

지하구조물 자동갱신 시스템 개발*

이민규^{1*} · 한상훈² · 김성수³

Development of an Automatic Updated System for Underground Structures*

Min-Kyu LEE^{1*} · Sang-Hoon HAN² · Sung-Su KIM³

요 약

최근 들어 지반침하 발생이 전국적으로 늘어감에 따라 지하공간개발, 지하안전관리를 위한 지하 정보의 최신성 및 활용성은 그 어느 때 보다 중요해졌다. 하지만 2015년부터 시작된 지하공간통합지도 구축사업은 수작업기반의 장주기 갱신체계의 문제점을 갖고 있다. 본 논문은 이러한 한계를 극복하고 2D·3D 지하구조물 데이터를 가공, 변환, 갱신, 관리, 가시화 등의 지하구조물 데이터 관리의 전 주기적 관점에서 자동화 관리가 가능한 3D CAD/GIS 기반 지하구조물 통합관리 자동 갱신기술을 구현하였다. 이러한 기술을 적용한다면 기존의 복잡한 지하구조물 3차원 구축 로직을 하나의 시스템에서 통합처리 및 갱신 관리가 가능하며, 지하구조물 자동갱신을 위한 기반 기술로서 지하공간개발 및 지하안전관리에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

주요어 : 지하구조물, 지하구조물 자동갱신 시스템, 지하공간통합지도, 3D CAD, 3D GIS, 지하안전

ABSTRACT

In recent years, as the number of ground subsidence has increased nationwide, the latest and usefulness of underground information for underground space development and underground safety management has become more important than ever. However, the 3D Underground Geospatial Map project, which started in 2015, has a problem with the manual-based long-term update system. This research paper overcomes these limitations and automatically updates the 3D CAD/GIS-based integrated management of underground structures that can be managed automatically from a full-cycle perspective of underground structure data management such as processing, transformation, updating, management,

2021년 10월 13일 접수 Received on October 13, 2021 / 2021년 11월 25일 수정 Revised on November 25, 2021 / 2021년 11월 26일 심사완료 Accepted on November 26, 2021

* 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21DCRU-B158151-02).

1 아이씨티웨이(주) 책임연구원 Senior Researcher, Division of GI1

2 아이씨티웨이(주) 선임연구원 Assistant Researcher, Division of GI1

3 아이씨티웨이(주) 연구위원 Principal Researcher, Division of GI1

* Corresponding Author E-mail:mklee@ictway.co.kr

and visualization of 2D/3D underground structure data. If this technology is applied, it is possible to integrate processing and update management of the existing complex 3D construction logic of underground structures in one system, and it is expected that it can be used for underground space development and underground safety management as a foundation technology for automatic update of underground structures data.

KEYWORDS : *Underground Structures, Updated System for Underground Structures, 3D Underground Geospatial Map, 3D CAD, 3D GIS, Underground Safety*

서 론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 도심지 지하공간개발, 수도권 광역 급행철도(GTX) 등 지하공간의 활용이 활발해지고 있으나, 2018년 KT 아현지사 공동구 화재사고, 2018년 고양시의 노후화된 열수송관 파열 사고로 인한 인명피해, 2019년 서울시 영등포구 여의도동 지하보도 공사현장에서 발생한 상수도관 누수로 인한 지반침하 발생 등과 같이 체계적이지 못한 지하공간 개발로 인해 도로붕괴, 침하 등의 지하안전사고가 지속해서 증가하고 있다. 정부에서는 이를 해결하려는 방안으로 지하안전관리 강화를 목표로 한 ‘14년 “지하안전관리”에 대한 예방대책을 수립하고, “지하안전관리에 관한 특별법”을 근거로 개별 부처 및 기관별로 산재되어 있는 지하정보를 통합하였다. 또한, 전국 범위의 지하공간통합지도를 제작하여 지하공간의 체계적인 관리를 도모하기 위한 지하정보통합체계 구축사업을 추진하고 있다.

지하공간개발, 지하안전관리에 있어서 지하정보의 최신성 및 정확성이 매우 중요한데도 불구하고 여전히 지하공간통합지도는 수작업기반의 장주기 갱신체계 한계성을 극복하지 못하고 있다(Lee *et al.*, 2020). 지하구조물의 경우 준공도면이 아닌 설계도면으로 관리되는 예도 있어서 정확한 지하구조물 정보를 제공하는 데 어려움이 있다. 또한, 지하구조물 정보를 구축하기 위해서는 준공도면과 측량자료를 활용하여 수작업기반의 복잡한 지하구조물 3차원 가공 프로세스를 거치게 되는데, 3차원 지하구조물 구축에

시간과 비용이 많이 소요되고 있다. 현행 지하구조물 3차원 가공 프로세스는 크게 첫째, 지하구조물 자료정제 둘째, 보조측량 셋째, DB 구축 등으로 이루어져 있다. 하지만 갱신체계에 대한 프로세스와 자동화 기술이 아직 전무하기 때문에 이를 해결하기 위한 지하구조물 자동갱신 기술개발이 필요하다.

본 연구개발에서 개발된 지하구조물 자동갱신 기술은 현행 수작업 기반의 지하공간통합지도 구축 체계를 대체하여 데이터 취합, 2차원 데이터 저장, 3차원 모델 생성 등에 관한 자동화 갱신체계를 구성한다. 또한, 지하공간통합지도 파일을 3차원 지하공간 가시화 및 분석을 할 수 있는 서비스 파일(3D Tiles)로 변환할 수 있어 다차원 지하정보 서비스 활용성 향상에 무게를 두었다.

2. 연구의 범위 및 방법

지하구조물 자동갱신 기술 연구개발 연구내용은 준공도서제출시스템(www.uics.go.kr)으로 등록된 지하구조물 캐드도면 파일(DWG 포맷)을 읽어 자동으로 3차원 모델을 생성 및 가시화하여 생성된 파일을 3차원 모델파일로 변환 자동갱신하고 이력을 관리하는 내용을 핵심 목표로 한다.

지하구조물 3차원 모델 생성 대상은 지하철역사(선로 포함), 지하차도, 지하주차장, 지하보도, 지하상가, 공동구 등 6종의 지하구조물을 대상으로 한다. 지하구조물 자동갱신 시스템 기능은 크게 6개(DB관리, 2차원 도면관리, 3차원 모델생성, 서비스파일 생성, 이력관리, 가시화) 프로그램 모듈로 구성되어 있다.

TABLE 1. R&D Scope

System	Configuration	Details	Note
Automatic update system for underground structures	DB Management	<ul style="list-style-type: none"> • Saving and changing underground structure layers 	
	2D Drawing Management	<ul style="list-style-type: none"> • Drawing type management • Input drawing (DWG) information management 	
	3D Model Creation	<ul style="list-style-type: none"> • Creating a 3D model of a 2D drawing 	
	Service File Creation	<ul style="list-style-type: none"> • Intermediate file format generation (.dae) • Convert 3D model file into service file (3D tiles) 	
	History Management	<ul style="list-style-type: none"> • Underground structure update history information management 	
	Visualization	<ul style="list-style-type: none"> • 2D · 3D CAD/GIS Visualization • 3D CAD Drawing Visualization 	

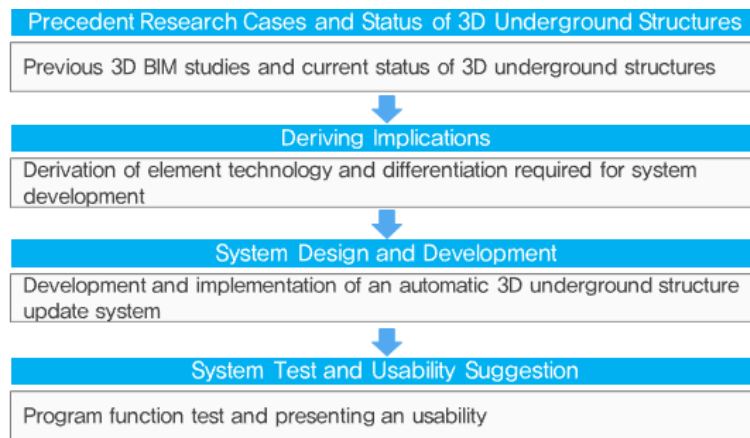


FIGURE 1. Research study flow

본 연구의 수행방법은 다음과 같다(그림 1). 첫째, 3D BIM 선행연구를 조사하고 관련 국내 외 3차원 지하구조물 시스템 현황을 파악하였다. 둘째, 시스템 개발에 요구되는 요소기술 및 차별성을 도출하였다. 셋째, 위의 요구사항을 반영한 지하구조물 자동갱신 시스템을 설계 및 개발하였다. 넷째, 내부 테스트환경을 구성하여 개발 기능을 테스트하고 활용성을 제시하였다.

본 론

1. 선행연구 사례

BIM(Building Information Modeling) 기술은 2002년 Autodesk 사에 의해서 소개된 이후로 건축계획, 설계, 엔지니어링, 시공, 유지관리,

에너지 등 건설산업의 전 분야에 걸쳐 광범위하게 적용되어가고 있으며, 기존 2차원 기반의 도면 정보체계를 건물의 실제 형상과 정보를 가지는 3차원 파라메트릭 솔리드 모델링 기반의 정보체계로 건설산업의 패러다임을 변화시키고 있다(Goh *et al.*, 2008). BIM을 활용한 스마트 도시시설물 유지관리 분야의 활용은 3D 도면 기반 시각적 통합데이터베이스의 운영을 기반으로 설계단계에서 준공도면, 시설물 이력정보 등 다양한 정보의 연계를 통한 정보관리의 효율화, 기능별 공간별 용도별 유지관리정보의 추출, 의사소통 향상의 다양한 목적을 가짐에도 불구하고 교량, 터널 등 대형 토목시설물 분야의 개발은 건축 분야보다 매우 부족한 상태로 BIM 도입은 초기 단계로서 BIM 활용의 최종 단계인 BIM-FMS(Facility Management System)로

TABLE 2. Prior research trend for 3D BIM

Authors (Year)	Division	Research Details
Goh <i>et al.</i> (2008)	Title	Extracting Building Geometry from BIM for 3-D City Model
	Contents	A method of creating a 3D building model for virtual land or virtual city construction with building information created in CAD/BIM
Yoon <i>et al.</i> (2009)	Title	A BIM Case Study in Construction Phase : D3 city Project
	Contents	A review of the necessity and application technology of BIM technology at the construction site, and BIM effects and implications through technical application
Yoon <i>et al.</i> (2013)	Title	A Prototype BIM Server based Viewer for Cloud Computing BIM Services.
	Contents	A study on the direction of cloud-based BIM service development through BIM server viewer development and usability verification
Kim <i>et al.</i> (2014)	Title	BIM Application Case Study of Civil Infrastructure Industry
	Contents	A study on the application of 3D modeling of structures and 4D process data by applying BIM to railroad facility construction work
KICT (2016)	Title	Development of Open Platform for Interoperability between BIM and GIS
	Contents	A study on the development of BIM/GIS interoperational open platform to utilize BIM/GIS spatial data models and linked technologies and application services
Kim <i>et al.</i> (2018)	Title	A Study on the Application Service of 3D BIM-based Disaster Integrated Information System Management of Effective Disaster Response
	Contents	BIM-based major facility monitoring and response services and BIM-based spatial management service plans
Jeon <i>et al.</i> (2020)	Title	Establishment of Augmented Reality Based Building Element Information Visualization System using Unity3D
	Contents	Presenting a methodology for visualizing shape/property information for individual members of the BIM model in the AR environment using the Unity3D engine
Choi <i>et al.</i> (2021)	Title	A Study on the Subway Maintenance Technique based on 3D Spatial Information Model
	Contents	A study on underground structure of subway and peripheral environment risk evaluation and maintenance techniques based on 3D spatial information model

서의 적용에 매우 미흡한 상태라 볼 수 있다 (KICT, 2016).

본 절에서는 토목인프라 3D BIM 기술을 활용한 사례와 3D BIM 기반 시각화 정보시스템 개발 사례에 관한 선행연구 동향을 살펴보았다 (표 2).

기존 토목인프라 활용 분야의 3D BIM 선행 연구 사례를 살펴보면 3차원 모델 기반의 가시화 중심의 2D 도면오류 및 공중간 간섭 발견, 공정계획의 보안사항 도출, 시물레이션을 통한 공법 결정 등에 활용되고 있다. 또한, BIM/GIS의 다양한 데이터를 활용한 기술적용 연구도 아직 미흡하거나 초기 단계임을 확인할 수 있다. 단순 3차원 모델을 활용한 가시화 활용 모델에서 벗어나기 위해서는 방대한 BIM/GIS 데이터

를 관리하고 다양한 속성정보가 연계된 2D·3D 공간정보 기술개발이 필요하다. 2D 지하구조물 준공도면이 3차원 모델로 생성·변환되고 최종 DB로 갱신되는 일련의 과정 또한 매우 복잡하다. 이러한 복잡한 비즈니스 로직을 사용·관리자 측면에서 활용하기 쉬운 단순화된 비즈니스 로직으로의 방향 전환도 필요할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 단순 3차원 시각화 기술개발에서 벗어나 준공도면, 시설물 이력정보, 3차원 모델파일 생성 및 변환·갱신 등 다양한 정보연계 및 통합 관리할 수 있는 시스템 개발을 주목적으로 한다.

2. 국내외 3차원 지하정보 시스템 현황조사

본 연구에서는 3차원 지하구조물 자동갱신 시스템 개발 방안을 제시하기 전에 앞서 국내외 3차원 지하정보 시스템 현황을 아래와 같이 살펴 보았다.

1) 국내사례

가) 서울특별시 지하시설물 통합정보 시스템
서울시는 지하시설물 통합정보시스템을 통하여 각종 설계 및 공사 시 지하정보 활용이 가능하도록 하며 체계적으로 지하시설물을 관리하고 있다. 서울시는 이 시스템을 활용하여 도로굴착 복구 인허가, 각종 사업계획 수립 및 건설공사 시 안전사고 예방을 위해 활용되고 있으며 지하 관련 사고 발생 시 신속한 조치를 위한 정보를 제공한다. 지하시설물통합정보시스템의 주요기능에는 조회 및 관리기능이 있으며 세부적으로 시설물정보 조회 기능은 지하시설물에 대한 위치검색, 조건검색, 속성조회, 공간검색 등이 가능하다. 지도출력조회 기능은 지도 템플릿을 출력할 수 있으며, 주제도별 다분면 조회, 항공사진 로드뷰 정보를 제공한다. 성과물 관리는 굴착허가 시 기본도를 제공하며, 도로굴착온라인 시스템과 연계하여 준공성과물 등록 및 관리를 할 수 있다. 2D, 3D 횡단면도 조회는 지하에 매설된 지하시설물의 2차원, 3차원 횡·단면도를 조회할 수 있다. 지하시설물 통합정보시스템은 3차원 기반 가시화 기능을 제공하며 3차원 건물데이터, 항공사진, 수치표고모형 등을 동시에 가시화한다.

나) BIM/GIS 상호운용 개방형 플랫폼 개발
한국건설기술연구원의 ICT융합 연구소에서는 기존 BIM 데이터를 바탕으로 컬러 맵핑을 통한 3차원 시각화기술을 개발하여 BIM 기반으로 건물 외부의 형상과 텍스처, 이미지를 추출 할 수 있는 기술을 개발하였다(KICT, 2016). 이 기술은 기존 3차원 엔진 역할을 수행하는 오픈소스 World Wind Java의 KMS 처리 모듈을 사용하는 것이 아닌 KML(Keyhole Markup Language)데

이터를 플랫폼 서비스 포맷으로 변환하여 처리하였다. 이 시스템에서는 지상 데이터의 반투명 처리 및 가시화 기술과 지하객체 컬러링(Coloring)기술 등을 적용하였다.

다) 지하매설물 모니터링 및 관리시스템

지하안전융합연구단(UnderGround Safety, UGS)은 사물인터넷(IoT)을 기반으로 ‘지하매설물 모니터링 및 관리시스템’을 개발하여 지하매설물 3차원 기반으로 가시화하였다. 해당 연구개발을 통해 지하매설물을 3차원 가시화할 수 있는 지도 시스템을 개발하였으며 클라이언트/서버 기반 지하매설물 GIS 데이터 저장 및 검색 모듈, 2차원/3차원 GIS 데이터 지상 및 지하로 구분하여 가시화 모듈을 개발하였다. 이 시스템을 통하여 GIS 데이터와 영상 데이터를 중첩시켜 가시화함으로써 위치 확인 편의성을 제공하고 GIS 데이터 속성정보 검색 및 가시화함으로써 지하매설물의 속성을 편리하게 확인할 수 있으며 센서 노드와 GIS 데이터를 중첩시켜 가시화함으로써 센서 노드 위치 확인 기능을 제공한다. 또한 SRI(Subsidence Risk Index)에 따른 위험도를 표시하고 위험지역 지하 보기 기능을 통한 지하 상태 및 위험한 지하매설물을 확인할 수 있다. 지하매설물(상하수도 관로, 상하수도 맨홀, 지하철 역사 등) 3차원 모델링은 지하공간통합지도를 활용하여 가시화하였다.

라) 마고(mago) 3D

mago3D는 AEC(Architecture, Engineering, Construction) 영역과 전통적인 3차원 공간정보(3D GIS)를 통합적으로 관리, 가시화 해주는 3차원 플랫폼으로 실내외 구분 없이 AEC와 3D GIS를 웹 브라우저에 통합화시켜 가시화하는 기술이다. 초대용량 BIM, JT(Jupiter Tessellation), 3D GIS파일 등을 별도의 플러그인이나 액티브엑스 없이 웹 브라우저상에서 바로 확인할 수 있다. 마고3D는 오픈 소스(Cesium, World Wind)를 기반으로 개발된 오픈 소스로서 다양한 3차원 모델 포맷(IFC, OBJ, 3DS, COLLADA, JT)을 지원한다. 특히, mago3D.js는 3D GIS 엔진

에서 BIM/AEC 데이터를 다룰 수 있게 확장해주는 플러그인으로 REST API를 통해 데이터를 송수신하며 다양한 API를 제공하여 3차원 모델 데이터 속성과 공간정보를 활용할 수 있게 해주는 가시화 기술이다. 이 기술은 LOD(Level of Detail), 3D Tiling, REST(Representational State Transfer) API, NSM(NET Surface Mesh) 지원하며 가시화뿐만 아니라 응용 시스템 구현에 필요한 Javascript API를 제공한다.

2) 국외사례

가) SuperMap 3D GIS

슈퍼맵은 3차원 시설물을 가시화하고 분석하는 기능을 제공한다. 슈퍼맵은 실내외 환경에 존재하는 다양한 공간 데이터(경사 이미지, 3D 관로, 지형 등)를 하나로 통합시키며 공간분석을 지원하며 공간객체들을 2차원 및 3차원으로 가시화하는 기능을 제공한다. 또한 슈퍼맵 GIS 엔진에 BIM 데이터 포맷(FBX, IFC, DAE, OBJ, 3DS, OSGB/OSG)을 가져올 수 있다. 슈퍼맵은 지하시설물을 3차원으로 분석할 수 있는 기능을 제공하며 이를 위해 3차원 관로 포인트, 관로 심볼을 제공하며, 관로의 중단면 분석, 파열분석, 접합분석, 굴착분석 등의 기능을 제공한다.

나) 중국 선전시 난산지구 지하주차장 3차원 시스템

중국 선전시에서는 난산지구 호우하이 지역의 3차원 지하주차장 모델구축을 위해 주도면과 보조도면을 사용하였다. 주도면은 3차원 부동산 객체의 공간적 형태를 포괄적으로 가시화하기 위해 적용하였고 부등각 투영과 근사한 원근법을 사용하였다(Bae *et al.*, 2016). 보조도면은 다른 원근법을 사용하여 3차원 객체의 공간적 형태를 더 세밀하게 가시화하였다. 보조도면에는 정면도, 측면도, 입면도 등이 있으며, 해당 객체와 주변의 필지 또는 지형 및 도로, 시설물과 같은 주변 객체 간의 공간적인 관계를 가시화하였다.

다) Autodesk Civil 3D

미국 오토데스크사에서는 Civil 3D를 이용하여 지하시설물을 모델링하고 이를 3차원 기반으로 가시화하는 기능을 제공하며 현실적인 표현을 위하여 지형데이터는 포인트 클라우드로부터 TIN(Triangulated Irregular Network)을 생성하여 가시화를 하고 있다. 또한 포인트 클라우드를 이용하여 지하시설물 3차원 모델을 생성하고 관로의 크기를 조절하며 관저고를 재설정하는 기능을 통하여 가시화 기능을 제공한다. 3ds MAX 용으로 내보내기를 할 수 있으며 내보내는 파일은 Civil View 기반 시각화에 동적으로 링크할 수 있다.

3) 시사점(차별성)

앞서 언급한 국내외 3차원 지하정보 시스템 사례는 주로 지하시설물에 한정하여 3차원 가시화 및 지하시설물 속성을 조회할 수 있는 기술에 초점이 맞춰져 있다.

서울시 지하시설물 통합정보 시스템 사례에서는 3차원 지하시설물 가시화 및 속성조회 기능을 제공한다.

한국건설기술연구원의 BIM/GIS 개방형 플랫폼은 BIM 데이터 기반의 3차원 시각화기술 개발에 중점을 두고 있다. 지하안전융합연구단의 지하매설물 모니터링 및 관리시스템은 3차원 기반의 지하매설물을 가시화하고 속성정보를 검색할 수 있는 기능을 제공한다.

마고3D는 3D GIS를 통합적으로 관리해주는 플랫폼으로서 다양한 3차원 모델 포맷을 지원하는 기술을 개발하였다.

미국과 중국 사례의 경우 2차원 시설물을 가시화하고 분석하는 기능을 제공하고 있으며, 다양한 BIM 데이터 포맷을 다룰 수 있는 기능을 제공하고 있다. 이러한 사례들은 지하시설물에 대한 3차원 GIS/BIM 데이터를 기반으로 가시화 및 속성조회 등과 같은 지하시설물을 통합적으로 관리할 수 있는 3차원 기반 기술을 제공한다는 점에서 의미가 있다고 볼 수 있다.

그러나 지하구조물 3차원 구축과정은 수작업 기반의 매우 복잡한 비즈니스 로직을 거치고 있고 최종 3차원 서비스를 하기 위해서는 여러 단

TABLE 3. Differentiation of technology

Division		Differentiation of Technology
Automation of 3D processing and transformation	3D model processing automation	<ul style="list-style-type: none"> ○ Create a 3D DWG/DXF model for 6 types of underground structures (subway station and track, underground roadways, underground sidewalks, underground shopping malls, underground parking lots, and utility tunnel) ○ 3D DWG/DXF model creation of subway station facilities (entry stairs) ○ Create 6 types of underground structures 3D tilesets (service files)
	3D model conversion automation	<ul style="list-style-type: none"> ○ Converting a 3D object model in the form of a region into a triangular mesh form ○ DWG and DXF file formats are converted into DAE file formats ○ Convert DAE file format to 3D tile set (service file) format
3D update automation	2D drawing management	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2D submitting completion drawing management (type of drawing, drawing information)
	DB management	<ul style="list-style-type: none"> ○ Underground structure ledger format (attributes, coordinate system) information stored and changed ○ Underground structure 2D spatial data management (Well-Known Text)
	3D file management	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3D DWG, DAE, 3D tile set, etc. 3D update history management
Survey point management	Positioning of survey points	<ul style="list-style-type: none"> ○ Position the relative coordinate 3D model to the absolute survey point
	Coordinate change	<ul style="list-style-type: none"> ○ Automatic transformation from relative to absolute coordinates
3D visualization and analysis	3D CAD visualization	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3D flat style ○ 3D wire flame style
	3D GIS visualization and analysis	<ul style="list-style-type: none"> ○ Visualization of 3D models and analysis of underground information through 3D viewer

계의 파일 변환기술을 요구하고 있다. 그리고 지하구조물 2D CAD 도면과 3D GIS 데이터를 효과적으로 갱신 관리하기 위해서는 2차원·3차원 지하구조물 형상정보와 속성정보를 통합적으로 관리할 수 있는 기술 또한 필요하다. 현재 3차원 지하구조물 구축 체계는 복잡한 데이터

가공, 변환, 가시화 서비스의 단계를 거치고 있고, 각 단계에서 발생하는 정보를 전 주기적 관점에서 데이터를 관리하는 기술이 부족하다.

현행 3차원 지하구조물 구축모델은 상대좌표로 관리되고 있고 상대좌표로 생성된 모델은 지상에서 관측한 측량점으로 맞추고 있다. 이러한

TABLE 4. Improvements compared to the existing process

Existing Process	Advanced Process
1. Drawing collection	
2. Computerized drawings	
3. Layer refinement	
4. Structure surveying	
5. Location editing	
6. Structured editing	1. Download drawing files, coordinate system, and attributed files through the Submitting Completion Drawing Web System
7. 3D polyline	
8. Exterior wall offset	2. Automatically convert 2D drawings to 3ds or dae files using the Automatic Updated System for Underground Structures and extract the 2D drawings from the outlines into WKT format
9. 3D face	
10. 3ds, dae files converting	
11. Update data in DB	
12. Securing 3D model files loaded by city, county, and district units	3. Automatic update of DB and services files
13. Converting 3D model into service file by city, county, and district units	
14. Updated the converted service file to the operation server	

일련의 수작업과정을 자동화하고 보다 정확한 위치 정확성을 확보하기 위한 절대좌표 기반의 측량점 관리 기술 또한 필요하다. 마지막으로 CAD 혹은 GIS 환경에서 요구하는 다양한 3차원 가시화 스타일을 제공하여, 사용자가 지하구조물을 여러 측면에서 더욱 생생하고 현실감 있게 파악할 필요가 있다.

본 연구에서는 2D·3D 지하구조물 데이터를 3차원 가공, 변환, 갱신, 측량점 관리, 다양한 가시화 스타일 등을 포함한 통합적인 지하구조물 정보관리 기술을 제공한다(표 3). 특히 표 4와 같이 기존의 복잡한 수작업 구축방식에서 획기적으로 개선된 자동화 프로세스를 수립하였다.

4) 지하구조물 자동갱신 시스템 개발

가) 지하구조물 자동갱신 시스템 설계

지하구조물 자동갱신 시스템은 윈도우 기반 응용프로그램이다. 지하시설물 갱신 이력과 레이어 속성을 관리하기 위해 객체-관계형 데이터베이스의 한 종류인 PostgreSQL을 사용한다. 프로그램은 ① 지하구조물 변화객체 수집 ② 지하구조물 변화객체 정보관리 ③ 지하구조물 변화객체 서비스 파일 생성 요청 및 결과 확인 ④ 2차원 도면의 3차원 모델 생성 ⑤ 지하구조물 갱신 이력 저장 ⑥ 지하구조물 갱신 이력 조회 ⑦ 지하구조물 변화객체 서비스 파일생성으로 이뤄져 있다. 주요 자동갱신 기능은 DLL로 구성되어 있고 .NET Framework 4.7.2 개발환경에 C#언어를 적용하여 개발하였다. CAD 편집 프로그램 개발은 Cadian Master 엔진을 활용하여 C++을 사용하였다. 본 시스템은 Cadian Master 팔레트 메뉴에 지하구조물 자동갱신

DLL 라이브러리 파일들을 호출해서 작동하도록 설계하였다. 시스템에서 요구되는 최소한의 소프트웨어/하드웨어 운영환경 요구사항은 표 5와 같다.

지하구조물 자동화 시스템은 두 가지 관점(통합관리 부분 및 연계부분)에서 설명된다. 통합적 부분은 단일 시스템 내에서 2D도면 3차원 모델생성, DAE파일 변환, WKT 추출, 서비스 파일 생성, 2D/3D 지하구조물 파일 및 DB갱신이 가능하도록 설계되었다. 연계적 관점에서는 메시지 모듈을 통해서 준공도서 제출시스템과 연계되어 제출되는 2D 지하구조물 도면 및 대장정보(서식)를 메시지 MQ를 통해 준공도서 제출 파일 메시지를 받고 제출된 파일은 SFTP방식으로 다운로드 받을 수 있게 하였다. 뿐만 아니라 갱신모듈과 지하공간통합지도 활용시스템 DB 및 스토리지와 자동연계가 되어있어 자동화 시스템 갱신 모듈에서 2D/3D 정보가 갱신되면 즉시 지하공간통합지도 활용시스템 운영서버에서 갱신 연계가 되도록 하였다. 마지막으로 3차원 뷰어와 지하공간통합지도가 SFTP방식으로 연계가 되어있어 최신의 지하구조물 데이터를 3D 뷰어로 가시화 및 지하정보 분석이 가능하도록 설계하였다.

전체 시스템 로직은 그림 2와 같다. 지하구조물 관리기관에서 해당 지하구조물 준공도서제출자료(CAD도면 및 속성·좌표계 대장)를 준비하여 준공도서제출시스템에 제출하면 품질관리 모듈을 통해 속성 및 도형검사를 거치게 된다. 만약 제출된 데이터 혹은 속성작성 시 표준 검수 기준에 부합하지 못하면 반려 처리되어 데이터 보안을 수행해야 한다. 데이터 표준화 검사

TABLE 5. Operating environment

Requirements		Contents
H/W Requirements	CPU	Intel® Xeon® Silver 4208 CPU @ 2.10GHz 2.10GHz or more
	Memory	64GB or more
	HDD	20GB or more
S/W Requirements	OS	WindowServer 2019 Standard (64-bit operating system, x64-based processor)
	.NET	.Net Framework 4.7.2
	Database	PostgreSQL13.3, compiled by Visual C++ build 1914, 64-bit

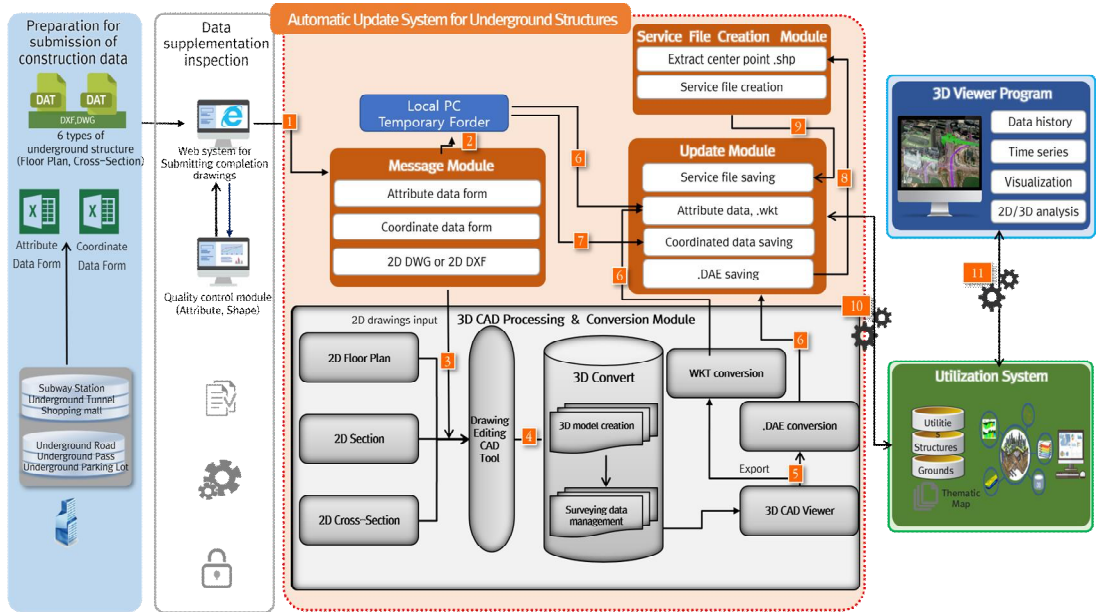


FIGURE 2. System configuration

에 이상이 없다면 특정 폴더에 데이터가 업로드 되고, 이때 메시지 MQ(Message Queue)를 통해서 지하구조물 데이터 정보인 2D도면 파일과 속성 및 좌표계 대장 파일을 로컬 PC 임시 폴더에 저장된다. 속성정보인 속성대장은 갱신모듈의 2차원 레이어로 저장되고 좌표계 대장은 DB로 저장한다. 형상정보인 2D 도면 데이터는 3D CAD 가공 및 변환 모듈로 전달되고 도면편집 CAD 툴을 이용하여 3D 지하구조물 모델 생성 및 절대좌표 변환을 시행한다. 이후 CAD 변환모듈을 통해서 2D 원시도면은 공간객체의 공간참조 시스템(Spatial Reference System) 변환을 표현하기 위한 WKT(Well-Known Text) 파일로 변환되어 갱신모듈로 전달된다. 3D CAD 파일(삼각형 메쉬형태의 3D DWG/DXF)은 3차원 모델 파일인 DAE파일로 변환되어 갱신모듈로 전달된다. 변환된 DAE(Digital Asset Exchange) 파일은 서비스 파일 생성모듈에서 서비스 파일 생성 후 서비스 파일로 저장되며, WKT파일은 2차원 레이어로 갱신모듈에 저장된다. 최종 가공 및 변환된 2D·3D 지하구조물 데이터는 SFTP 연계 모듈(Secure FTP)을 통해서 지하공간통

합지도 활용시스템 운영서버에 자동갱신된다. 또한, 갱신된 지하구조물 정보는 3D 뷰어를 통해서 사용자가 2D·3D기반 지하구조물 조회 및 분석기능을 활용할 수 있도록 설계하였다.

주요 프로그램 기능 설계는 연구시작점을 통해 도출된 차별성을 바탕으로 9가지의 기본 기능을 정의하고 기본설계를 바탕으로 다시 1, 2, 3, 세부 레벨로 프로그램 메뉴구조를 상세화하였다. 주요 프로그램은 CAD 편집 공통 툴, 3D CAD 모델생성 및 가시화, 측량점 관리, 파일변환, 표준도면 정보관리, 서비스 파일생성, 갱신이력 관리, 프로그램 환경설정, 서버접속 설정 관리 모듈 등으로 구성되며, 프로그램목록 표는 표 6와 같다.

나) 3차원 CAD 가공 및 변환 프로그램 모듈 개발

3차원 CAD 가공 및 변환 프로그램 모듈은 ① 3D 가공생성 편집 툴 ② 3D 모델생성 ③ 3D 모형 가시화 ④ WKT파일, DAE파일, 삼각형 메쉬형태의 3D CAD파일 등 변환 ⑤ 측량점 관리기능 등으로 구성되어 있다. 2차원 원시도

TABLE 6. Program module list

List of Main Program Modules		
No.	Program Modules	Contents
1	CAD editing common tool	◦ Central axis drawing, Xdata attribute management, transverse drawing, symbol mark insertion, 3D central axis drawing, layer automatic mapping, etc
2	3D CAD model creation & Visualization	◦ 3D model creation (underground pass, underground road, subway station, subway line, underground shopping mall, underground parking lot, utility tunnel, access stairs) ◦ 3D View Style (flat, wire flame)
3	Survey point management	◦ Move survey points and convert them into absolute survey coordinates
4	File format converting	◦ Convert to WKT file and DAE file ◦ Conversion to 3D DWG/DXF in the shape of a triangular mesh
5	Standard drawing information management	◦ Drawing download function for converting to 3D model
6	Service file creation	◦ Generating service files by city, county, and district and outputting log screens
7	Update history management	◦ Update information such as underground structure ledger, coordinate system format, WKT file, DAE file, etc., and file transmission and history management
8	Program configuration setting	◦ Set 3D viewer path, service file storage path, local download path, SFTP path, etc
9	Server connection settings management	◦ DB connection information setting

면을 3차원 모형으로 변환하기 위해서는 먼저 필요한 레이어 선정 작업과 가공규칙을 이용한 가공도면 제작이 필요하다. 3D 가공생성 편집 툴은 가공도면에 필수적인 기능을 제공한다. 가공도면 툴의 주요기능은 레이어 맵핑(Layer Mapping), 도곽 그리기(Form Drawing), 속성 데이터 관리(Xdata), 외곽선 자동 추출(Make Outline), 심벌마크 삽입(Axis Mark Insert) 등의 내용을 포함한다. 3D 지하구조물은 가공도면을 활용하여 6종의 지하구조물(지하보도, 지하차도, 지하철역사 및 선로, 지하주차장, 지하

상가, 공동구)과 부속시설물(출입계단)을 자동으로 생성한다(표 7). 3D 생성모듈은 와이어 프레임(Wire Flame) 형태 혹은 플랫(Flat) 형태의 3D CAD 스타일 가시화 기능을 제공할 뿐 아니라 3D GIS 가시화 및 분석을 위한 3차원 모델 파일과 서비스파일로 변환 및 생성을 할 수 있다(그림 3). 마지막으로 지하구조물의 위치 정확성을 위해서 상대좌표로 구현되는 3D 모형을 절대측량점 위치좌표로 이동 및 좌표변환 하는 측량점 관리기능을 구현하였다(그림 4).

TABLE 7. 3D model of 6 types of underground structures and attached facility

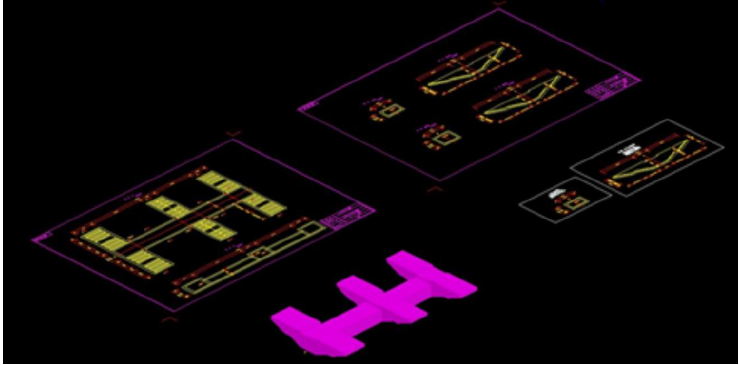
No.	Division	3D Underground Structures Model
1	Underground Pass	

TABLE 7. Continued

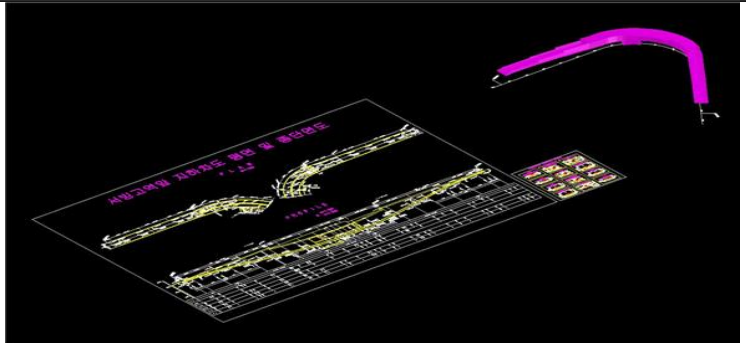
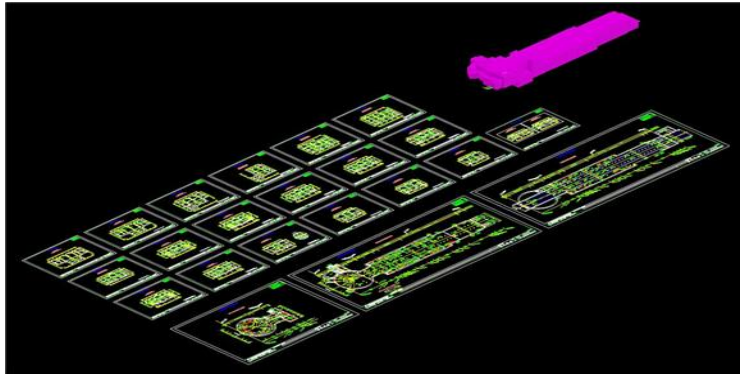

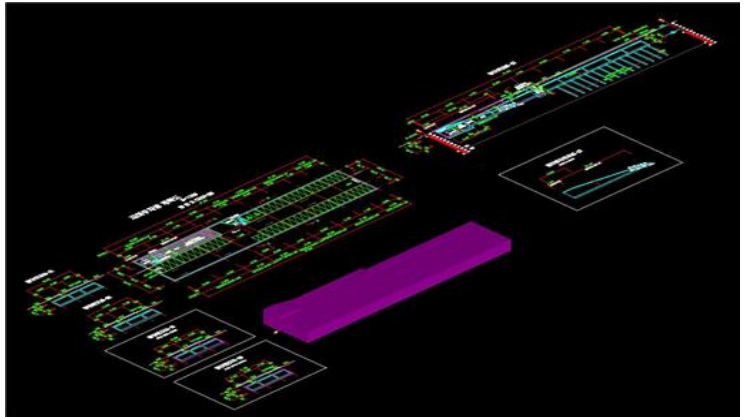
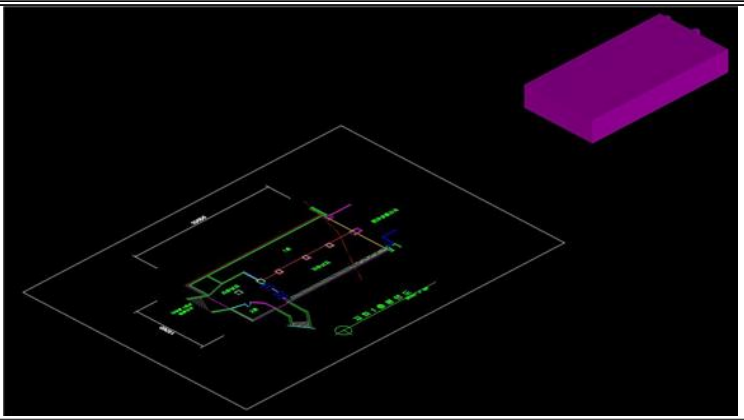
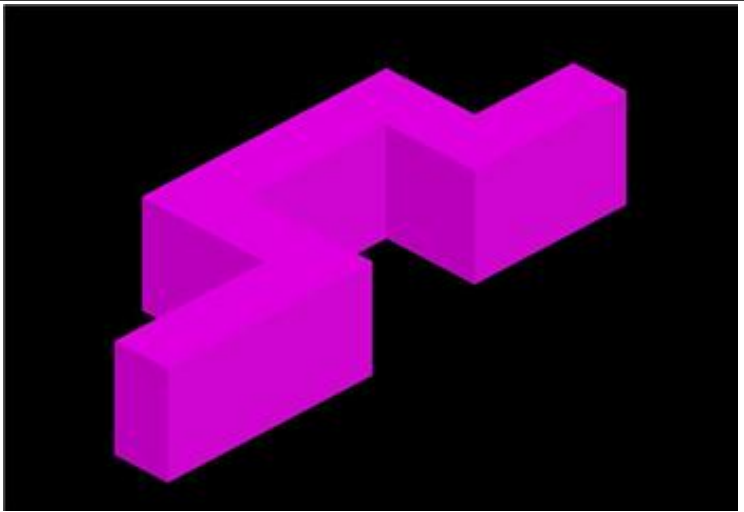
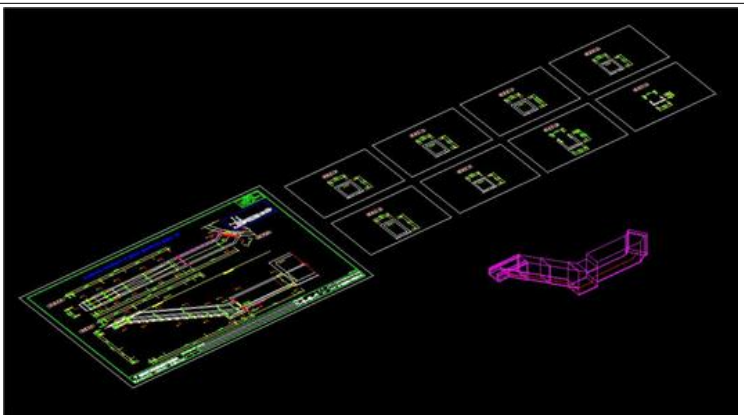
No.	Division	3D Underground Structures Model
2	Underground Road	 <p>A 3D perspective view of an underground road network. The road structure is rendered in yellow and green, showing a complex layout with multiple lanes and junctions. A specific road segment is highlighted in bright pink, curving from the top right towards the center of the model. The background is black, and there are some faint text labels in the scene.</p>
3	Subway Station	 <p>A 3D perspective view of a subway station layout. The station is represented by a grid of rectangular platforms and tracks, rendered in green and yellow. A large, bright pink rectangular area is highlighted, representing a specific section of the station. The background is black, and there are some faint text labels in the scene.</p>
4	Subway Line	 <p>A 3D perspective view of a subway line. The line is represented by a long, narrow rectangular structure, rendered in green and yellow. A specific segment of the line is highlighted in bright pink, showing its curvature. The background is black, and there are some faint text labels in the scene.</p>
5	Underground Parking Lot	 <p>A 3D perspective view of an underground parking lot. The parking lot is represented by a grid of rectangular parking spaces, rendered in green and yellow. A large, bright pink rectangular area is highlighted, representing a specific section of the parking lot. The background is black, and there are some faint text labels in the scene.</p>

TABLE 7. Continued

No.	Division	3D Underground Structures Model
6	Underground Shopping Mall	
7	Underground Tunnel	
8	Attached Facility (Access stairs)	

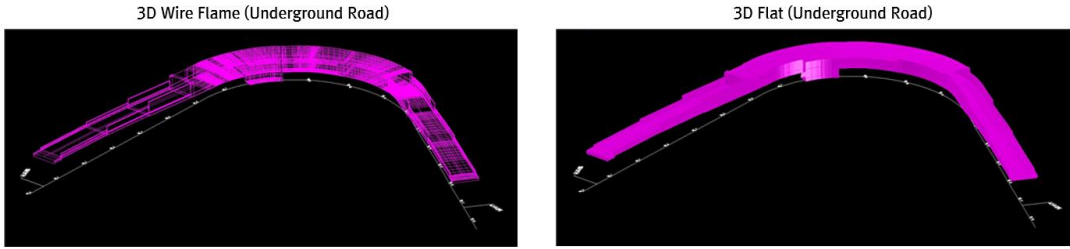


FIGURE 3. 3D CAD view style

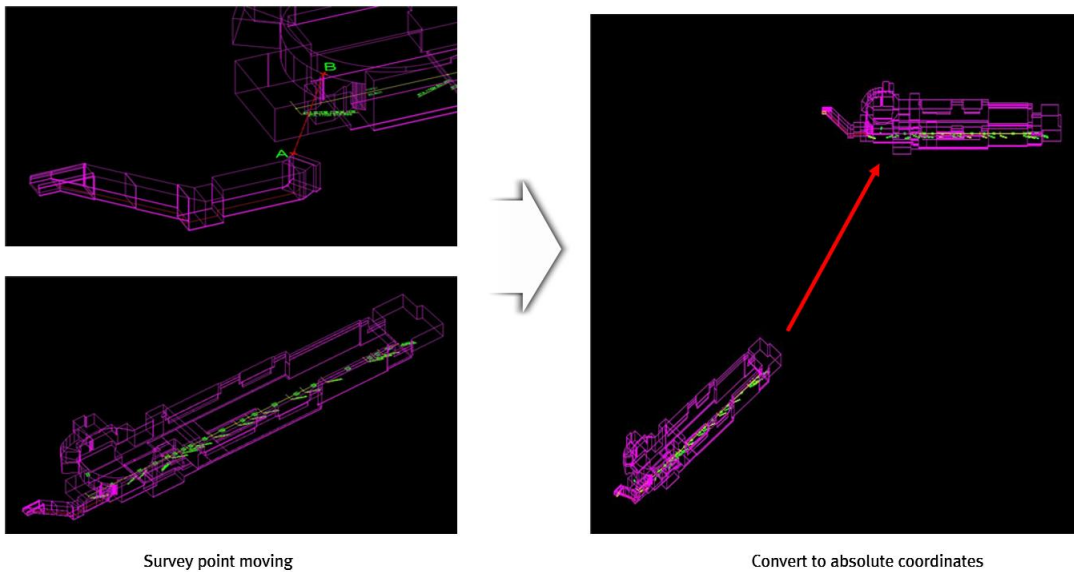


FIGURE 4. Survey point management

다) 3차원 지하구조물 갱신 프로그램 모듈 개발

갱신 프로그램 모듈에서는 지하구조물의 2·3차원 정보를 자동으로 갱신화 시키는 역할을 수행한다(그림 5). 먼저 준공도서제출시스템에 제출되는 엑셀파일 형태의 지하구조물 속성 대장과 좌표계 대장 정보를 DB에 저장한다. 그리고 제출된 2D 도면정보로부터 평면도의 외곽선(단한 폴리라인)의 절대좌표를 추출하여 WKT 파일 형식으로 2차원 레이어 형태로 DB에 저장을 한다. 3D 정보는 3차원 모델에서 DAE파일로 변환된 변환파일 이력과 서비스 파일 생성 이력을 관리하고 데이터가 갱신되는 과정을 로그로 출력한다. 추가로 사용자가 2·3차

원 데이터 송수신 이력을 실시간 조회 및 검색할 수 있도록 하였다.

라) 3차원 지하구조물 서비스 파일생성 프로그램 모듈 개발

3D 지하구조물 뷰어에서 지하구조물을 3차원으로 가시화하거나 분석하기 위해서는 3D 모델 파일(DAE파일)을 서비스 파일로(3D Tiles) 변환하는 과정이 필요하다. 3D Tiles는 데스크톱, 웹 및 모바일 애플리케이션에서 3D 지리공간 콘텐츠를 사용하기 위한 OGC(Open Geospatial Consortium) 표준이다. gITF를 기반으로 구축된 3D Tiles는 빠른 스트리밍 및 정밀 렌더링을 위한 공간 계층을 정의하는 특징을 가진다. 서

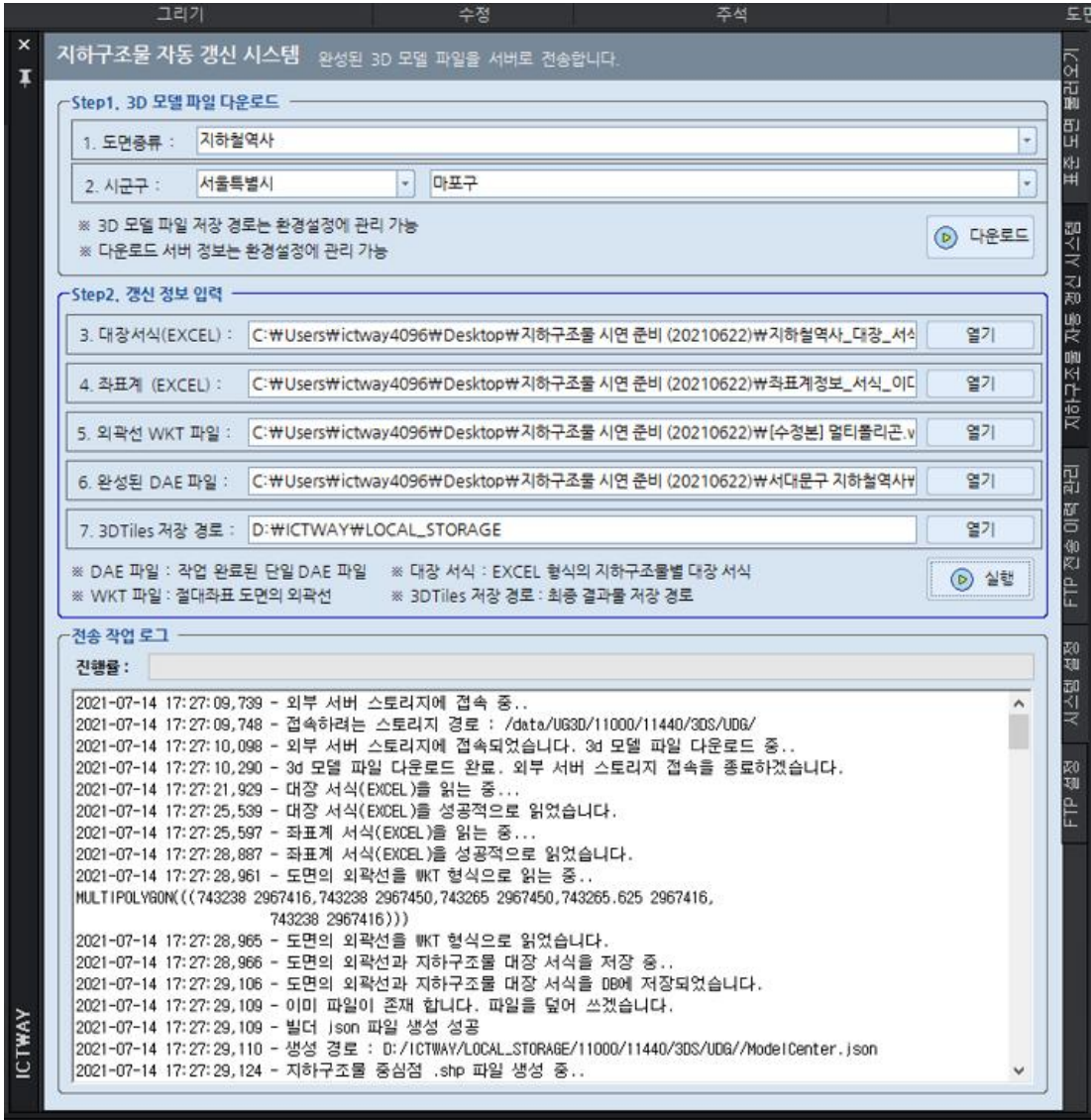


FIGURE 5. Update automation screen shot
 (The source from: ICTWAY automatic updated system for underground structures)

비스 파일생성은 서비스 파일 빌더를 구동하여 서비스 파일을 생성하게 된다. 먼저 빌더는 modelCenter.json과 builder.json 파일을 생성하여 구동하게 된다. 빌더는 modelCenter.json 파일을 읽은 후 중심점이 있는 Shp파일을 생성한다. 중심점 Shp파일을 생성하는 이유는 3D모델

데이터에서 위치좌표나 속성데이터가 없는 경우를 대비하여 3D 모델의 위치좌표와 속성데이터를 보조로 관리할 수 있게 한다. 중심점 Shp파일 생성이 끝나면 builder.json파일을 읽어 서비스 파일을 생성하며, 기 설정된 서비스 파일 저장 경로에 서비스 파일을 저장한다. 저장된

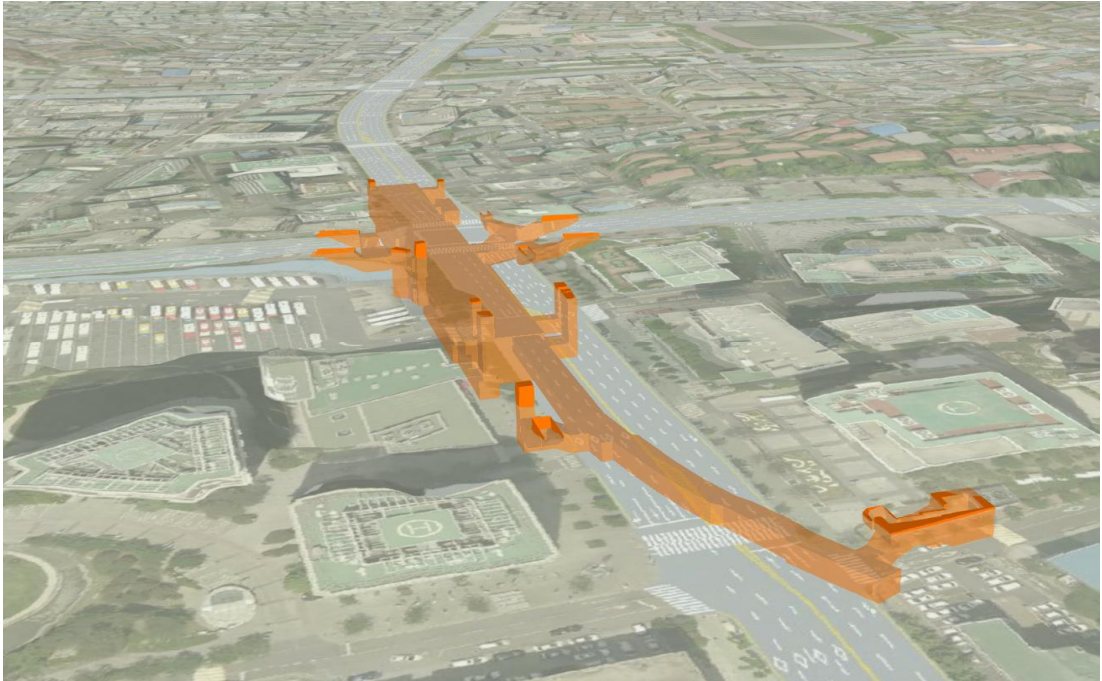


FIGURE 6. Visualization of underground structure service file through 3D viewer (e.g., South Terminal Station of Line 3)

서비스 파일은 3D 뷰어 프로그램을 통해서 3차원 지하구조물 가시화 및 분석에 사용된다(그림 6).

마) 지하구조물 자동갱신 시스템 테스트 및 활용성 제시

지하구조물 자동갱신 시스템은 내부 테스트환경을 구성하여 기능테스트를 다음과 같이 실시하였고, 지하구조물 표준도면당 가공갱신 시간은 대략 5분 이내로 처리하였다. 기능테스트 결과 모두 이상 없음을 확인하였다(표 8).

첫째, 지하구조물 갱신 데이터를 특정 폴더에

지하구조물 대장서식, 지하구조물 2D도면(DWG 또는 DXF) 저장 확인

둘째, 3D DWG 생성 및 변환파일(DAE 파일, WKT 파일) 확인

셋째, 갱신 자동화 프로그램 실행(실행파일) 작동 및 DB갱신 유무 확인

넷째, 지하구조물 서비스 파일생성 확인

지하구조물 자동갱신 시스템은 다음과 같이 활용할 수 있다. 첫째, 표준화된 3D 지하구조물 도면과 속성대장 정보가 준공도서제출시스템에 제출이 되면 지하구조물 가공(3D CAD 모델 생

TABLE 8. Detailed program function checklist

Division	Contents	Check
Input Data	Underground structure standard drawing (DXF or DWG)	○
	Attribute form (Excel file)	○
	Coordinate system form (Excel file)	○
Output Data	2D layer (Attribute + WKT)	○
	DAE file creation and DB update	○
	Service file creation	○

성), 3D 모델파일 변환(DAE파일), 외곽선으로부터 공간객체의 공간참조 정보추출(WKT 파일), 2D/3D파일 자동갱신, 가시화, 서비스파일 생성 등의 전 주기적 관점에서 1일 이내의 지하구조물 통합 데이터 관리 및 서비스를 할 수 있다. 둘째, 지하구조물 표준도면 가공을 위해서 추가적인 3D CAD/BIM 프로그램 구매 없이 가공도면 편집 툴(중심축 그리기, Xdata 속성관리, 도곽 그리기, 축점삽입, 3D 중심축 그리기, 레이어 맵핑 등)을 사용하여 3차원 지하구조물 표준도면 제작이 가능하다. 셋째, 기존 3D 지하구조물 객체가 상대좌표로 관리되어 정확성 확보에 어려움이 있었지만, 본 시스템에서는 절대좌표 기반의 3D 지하구조물 객체 관리가 가능하다. 마지막으로 본 시스템은 향후 시스템 고도화 및 운영 안정화를 통하여 현재 지하공간통합지도 구축사업에서 지하구조물 3차원 구축 등에 활용이 가능하다.

결 론

본 연구에서는 2D·3D 지하구조물 데이터를 3차원 가공 및 변환, 갱신, 측량점 관리, 가시화 등을 포함한 통합적인 지하구조물 정보관리를 할 수 있는 지하구조물 자동갱신 시스템을 개발하였다.

현재 3차원 지하구조물 구축 로직은 수작업 기반으로서 매우 복잡하거나 데이터 갱신 시 시간과 비용이 많이 들고 있다. 또한, 기본 선행연구와 지하정보시스템은 가시화 기술연구에 초점이 맞춰져 있거나, 다양한 정보의 가공, 변환, 연계, 관리가 가능한 통합 관리적 측면에서는 매우 미흡한 상태라고 볼 수 있다.

이러한 한계를 극복하고 2D·3D 지하구조물 데이터를 가공 및 변환, 갱신, 관리, 가시화를 위한 전 주기적 측면에서 자동화 관리가 가능한 3D CAD/GIS 기반 지하구조물 통합관리 기술을 구현하였다. 특히, 데이터수집, 전산화, 레이어 정제, 구조물 측량, 정위치 편집, 구조화 편집, 3D 폴리라인 형성, 두께입력, 면처리, 파일 변환, DB 업데이트, 서비스 파일 생성 및 파일 갱신 등의 복잡한 3D 지하구조물 구축 프로세

스를 표준도면 입력, 3D 자동가공 및 갱신 등의 단순화된 작업구축 로직을 수립하였다. 이러한 차별적 기술을 뒷받침하기 위해서 CAD 편집 공동 툴, 3D CAD 모델 생성 및 가시화, 측량점 관리, 파일변환, 표준도면 정보관리, 서비스 파일생성, 갱신 이력 관리, 프로그램 환경설정, 서버접속 설정 관리 등을 포함하는 프로그램 모듈을 개발하였다.

본 연구에서 개발된 기술은 지하구조물 3차원 자동화 구축 및 갱신 등의 전 주기적 지하구조물 데이터 관리 측면에서 통합관리 기술로서 의의가 있다. 또한, 자동화 갱신체계는 지하구조물의 생성, 가공, 변환, 갱신, 이력관리, 가시화 서비스 등 1일 이내의 지하구조물 정보 서비스 제공이 가능하여, 향후 지하안전관리 및 지하공간개발 시 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대한다. **KAGIS**

REFERENCES

- Bae, S.K., S.G. Lee, Y.H. Shin and H.H. Choi. 2016. Construction and application of 3D cadastral information based on individual right objects. *Journal of Cadastre & Land Informatix* 46(1):101-115 (배상근, 이성규, 신윤호, 최형환. 2016. 개별 권리객체 기반의 3차원 지적정보 구축 및 활용방안. *지적과 국토정보* 46(1): 101-115).
- Choi, S.M. 2021. A study on the subway maintenance technique based on 3D spatial information model. Doctoral Thesis of Konkuk University, Seoul, Korea. 169pp (최석민. 2021. 3차원 공간정보모델 기반 지하철 유지관리기법 연구. 건국대학교 대학원 박사학위논문. 169쪽).
- Goh, I.D., J.H. Choi, H.S. Jeon, E.D. Kim, Y.S. Jeong and J.M. Lee. 2008. Extracting building geometry from BIM for 3-D city model. *The Journal of GIS Association of Korea* 16(2):249-261 (고일두, 최중현, 김

- 이두, 정연석, 이재민. 2008. BIM으로부터 가상도시 구축용 건축물정보의 추출. 한국 GIS학회지 16(2):249-261).
- Jeon, H.I., B.J. Ko. H.S. Ji. S.H. Kim. Y.S. Yu and B.S. Koo. 2020. Establishment of augmented reality based building element information visualization system using unity3D. Proceedings of the Conference of Korean Society of Civil Engineers, pp.940-941 (전해인, 고병진, 김시현, 이고은, 유영수, 구분상. 2020. Unity3D를 활용한 AR 기반 BIM 부채정보 가시화 시스템 구축. 대한토목학회 학술대회 940-941쪽).
- Kim, J.E., and C.H. Hong. 2018. A study on the application service of 3D BIM-based disaster integrated information system management of effective disaster response. Journal of the Korea Academia-Industrial Society 19(10):143-150 (김지은, 홍창희. 2018. 효과적인 재난 대응을 위한 3차원 BIM 기반 재난 통합정보 시스템 활용 서비스 제시. 한국산학기술학회 논문지 19(10):143-1150).
- Kim, M.J., K.H. Lee. S.H. Kwon. S.I. Park and S.C. Lee. 2014. BIM application case study of civil infrastructure industry. Proceedings of the Conference of The Korean Society for Railway. pp.1119-1124 (김민지, 이경희, 권석현, 박성일, 이상철. 토목인프라 산업의 BIM적용 사례연구. 한국철도학회 학술발표대회논문집. 1119-1124쪽).
- Korea Institute of Construction Technology. 2016. Development of convergence technology on construction information & spatial information based on BIM/GIS interoperability. Final Report. pp.1-139 (한국건설기술연구원. 2016. BIM/GIS기반 건설공간정보 융합기술개발. 2016년 주요사업 최종보고서. 1-139쪽).
- Korea Institute of Construction Technology. 2016. Development of open platform for interoperability between BIM and GIS. Final Report. pp.1-519 (한국건설기술연구원. 2016. BIM/GIS 상호운용 개방형 플랫폼 개발 V. 2016년 주요사업 최종보고서. 1-519쪽).
- Lee, M.K., S.S. Choi. H.S. Jeon and S.S. Kim. 2020. Development of 3D underground utilities processing and partial update automation technology -focused on 3D underground geospatial map-. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 23(4):1-15. (이민규, 최성식, 전홍수, 김성수. 2020. 3차원 지하시설물 가공 및 부분갱신 자동화 기술개발 -지하공간통합지도 중심으로-. 한국지리정보학회지 23(4):1-15).
- Yoon, S.W., G.H. Park. CH. Choi and S.Y. Chin. 2009. A BIM case study in construction phase : D3 city project. Review of Architecture and Building Science 53(8):52-55 (윤수원, 박광호, 최철호, 진상윤. 2009. 국내 대형 시공 현장의 BIM 도입 사례 및 시사점 : 디큐브 시티 프로젝트. 대한건축학회. 건축 53(8):52-55).
- Yoon, S.W., B.K. Kim. J.M. Choi. and S.W. Kwon. 2013. A prototype BIM server based viewer for cloud computing BIM services. Journal of the Korean Society of Civil Engineers 33(4):1719-1730. (윤수원, 김병근, 최종문, 권순옥. 2013. 클라우드 컴퓨팅 기반 BIM 서비스를 위한 BIM 서버 기반의 뷰어 개발. 대한토목학회 논문집 33(4):1719-1730).
- Underground Information Utilization Support Center. 2021. <https://uics.jiha.go.kr/> (Accessed August 26, 2021). **KAGIS**