

CityGML ADE를 이용한 3차원 지하시설물 데이터 모델 개발에 관한 연구¹⁾

A Study on Development of 3D Data Model for Underground Facilities Using CityGML ADE

정다운²⁾ · 신동빈³⁾

Jeong, Da Woon · Shin, Dong Bin

Abstract

Underground facilities were constructed as needed by various management organizations, the result of which was the disordered and scattered underground spaces. This phenomenon can be viewed as the main cause of safety accidents in the underground space. To solve this problem, research on systematic construction and management of underground facilities should be conducted. Therefore, to improve the accuracy and the quality of information and to facilitate the systematic construction and management of underground facility information, this study aims to establish a 3D data model that conforms to international spatial information standards for pipeline underground facilities and to implement the data model to enable visualization. The result of this study can be used to improve the consistency of information not only between underground facilities, but also the correspondence between above ground and underground facilities. As such, this study has academic significance in that it presents an integrated data model that includes various objects in the ground and underground spaces and enables interoperability between diverse domain data.

Keywords : CityGML, CityGML Utility Network ADE, Underground, Spatial Data, Data Model

초 록

지하시설물은 여러 관리 주체들에 의해 필요에 따라 건설되었으며 이는 곧 무질서하고 난립된 형태의 지하 공간 개발을 초래하였다. 이러한 현상은 지하 공간에서의 안전사고를 발생시키는 주요 원인으로 볼 수 있으며 이를 해결하기 위해서는 지하시설물의 체계적인 구축 및 관리에 관한 연구가 이루어져야 한다. 이와 같은 맥락에서 본 연구는 지하시설물 정보의 체계적인 구축·관리 방안과 정보의 정확도와 품질을 제고하기 위하여 공간정보 관련 국제 표준을 준용한 3차원 지하시설물의 데이터 모델을 정립하고, 이를 토대로 논리적 모델을 설계 및 시각화 구현하는 것을 목적으로 한다. 본 연구의 결과를 토대로 지상-지하를 포괄하는 현실 세계와의 일치성이 향상된 지하 시설물 정보를 통해 기존 지하정보의 정확도 및 활용도를 제고할 것으로 사료된다. 또한 기존의 2차원 형태의 지하 시설물 네트워크 모델과 관로 중심의 3차원 시각화 모델과는 달리 지상과 지하 공간에서의 다양한 객체들을 포함하고 데이터 간 상호 연계 및 운용이 가능한 통합적인 데이터 모델을 제시했다는 점에서 학술적 의의를 가질 것으로 판단된다.

핵심어 : CityGML, CityGML Utility Network ADE, 지하, 공간정보, 데이터 모델

Received 2021. 07. 27, Revised 2021. 08. 10, Accepted 2021. 08. 24

1) 본 연구는 박사학위 논문을 수정·요약한 논문임(정다운, 관로형 지하시설물의 3차원 데이터 모델 설계 및 구현에 관한 연구, 안양대학교)

2) Member, Senior Research Engineering, Dept. of Smart Urban Space Institute, Anyang University (E-mail: daun5342@gmail.com)

3) Corresponding Author, Member, Professor, Dept. of Urban Information Engineering, Anyang University (E-mail: dbshin@anyang.ac.kr)

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.

1. 서론

최근 급속도로 발전한 도시와 무분별하게 진행된 지하 공간 개발 정책은 지하 공간에 무질서한 형태로 건설된 시설물에서의 안전사고를 발생시키는 원인이 될 수 있다. 그 예로써 지속적으로 발생하고 있는 지반 침하 및 싱크홀(sinkhole), 포트홀(porthole) 등의 지하 안전사고를 미루어 보아 지하 영역에 관한 정보를 체계적으로 관리할 수 있는 방안이 중요시되고 있으며, 광역급행철도(GTX)와 대심도 터널 등의 지하 개발 수요가 급증하면서 지하시설물의 증설 및 노후화가 급속도로 진행되고 있기에 이에 대한 대책 마련도 시급한 실정이다(Jang, 2015). 또한 지하시설물은 다양한 관리 주체뿐만 아니라 개발 주체들에 의해서 필요에 따라 건설되어 무질서한 난립된 형태의 지하 집중화로 나타나기 시작했으며 이에 따른 체계적인 지하정보 구축 및 관리 방안의 필요성이 대두되고 있다(Kim, 2019).

이에 정부에서는 지하 안전 관리의 강화를 목표로 3D 지하공간통합지도 구축과 함께 2018년 1월에 「지하안전관리에 관한 특별법」이 시행되었으며 3D 지하공간통합지도 구축 사업은 2020년까지 전국 시(市) 지역에 대하여 지하시설물 및 구조물(총 12종), 지반정보(3종) 등 지하 공간을 구성하는 15종의 지하정보를 3D 기반으로 통합 구축하는 사업이다(Jeong *et al.*, 2020). 현재까지 구축된 지하공간통합지도는 한국건설기술연구원에서 운영하는 지하정보 활용지원센터를 통해서 서비스되고 있으나 갱신 체계 미흡, 낮은 정확도, 정보 보안 등의 문제점들로 인해 활용성이 낮은 실정이다(Jeong *et al.*, 2021). 감사원(2017)에서 발표한 감사보고서에서도 지하시설물 정보를 3D로 시각화 변환하고 이관시키는 것이 전부이고 데이터 관리 권한도 다른 기관에 있어 오류를 수정하지 못하는 등의 정보에 대한 품질 관리가 미비한 점을 지적했다. 또한 통신구에서의 네트워크 간의 연결 관계가 부정확하고 위치에 대한 정보 또한 보안으로 측량을 실시한 적도 없기에 지하정보의 정확성 및 최신성 측면에서의 문제를 지적하였다.

이와 같이 지하 공간에는 다양한 공간정보들이 구축되어 있으나 해당 정보들은 개별 구축 기관의 목적에 따라 활용되고 있으며 이는 기관 간의 지하정보 형태의 불일치, 데이터 정확성 등의 문제들을 야기시킨다(Jeong *et al.*, 2020). 이러한 지하시설물 정보의 정확성 문제로 인해 발생하는 다양한 문제들을 해결하기 위해서는 공간정보 측면에서의 표준화된 데이터 모델의 마련이 필요하다. 특히 복잡하고 불분명한 지하 공간을 대상으로 관련 정보의 구축·관리·서비스 등의 활용성을 제고하기 위해서는 기존 지상 공간을 중심으로 개발된 3

차원 공간정보(데이터 모델)를 지하 공간으로 확장하는 과정이 필요하다.

이를 바탕으로 본 연구는 국내에 기구축된 지하시설물 정보를 기준으로 국제 표준을 준용한 데이터 모델을 정립하고 지하시설물을 대상으로 한 3차원 데이터 모델의 개발을 목적으로 한다.

2. 참조 모델 선정 및 선행연구 검토

2.1 참조 모델 선정

우선 3차원 지하시설물 데이터 모델의 개발을 위하여 3차원 데이터 모델 관련 국제 표준들을 비교·분석하였다. 3차원 데이터 모델은 다양한 도메인 정보를 포함할 수 있어야 하며 기타 데이터 및 응용 시스템과도 손쉽게 호환되어야 한다(Kim *et al.*, 2019). 따라서 이러한 조건을 충족하는 데이터 모델을 선정하는 것은 매우 중요하고 필수적인 과정이다.

이를 위해 본 연구에서는 국외 연구에서 논의되고 있는 지하시설물 3차원 데이터 모델 관련 다양한 국제 표준들을 비교·분석하여 선정한 것이다. 해당 모델들은 INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) Utility Network, IFC (Industry Foundation Classes), ArcGIS Utility Network, SEDRIS (Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification), PipelineML, MUDDI (Model for Underground Data Definition and Integration), CityGML Utility Network ADE (Application Domain Extension)로 구분되며 표준 문서 및 관련 연구 보고서에 명시된 사항을 토대로 국제 표준 간의 비교·분석을 수행하였다. 비교·분석에 사용한 기준은 Kutzner *et al.*(2018)의 연구를 인용하여 수행하였으며 해당 기준으로는 공간 범위, 공간 표현 영역, 개념적인 데이터 모델을 반영하는 시멘틱, 객체 간의 공간-논리 관계를 설명하는 공간적/논리적 관계, 시각적인 표현을 가능하게 하는 시각화, 마지막으로 통계 및 시계열 데이터를 참조할 수 있는 통계/시계열 데이터로 구분된다. 항목에 대한 평가는 지원 안 함, 기본 지원, 상세 지원, 포괄적 지원 등 4개 단계로 구분하여 설정하였다. 국제 표준별 데이터 모델에 관한 비교·분석 결과는 다음과 같다(Table 1).

INSPIRE는 다국적·다기관 공간정보 인프라로서 유럽 연합 내에서 데이터를 공유하는 프레임워크이다. INSPIRE의 경우 네트워크 객체의 분류는 가능하나 네트워크 요소의 추가 및 도메인 확장 기능은 제공하지 않으며, 서로 다른 유형의 네트워크 간의 링크는 표시할 수 없다. IFC는 주로 건물 정보 모델링에 사용되는 ISO (International Organization for

Table 1. Comparison and analysis between international standard data model (Kutzner *et al.*, 2018)

Div		INSPIRE Utility Network	IFC	ArcGIS Utility Network	SEDRIS	Pipe lineML	MUDDI	CityGML Utility Network ADE	
Spatial Scope	City	+	-	++	+	+	+	++	
	Block	+	-	++	+	+	+	++	
	Building	-	++	•	•	-	•	++	
Spatial Representation	LoD (Level of Detail)	-	•	-	•	-	-	++	
	2D Utilities	+	+	++	+	+	+	+	
	3D Utilities	-	++	-	+	-	++	++	
	2D City Features	++	-	++	+	-	-	++	
	3D City Features	-	-	+	+	-	-	++	
Semantics		+	++	•	+	•	+	++	
Spatial and Logical Relationships	Indoor to Outdoor Network	-	-	-	•	-	•	+	
	Connectivity Rules	-	•	++	-	-	-	•	
	Network to City Features	-	•	-	•	-	•	++	
	Network Itself	+	+	++	++	+	+	++	
	Network to Network	-	++	-	-	-	+	++	
	Network for Indoor Navigation	-	•	-	-	-	•	•	
Visualization	Realistic	•	++	-	+	•	•	++	
	Iconic/Symbols	•	-	++	-	•	•	•	
Sensors/Time Series Data		-	•	-	+	-	•	•	
- : Not Supported		• : Basically Supported							
+ : Supported in Detail		++ : Comprehensively Supported							

Standardization) 표준이며 IFC 모델은 네트워크 객체의 2차원 및 3차원 표현을 제공한다. IFC 데이터 모델은 건물 수준에서의 시설물 표현만이 가능하며 소규모/대규모의 도시 네트워크 통합·표현은 지원하지 않는다. 이어서 ArcGIS는 네트워크에서 논리적 및 물리적 관계를 관리하기 위한 두 가지 네트워크 데이터 모델 세트를 제공한다. 그러나 이 모델은 3차원 객체로 네트워크 형태를 표현하지 못하며 네트워크 객체 간의 논리적 관계를 정의·관리하는 것도 불가능하다. 다음으로 ISO 표준인 SEDRIS는 합성 환경의 표현과 교환에 초점을 맞추고 있으며 석유, 가스, 화학, 전기, 수도 및 폐수 관련 모델링 네트워크를 지원한다. SEDRIS는 미국 국방부의 훈련 시뮬레이션을 위해 개발되었으며 현재까지 군사 분야에서만 적용되고 있다. OGC의 PipelineML은 현재 OGC (Open Geospatial Consortium)가 개발 중인 석유 및 가스 산업에 초점을 맞춘 관로 데이터 교환을 위한 GML (Geography Markup Language) 기반의 표준이다. 현 수준에서는 지하시

설물과 관련된 다양한 범주와 펌프장과 같은 다양한 지상 또는 지하 객체들을 고려하지 않고 있으며 네트워크의 위상 표현 또한 관로의 노드-링크만을 대상으로 설정할 수 있다. 이어서 MUDDI는 OGC가 제안한 개념 모델로써 지표면 환경을 포함한 지표면 하부 네트워크 인프라를 나타낸다. MUDDI는 주로 데이터 통합, 시각화, 데이터 품질 및 일관성, 의존성 분석, 디지털 트윈 및 시뮬레이션 등에 중점을 두고 있으나, 현재 연구 수준에 그치고 있으며 상용화 단계에 이르기까지는 아직 미진한 실정이다. 마지막으로 CityGML Utility Network ADE 모델은 전기, 담수, 폐수, 가스, 통신 네트워크와 같은 다양한 유형의 네트워크를 모델링 할 수 있는 개념을 제공한다. 특히 이 모델은 3차원 도시 모델 애플리케이션에서 공급 및 폐기 등의 위상 네트워크를 표현·지원한다.

결과를 종합하면 CityGML Utility Network ADE 모델이 비교 기준들을 대부분 포괄적으로 지원하고 유연하게 모델을 확장할 수 있다는 점에서 3차원 지하시설물 데이터 모델

개발을 위한 참조 모델로 가장 적합한 것을 알 수 있었다. 또한 CityGML은 건물, 교량, 터널, 도로 등 도시를 구성하는 다양한 객체들을 포괄적으로 다루고 있으며 3차원 객체를 거시적·미시적 스케일로의 효율적인 모델링이 가능하다(Kim *et al.*, 2019).

2.2 선행연구 검토

본 연구에서는 주로 CityGML Utility Network ADE 모델을 이용하거나 확장한 사례에 대해 선행연구를 검토하였으며 그 결과는 다음과 같다. Boates *et al.*(2018)의 연구에서는 CityGML Utility Network ADE 모델을 관계형 데이터베이스 스키마에 매핑하는 방법을 소개하였다. 이를 위해 CityGML Utility Network ADE 모델을 사용하고 캐나다 Nanaimo시의 데이터를 기반으로 한 담수 네트워크 샘플도 제공하였다. 이 샘플은 CityGML Utility Network ADE 모델의 스키마를 확장하여 3DCityDB를 기반으로 구축한 관계형 데이터베이스 스키마이다. 다음으로 Duijn *et al.*(2018)의 연구에서는 지하 시설물 네트워크 및 관련 지상 도시 객체의 통합 관리를 위한 3차원 데이터 모델링 접근 방식에 대해 제시하였다. 이 접근 방식은 데이터가 CityGML Utility Network ADE 모델을 준수하도록 하기 위해 일반적으로 사용되는 FME (Feature Manipulation Engine) 소프트웨어에서 기존 시설물 데이터의 구조를 먼저 조작하는 것으로 구성하였다. 이후 시설물 네트워크의 데이터를 관리하기 위해 3DCityDB에 CityGML 데이터를 저장하였으며 해당 연구는 3DCityDB가 PostgreSQL, pgRouting 확장을 통해 그래프 기반 위상 작업을 수행하는데 적합함을 검증하였다. 이어서 Kutzner *et al.*(2018)의 연구에서는 CityGML Utility Network ADE 모델의 유스 케이스에 관한 광범위한 분석을 통해 확장된 개념의 ADE 개발 내용을 제안하였다. 이를 위해 우선적으로 CityGML Utility Network ADE 모델의 요구사항 목록을 작성하였으며, 네트워크 노드(node)-링크(link)의 개념, 네트워크 구성요소를 도시 객체와 연결, 기능적 특성 모델링, 정제된 네트워크 구성요소 모듈(module) 및 새로운 전기 네트워크 패키지 등을 제시하였다. 마지막으로 Ortega *et al.*(2019)의 연구에서는 데이터의 적절한 시각화 방법을 제안하기 위해 다양한 기하학적 모델링 접근 방식을 제시하였으며 보이지 않는 지하 물체를 도시 모델의 일부로 렌더링 하기 위해 다양한 알고리즘을 활용하여 멀티모달 프로토타입을 개발하였다.

2.3 시사점

우선 3차원 지하시설물 데이터 모델을 표현하기 위한 국

제 표준 참조 모델들을 비교·검토하였으며 그 결과 CityGML Utility Network ADE 모델이 가장 적합한 데이터 모델 표준임을 알 수 있었다. 이어서 CityGML의 ADE 기법을 이용한 선행연구를 검토 결과 다양한 분야를 대상으로 데이터 모델을 확장한 연구들이 주를 이루고 있으나 아직까지는 지하 영역을 대상으로 데이터 모델에 관한 설계 및 적용과 관련된 연구가 미진한 실정임을 알 수 있었다. 그중 일부 선행연구에서는 지하시설물의 주요 객체인 관로와 밸브 등을 중심으로 복잡한 상호 의존성을 모델링 하고 네트워크 시뮬레이션 등의 분석을 수행하기 위한 데이터 모델의 구축 방법과 다양한 시나리오를 제시하였고(Jeong *et al.*, 2020), 에이전트 기반 모델링, 효과 기반 운영 모델링, 수학적 모델 및 위험 기반 모델을 포함한 다양한 모델링 개발 방식에 대해 접근한 사례도 존재한다.

이와 같이 다양한 연구 결과에도 불구하고 Boates *et al.*(2018), Duijn *et al.*(2018), Kutzner *et al.*(2018), Ortega *et al.*(2019)의 연구에서 공통적으로 드러나는 한계점으로는 다음과 같다. 첫째, 지상 영역에 비해 지하 공간에서의 객체에 관한 세밀도가 현저히 낮은(2차원) 수준의 LoD로 표현되고 있으며 지상 수준만큼의 다양한 LoD 체계를 제공하지 못하고 있다. 둘째, 기존 지하시설물 데이터 모델 연구들은 주로 관로, 밸브, 맨홀 정도의 객체만을 대상으로 하며 이로 인해 실세계의 다양하고 많은 지하시설물 객체들을 표현하기 위해서는 더욱 세밀하고 확장된 형태의 모델이 필요하다. 마지막으로 지하 공간 외에 도시 개체인 건물, 지형 등과의 연계 방안이 미비하다. 전술한 바와 같이 선행연구에서 드러난 한계점들을 토대로 본 연구에서는 우리나라에 기구축된 지하시설물 정보를 고려하여 관로, 맨홀, 밸브 객체뿐만 아닌 다양한 지하시설물 객체들을 국제 표준에 맞게 반영하여 설계한다. 또한 데이터 모델의 활용성을 도모하기 위하여 지하시설물 주제별 패키지에 관한 논리적 모델을 설계한 후 이에 대한 3차원 지하시설물 데이터를 테스트 구축 및 시각화한다.

3. CityGML ADE를 이용한 참조 모델 확장

3.1 참조 모델 확장

기존 CityGML Utility Network ADE 모델을 확장하기 위하여 기구축된 지하정보와 CityGML Utility Network ADE 모델 간의 매핑 작업을 수행하였다. CityGML Utility Network ADE는 Network Core, Feature Material, Functional Characteristics, Network Components, Geometry of Network Components, Network Properties 등

총 6개의 모듈로 구성된다. Network Core 모듈은 CityGML Utility Network ADE 모델의 핵심 요소로서 네트워크와 네트워크 객체의 연결 및 표현에 관한 내용을 정의하며, Feature Material 모듈은 관로 및 객체의 재질에 대해 정의한다. 다음으로 Functional Characteristics 모듈은 지하시설물 주제별 사용 및 공급과 관련된 상태정보(status)를 정의하고, Network Components 모듈은 관로·선로, 기타 구성요소(객체) 등을 정의한다. 이어서 Geometry of Network Components 모듈은 지하시설물 객체와 관련된 기하정보를 정의하며, Network Properties 모듈은 상·하수, 가스 등 지하시설물 주제별 매체의 값을 정의한다.

본 연구에서는 Network Components 모듈을 중심으로 지하시설물 주제별 다양한 관로 및 객체들을 설계하기 위하여 기존 모듈을 대상으로 전반적인 추가 사항들을 확장한다. 관로의 경우 기존 AbstractPipe 클래스를 확장시킨 AbstractPipeADE

클래스를 추가하여 관로의 심도 표현과 다양한 관로 객체들을 나타낼 수 있도록 확장하였다. 다음으로 관로를 제외한 구성요소(components)의 경우 기능별 다양한 객체의 설계 및 표현을 위해 ComplexFunctionalComponentADE, MeasurementComponentADE, ConnectionComponentADE, ControllerComponentADE, StorageComponent ADE, TerminalComponentADE 클래스들을 추가하였으며 기존에는 없었던 환기구 객체를 추가적으로 표현하기 위해 VentComponent 클래스를 새롭게 정의하였다(Fig. 1). 또한 추가된 클래스에 따른 각각의 객체 표현을 위하여 UndergroundFacilitiesPipe, ComplexFunctionalComponentValueADE, MeasurementComponentValueADE, ConnectionComponent ValueADE, Controller ComponentADE, StorageComponentValueADE, TerminalComponentValueADE, VentComponentValue 등의 코드리스트를 확장하였다(Fig. 2).

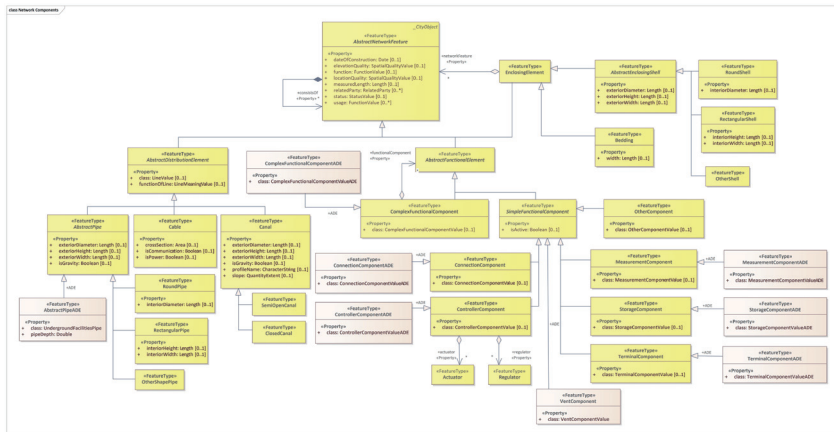


Fig. 1. CityGML Utility Network ADE_Network components ADE

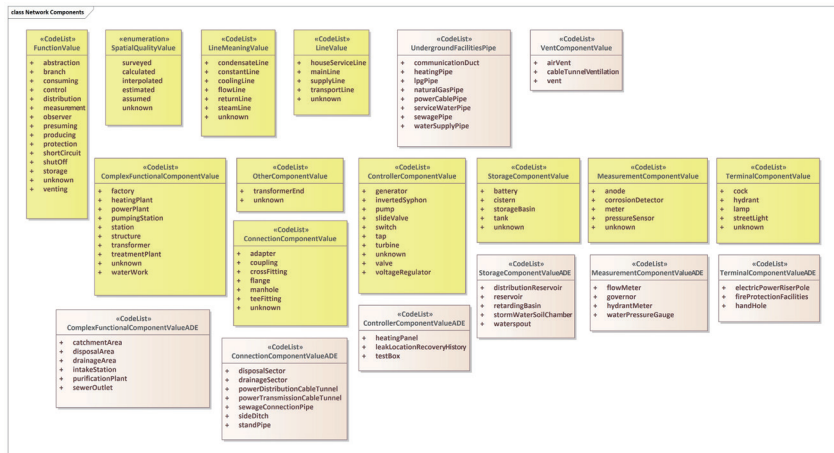


Fig. 2. CityGML Utility Network ADE_Network components code lists ADE

다음으로 본 연구에서 확장한 CityGML Utility Network ADE 모델을 기반으로 지하시설물 주제별 패키지(6종)를 설계한다. 앞서 서술한 기존 Kutzner *et al.*(2018)의 모델에서 Electrical Network Package를 제시한 사례가 있었으나 이는 지상 영역을 대상으로 2차원 시설물 네트워크를 표현하는 수준에 그치고 있다. 또한 CityGML Utility Network ADE 모델에서는 난방, 전력, 상수 등에 대한 패키지를 제공하는 것처럼 묘사되어 있으나 실제 모델에서는 미흡하게 표현되는 등 개념적인 수준에서 그치고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구는 확장된 CityGML Utility Network ADE 모델을 토대로 지하 공간통합지도에 구축 및 활용되고 있는 지하시설물 정보 6종(상수, 하수, 전력, 가스, 난방, 통신)을 대상으로 개별 패키지 모델을 설계하였으며 그 중 상수도 패키지를 예를 들면 다음과 같다(Fig. 3).

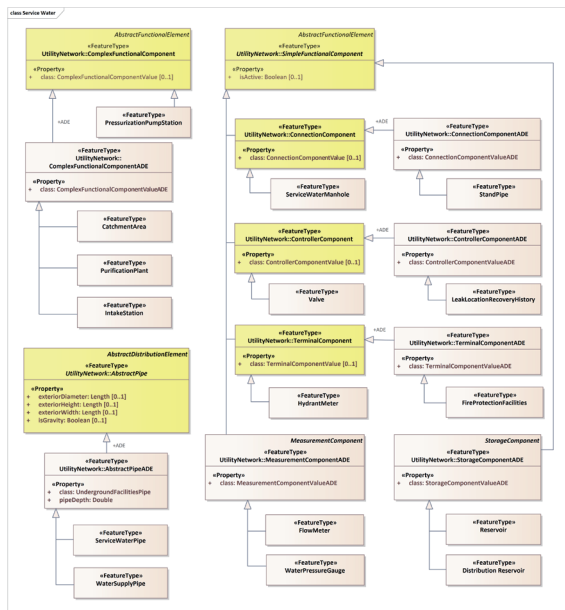


Fig. 3. CityGML Utility Network ADE_Service water package

상수 패키지에서는 AbstractPipeADE 클래스를 통해 상수관로와 급수관로에 관한 객체를 정의하고 ComplexFunctionalComponent 클래스와 ComplexFunctionalComponentADE 클래스를 통해 가압펌프장, 수원지, 정수장, 취수장 객체를 정의한다. 이어서 ConnectionComponent, ConnectionComponentADE 클래스를 통해 상수맨홀과 스탠드파이프 객체를 정의하고

ControllerComponent, ControllerComponentADE 클래스를 통해 변류시설과 누수지점 및 복구내역 객체를 정의한다. 또한 TerminalComponent, TerminalComponentADE 클래스를 통해 급수전 계량기, 소방시설 객체를 정의하고 MeasurementComponentADE, StorageComponentADE 클래스를 통해 유량계, 수압계, 저수조, 배수지 등의 객체들을 정의한다.

4. 3차원 지하시설물 데이터 테스트 구축 및 가시화

본 장에서는 확장한 CityGML Utility Network ADE 모델의 XML (eXtensible Markup Language) 스키마를 기반으로 구축된 데이터가 지하시설물 객체의 기하 및 위상을 정확하게 표현하는가를 살펴본다. 이를 위해 오픈소스 소프트웨어 기반의 시각화 프로그램을 활용하였으며 웹 브라우저 기반의 3차원 지도 가시화를 제공하는 3D WebGL 지도 뷰어와 3차원 타일 레이어 웹 서비스를 지원하는 3D Tile Web Service와 3차원 타일 레이어(시설물 등) 가공을 위한 3D Tile Builder가 해당된다.

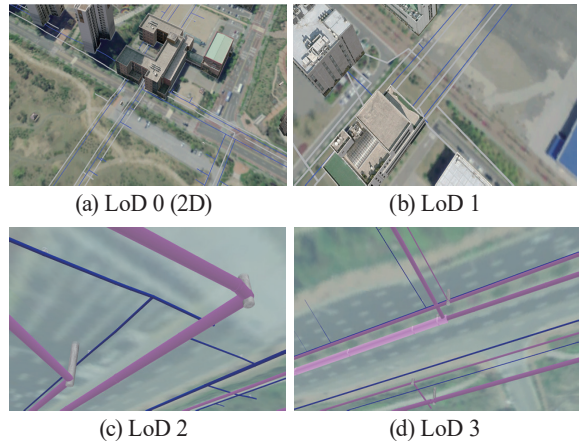


Fig. 4. Visualization by LoD of 3D underground facility data model.

앞서 UML (Unified Modeling Language) 형태로 설계한 확장된 CityGML Utility Network ADE 모델과 주제별 패키지 모델을 XML 스키마로 정의하고 국내 특정 지역을 대상으로 설정하여 기구축 데이터에 대한 샘플링을 수행하였다. 이후 오픈소스 소프트웨어를 활용하여 XML 스키마 내용과 실제 데이터에 따른 3차원 지하시설물 데이터 모델을 시각화한

다. 전술한 바와 같이 본 연구의 가시화 뷰어를 통해 데이터 모델의 지하 표현뿐만 아니라 공간상에서의 위상 관계에 관한 가시화된 모습을 확인할 수 있다. 대상지 내 DEM (Digital Elevation Model)을 활용하여 지상 영역(가압펌프장 등)과 지하시설물 객체들(관로, 맨홀 등)을 시각화한 결과는 다음과 같다(Figs. 4 and 5).

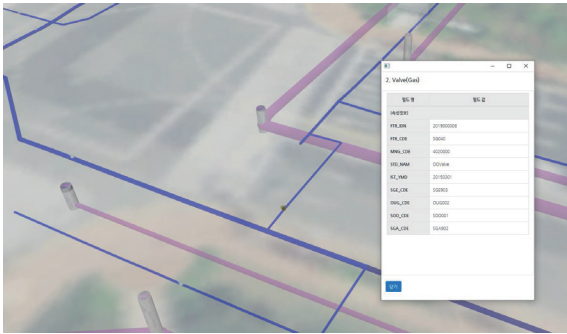


Fig. 5. Visualization of gas sector attribute information.

5. 요약 및 결론

본 연구는 ‘지하공간통합지도 제작 작업규정’에 명시된 지하시설물(관로형) 6종을 대상으로 공간정보 국제 표준을 참조한 3차원 데이터 모델의 개발 방안을 모색하고 CityGML Utility Network ADE 모델의 확장을 통해 3차원 지하시설물 데이터 모델을 개발하는 것을 목적으로 하였다.

이를 위해 3차원 지하시설물 데이터 모델의 근간이 되는 참조 모델을 선정하였으며 관련 선행연구 검토를 통해 CityGML을 이용한 주요 연구들에 대해 시사점을 제시하고 본 연구와의 차별성을 도출하였다. 이후 지하시설물 정보 관련 기구축 시스템(지하공간통합지도)에서 활용하고 있는 테이블 정의서를 토대로 참조 모델을 확장하였으며, UML 다이어그램을 활용하여 참조 모델인 CityGML Utility Network ADE 모델을 확장하고 6종의 지하시설물에 따른 주제별 패키지 모델을 설계하였다. 이후 XML 스키마로 변환하여 오픈 소스 소프트웨어를 통해 3차원 지하시설물 데이터 모델을 시각화하였다.

본 연구는 3차원 지하시설물의 데이터 모델을 개발하여 기존 지하시설물 정보의 정확도와 품질을 향상시키고자 하였으며 국제 표준의 준용을 통해 관련 분야에 적용 확대 및 다양한 고차원 공간분석 등에 활용이 가능할 것으로 기대된다. 또한 전술한 바와 같이 기존의 연구들이 지하시설물을 2차원 네트워크로 표현하거나 관로를 중심으로 3차원 시각화하는

것에 그쳤다면, 본 연구는 지상-지하 공간 간의 상호 연계 및 운용을 가능하게 하는 국제 표준 기반의 통합적인 3차원 데이터 모델을 제시했다는 점에서 그 특징과 학술적 의의를 가질 것으로 판단된다. 향후에는 관로형 지하시설물뿐만 아니라 구조물형 지하시설물을 포함하는 확장 연구와 기구축 시스템과의 비교-검증 연구가 필요하며, 물리적 모델 구현과 관련하여 CityGML 시각화를 위한 FZKViewer 등 다양한 S/W의 활용이 수반되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2016년 정부(국토교통부)의 재원으로 공간정보 융복합 핵심인재 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2016-06-02)

References

- Board of Audit and Inspection(BAI). (2017), *Audit Report - Construction and Utilization of National Spatial Data*, the Board of Audit and Inspection.
- Boates, I., Agugiaro, G., Nichersu, A. (2018), Network Modelling and Semantic 3D City Models : Testing the Maturity of the Utility Network ADE for CityGML with a Water Network Test Case, *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 4, No. 4, pp. 13-20.
- Duijn, X.D., Agugiaro, G., Zlatanova, S. (2018), Modelling Below - and Above - Ground Utility Network Features with the CityGML Utility Network ADE : Experiences From Rotterdam, *3rd International Conference on Smart Data and Smart Cities*, Vol. 4, No. 7, pp. 43-50.
- Jang, Y.G. (2015), Measures to improve the legal system for the establishment and utilization of an integrated underground space map, *Real Estate Focus*, Vol. 83, April, pp. 50-71.
- Jeong, D.W., Yu, S.C., Min, K.J., Lee, J.Y., Ahn, J.W. (2020), Basic study on logical model design of underground facilities for waterworks, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 38, No. 6, pp. 533-542.
- Jeong, D.W., Yu, S.C., Min, K.J., Lee, J.Y., Ahn, J.W. (2021),

- A study on the design of data model for underground spatial data, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 29, No. 1, pp. 13-23.
- Kim, B.S., Jeong, D.W., Oh, S.H., Ahn, J.W. and Hong, S.K. (2019), Design and implementation of data model for detailed 3D road data, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 27, No. 5, pp. 13-23.
- Kim, C.H. (2019), Legal study for efficient management of national underground spatial information, *Korea Public Land Law Association*, Vol. 87, August, pp.163-188.
- Kutzner, T., Kolbe, T.H., Hijazi, I. (2018), Semantic Modelling of 3D Multi-Utility Networks for Urban Analyses and Simulations: The CityGML Utility Network ADE, *International Journal of 3-D Information Modeling*, Vol. 7, No. 2, pp. 1-34.
- Open Geospatial Consortium(OGC). (2012). *OGC City Geography Markup Language(CityGML) Encoding Standard*. OGC 12-019.
- Open Geospatial Consortium(OGC). (2017). *OGC Underground Infrastructure Concept Study Engineering Report*. OGC 17-048.
- Open Geospatial Consortium(OGC). (2019). *Model for Underground Data Definition and Integration (MUDDI) Engineering Report*. OGC 17-090r1.
- Open Geospatial Consortium(OGC). (2019). *OGC PipelineML Conceptual and Encoding Model Standard*. OGC 18-073r2.
- Ortega, S., Wendel, J., Santana, J.M., Murshed, S.M., Boates, I., Trujillo, A., Nichersu, A., Suárez, J.P. (2019), Making the Invisible Visible—Strategies for Visualizing Underground Infrastructures in Immersive Environments, *International Journal of Geo-Information*, Vol. 8, No. 3, pp. 1-21.