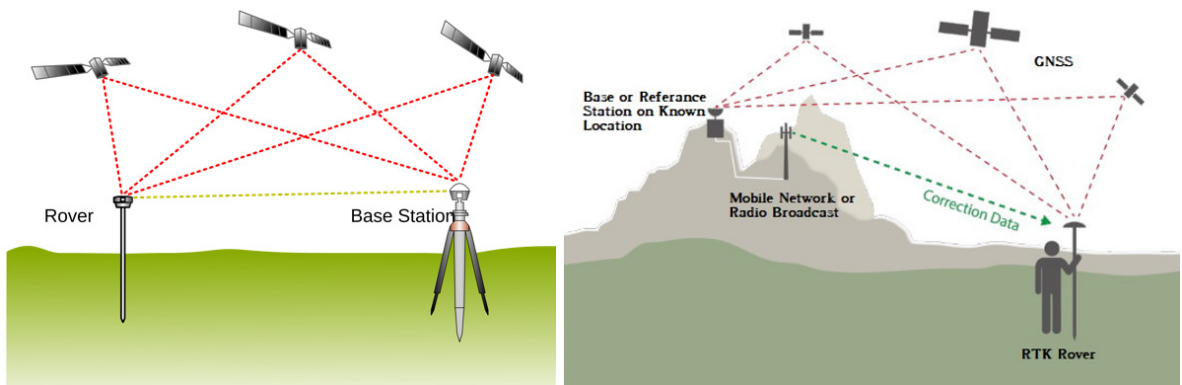


Fig. 3. General RTK vs Broadcast RTK (docs.datagnss.com)

2) 반투과성 유리에 그래픽이 투과되어 선명도가 떨어지고, 사용자가 원하는 기능을 선택(터치)하기에 한계가 있다.

3) GNSS (Global Navigation Satellite System: 위성항법시스템)으로 GPS (미국), Glonass (러시아), Galileo (유럽), Beidou (중국)이 대표적이다.

방송신호 및 LTE를 추가한 Broadcast-RTK 방식들이 사용되고 있다. 특히, 국토지리정보원에서 Network-RTK 서비스를 무료로 제공하여 각종 제품 및 상용서비스에 RTK 기술이 융합됨에 따라 빠른 속도로 Network-RTK 사용자가 늘어나고 있으며(Kim, 2020), Broadcast-RTK는 방송망을 통해 전국의 RTK 기준국 보정신호를 단방향으로 전송하여 Network RTK에서 발생할 수 있는 네트워크 부하 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다(Park et al., 2020).

2.3 BIM 설계정보와 IFC

BIM (Building Information Model)은 3차원 정보모델로 시설물의 형상, 속성 등을 내재하고 있는 디지털 모형을 말한다(Kim, 2010). 미국 연방조달청(GSA)은 BIM 설계 지침을 제공하고 설계 결과물의 디지털로 납품하도록 규정하고 있다(Sacks et al., 2018). 싱가포르 건설청(Building and Construction Authority)은 BIM 발주 가이드를 발간하고 건설사업의 과업지시서 및 입찰안내서에서 이를 준용하고 있다(Koo et al., 2018). 또한 우리나라도 ‘건설산업 BIM 기본지침’을 발표하여 건설산업 전반에 BIM 적용 및 의무화를 추진 중에 있다.⁴⁾ 이 과정에서 BIM 중립 포맷인 IFC (Industry Foundation Classes)가 주로 사용된다. IFC는 건설 프로그램 간의 정보교환을 위해 건물정보를 일관된 데이터로 표현하면서 확장 가능하도록 개발된 스키마이다(Sacks et al., 2018). 따라서 IFC를 통해 건물의 계획, 설계, 시공, 운영 등 전체 생애주기 동안의 모든 정보를 다룰 수 있는 장점이 있다. IFC는 빌딩스마트협회(buildingSMART International)에서 처음 제정되었으며, 국제표준⁵⁾ 및 국내표준⁶⁾으로 등록되어 시설의 형상 및 속성정보 호환에 널리 사용되고 있다.

2.4 선행연구 분석

본 연구에서 증강현실을 이용한 지하시설물 관리 시스템 선행연구 분석 대상은 Table 1과 같다. Lee et al.(2018)과 Cheng et al.(2019)의 공공지하시설물(맨홀, 매설배관 등)을 대상으로 한 연구에서 증강현실 구현 위치파악을 위해 일반 GPS를 사용하였다. 여기서 발생할 수 있는 오차를 극복하고자 Lee et al.(2018)은 카메라를 통해 3D 모델의 영상 정합방법을 사용하였다. 반면 Stylianidis et al.(2020)은 Multi-GNSS를 사용하여 정밀도를 향상하였다. 세 연구 모두 공통적으로 지하매설물을 대상으로 하여 GIS를 기반으로 증강현실 구현 및 객체를 재현하였는데, 이러한 방법은 지하시설(지하통로, 공동구, 지하철 시설 등)의 복잡한 형상과 속성정보를 구현하기에는 한계가 있다.

따라서 본 연구는 Broadcast-RTK기반의 증강현실 위치정밀도 구현과 BIM (IFC포맷 기반)기반의 시설정보 (3D 형상 및 속성) 구현을 대상으로 하였다는데 선행연구와의 차별성을 가진다.

4) LH 공동주택 내년부터 BIM 의무적용 확대...2025년엔 토목·건축 설계 전면(대한전문건설신문, 2020.12.28.).

5) ISO 16739:2013 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries, ISO 16739-1: 2018 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema.

6) KS x ISO 16739:2013 건축/건설 및 시설 관리 산업에서의 건물 정보 호환을 위한 체계 및 표준(IFC).

Table 1. Review of previous studies AR and underground facility

Author	Characteristics	Key technologies
Lee et al. (2018)	<ul style="list-style-type: none"> - Public underground facility (manhole, pipeline, etc) - Automatically 2D drawing to 3D model - Location positioning using camera 	GNSS (GPS), GIS (Arc GIS), AR
Cheng et al. (2019)	<ul style="list-style-type: none"> - Buried underground water pipeline - Use spatial data in GeoJSON format - Utilize smartphone sensor (GPS, camera, screen) 	GNSS (GPS), GIS (GeoJSON), AR
Stylianidis et al. (2020)	<ul style="list-style-type: none"> - Domain positioning system - Use GIS and geodatabases - Evaluate usability KPI 	Multi-GNSS (Galileo, Egnos), GIS (Geo tools), AR

3. 증강현실기반 지하시설물 관리 시스템 개발

3.1 요구성능 도출

본 연구에서 제안하는 ‘BIM 정보를 활용한 증강현실기반 지하시설물 관리 시스템’ 개발을 위해 Fig. 4와 같이 3가지의 필수 요구성능을 도출하였다.

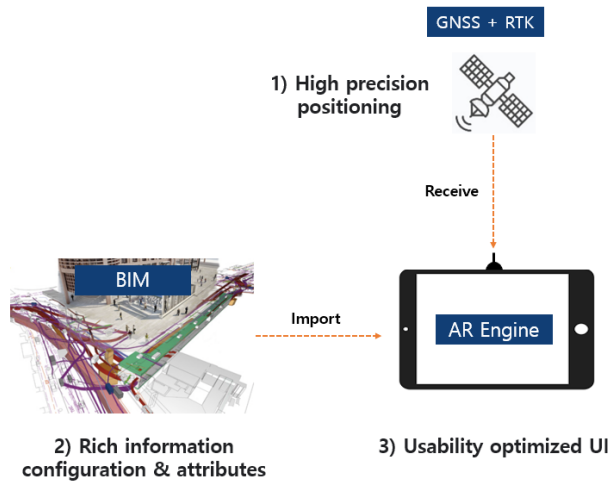


Fig. 4. Essential requirements of this system

첫 번째는 증강현실 사용자의 정밀한 위치 파악이다. 선행연구를 포함한 본 연구에서 지하 배관 및 시설물은 지하에 매립되어 있기 때문에 직접 굴착하지 않으면 외부에서 그 위치와 매설물의 종류를 확인할 수 없다. 주로 지하시설물 관리 시스템은 유지보수 또는 새로운 지하시설을 추가 매설하기 위해 필요한데, 기존 매립된 시설의 위치를 정확하게 파악하지 못하면 굴착시 인접시설 훼손을 초래할 수 있다. 또한 지반침하 사고의 60%가 지하시설

물의 파손에 의해 발생하는 만큼(Kim et al., 2021) 지반침하의 원인을 정확히 규명하는데 지하시설물의 정확한 위치파악이 필수적이다. 이를 위해 자기마커(Magnetic marker) 또는 RFID를 매립당시 시설물에 부착하여 관리하는 방식이 제안되었지만(Kim, 2009), 기존에 매립되어 있는 시설에 추가 설치가 불가능하고, 퇴매우기 및 다짐과정에서 위치 변화나 파손 등의 원인으로 인식률이 떨어지는 한계가 있다.

두 번째, BIM (IFC 포맷) 설계 데이터의 활용이다. 2021년 국토해양부에서 발간한 ‘건설산업 BIM 기본지침’과 ‘2030 건축 BIM 활성화 로드맵’에 따르면 토목·건축 등 건설산업 전반에 2025년까지 전면 BIM설계를 목표로 추진하여 시설물의 전 생애주기동안 발생하는 모든 정보를 3차원 BIM에 통합하여 관리한다는 원칙을 제시했다. 이에 따라 공공분야는 2021년부터 순차적으로 BIM 적용을 의무화하고 민간부분은 2024년부터 적용범위를 확대한다. 이와 같은 추세로 지하시설의 설계정보 또한 BIM으로 통합될 것이다. 따라서 본 연구에서 제안하는 증강현실 기반 지하시설물 관리 시스템은 BIM의 표준화된 포맷인 IFC 형상 및 형상정보의 구현이 필수적이다. 본 연구에서 설계 및 건설과정에서 사용한 BIM 설계정보의 활용을 필수 요구조건으로 도출한 이유는, 지하시설물 사고 예방을 위해 2015년부터 국토부를 중심으로 지하공간 통합지도 구축이 이루어지고 있음에도 실제 매립 위치, 형상·속성정보들의 신뢰성이 높지 않기 때문이다. Lee and Yoon (2019)에 따르면 지하시설물 현황에 대한 정보가 명확히 기록되지 않아 지하시설물의 위치 및 속성정보가 현장과 다른 경우가 많으며, ‘지하공간 통합지도 구축 사업 현황 및 시설물별 데이터 신뢰성’ 자료에 따르면 지하시설물 종류별 매설 데이터 오류율은 최대 32% (전력선 31.7%, 하수도관 27% 등) 이른다. 이는 초기 설계과정에서 사용된 BIM 모델이 아닌 과거 제작된 도면과 현황도를 기반으로 제작된 3차원 모델과 속성정보 입력과정에서 발생할 수 있는 필연적인 오류이기 때문이다. 따라서 본 연구에서 제안한 시스템은 BIM (IFC 포맷)을 기반으로 형상 및 속성정보를 별도의 입력과정 없이 구현할 수 있는 성능이 필수적이다.

마지막으로 도출한 요구성능은 증강현실 시스템의 사용성(Usability)이다. 사용성이란 사용자가 특정 기기를 사용할 때 얼마만큼 효과적이고 만족스러운지 평가하는 지표이다(Lee, 2016). 사용성 국제표준인 ISO 9241-117에 의하면 사용성을 세부적으로 평가하는 기준을 효과성(Effectiveness), 효율성(Efficiency), 만족도(Satisfaction)로 구분한다. 따라서 본 연구에서 개발한 증강현실 시스템의 사용성 성능기준을 아래와 같이 정의하였다.

- 효과성(Effectiveness) : RTK를 통해 정확한 위치정보를 취득하고, 기기의 이동, 회전 시에 3D 모델 위치를 정확하게 구현해 낼 수 있다.
- 효율성(Efficiency) : BIM의 형상과 속성을 손쉽게 불러올 수 있고, 사용자가 증강현실로 구현된 모델을 선택하여 손쉽게 속성정보를 확인할 수 있다.
- 만족도(Satisfaction) : 사용자가 확인하고자 하는 매설물의 카테고리 선택하거나 시각화 범위를 설정할 수 있으며, 실제 발 아래 구현된 듯한 현실감을 얻을 수 있다.

7) ISO 9241-210:2019 - Ergonomics of human-system interaction.

3.2 시스템 구성

본 연구 증강현실 시스템의 요구성능 구현을 위한 시스템 구성도는 Fig. 5와 같다.

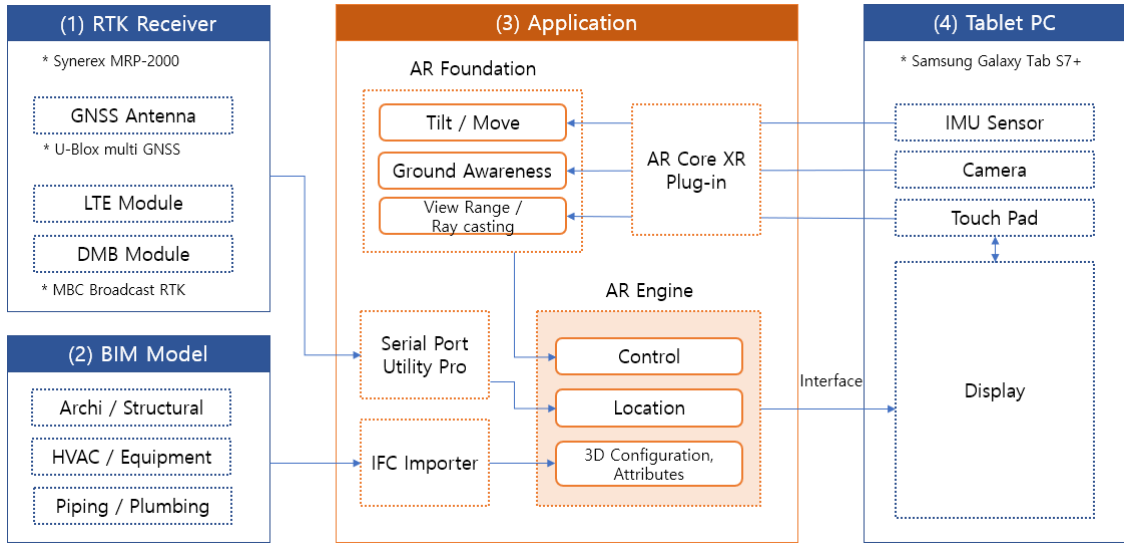


Fig. 5. AR system architecture

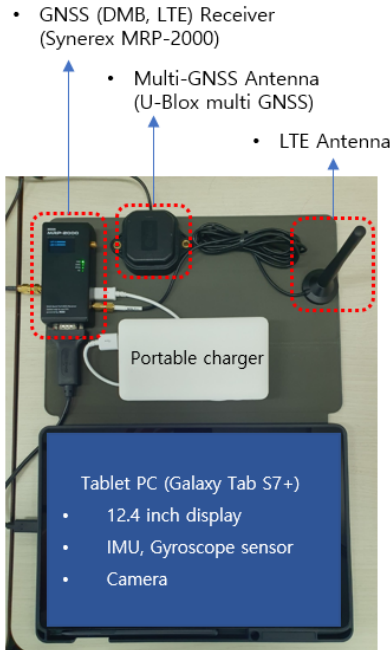
‘RTK Receiver’는 Multi-GNSS 수신기를 기반으로 DMB 방송 및 LTE 통신 수신국을 Basestation으로 사용할 수 있는 모듈이 결합된 수신기를 사용하였다. ‘BIM Model’은 건축/토목 구조물과 각종 설비, 시스템을 통합하거나 별도의 파일로 시스템에 Import 할 수 있도록 하였다. 증강현실을 구현하는 기기인 ‘Tablet PC’에서는 사용자의 이동과 회전 등을 인지하는 IMU sensor (관성측정장치)와 카메라, 터치패드 등의 기능을 사용하였다.

‘Application’에서는 앞에서 설명한 ‘RTK Receiver’, ‘BIM Model’의 데이터를 수신하고 ‘Tablet PC’와 인터페이스가 가능하도록 구성하였다.⁸⁾ 세부적으로, 정밀한 위치정보를 수신하는 Serial Port Utility Pro 모듈과 BIM Model을 IFC로 받아들이는 IFC Importer 모듈, 그리고 Tablet PC로부터 사용자의 사용성을 최적화할 수 있는 AR Core XR Plug-in 및 AR Foundation 모듈로 구성되어 있다. AR Core XR Plug-in은 증강현실 사용자가 Tablet PC를 회전하고 기울이는 등의 행위를 인식하고, 카메라를 통해 지표면 인식 결과를 AR Foundation에 전달하는 기능을 한다. 마지막으로, AR Engine은 앞의 3개 모듈을 통합하여 증강현실 시스템의 요구성능을 구현하는 기능을 한다. 또한 정밀 위치 데이터를 수신하고 BIM 모델 데이터를 통합하여 사용성을 최적화한 UI (사용자 인터페이스)를 제공한다.

8) Unity 2021을 기반으로 개발.

3.3 시스템 개발

본 연구 증강현실 구현 시스템 개발을 위한 하드웨어 구성과 시스템의 알고리즘은 Fig. 6과 같다. 하드웨어는 IMU 및 Gyroscope 센서, 카메라를 포함한 Tablet PC와 부속 장비인 Multi-GNSS Antenna, LTE Antenna, 수신기로 구성된다.



```

Algorithm 1 AR system
1:  $U \leftarrow$  User transform
2:  $B \leftarrow$  Bim model transform
3:            $\triangleright$  The Transform is used to store a GameObject's info
4: procedure AR SYSTEM( $M$ :dict)  $\triangleright$  The M. is BIM Model Location
5:    $G \leftarrow$  GNSS location
6:    $g \leftarrow$  LOCAToMETER( $G$ )
7:    $m \leftarrow$  LOCAToMETER( $M$ )
8:    $r \leftarrow g - m$ 
9:    $h \leftarrow$  ARPlaneManager.raycast
10:   $B.posi \leftarrow (r, h)$ 
11:   $U.rota \leftarrow$  ROTATIONCAM()
12: end procedure
13: function LOCAToMETER( $L$ :dict)
14:   $R \leftarrow$  dict()
15:   $a \leftarrow$  DEGToRAD( $L[lat]$ )
16:   $b \leftarrow$  DEGToRAD( $\cos(a)$ )
17:   $R[lon] \leftarrow L[lon] \times b \times 6371 \times 1000$ 
18:   $R[lat] \leftarrow L[lat] \times a \times 6371 \times 1000$ 
19:  return R
20: end function
21: function DEGToRAD( $d$ )
22:  return  $d \times \pi/180$ 
23: end function
24: function ROTATIONCAM
25:   $H \leftarrow$  compass trueHeading
26:   $C \leftarrow$  AR camera transform
27:   $a \leftarrow -(H - C.localAngle.y)$ 
28: end function
    
```

Fig. 6. Hardware component and algorithm of AR system

Tablet PC Display에 BIM 모델을 배치하기 위해 Fig. 6의 Algorithm 1과 같이 AR system 알고리즘(경위도에 따른 좌표 값 계산, 방위를 이용한 3차원 공간 배치, 지면으로부터의 높이 계산)을 구성하였다. [AR system.13]⁹⁾ Tablet PC를 좌표(0,0)을 기준으로 BIM 모델을 배치한다. 위치 정보는 경위도로 받아오기 때문에 Meter 단위로 좌표를 변환해준다. 각 위치 정보는 투영좌표계에서 계산한다. [AR system.6, 7] BIM 모델과 GNSS 수신기의 위치정보를 좌표 값으로 위도와 경도 거리를 Meter 단위로 각각 계산한다. [AR system.8] 각각 계산한 좌표 값의 차로 좌표(X, Y)를 구한다. [AR system.9] 지면으로부터의 높이는 지면인식 API (ARPlaneManger)를 사용하여 Z 좌표를 구한다. [AR system.10] 계산한 좌표 값(X, Y, Z)으로 BIM 모델을 배치한다. [AR system.11, 24] Tablet PC에서 증강현실 앱 구동 시 Tablet PC에서 바라보는 방향 기준으로 필드가 형성되어 Tablet PC의 IMU Sensor 방위 값과 구동 시의 AR 카메라 방향의 차만큼 필드를 회전한다.

9) Fig. 6 우측 Algorithm 1의 13번째 줄을 설명.

4. 시뮬레이션 및 평가

4.1 대상 시설 선정

본 장에서는 시뮬레이션을 위한 시설과 범위를 선정하였다. 대상은 Fig. 7과 같이 큰 타워에 인접한 지하시설로, 중앙에 선크(Sunken)이 위치해 있다. 대상 지하시설의 상부는 타워 사용자의 진입 및 사람의 보행을 위해 사용되어 보행자 시선에서는 지하에 어떤 시설과 설비가 위치 해있는지 확인이 불가능한 시설이다. 시설 중앙부에 선크가 위치해 있어, 증강현실로 구현한 BIM 형상의 위치가 실제 시설과 위치오차 없이 구현되었는지 확인 가능한 지역으로 선정하였다.

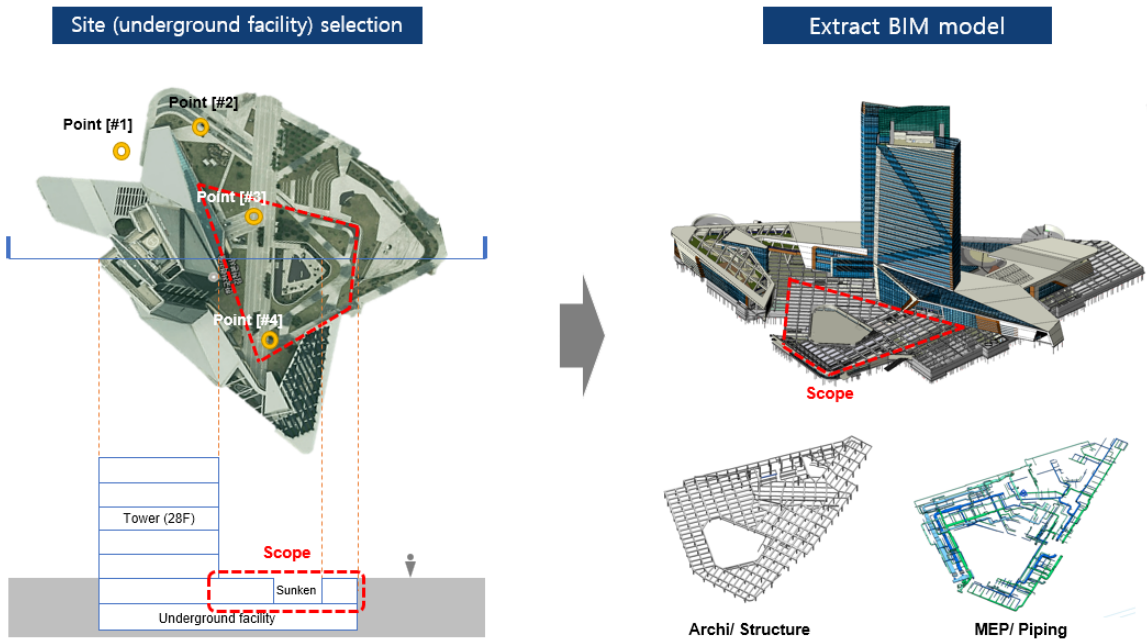


Fig. 7. Simulation site and scope

증강현실을 통해 구현할 시설 대상은 구조체(기둥, 보)와 공조 덕트(HVAC Duct)와 배관(Piping)을 대상으로 하였다. 대상 시설의 전체 BIM 모델과 증강현실 구현 구역의 BIM 모델은 Fig. 7의 우측과 같다.

4.2 시뮬레이션

시뮬레이션은 두 단계로 나뉘서 수행하였다. 처음에는 정밀 위치 파악을 위한 RTK와 지표면 인식(Ground awareness) 기능을 끈 상태에서 증강현실을 구현한 후, 모든 기능을 활성화하여 본 연구에서 제안한 방법의 차이점을 확인하고자 하였다.

RTK를 끈 상태(일반 GNSS를 통한 위치 측정)에서 증강현실 위치 정확도 측정결과는 Table 2와 같이 최소 11 m에서 16 m의 오차를 나타냈다¹⁰⁾. 이는 통상 5~10 m 내외의 오차(Kim and Park, 2012; Choe et al., 2016)를 나타낸다고 알려진 것 보다 큰 값으로, 측정지점 인근에 27층 높이의 건물이 위치해 있어 큰 오차가 발생한 것으로 추정된다. 이러한 오차로 인해 Fig. 8과 같이 증강현실에서 나타난 모델과 실제 위치가 정합되지 않는 현상이 발생하였다.¹¹⁾ 또한 지표면 인식의 부재로 인해 증강현실로 구현한 모델이 지하에 위치한 것이 아닌 대지 표면에 배치되어 현실성이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

Table 2. Location difference without RTK

Location	Point #1	Point #2	Point #3	Point #4
Difference	15 m	11 m	16 m	15 m

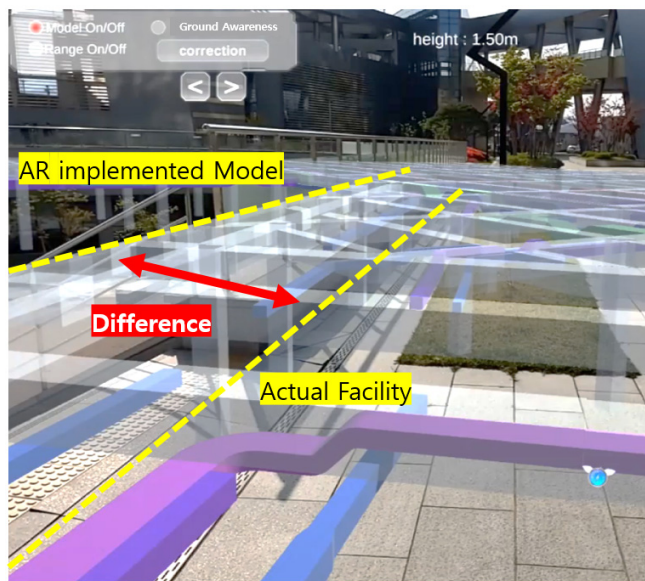


Fig. 8. AR implementation without main functions

이후 RTK와 지표면 인식기능을 모두 활성화하여 구현한 증강현실 화면은 Fig. 9와 같다. 앞에서 발생했던 모델과 실제 시설의 위치 정합성 등의 문제가 개선된 것을 알 수 있다. 실제 시설과 증강현실을 통해 구현된 모델이 정합된 것을 확인할 수 있고, 지표면 인식을 통해 정확한 깊이에 지표면 아래 시설 모델이 배치된 것을 확인할 수 있다. 이는 기존 일반 GPS에서 10미터 내외 위치 측위 오차를 센티미터급으로 줄여 증강현실 구현시 실제 시설과

10) Fig. 7의 좌측 Point #1~#4.

11) Fig. 8의 아래쪽 점선(Actual Facility)은 실제 구조물 끝 라인으로 점선 넘어서는 선크므로, 아무런 구조물과 설비가 없음에도 증강현실 화면에는 구조물 모델(AR implemented Model)이 배치되었다.

BIM 모델의 정합성을 개선하였다는데 의의가 있다. 또한 Fig. 9 좌측 하단 사진과 같이 설계정보 확인 창을 통해 BIM 모델 속성정보가 증강현실 화면에 정확히 구현되는 것을 알 수 있다. 사용자는 Tablet PC의 화면에 구현된 모델을 선택하면 그에 따른 속성을 즉각적으로 확인할 수 있다.



Fig. 9. AR system simulation

5. 결론

본 연구는 지하에 위치해 확인하기 어려운 지하시설물을 증강현실로 구현하여 유지관리 과정에서 효과적으로 사용할 수 있는 시스템을 개발하였다. 증강현실기반 지하시설물 관리 시스템 개발을 위해 세 가지 필수 요구사항인 ‘정밀 위치파악’, ‘BIM 설계정보 활용’, ‘사용성 확보’ 를 도출하여 이를 만족하는 시스템을 개발하였다. Broadcast-RTK를 활용하여 위치정밀도를 센티미터급으로 확보하였고, BIM 모델의 형상 및 속성정보를 IFC 포맷으로

변환하여 증강현실로 구현하는 시스템을 구성하였다. 또한 사용성을 최적화할 수 있는 Application을 개발하였다. 시뮬레이션을 통해 지하시설물을 구성하는 구조체 및 기계 시스템의 형상, 속성정보를 구현하였다. 또한 가혹한 환경(고층 빌딩 인접)에서도 정밀하고 정확성 높은 증강현실 시스템이 작동함을 확인할 수 있었다.

결과적으로 본 시스템을 활용해 지하에 매설되어 보이지 않은 지하시설물을 증강현실로 손쉽게 확인하고, BIM 기반의 속성정보를 체계적으로 관리하는데 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20217910100010).

저자 기여도

신재섭은 연구 개념 및 설계, 원고를 작성하였고, 안송강은 시스템 개발 및 원고 작성을 하였고, 송정욱은 원고 검토를 하였다.

References

1. Bang, J., Choi, E. (2010), Augmented reality (AR) technology trends and development prospect, Emerging Issue Report 16, KISTI, pp. 5.
2. Billinghurst, M. (2004), "Introduction to augmented reality", Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference 2004 (VR 2004), Chicago, IL, USA.
3. Cheng, L.M., Amerudin, S., Yusof, Z.M. (2019), "Development of Augmented Reality Pipeline Visualiser (ARPV) Application for Visualising Underground Water Pipeline", Proceedings of the 6th International Conference on Geomatics and Geospatial Technology (GGT 2019), Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 365-373.
4. Choe, T.S., Kang, J.M., Kim, H.S., Park, J.B. (2016), "Low-end GPS position accuracy enhancement method by using map information", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 65, No. 4, pp. 659-665.
5. Kim, H., Kim, D., Lee, J., Lee, J. (2021), "Domestic trend of underground safety management system", Magazine of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 23, No. 2, pp. 110-119.
6. Kim, H.H. (2020), GNSS positioning correction information service of national geographic information institute, Workshop on Activating GNSS Positioning Information Service, pp. 1-16.
7. Kim, I. (2010), "The history and concept of BIM", Review of Architecture and Building Science, Vol. 54, No. 1, pp. 16-21.
8. Kim, I.S. (2009), "A study on the development of field management system for underground utility using self-levelling marker and DGPS", Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry,

and Cartography, Vol. 27, No. 6, pp. 733-739.

9. Kim, N.H., Park, C.H. (2012), "A study on the advanced altitude accuracy of GPS with barometric altitude sensor", *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 49, No. 10, pp. 18-22.
10. KISA (2020), LBS industry trend report, Monthly Report January 2020, Korea Internet & Security Agency.
11. Koo, B.S., Ok, H., Yu, Y.S., Jung, R.K. (2018), "Analysis of Singapore's BIM tender documents for the development of infrastructure BIM guidelines in Korea", *Journal of KIBIM*, Vol. 8, No. 2, pp. 19-28.
12. Lee, H.J., Kim, J.S., Seo, H.S., Cho, Y.S. (2018), "Development of location based augmented reality system for public underground facility management", *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 19, No. 2, pp. 237-243.
13. Lee, S.M., Yoon, H.M. (2019), Improvement in safety management for underground facilities in Seoul, 2019-PR-43, The Seoul Institute, pp. 5.
14. Lee, W. (2016), "Usability evaluation concept of mobile augmented reality interface design", *Journal Korea Society of Visual Design Forum*, No. 53, pp. 191-200.
15. Park, D., Lee, S., Ahn, S., Won, J. (2020), "Performance verification of broadcast-RTK technology in kinematic positioning", *Proceedings of the 2020 IPNT Conference*, Yeosu, pp. 43-52.
16. Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook* (3rd ed.), John Wiley & Sons, New Jersey, pp. 325-326.
17. Stylianidis, E., Valari, E., Pagani, A., Carrillo, I., Kounoudes. A., Michail, K., Smagas, K. (2020), "Augmented reality geovisualisation for underground utilities", *PFG - Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, Vol. 88, No. 2, pp. 173-185.