Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering
https://doi.org/10.11627/jksie.2021.44.4.186

Vol. 44, No. 4 : 186-192, December 2021
ISSN : 2005-0461 / EISSN : 2287-7975

Study on 3D Object (Building) Update and Construction Method for Digital Twin Implementation

Byung-Yong Kwak · Byoung-Ju Kang†

Geoinformactics Engineering, University of Seoul

디지털 트윈 구현을 위한 3차원 객체(건물) 갱신 및 구축 방안 연구

곽병용 · 강병주†

서울시립대학교 공간정보공학과

Recently, the demand for more precise and demand-oriented customized spatial information is increasing due to the 4th industrial revolution. In particular, the use of 3D spatial information and digital twins which based on spatial information, and research for solving social problems in cities by using such information are continuously conducted. Globally, non-face-to-face services are increasing due to COVID-19, and the national policy direction is also rapidly progressing digital transformation, digitization and virtualization of the Korean version of the New Deal, which means that 3D spatial information has become an important factor to support it. In this study, physical objects for cities defined by world organizations such as ISO, OGC, and ITU were selected and the target of the 3D object model was limited to buildings. Based on CityGML2.0, the data collected using a drone suitable for building a 3D model of a small area is selected to be updated through road name address and building ledger, which are administrative information related to this, and LoD2.5 data is constructed and urban space. It was intended to suggest an object update method for a 3D building among data.

Keywords : Spatial Information, 3D Object Model, Digital Twin Object, Administration Data

1. 서 론

전 세계 여러 국제기구에서는 디지털 기술이 디지털전환, 데이터 기반혁신, 사이버 물리 시스템 등을 통해 산업과 사회에 혁명적인 변화를 가져올 것이며, 데이터 기반의 현실가상 연계시스템에 의해 그 가치를 창출할 것으로 전망하고 있다. 국외 유명 IT 전문 컨설팅 기업인 가트너의 2020년 설문 조사에 따르면 응답자의 47%가 사물인터넷(IoT)에 대한 투자를 늘릴 계획이라고 응답하였으며, 응답자의 31%는 직원 또는 고객의 안전을 위해 디지털 트윈을 사용하고 있는 것으로 나타났다[1]. 또한, 한국에서는 2020년 코로나19로 침체된 국가의 경제를 부흥시키기 위한 정책으로 그린뉴딜과 디지털뉴딜을 포함한 한국판 뉴딜 종합계획을 발표하고[6], 정책 실현을 위하여 10대 대표과제에 디지털 트윈을 포함시켜 디지털 전환(Digital Transformation)의 핵심기술로 선정하였다. 국토교통부의 제5차 국토종합계획(2020-2040)에 따르면, 주요 6대 추진전략 중 인프라의 효율적 운영과 국토 지능화 전략을 통해 지능형 국토·도시공간을 조성할 계획이다. 특히, 디지털 트윈 가상국토의 구축과 운영계획을 마련하였으며, 디지털 트윈 가상국토 플랫폼 기술개발 및 시스템 구축을

Received 24 November 2021; Finally Revised 10 December 2021; Accepted 14 December 2021
† Corresponding Author : bjkang98@naver.com

위하여 데이터 축적・이용 관련 기술을 개발하고 각종 제도 정비를 통해 디지털 트윈의 기반을 마련하고, 교육 등 역량 강화를 통한 국가 공간정보 기반 고도화 추진 계획을 발표하였다[13]. 본 연구에서 제시한 3차원 객체는 국가행정정보인 도로명주소와 건축물대장정보 등을 이용하여 속성정보를 구축하고, 드론촬영을 통해 수집된 형상정보를 국제공간정보표준인 OGC(Open Geospatial Consortium)의 CityGML2.0 기반으로 3차원 건물 객체를 LoD2.5 수준으로 갱신하는 방법을 제시하였다.

2. 디지털 트윈의 도시 적용 사례

디지털 트윈은 미국 미시간대학의 마이클 그리브스 박사가 제품생명주기(Product Lifecycle Management) 의 관점에서 최초로 제안하였고[11], 2012년 미국 항공우주국(NASA)이 로드맵 보고서에 디지털 트윈에 대해 언급하였다[15]. 국토교통부는 3차원의 디지털 공간에 현실 공간・사물의 쌍둥이(Twin)를 구현한 것이라 정의하였으며, 가트너는 디지털 트윈은 현실 세계의 엔티티 또는 시스템에 대한 디지털 표현한 것으로, 딜로이트는 디지털 트윈은 사업 실적의 최적화에 도움을 주는 물리적 물체나 프로세스의 과거와 현재 활동이 기록된 진화하는 디지털 프로필로 정의하였다. 이렇듯 여러 기관에서 디지털 트윈에 대한 다양한 정의를 제시하였으나, 공통적 의미를 살펴보면 현실 세계의 주요 물리적 대상에 대한 가상 표현 또는 디지털 표현으로 정의 할 수 있을 것이다.

과거 디지털 트윈은 대부분 제조업 측면에서 디지털 시뮬레이션을 통한 초기 제품 개발, 유지 보수 및 예산 절감을 위한 수단으로 디지털 트윈이 사용되었으나, 싱가포르에서는 사회 필수 인프라와 도시 정보를 디지털화하여 도시 운영의 효율을 높이기 위한 플랫폼으로 '버추얼 싱가포르(Virtual Singapore)'를 2018년에 발표하여 디지털 트윈을 도시에 적용한 사례를 발표하였다[16]. 싱가포르는 약 7300만 달러를 4년간(2014~2018) 투입하여, 도시의 모든 구조물과 맵핑된 디지털 트윈을 구현하여 도시계획・교통・환경 등 다양한 분야의 3D 플랫폼인 virtual Singapore를 구현하였다. 특히 건물, 공원 등의 도시계획을 수립할 경우 Virtual Singapore를 통해 주변 경관과의 조화, 교통 영향 평가, 일조권 등을 디지털 트윈을 통해 시뮬레이션을 수행하여 직관적인 시각화를 제공하고 있으며, 가상실험(Virtual Experimentation), 가상 테스트베드(Virtual Test bed), 계획 및 의사결정(Planning and Decision-Making), 연구개발(Research and Development)의 주요 기능도 포함하고 있다[2].

영국은 국가 인프라 등을 디지털 트윈으로 구현 중이며, 다양한 산・학・연 협력을 통해 디지털 트윈 생태계를 구축 중에 있다. 2017년 영국의 국가인프라위원회는 데이터 공유의 중요성과 디지털 트윈의 필요성을 강조하며 '국가 디지털 트윈(National Digital Twin)' 구축을 권고하고, 2018년 국가 디지털 트윈 구축을 위하여 캠브리지 대학에 CDBB(Centre for Digital Built Britain)을 설립하여 디지털 프레임 태스크 그룹을 운영하고 있다.

핀란드 헬싱키의 Kalasatama 지역 약 12km^{2}를 대상으로 디지털 트윈 도시모델을 구현하는 것을 목표로 진행되었으며, 칼라사타마 도시의 환경을 개선하기 위해 도시 전체 라이프 사이클을 설계, 테스트 및 적용하는 파일럿 프로젝트를 시행하였다. 해당지역의 과거 데이터(항공사진, 포인트 클라우드 데이터 셋)를 사용하였으며, 또한 설계도면과 함께 3차원 도시 모델을 OGC의 CityGML을 기반으로 구현하였다. 대부분의 3차원 모델은 지형(Terrain), 건물(Buildings), 교량(Bridges), 수계(Water body)를 주요 객체로 선정하였으며, UML로 데이터 모델을 구성하여 모델링 하였다. 도시 모델링을 통해 기상데이터를 반영한 월별 바람길 시뮬레이션, 월별 일조량 시뮬레이션 등의 기능을 구현하였다[18].

3. 디지털 트윈 구현을 위한 도시의 물리적 객체 분석

국제전기통신연맹(ITU)에서는 스마트한 지속 가능한 도시를 위해(Smart Sustainable City) 주요 지표로 생산성(productivity), 평등과 사회적 참여(Equity and Social inclusion), ICT, 삶의 질(Quality of life), 환경적 지속성(Environmental Sustainability), 물리적 인프라(Physical Infrastructure)를 선정하여 주요 성과 지표 (Key Performance Index)를 선정하여 스마트시티를 평가한다[3]. 이러한 지표 중 디지털 트윈 구현을 위한 물리적 인프라 지표에서 도시를 구성하는 물리적 객체를 각종 시설물(Piped water, Sewage, Electricity), 교통(Transport), 도로 및 시설물(Road infrastructure), 건물 및 부속물(Building, building material, living space)을 도출하였다. 국제표준화기구(ISO)에서는 지속가능한 도시와 공동체 - 도시 서비스 및 삶의 질 지표(Sustainable development and resilience of communities- Indicator for city series and quality of life) 표준(ISO 37120)을 발행하여, 도시에서 발생하는 요소들의 성과를 측정하기 위한 지표를 만들었다. 기존의 지표들은 시간의 경과에 따라 표준화되지 않거나 일관성이 없거나 비교할 수 없는 경우가 많았다.

이에 ISO에서는 지속가능한 개발을 위하여 통합된 접근방식을 위해 국제표준을 마련하였다. 또한, 도시 서비스와 삶의 질에 대한 지표, 스마트시티 지표 및 회복력 있는 도시의 지표를 포함하는 표준화된 지표 집합은 측정 대상에 대한 통일된 접근법과 그 측정 방법을 제공한다. 이러

한 지표는 도시 성과의 진행 상황을 추적하고 모니터링 하는데 사용할 수 있으며, 시간의 경과에 따라 도시 서비스의 성과 관리와 삶의 질을 측정하거나, 광범위한 성과 측정에 걸쳐 비교를 허용함으로써 상호 간에 교훈을 습득하고, 정책 개발과 우선순위 설정을 지원한다. 성과 측정 지표로 경제, 교육, 에너지, 환경 및 기후변화, 재정, 거버넌스, 건강, 주택, 인구 및 사회적 조건, 휴양, 안전, 고형폐기물, 스포츠 문화, 통신, 교통, 도시・지방 농업 및 식량안보, 도시계획, 폐수, 물 19개 지표로 구성되어 있다. 이러한 지표 중 도시의 물리적 객체를 구성하는 대상은 상하수도, 통신, 교통, 건물 등을 포함하고 있다.

도시 및 기업의 증가는 도시계획, 이동 통신, 재난 관리, 3차원 지적, 관광, 차량과 보행자 내비게이션, 시설 관리 및 환경 시뮬레이션과 같은 다양한 응용 분야에 대한 가상의 3D 도시 모델을 구축하는 계기가 되었으며, 유럽의 환경 소음 지침(END, 2002/49/EC)에서와 같이 3차원 지리정보 및 3D 도시 모델은 중요한 역할을 한다. CityGML은 가상 3차원 도시 모델의 저장 및 교환을 위한 개방형 데이터 모델 및 XML 기반 형식으로 설계되었으며, OGC(Open Geospatial Consortium) 및 ISO TC211 의해 발행, 공간 데이터 교환 및 인코딩에 대한 국제표준의 확장 가능한 애플리케이션 스키마로서 구현되었다. 또한, CityGML은 기하학적, 위상, 의미론적, 그리고 모양 속성에 대한 도시 및 지역 모델에 가장 관련성 지형 객체의 클래스와의 관계를 정의한다[14]. CityGML의 개발 목적은 3차원 도시 모델을 구성하는 각각의 객체에 대해 주제 모듈화(수체, 교량, 교통, 터널, 건물, 식생, 도시시설 등) 하여, 다른 응용분야들 간에 공유할 수 있는 3차원 도시 모델의 공통 기본 항목(entity), 속성(attribute), 관계(relation)들을 정의하는 것이다[4].

일반적인 제조 분야의 디지털 트윈과 다르게 도시 레벨에서의 디지털 트윈은 단순 3차원 공간정보 구축 뿐 아니라, 자율주행자동차, 실내공간정보를 활용한 실내 내비게이션 등의 서비스를 제공하기 위해 융복합하여 살아 움직이는 도시를 반영해야 하므로 디지털 트윈을 구성하는 데이터의 실시간 및 수시 갱신이 필요하다. 앞에서 살펴본 바와 같이, 여러 국제기관에서 설명하고 있는 도시의 물리적 객체를 비교하여 <Table 1>과 같이 도시의 물리적 객체를 정리하였으나, 본 연구에서 물리적 객체의 데이터에 대한 수시 갱신의 가능성, 데이터의 접근성, 취득성, 활용성, 신뢰성 등을 고려하여 건물에 한정하여 연구를 수행하였다.

<Table 1> Selection of City Physical Object

	Physical Object
ITU	Sewage, Electricity, Transport, Road, Buildings. etc.
ISO	Sewage, Telecommunication, Transport, Road, Buildings. etc.
OGC	Water body, Bridge, Transport, Trunnel, Vegetation, Buildings, City Furniture. etc

4. 3차원 건물 객체 갱신 방안

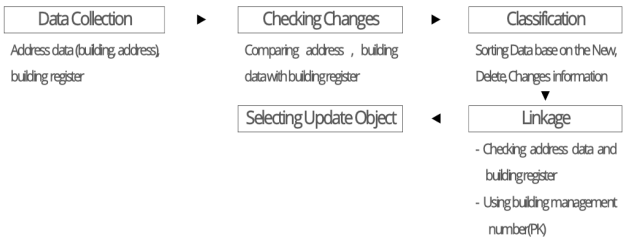
4.1 건물 정보의 취득

건물 정보 취득은 행정안전부의 도로명주소, 국토교통부에서 관리하는 건축행정시스템 세움터, GIS기반건물통합DB, 건축물생애이력관리시스템, 한국에너지공단에의 국가건물에너지시스템 등 여러 기관에서 수집되고 있으며, 건축데이터 민간개방 시스템에서 데이터를 개방하고 있어 취득이 용이 하지만 대부분 2차원 데이터이고 각각의 시스템별로 갱신 기간 및 관리 주체의 변화가 있어 관리가 어려운 실정이다. 항공사진 촬영을 기반으로 하는 수치지형도의 건물은 국토지리정보원에서 2년 단위로 갱신되고 있으며, 도로명주소의 건물 정보는 2014년 법령에 의한 도로명주소의 의무사용으로 행전안전부에서 일 단위로 갱신하고 있다. 또한, GIS건물통합정보 DB는 2008년 시범사업을 시작으로 7년간 전국 231개 지자체 약 737만 동의 건물 정보를 2014년 전국 구축 완료하였으며, 실시간 등록 갱신 체계를 구축하기 위해 2015년부터 기초자치단체에서 일 단위 갱신을 진행하려 했으나 지자체별로 그 정보의 갱신 주기가 일정하지 않다[10]. 건축물대장 데이터는 세움터, 건축데이터개방사이트에서 수집할 수 있으며, 시장・군수・구청장이 관리하는 건축물 및 그 부지에 관한 현황을 관리하는 대장으로, 건축물의 소유・이용 상태를 확인하거나 건축정책의 기초 자료로 활용된다. 또한, 일반건축물대장과 집합건축물대장으로 구분되며, 전자는 일반건축물에 해당하는 건축물 및 대지에 관한 현황을 기재한 대장이고, 후자는 집합건축물에 해당하는 건축물 및 대지에 관한 현황을 기재한 대장이다. 건축물대장은 건축물 1동을 단위로 하여 건축물마다 작성하고, 부속건축물이 있는 경우 부속건축물은 주된 건축물대장에 포함하여 작성한다. 이때, 집합건축물대장은 표제부와 전유부로 나누어 작성하고, 하나의 대지에 2 이상의 건축물(부속건축물을 제외한다)이 있는 경우에는 총괄표제부를 작성하며, 건축물현황도가 포함된다. 도로명주소는 1995년 시범사업을 통해 2011년 7월부터 2013년 12월까지 기존 지번주소 병기를 허용하였으나, 2014년 1월부터는 도로명주소법에 의하여 토지대장을 제외한 모든 곳에 도로명주소를 의무적으로 표기하게 하였다. 또한, 2021년6월부터 도로명주소법 개정으로 도로명 부여 대상 도로를 지상도로에서 입체도로(고가도로, 지하도로), 내부도로(건물・구조물 안 통로)로 구분하여 2차원 평면개념 주소체계를 3차원 입체개념으로 확대하였고, 다중이 찾는 공공 시설물(공원, 버스

정류장, 졸음쉼터 등)에 사물주소를 부여하여 주소가 위치를 찾는 수단으로써 사용되고 있으며, 도로명주소의 부여 시기는 건축허가 승인 후부터 가능하며 일시적 임시 건물에도 도로명주소 부여가 가능하다[12].

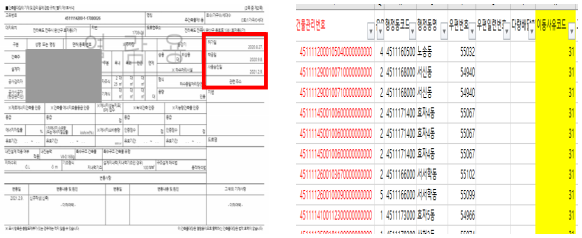
4.2 갱신 대상 선별 및 속성정보 구축

산재되어 있는 건물의 속성 정보를 구축하기 위하여 앞서 언급한 각 기관의 시스템을 통해 수집하여, 토지번호(PNU), 도로명코드, 건축물관리대장 PK 등의 필드 값을 이용하고 공간분석을 통해 건물 속성 매칭 작업이 가능하다[17]. 이러한 정보 중 건물 객체의 변화 정보를 획득하기 위하여 건축물대장 상의 지상층수, 연면적 등을 통해 증개축의 정보 변화를 획득할 수 있으며, 신규 갱신 대상에 경우 '허가일', '착공일' '사용승인일'의 필드 값을 통해 건물 객체의 갱신 대상을 추출하여 드론 촬영을 통해 취득한 데이터와 함께 3차원 모델링을 진행하였다. 건물 갱신 대상 선정을 위하여 도로명주소안내시스템의 도로명주소 DB에서 건물DB 변동분을 활용하였으며, 2019년 8월 부터 관련 지번 변동분이 제공되어 도로명 DB 건물관리번호 매칭 및 변동 사유를 확인할 수 있어 갱신 대상 선별이 가능하다. 도로명주소안내시스템의 월 단위 변동분 자료 목록을 살펴보면 건물 DB에는 build_mod.txt, jibun_mod.txt, road_code_mod.txt 정보가 있고, 주소DB에는 도로명코드(AlterD.JUSUZC.YYYYMMDD.TI_SPRD_STRET.TXT), 건물(AlterD.JUSUBM.YYYYMMDD.TI_SPBD_BULD.TXTt), 관련지번(AlterD.JUSUBM.YYYYMMDD.TI_SCCO_MVMN.TXT)의 건물관리번호 PK(법정동코드(10)+산여부(1)+지번본번(4)+지번부번(4)+시스템번호(6))를 비교하여 아래와 같이 이동사유코드(변경사유코드: 31 신규, 34 변경, 63 폐지)를 통해 신규 갱신 대상을 선별한다(<Figure 1>, <Figure 2> 참조).



<Figure 1> Building Information Linkage Process

이동사유코드를 통해 취득한 대상 건물 14건 중 건축물대장과 비교하여 건축물대장 정보를 확인하여 전주시 완산구 지역의 건물 중 2021년 준공허가시점 즉, 사용승인일을 통해 그 대상(전주시 완산구 효자동3가 1708-26/ 용호로 136)에 대해 네이버 지도나 도로명주소 지도를 통해 대상 건물에 대한 항공 촬영이 진행 여부 및 건물의 존재 여부를 확인하고, 건축물대장 정보에서 착공일(2020.09.08.)과 사용승인일(2021.02.09.)을 근거로 드론 촬영을 진행하였다(<Figure 2> 참조).



building ledger information Road information Checking for changes

<Figure 2> Building Information Linkage

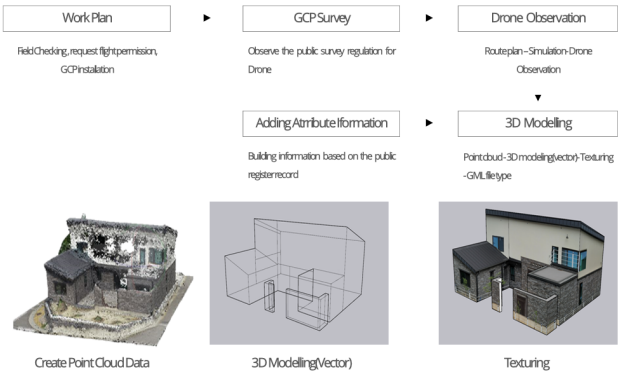
4.3 3차원 모델링

전국 단위의 3차원 모델을 구축하기 위해서는 많은 예산과 시간이 소요되기 때문에 항공측량을 통한 데이터 취득이 일반적이며, 소규모 지역은 드론을 이용하여 데이터를 취득하여 모델링 하는 것이 일반적이다. 3차원 모델링 지역에 대한 항공측량과 드론측량의 경제성에 대한 분석은 32km^{2}를 기준으로 3차원 모델링을 하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다[9]. 즉 도시 규모의 3차원 모델을 구현하기 위해서는 1차적으로 항공촬영을 통해 구축이 선행되어야 하며, 이후 갱신되는 소규모의 지역 또는 단일 건물에 대해서는 드론으로 객체 모델을 진행하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. CityGML은 도시의 물리적 요소에 대한 객체화를 위한 데이터표준도 지속적으로 발전하고 있으며, GIS 분야에서 가장 활발히 논의되는 3D 가상 도시 모델의 저장 및 교환을 위한 XML기반 데이터 모델이다[8]. CityGML은 OGC(Open Geospatial Consortium)에서 의해 2012년에 만들어진 국제표준으로 3D로 도시 모델을 구현할 때 사용되는 객체 및 특성 그리고 그 객체 간의 관계에 대한 사항을 정의하고 있으며 최근 그동안 논의되었던 객체의 외부정보와 내부정보 연계에 관한 내용을 담은 CityGML3.0이 발간 예정이다. CityGML2.0에서는 세밀도(LoD0: 지형모델기반 점선면 표현, LoD1: 단순 박스형 3D, LoD2 단순입체형상, LoD3: 실제와 같이 표현, LoD4: 실내정보를 포함하여 표현)별로 표현해야 하는 객체의 표현 수준 등과 같은 3차원 데이터의 구축 방안을 자세히 제시하고 있다. 본 연구에서는 건물 형상을 구축함에 있어 LoD2의 일반적 건물의 형상과 LOD3에서 사용되는 실사 텍스처를 사용하여 LoD2.5 정도 수준의 세밀도로 표현하였다(<Figure 3> 참조).

LoD in CityGML LoD2.5

<Figure 3> Comparison Level of Detail

드론을 통한 3차원 모델링은 촬영 고도, 종·횡 중복도, 촬영 코스 등을 결정해 촬영 계획을 수립하고, 초기 데이터 처리를 위해 영상정합(SIFT), 항공삼각측량(AT)를 통해 좌표값을 취득하여 점군 데이터를 구축하고 삼각망 형태의 메쉬(Mesh)와 재질(Texture)을 생성하는 기존의 방법과 동일하게 수행하였다(<Figure 4> 참조).



<Figure 4> Drone Observation and 3D Modelling Process

객체 분리형 모델이란, 말 그대로 객체가 분리된다는 뜻으로, 건물 모델을 예로 들면 건물을 이루는 각 면(Surface)이 분리되어 각각 다른 객체로 인식되는 모델을 말한다. 이 모델의 장점은 3차원 공간정보 국제표준인 CityGML에서 표현하는 기하적 표현(Geometry)과 상호 연계가 가능하며, 용량이 메쉬(Mesh)형 모델의 1/100 수준으로 작아 데이터의 활용성이 높다. 대신 자동처리 소프트웨어를 사용하는 메쉬형 모델과 다르게 수작업을 통해 모델링을 진행하기 때문에 인력 및 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다. 또한, 모델링과 텍스처링이 구분되어 다른 작업으로 진행되기 때문에 모델링 후 재질을 입히는 텍스처링 작업이 추가적으로 필요하다. 다만 소프트웨어를 통해 자동으로 구현되는 메쉬 형태의 데이터는 파일 자체가 대용량으로 향후 도시 단위로 3차원 건물 객체를 구축하고 이를 기반으로 디지털 트윈에서 시뮬레이션 수행 단계까지 고려한다면 성능 구현에 다소 어려움이 예상된다. 이에 대한 극복 방안으로 메쉬 형태의 데이터를 경량화하기 위한 방안으로 Sketchup을 이용하여 수작업으로 객체 분리형 모델을 구현하였고 최종적으로 건물의 속성을 입력하기 위해 GML의 구조를 참조하여 구현 하였다(<Table 2> 참조). 본 연구에서는 <Figure 5>에서와 같이 건물을 지붕(RoofSurface), 외벽(WallSurface), 지표공간범위(GroundSurface)로 객체를 분리하여 구현하였고, 좌표계정보, 속성정보, 객체별 지오메트리 정보 및 텍스처를 GML로 구현하였다. 이러한 GML은 객체별 속성 변경이 있을 경우 xml을 통해 자유로이 변경·수정이 가능한 이점이 있다.

RoofSurface WallSurface GroundSurface

<Figure 5> Separated Object Model

5. 결 론

앞서 살펴본 바와 같이 그동안 3차원 공간정보는 실시간 데이터의 갱신 체계를 갖추지 못하고 발전해 왔으나, 앞으로 3차원 게임, 스마트시티, 디지털 트윈, 자율주행 등 여러 분야에서 3차원 공간정보 활용은 이를 구현하는 필수요소로 사용될 것으로 사료된다. 그러나 도시지역 전체의 공간을 이미지로 구축한 브이월드는 개별 건물이나 시설물을 하나씩 추가, 삭제, 갱신하는 것이 어렵기 때문에 이러한 점을 극복하고자 본 연구에서는 도시를 구성하는 물리적 객체들을 구분하고 이를 효과적으로 구축, 갱신, 관리하기 위해 객체 분리형 모델을 제시하였다. 이는 객체별 또는 특정 범위로 나누어서 해당 부분만 갱신 할 수 있을 뿐 아니라, 도시 전체의 최신성을 확보할 수 있을 것이다[7].

본 연구에서는 행정정보인 도로명주소의 건물 변동분과 건축물대장의 사용승인일에 관한 내용을 기반으로 3차원 건물 객체의 갱신 대상을 선정하고, 드론 촬영을 통해 수집된 포인트 클라우드 데이터를 Sketchup프로그램을 사용하여 3차원 건물 객체 모델을 LoD2.5 수준으로 구축하고, GML을 이용하여 시멘틱 정보를 부여하였다. Kim and Park[5]의 설문 조사에 의하면 입체모형의 정밀도 수준 결과 민간부분은 LoD3(75%)에 대한 요구비율이 높게 나타났으며, 향후 텍스처가 필요로 하는 기관의 비율이 80% 이상으로 본 연구에서 구축한 LoD2.5 수준의 3차원 객체 모델이 유의미하게 사용 될 수 있을 것이라 기대한다. 그러나 다양한 방법의 3차원 객체 모델을 더욱더 발전시키기 위하여, 건물 구조, 실내, 건축물 내부의 배관, 지하 시설물 등에 대해 우리가 삶을 영위하고 있는 현실에서 어떠한 정보가 필요하고 활용해야 할 것인지에 대한 객체화 대상 및 객체별 표준화 추가 연구가 필요할 것이다.

<Table 2> Separated Object Model in GML

<table>
<tr><th></th><th colspan="3">GML Informaiton</th></tr>
<tr><td>Coordinate system</td><td><gml:boundedBy>
<gml:Envelope srsName="EPSG:5186" srsDimension="3">
<gml:lowerCorner>408776.255 957544.393 39.65</gml:lowerCorner>
<gml:upperCorner>408801.38 957568.752 48.21</gml:upperCorner>
</gml:Envelope>
</gml:boundedBy></td><td>Attribute</td><td><gen:stringAttribute name="BULD_NM">
<gen:value>주건축물제1동</gen:value>
</gen:stringAttribute>
<gen:stringAttribute name="LOCATE">
<gen:value>전라북도 전주시 완산구 효자동3가</gen:value>
</gen:stringAttribute>
<gen:stringAttribute name="JIBUN">
<gen:value>1708-26</gen:value>
</gen:stringAttribute>
<gen:stringAttribute name="ADDRESS">
<gen:value>전라북도 전주시 완산구 용호로 136 (효자동3가)</gen:value>
.....
<gen:doubleAttribute name="HEIGHT">
<gen:value>8.37</gen:value>
</gen:doubleAttribute>
<gen:stringAttribute name="ROOF_TYPE">
<gen:value>(철근)콘크리트</gen:value>
</gen:stringAttribute></td></tr>
<tr><td>Object</td><td><gml:solid srsName="EPSG:5186" srsDimension="3">
<gml:exterior>
<gml:CompositeSurface>
<gml:surfacemember xlink:href="wall_1"/>
....
<gml:surfacemember xlink:href="wall_25"/>
<gml:surfacemember xlink:href="ground_1"/>
<gml:surfacemember xlink:href="ground_2"/>
<gml:surfacemember xlink:href="roof_1"/>
.....
<gml:surfacemember xlink:href="roof_6"/>
</gml:CompositeSurface>
</gml:exterior>
</gml:solid></td><td>Texture</td><td><app:appearanceMember>
<app:Appearance>
<app:surfaceDataMember>
<app:ParameterizedTexture>
<app:imageURI>textures/distorted_0_20210531_120938.jpg</app:imageURI>
<app:wrapMode>wrap</app:wrapMode>
<app:target uri="#_1708-26_BD.fnqzJYaHOuHRQaprB9We_PG.Wk9MpVoG6KC2yd052PnW">
<app:TexCoordList>
<app:textureCoordinates ring="#_1708-26_BD.fnqzJYaHOuHRQaprB9We_LR.YRmhPJ7JlyeDpbkIHonx">
0.9225491215209116 0.32485235798445333
0.9128968649153206 0.5216630010846953
0.9119312853844683 0.5413512808544003
0.6865462594618859 0.5289044742596856
0.7007941498266802 0.3271808854163775
0.9225491215209116 0.32485235798445333
</app:textureCoordinates>
</app:TexCoordList>
</app:target>
</app:ParameterizedTexture>
</app:surfaceDataMember>
...</td></tr>
</table>

References

[1] Chang, Y.S., Technology Trends in Digital Twins for Smart Cities, *Electronics and Telecommunications Trends*, 2021.2

[2] Dassau system, Building a digital city platform for the construction of a future city, 2018.

[3] ITU-focus group technical specification, Overview of key performance indicators in smart sustainable cities, 2014.

[4] Kang, H.Y., A Study on the Development of Indoor Spatial Data Model Using CityGML ADE, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 2013, Vol. 21, No. 2, pp. 11-21.

[5] Kim, M.S. and Park, D.Y., A Study on Feasible 3D Object Model Generation Plan Based on Utilization, Demand, and Generation Cost, *Journal of Cadastre &Land InformatiX*, 2020, Vol. 50, No. 1, pp. 215-229

[6] Korean New Deal, 2020.

[7] KRIHS, Geospatial Information Strategies for the

Hyper-connected Smart City, 2018.
[8] Lee, S.J. and Lee, J.Y., Navigable Space-Relation Model for Indoor Space Analysis, *Journal of Geographic Information System Association of Korea*, 2011, Vol. 19, No. 5, pp. 75-86.
[9] Lim, S.H., A Study on 3D Model Building of Drones-Based Urban Digital Twin, *Journal of Cadastre & Land Information*, 2020, pp. 163-180.
[10] LX, Land-based GIS building integrated information quality improvement project, 2018.
[11] Michael Grieves, "Origins of the Digital Twin Concept," Florida Institute of Technology, 2016. 8.
[12] MOIS, Road name white paper, 2021.
[13] MOLT, 5th General Planning of Land, 2019.
[14] OGC, City Grography Markup Language(CityGML) Encoding Standard, OGC 12-019, 2012.
[15] Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J., and Wang, L.,"Technology Area 11: Modeling, Simulation, Information Technology and Processing Roadmap," *NASA Office of Chief Technologist*, November, 2012. 4.
[16] Singapore Government Agency, "Virtual Singapore, (www.tech.gov.sg).
[17] SIRI, Research on the establishment and utilization of hyperconnected building information, 2020.
[18] The Kalasatama Digital Twins Project, Jarmo, 2019.02.

ORCID
Kwak Byung Yong https://orcid.org/0000-0002-5056-7262
Kang Byoung Ju https://orcid.org/0000-0001-7605-680X