

## 방재업무 활용을 위한 개방형 도시정보모델 생성

박 상 일<sup>1</sup> · 송 민 선<sup>1</sup> · 장 영 훈<sup>1</sup> · 서 경 완<sup>1</sup> · 이 상 호<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 토목환경공학과

## Generation of Open City Information Model for Disaster Prevention

Sang Il Park<sup>1</sup>, Min Sun Song<sup>1</sup>, Young-Hoon Jang<sup>1</sup>, Kyung-Wan Seo<sup>1</sup> and Sang-Ho Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Civil & Environmental Engineering, Yonsei Univ., Seoul, 120-749, Korea

### Abstract

Clear understanding and related information management of geography and city facilities are the fundamental approach to prevent city disaster. In order to accomplish the service to prevent city disaster effectively, there needs to be a consistent framework for data collection, to build models, and to manage information. In this study, the authors proposed standardized city information modeling process and application concept to use information model for service of preventing city disaster in information management standpoint. The study was conducted on the process of classification and necessary attributes to manage city facilities effectively considering disaster related information. Additionally, the study suggested the methods for building an open city information model based on an integrated data schema, CityGML. Finally, through the implementation of sample model, the study confirmed city information modeling methodology and applicability for service of disaster prevention.

**Keywords** : disaster prevention, integrated open data schema, CityGML, city information model

### 1. 서 론

도로, 교량과 같은 사회기반시설은 이미 우리의 생활 속에 깊숙이 녹아 들어 있어, 해당 시설의 기능 상실은 직/간접적으로 인적, 물적 손실을 야기한다. 더하여 기반시설의 구조적인 붕괴는 그 규모적 특성으로 인해 대형 참사로 이어지기도 한다. 이러한 재난은 예방이 가장 효과적인 대응책이기는 하나, 불가항력적인 상황을 대비하여 재난 발생 시 피해를 최소화 할 수 있는 방안에 대한 전략 역시 가지고 있어야 한다. 기 수행된 방재전략 관련 연구는 Ryu *et al.*(2010), Yang과 Ko(2013)이 있는데, 이들 연구는 주로 방재 서비스 측면에서 정부기관의 행동절차나 실시간 계측 또는 모니터링에 의한 상황정보 수집 및 전파와 관련한 후속조치에 초점을 맞추고 있다. 특히 국가차원에서 연구된 u-방재City 표준모델 개발(CDI, 2008)의 경우, 도시시설물의 관점은 배제된 채, 정보통신 중심의 정보전달 시스템 구축만을 고려하고 있다.

그러나 실제 재난 발생에 대한 적극적 조치전략의 수립은 지형 및 구조물에 미치는 영향을 분석할 수 있어야 하는 것으로, 효율적이고 명확한 분석을 위해서는 대상 지역, 구조물 등에 대해 목적에 따라 유관정보를 수집하고, 통합하여, 정확하게 재 사용할 수 있는 환경이 조성되어 있어야 가능하다(Raper, 1989).

이러한 점을 지형정보 중심의 측면에서 검토해 보면, GPS, 항공사진 등을 통해 정보를 수집하여 모형화한 대상지역의 지형에 건물, 시설물 등을 배치시키고 목적하는 바의 업무에 필요한 외부 속성을 더하여 방재 전략을 수립하는 방법이 있다. 이에 대한 초기 연구로 Uitto(1998)는 도시방재에 지형정보시스템을 활용할 수 있는 기본 프레임워크를 제시하였으며, Herold *et al.*(2005)는 웹을 활용할 수 있는 방안을 제시하였다. 이후 구체적인 응용에 초점을 맞춘 연구들도 진행되었는데, 국가지리정보시스템과 시설물 정보의 연계(Kim *et al.*, 2008) 또는 산사태 시뮬레이션, 보호소 선

\* Corresponding author:

Tel: +82-2-2123-2808; E-mail: lee@yonsei.ac.kr

Received July 14 2014; Revised July 18 2014

Accepted July 30 2014

©2014 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

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.

정, 홍수해 예측, 대피로 선정 등이 그 예가 될 수 있으며, 나아가 지형정보를 기반으로 보다 효과적인 의사결정을 지원하기 위해 공간 데이터 마이닝 기법이나 시스템 차원의 방재 모델 등을 접목하는 방법도 제시하고 있다(Kia *et al.*, 2012; Vijayaraghavan *et al.*, 2012; Tehrany *et al.*, 2014).

시설물 중심의 측면에서 고려해 보면, Building Information Modeling / Model(BIM)을 활용한 응용사례가 있다. BIM은 건물의 생애주기 동안 생성되는 정보들을, 상호운용성을 유지하고 재사용 가능하도록 관리하는 프로세스 또는 결과모델로(Lee *et al.*, 2006), 정보모델에 재난과 관련한 외부 속성을 더하여 이에 따른 행동사항을 제시하는 연구가 있다. BIM을 활용한 재난관련 연구는 비교적 최근에 시작하고 있는 것으로, 주로 건물에 화재가 발생했을 때 대피 또는 화재진압 경로 선정과 관련한 연구 또는 모니터링 등을 통한 행동조치 요령과 관련한 연구가 주를 이루고 있다(Chen *et al.*, 2014; Shiau *et al.*, 2013).

그러나 언급한 방법을 지형과 건물, 사회기반시설을 모두 포함하고 있는 도시지역을 대상으로 적용하는 경우에는 정보통합의 부분과 활용수준의 상세 측면에서 그 접근법이 달라야 한다. 즉, 지형정보 중심의 측면에서 다루어지는 시설물은 지형 내에서 위치와 속성 및 관계에 대한 정보만을 가지는 것으로, 지진이나 홍수해 등과 같이 구조물이 직접적으로 타격을 받는 경우의 재해예측에서 한계를 드러낼 수 있다. 특히, 3차원 형태의 표면(surface)을 활용하여 모델을 구성하는 지형모델에 시설물 등과 같이 속성을 가지는 3차원 솔리드(solid)의 객체를 더하는 경우에는 두 가지 표현형식을 모두 수용할 수 있는 일관된 규약을 활용해야 정보의 통합이 원활할 수 있으나, 언급한 지형정보 측면의 영역에서는 아직 표면중심의 연구에 초점이 맞추어져 있다. 건물 중심의 측면에서도 유사한데, BIM을 활용한 응용사례는 건물이라는 단일 구조물 내에서의 정보관리만 이루어지는 것으로, Cova(1999)의 지적과 같이, 도시모델은 모델을 이루고 있는 각 객체들간의 관계를 반드시 고려해야 한다는 측면에서 한계를 가진다.

본 저자들은 언급한 한계점을 극복하기 위해 지형과 건물과 사회기반시설이 모두 포함되어 있는 도시지역 및 시설물을 대상으로, 표준화된 도시정보모델을 생성하는 기본 방법과 컴퓨터기반의 정보관리 및 활용의 관점에서 방재 업무를 효과적으로 지원할 수 있는 기본 방향을 제시하는 연구를 수행하였다. 이러한 3차원 기반의 도시모델 생성 및 그 활용 개념은 비교적 최신의 연구로 초기 단계에서 명확한 체계 구축은 매우 중요한 사항이다(Kemec *et al.*, 2009). 이를 위

해 본 연구의 2장에서는 방재모형 생성에 필요한 도시 객체를 분류하고, 객체별 업무 목적에 맞게 필요한 속성을 도출하는 기본 개념을 사례를 활용하여 설명하였다. 또한 2장과 3장에서는 각 객체정보의 통합과 상호운용성 측면을 고려하여 분류항목과 필요속성을 효과적으로 수용하기 위한 개방형 표준기반의 방안을 제시하였다. 4장에서는 예제모델을 구현하여 제시된 도시정보모델의 구축 방법론의 적절성을 확인하였으며, 정보관리 방법의 방재업무 적용성과 활용성을 확인하였다.

## 2. 방재업무를 고려한 도시 구성요소 도출 및 데이터 스키마 선정

모델링은 필요한 요소를 추상화하는 과정을 의미하는 것으로, 필요 요소는 모델링의 목적에 따라 달라진다. 본 2장에서는 방재업무를 고려하여 도시모델을 생성할 때 필요한 도시 구성요소 및 요소가 갖는 속성을 도출하는 절차와 이를 수용할 수 있는 데이터 스키마를 선정하는 방안을 서술하였다.

### 2.1 방재업무를 위한 도시 구성요소 및 정보항목 도출 방안

이 본 연구에서는 방재업무에 필요한 도시 구성요소를 도출하기 위해 자료의 수집, 항목분류, 특성별 계층화, 정규화의 과정을 거쳤다.

도시 시설물은 그 중요성으로 인하여 다양한 법령 또는 보고서에서 필요 항목을 다루고 있지만, 본 연구에서는 방재에 적합한 필수 항목을 명료하게 정의하고 있는 『시설물 안전 관리에 관한 특별법(MOLIT, 2013)』과 『수치지형도 작성 작업규정(NGII, 2010)』을 중심으로 도시 구성요소를 도출하였다. Fig. 1은 전술한 과정을 통해 지하 구조물을 제외하고 도출한 도시 구성요소의 분류항목을 나타내는 것으로, 본 연구에서는 도로, 철도, 교량, 터널, 항만, 댐/제방, 옹벽, 건물, 환경시설, 도시보조시설/식생을 방재를 위해 우선적으로 고려해야 하는 도시 요소로 선정하였다.

기본적으로 선정항목은 자연적인 요소와 인공적인 요소로 구분하였다. 수치지형도 작성작업규정에는 교통의 하위항목으로 도로, 철도, 교량 및 터널이 있지만, 본 연구에서는 도시 내에서의 기능을 고려하여, 시설물 안전관리에 관한 특별법의 내용을 따라 개별 객체로 구체화하였다. 다만, 실제 모델을 구현 할 때는 이들의 관계를 고려하여 객체의 내부에 추가적인 정보항목으로 넣어줄 수 있다.

하수처리장, 정수장 등과 같은 환경시설은 관점에 따라서는 건물을 통해 형상을 구현하고 기능적 특성과 관련한 “내부

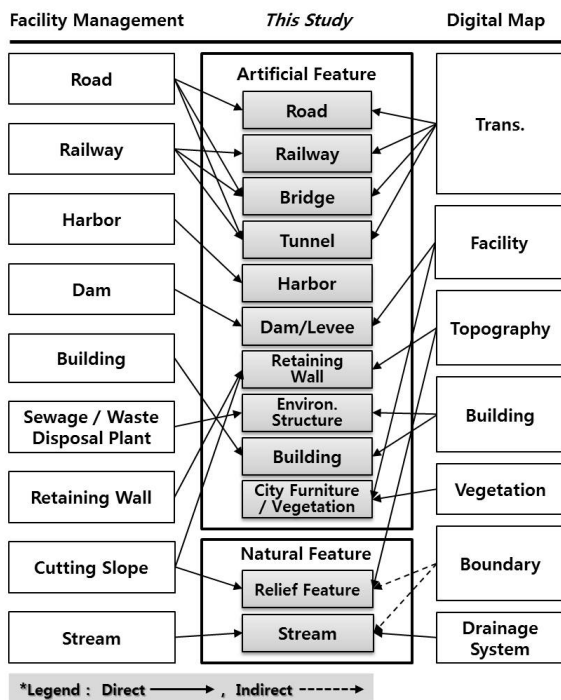


Fig. 1 Classification of city objects

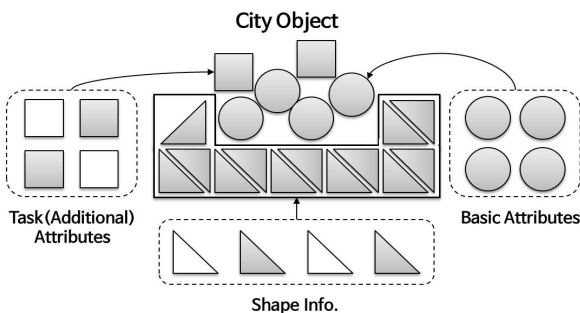


Fig. 2 Basic concept of semantic city object with attributes

정보”로 이들을 구분해 줄 수도 있다. 특히 건물의 경우 실제 사람이 거주한다는 측면에서, 방재업무에 따라 관리해야 하는 내부 정보항목은 매우 중요하다. 도시모델에서는 이러한 내부 정보항목을 속성(attribute)의 항목을 통해 관리가 가능하다. 일반적으로 속성은 형상모델에 더하여 형상이 갖는 의미 또는 기능에 대한 정보항목으로 다루어진다. Fig. 2는 본 연구에서 방재를 위한 도시모델 생성 시 고려해야 하는 속성의 특성을 개념적으로 나타낸 것이다.

본 연구에서는 도시모델 구성에 필요한 정보로 형상, 기본 속성, 추가업무속성으로 구분하였다. 이때 기본속성의 경우는 객체의 의미정보를 나타내기 위해 일반적으로 포함하고 있는 것들로, 시설물의 명칭, 기본 기능 등이 이에 해당될 수 있다. 추가업무속성에서 다룰 수 있는 항목은 방재 업무를 위한 관련 정보 등으로 정의할 수 있다. Table 1은 홍수해 상

Table 1 Building attributes example for managing flood damage information

Object	Division	Attribute Items
Building	Basic att	Name, Function, Usage, Form, Owner, Address, No. of household, etc.
	Task att	Asset value, Damage, Flooding damage ratio, Equipment, Flooding area, No. of victims, No. of deaths, Evacuation day, etc.

황의 침수피해 정보관리를 목적으로 하였을 때, 건물을 대상으로 기본 및 추가업무속성을 예시로 나타낸 것이다. 이때, 건물의 면적이나 층별 높이 등도 필요 속성으로 고려할 수 있지만, 이는 형상정보에서 유도할 수 있는 정보이므로 예시에는 포함하지 않았다.

업무지원 범위를 고려하면 포함하고 있는 정보의 양이 많을수록 유리할 수 있지만, 목적에 비해 과도한 데이터의 축적은 모델의 구현, 정보의 검색, 연산 작업 등의 효율성을 떨어뜨린다. 따라서 모델을 구성할 때는 표현상세수준(Level of Detail, LoD)을 고려할 필요가 있다. 이는 형상과 속성 모두에 적용할 수 있는 것으로, bips(2007) 또는 AIA(2008)등의 문서를 참조할 수 있다.

## 2.2 도시구성요소 정보의 효율적인 관리를 위한 데이터 스키마 선정

1장에서 서술한 바와 같이 도시모델의 구성은 일관된 틀을 활용하였을 때, 정보의 상호운용성이 확보된다. 이는 필요한 정보를 모두 수용할 수 있는 데이터 스키마를 활용하여 정보모델을 생성해야 함을 의미하는 것이다. 따라서 본 절에서는 도시방재에 적합한 데이터 스키마를 선정하여 제안하였다. 이때, National Information Exchange Model(NIEM)이나 Emergency Data Exchange Language(EDXL)와 같이 방재관련 정보는 다룰 수 있으나 형상에 대한 요소를 포함하고 있지 않은 경우 또는 스키마가 개방된 형태가 아닌 경우는 비교대상에서 제외하였다. Table 2는 도시 시설물 객체를 표현할 수 있는 것들 중, 사용빈도가 비교적 높은 데이터 스키마의 특성을 비교한 것이다. 이때 비교항목의 선정은 Laefer 등(2006)의 방재 데이터 특성에 관한 연구를 참조하였다.

Table 2에서 포괄성(Comprehensiveness)은 데이터 스키마의 크기가 아니라 의미적으로 도시 객체를 표현할 수 있는가에 대한 항목이다. 확장성(Extensible)의 항목은 추가 항목을 직접적으로 지원하는 요소의 존재여부로 판단하였으며, 소프트웨어 항목은 모델링 틀을 통해 스키마의 내부요소

Table 2 Comparison of data schema for disaster prevention

	IFC	Land XML	GML	KML	City GML	Geo4 NIEM
Comprehensiveness (City Object)	▽	□	▽	▽	▲	▲
3D Visualization	▲	▽	▲	▲	▲	▽
Extensibility	▲	□	□	□	▲	▲
Software	▲	▲	▲	▲	□	□

Legend - ▲: High(or available), □: Medium, ▽: Low(or NOT available)

를 변경할 수 있는지를 고려한 부분이다. 결과적으로 본 연구에서는 도시모델에서의 방재정보관리에 적합한 데이터 스키마로 City Geography Markup Language(CityGML)을 제안하였다.

CityGML은 Open Geospatial Consortium(OGC)에서 표준으로 제시하는 도시정보의 표현, 저장 및 교환을 위한 개방형 데이터 스키마 및 데이터 포맷이다(Gröger et al., 2012). CityGML은 지형 및 시설물을 동시에 관리할 수 있는 데이터 항목을 포함하고 있어 여러 응용분야에서 복잡한 분석업무를 수행할 수 있는 환경을 제공할 수 있다.

### 3. 방재관련 정보관리를 위한 CityGML 활용 방안

#### 3.1 CityGML기반 도시 구성 요소 및 속성 추가 방법

CityGML은 크게 기하(Geometry)모델과 주제(Thematic) 모델로 이루어져 있다. 기하모델은 3차원 도시모델의 공간객체에 대한 기하학적, 위상학적 정보관리를 위한 모델이며, 주제모델은 형상과 목적에 따른 속성의 결합으로 도시 구성요소들을 주제에 맞게 표현하기 위한 의미 정보모델이다. 최신 버전인 CityGML 2.0에서는 Fig. 3과 같이 도시 구성요소의 속성이 포함된 각 주제모델에 대한 모듈을 제공하고 있다.

CityGML에서의 모듈들은 건물이나 지형과 같은 3차원 도시객체를 지원하기 위한 부분뿐만 아니라 외형을 보다 현실적으로 묘사하거나(Appearance) 지역활용용도를 구분(Land Use)할 수 있는 부분도 포함하고 있다. 예를 들어 3차원 객체로서의 신호등, 벤치, 버스정류장 등의 도시 보조시설물은 CityFurniture 모듈을 통해 표현 가능하며, Appearance 모듈을 활용하여 실제 사진 등을 입힐 수 있다. 그러나 댐, 제방 시설물 등 CityGML의 모듈에서 제공하고 있지 않은 객체는 직접적인 의미 표현이 불가능한데, 이를 위해 CityGML에서는 Application Domain Extensions(ADE)과 Generics

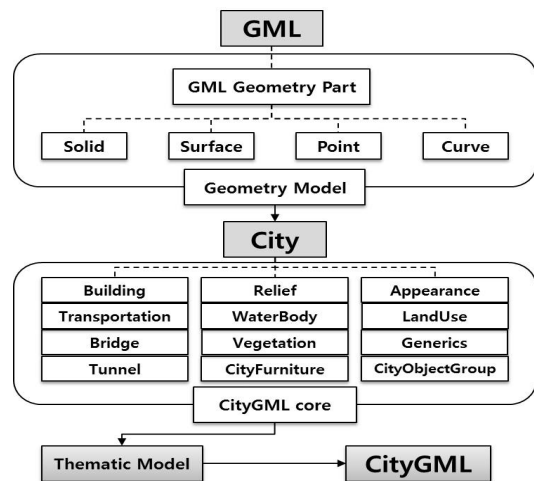


Fig. 3 Thematic modules supporting CityGML objects

모듈을 제공하고 있다. 그러나 ADE는 전체 스키마의 변형을 가져와 추가적인 가시화 모듈 등의 개발이 필요한 것으로, ADE의 활용은 추가 항목에 대한 국제적 협의가 있을 때 표준의 가치가 있다. 따라서 본 연구에서는 CityGML의 프레임워크 내에서 정보관리가 가능한 Generics 모듈기반의 도시모델 생성을 활용하였다. Generics 모듈에서는 크게 객체 자체를 일반화하여 표현할 수 있는 부분과 추가적으로 속성을 더해줄 수 있는 부분으로 구분할 수 있는데, 이는 각각 GenericCity Object와 \_genericAttribute 요소로 나타낼 수 있다. Fig. 3에서의 형상정보 및 기능 등과 관련한 기본정보는 GenericCityObject 포함 하위 요소와 내부속성을 통해 나타낼 수 있으며, 추가업무와 관련한 정보는 \_genericAttribute의 하위 요소를 통해 표현할 수 있다. Fig. 4는 CityGML의 Generics 모듈에 대한 기본 UML 다이어그램을 나타내는 것이다.

Fig. 4에서 알 수 있듯이, \_genericAttribute는 비단 GenericCityObject뿐만 아니라 건물, 교량 등과 같이 City Object의 하위요소에는 모두 적용 가능하다. 예를 들어 Table 1의 asset value, flood area 등의 추가 정보는 Building 모듈에 \_genericAttribute를 연결하여 추가속성으로 활용할 수 있다.

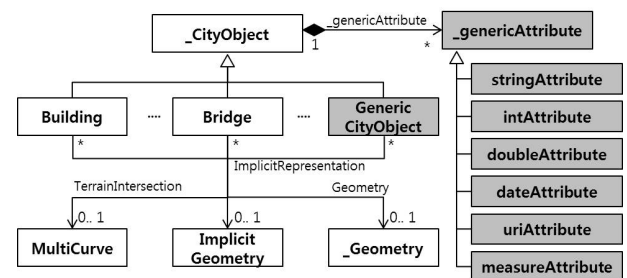


Fig. 4 GenericCityObject and GenericAttribute Diagram in CityGML(Gröger et al., 2012)

### 3.2 도시객체를 적용한 CityGML기반 도시정보 모델 생성 방안

도시를 대상으로 정보모델을 구축할 경우, 활용 목적과 대상 범위에 따라 대상이 되는 객체와 정보의 종류가 상이해지므로 그 목적과 대상을 명확하게 해야 한다. 지형정보는 대상 지역을 표현하고 관리하기 위한 기본 바탕이 되며, 시설물은 지형 위에 놓인다. 수리정보는 지형이나 시설물과는 특성이 조금 다르게 시간에 따라 형상적으로 표현되는 변화의 범위가 비교적 크다. 따라서 본 연구에서는 모델 구현에 필요한 구성요소를 지형, 시설물, 수면의 3개의 그룹으로 분류하여 나타내었다(Table 3).

본 연구에서 지형정보를 나타내기 위해서 CityGML의 Relief 모듈을 활용하였다. Relief 모듈은 Digital Terrain Model(DTM)로 표현되며, Table 3과 같이 4가지 방식으로 표면 표현을 지원한다. 수리정보를 나타내기 위해 Water Body 모듈을 활용하였다. 수리정보는 지형정보의 X, Y좌표에 높이 값을 추가하여 수면의 형태로 표현하는 경우가 많지만, 관수로 등을 표현하기 위해 솔리드 형식도 지원하고 있다. CityGML에서의 솔리드는 솔리드의 경계면을 폐단면의 결합으로 표현하는 방식인 Boundary Representation(B-Rep)

Table 3 City objects and CityGML module mapping

	Object	CityGML Module	Shape Representation
Land Part	Terrain	Relief Module	- Regular Raster
			- Break Line
Facility Part	Road	Transportation Module (Road Element)	- Surface
	Railway	Transportation Module (Railway Element)	
	Bridge	Bridge Module	- Curve - Surface - Solid
	Tunnel	Tunnel Module	
	Harbor	Generics Module	
	Dam/Levee	Generics Module	
	Retaining Wall	Generics Module	
	Environ. Structure	Generics Module	
	Building	Building Module	
	City Furniture	CityFurniture Module	
	Vegetation	Vegetation Module	
Water Part	Water	WaterBody Module	

을 활용한다. 시설물의 경우에는 Table 3에서와 같이 각각의 객체별로 CityGML에서 제시하는 모듈을 활용하였는데, 댐과 같이 CityGML 모듈에서 지원하지 않는 시설물은 3.1절에서 제시한 GenericCityObject를 활용하였다.

기본적으로 CityGML에서는 전역 좌표계를 설정한 후, 각 객체는 전역 좌표계에 따른 위치값을 활용하여 배치된다. 그러나 보다 정확한 객체결합 및 이에 대한 정보의 관리가 필요한 경우에는 Terrain Intersection Curve(TIC)를 활용할 수 있다. 이는 지형과 객체간 맞닿는 곡선을 의미하는 것으로, 지하와 지상공간이 같이 있는 구조물이나 홍수해에 따른 수면과 구조물의 접면 등을 도출할 때 사용 가능하다.

### 4. CityGML기반 도시정보모델 구현과 데이터 유효성 검토

4장에서는 2장과 3장에서 서술한 내용을 바탕으로 실제 CityGML기반 도시정보모델을 구현하였다. Fig. 5은 정보 모델 구성을 위한 전체 프로세스를 나타내는 것이다.

기본 모델링은 모델링 툴을 활용하여 지형과 도시 객체를 생성한 후, 이를 3장에서 제시한 주제 모듈을 적용하여 형상 정보를 포함하고 있는 기본적인 CityGML 데이터 파일을 생성하는 과정이다. 이때, 속성과 관련된 정보항목은 관리할 수 없기 때문에 본 연구에서는 기본속성과 추가업무속성을 제어하기 위한 사용자 인터페이스를 개발하였다. Fig. 6은 건물 모델을 대상으로 기본 및 추가업무속성을 추가하는 과정을 나타낸 것이다.

본 연구에서의 속성제어는 기본적으로 속성을 입력하기 위한 부분에 부여한 ID의 식별을 통해 이루어졌다. Fig. 6에서 위의 그림은 속성을 제어하기 위한 사용자 인터페이스로, Fig. 6(b)는 최초 형상정보와 ID 및 일부 속성을 포함하고 있는 Fig. 6(a)의 내부 데이터를 나타낸다. Fig. 6(c)는 Fig. 6(b)에서 ID식별을 통해 하나의 건물에 해당하는 속성

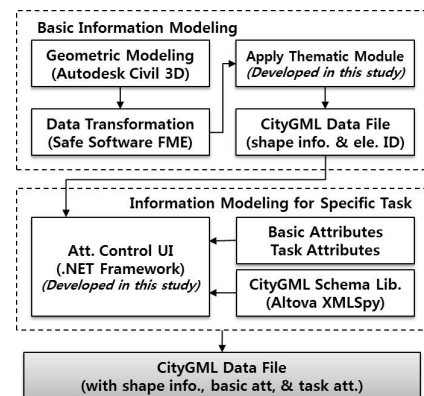
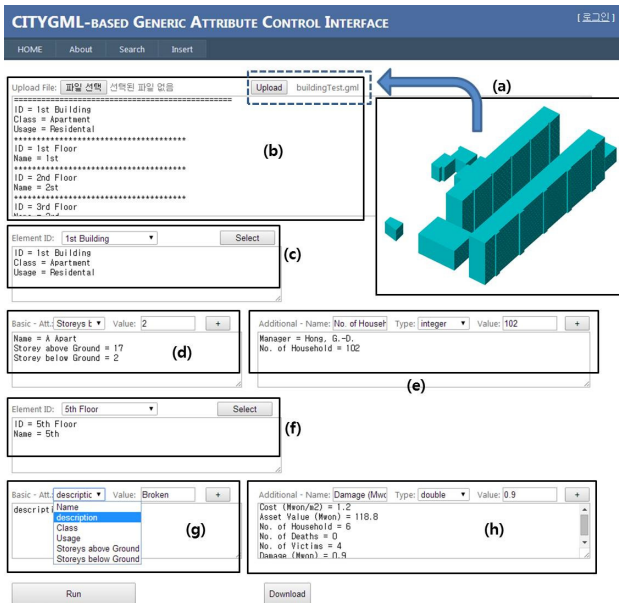


Fig. 5 Basic process of CityGML-based information modeling



```

(b') <cityObjectMember>
(c') <bldg:Building gml:id="1st Building">
(c') <bldg:class>Apartment</bldg:class>
(c') <bldg:usage>Residential</bldg:usage>
(d') <gml:name>A Apart</gml:name>
(d') <bldg:storeysAboveGround>17
</bldg:storeysAboveGround>
(d') <bldg:storeysBelowGround>2
</bldg:storeysBelowGround>
(e') <gen:stringAttribute name="Manager">
<gen:value>Hong, G.-D.</gen:value>
</gen:stringAttribute>
(e') <gen:intAttribute name="No. of Household">
<gen:value>102</gen:value>
</gen:intAttribute>
(a') <bldg:consistsOfBuildingPart>
<bldg:BuildingPart gml:id="1st Floor">
<gml:name>1st</gml:name>
...
(a') <gml:exterior>
(a') <gml:LinearRing>
(a') <gml:posList>202970.319952634
471232.476772052 59 202979.562987112
471232.25770376 57 202979.562987112
471232.25770376 59 202970.319952634
471232.476772052 59</gml:posList>
...
(f') <bldg:consistsOfBuildingPart>
(f') <bldg:BuildingPart gml:id="5th Floor">
(f') <gml:name>5th</gml:name>
(g') <gml:description>Broken
</gml:description>
(h') <gen:doubleAttribute name="Cost (Mwon/m2)">
<gen:value>1.2</gen:value>
</gen:doubleAttribute>
(h') <gen:doubleAttribute name="Asset Value
(Mwon)">
<gen:value>118.8</gen:value>
</gen:doubleAttribute>
(h') <gen:intAttribute name="No. of Household">
<gen:value>6</gen:value>
</gen:intAttribute>
(h') <gen:intAttribute name="No. of Deaths">
<gen:value>0</gen:value>
</gen:intAttribute>
(h') <gen:intAttribute name="No. of Victims">
<gen:value>4</gen:value>
</gen:intAttribute>
(h') <gen:doubleAttribute name="Damage (Mwon)">
<gen:value>0.9</gen:value>
</gen:doubleAttribute>
...
    
```

Fig. 6 CityGML-based building information modeling process

Table 4 CityGML element for representing city object

obj.	Applied Element
Relief	core:cityObjectMember ⊃ dem:ReliefFeature ⊃ dem:reliefComponent (1...∞) ⊃ dem:TINRelief ⊃ dem:tin ⊃ gml:TriangulatedSurface ⊃ gml:trianglePatches ⊃ gml:Triangle (1...∞) ⊃ gml:exterior ⊃ gml:LinearRing ⊃ gml:posList
Road	core:cityObjectMember ⊃ tran:Road ⊃ tran:lod1MultiSurface ⊃ gml:MultiSurface ⊃ gml:surfaceMember (1...∞) ⊃ gml:Polygon ⊃ gml:exterior ⊃ gml:LinearRing ⊃ gml:posList
Building	core:cityObjectMember ⊃ bldg:Building ⊃ bldg:consistsOfBuildingPart (1...∞) ⊃ bldg:BuildingPart ⊃ bldg:lod1Solid ⊃ gml:Solid ⊃ gml:exterior ⊃ gml:CompositeSurface ⊃ gml:surfaceMember (1...∞) ⊃ gml:Polygon ⊃ gml:exterior ⊃ gml:LinearRing ⊃ gml:posList
Bridge	core:cityObjectMember ⊃ brid:Bridge ⊃ brid:consistsOfBridgePart (1...∞) ⊃ brid:BridgePart ⊃ brid:lod1Solid ⊃ gml:Solid ⊃ gml:exterior ⊃ gml:CompositeSurface ⊃ gml:surfaceMember (1...∞) ⊃ gml:Polygon ⊃ gml:exterior ⊃ gml:LinearRing ⊃ gml:posList
Levee, Dam, Pump	core:cityObjectMember ⊃ gen:GenericsCityObject ⊃ gen:lod1Geometry ⊃ gml:MultiSolid ⊃ gml:solidMember (1...∞) ⊃ gml:CompositeSolid ⊃ gml:solidMember (1...∞) ⊃ gml:Solid ⊃ gml:exterior ⊃ gml:Polygon ⊃ gml:exterior ⊃ gml:LinearRing ⊃ gml:posList
Water Body	core:cityObjectMember ⊃ wtr:WaterBody ⊃ wtr:boundedBy (0...∞) ⊃ wtr:WaterSurface ⊃ lod2Surface ⊃ gml:CompositeSurface ⊃ gml:surfaceMember (1...∞) ⊃ gml:Polygon ⊃ gml:exterior ⊃ gml:LinearRing ⊃ gml:posList
	core:cityObjectMember ⊃ wtr:WaterBody ⊃ wtr:boundedBy (0...∞) ⊃ wtr:WaterGroundSurface ⊃ wtr:lod2Surface ⊃ gml:CompositeSurface ⊃ gml:surfaceMember (1...∞) ⊃ gml:Polygon ⊃ gml:exterior ⊃ gml:LinearRing ⊃ gml:posList
Prefix - bldg: Building Module, brid: Bridge Module, core: CityGML Core Module, dem: Relief Module, gen: Generics Module, gml: GML3, tran: Transportation Module, wtr: WaterBody Module	

만을 추출한 것으로, 이는 Fig. 6(d)와 Fig. 6(e)를 통해 각각 기본속성과 추가업무속성이 더해질 수 있다. Fig. 6(f), 7(g), 7(h)는 건물이 포함하는 층에 대한 정보를 다루는 부분으로 각각 Fig. 6(c), 7(d), 7(e)와 동일한 역할을 한다. Fig. 6에서 아래 그림은 이러한 과정을 거쳐 생성된 City GML기반 정보모델의 실제 물리파일 일부를 나타낸 것으로, Fig. 6(a')~Fig. 6(h')은 각각 Fig. 6(a)~(h)와 매핑된다. 이때, Fig. 6(a')는 Fig. 6(a)의 솔리드 형상 중 면 하나를 나타내는 것으로 표현방식은(x1 y1 z1 x2 y2 z2 x3 y3 z3 ... x1 y1 z1)이다. 따라서 Fig. 6(a')는 삼각면을 나타내고 있음을 알 수 있다.

언급한 절차에 따라 도시정보모델을 구현하였다. Table 4는 형상모델을 나타내기 위해 본 연구에서 활용한 CityGML의 요소를 나타낸다. 지형정보, 수리정보와 도로정보의 형상은 표면으로 나타낸다. 지형정보의 경우 GPS기반 좌표점

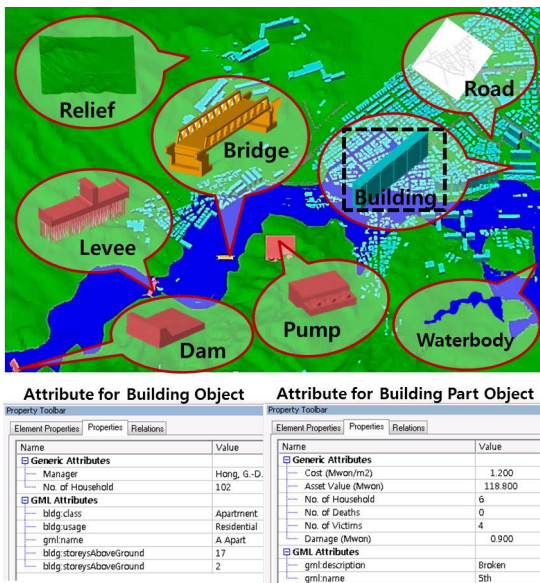


Fig. 7 Implementation of city information model

군집을 활용하여 불규칙 삼각망(Triangulated Irregular Network, TIN)을 구성하여 나타내었다. 수리모델은 지면에 드러나는 수면모델과 지형과 맞는 부분으로 구분하여 구현하였다. 수면모델은 지형점의 X, Y 좌표에 Z값의 변화를 통해 나타내었으며, 지형과 맞는 면은 지형점의 좌표를 활용하여 구현하였다. CityGML에서 지원하지 않는 댐과 제방은 전술한 바와 같이 *GenericCityObject*를 활용하였으며, 모든 객체에는 Fig. 7의 방법을 활용하여 속성을 생성하였다. Fig. 7은 100년 빈도의 홍수가 발생했을 때를 고려한 경기도 양주시 백석읍 흥복저수지 하류 유역의 일부 지역에 대한 도시정보모델(형상, 기본속성, 추가업무속성)을 나타내는 것으로, 모델 가시화는 KIT(2014)가 개발한 FZKViewer를 활용하였다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 방재업무 지원을 위해 3차원 도시정보모델을 생성하는 방법론을 제시하였고, 이를 활용하여 지형과 시설물의 정보를 통합적으로 관리할 수 있는 기본 방향을 제시하였다. 정보를 통합하여 다룬다는 것은 지형이 포함하고 있는 위치, 공간적 특징과 시설물이 포함하고 있는 형상, 기능적 특징을 모두 수용할 수 있어야 하는 것이다. 본 연구에서는 도시모델 방재업무에서 다루어야 하는 지형 및 시설물 정보객체와 정보객체가 포함해야 하는 내부 속성을 도출하기 위한 기본적 절차를 제시하였고, 이에 따라 예시 객체와 속성을 선정하였다. 또한 이러한 객체와 속성을 포함하며 도시정보모델을 구성할 수 있는 개방형 표준 데이터 스키마인

CityGML을 제안하였다. 더하여 CityGML에서 제공하고 있지 않은 정보항목을 관리하기 위해 CityGML 프레임워크를 따르며 관리할 수 있는 방안을 제시하였고, 이에 적합한 시범 모듈을 개발하였다. 제시한 방법의 활용성을 검토하기 위해 특정 예시지역을 대상으로 지형, 도로, 건물, 교량, 댐 및 수리 객체와 각 객체의 특징적인 속성 및 추가업무속성을 포함시킨 도시정보모델을 구현하였으며, 이를 통해 필요정보의 생성과 관리가 정확하게 가능함을 확인하였다.

본 연구는 방재를 위해 도시가 포함하고 있는 지형과 시설물의 정보를 아우를 수 있는 개방형 통합 데이터 스키마 활용의 기본 절차와 이를 기반으로 하는 도시정보모델을 제시한 것에 가장 큰 의미가 있다. 정보호환성을 담보하는 개방형 통합 데이터 스키마기반 모델의 활용은 시간과 소프트웨어에 대해 정보의 연속성과 영속성을 보장하여 정보모델을 통한 응용분야로의 활용범위를 넓히고 신뢰도 높은 방재 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다. 이는 논문의 서두에서 언급한 홍수해의 예를 생각해 볼 때, 홍수지역 및 대피경로의 산정을 넘어 건물이나 사회기반시설에 미치는 영향, 건물 내부에서의 행동조치 요령 등의 예측이 동시에, 보다 신뢰도 높게 예측 가능함을 의미하는 것이다. 따라서 향후에는 특정 업무에 적합한 보다 정교한 데이터 스키마의 개발과 이를 기반으로 하는 정보모델의 구성을 통해 방재업무를 직접적으로 지원할 수 있는 응용연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업의 지원으로 수행한 '3차원 BIM 기술을 활용한 수방시설의 능동형 재난관리체계 구축'(NEMA-자연-2012-57)과제의 성과입니다.

## Reference

- AIA (2008), *AIA Document E202-Building Information Modeling Protocol Exhibit*.
- bips (2007), *3D Working Method 2006*.
- CDI (2008) *Development of the Standard Model for Ubiquitous Disaster Prevention City*.
- Chen, L.-C., Wu, C.-H., Shen, T.-S., Chou, C.-C. (2014), The Application of Geometric Network Models and Building Information Models in Geospatial Environments for Fire-fighting Simulations, *Computers, Environment and Urban Systems*, 45, pp.1~12.
- Cova, T.J. (1999), GIS in Emergency Management, *Geographical information systems*, 2, pp.845~858.

- Gröger, G., Kolbe, T.H., Nagel, C., Häfele, K.-H. (2012), *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*. Open Geospatial
- Herold, S., Sawada, M., Wellar, B. (2005), Integrating Geographic Information Systems, Spatial Databases and the Internet: A Framework for Disaster Management, *Proceedings of the 98th Annual Canadian Institute of Geomatics Conference*, June 13-June 15, Ottawa, Ontario, Canada, pp.13~15.
- Kemec, S., Duzgun, H.S., Zlatanova, S. (2009), A Conceptual Framework for 3D Visualisation to Support Urban Disaster Management, *Proceedings of the Joint Symposium of ICA WG on CEWaCM and JBGIS Gi4DM*, Brno, Czech Republic, pp.268~278.
- Kia, M.B., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, A.R., Sulaiman, W.N.A., Moradi, A. (2012), An Artificial Neural Network Model for Flood Simulation Using GIS: Johor River Basin, Malaysia, *Environmental Earth Sciences*, 67(1), pp.251~264.
- Kim, C.-K., Hong, G.-H., Gho, I.-D. (2008) Development Strategy for a Facilities Safety Management System based GIS, *Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 21(5), pp.505~513.
- KIT (2014), *FZKViewer* [Online], Available: <http://iai-typo3.iai.fzk.de/> [Accessed July 4, 2014].
- Laefer, D.F., Koss, A., Pradhan, A. (2006), The Need for Baseline Data Characteristics for GIS-based Disaster Management Systems, *Journal of Urban Planning and Development*, 132(3), pp.115~119.
- Lee, G., Eastman, C.M., Sacks, R. (2006), Specifying Parametric Building Object Behavior (BOB) for a Building Information Modeling System, *Automation in Construction*, 15(6), pp.758~776.
- MOLIT (2013) *Special Law on the Safety Management of Public Structures*. (in Korean)
- NGII (2010) *Regulation for Physical Map*. (in Korean)
- Raper, J.F. (1989), The 3-dimensional Geoscientific Mapping and Modelling System: A Conceptual Design, in: RAPER, J. F. (ed.) *Three Dimensional Applications in Geographic Information Systems*, Taylor and Francis, London, pp.11~19.
- Ryu, D.H., Lee, H.G., Kim, K.H. (2010) Trend of Service and Technology for U-Disaster Prevention, *Electronics and Telecommunications Trends*, 25(4), pp.142~153.
- Shiau, Y.C., Tsai, Y.Y., Hsiao, J.Y., Chang, C.T. (2013), Development of Building Fire Control and Management System in BIM Environment, *Studies in Informatics and Control*, 22(1), pp.15~24.
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., Jebur, M.N. (2014), Flood Susceptibility Mapping Using a Novel Ensemble Weights-of-Evidence and Support Vector Machine Models in GIS, *Journal of Hydrology*, 512, pp.332~343.
- Uitto, J.I. (1998), The Geography of Disaster Vulnerability in Megacities: A Theoretical Framework, *Applied Geography*, 18(1), pp.7~16.
- Vijayaraghavan, C., Thirumalaivasan, D., Venkatesan, R. (2012), Utilization of Remote Sensing and GIS in Managing Disasters-A Review, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(1), pp.1~8.
- Yang, K.-G., Ko, E.-B. (2013) A Study on the Establishment of Scientific Natural Disaster Management System in Accordance with the Change of Disaster Circumstance, *Journal of Korean Association for Crisis and Emergency Management*, 5(1), pp.1~18.

## 요 지

도시방재업무의 기본은 대상지역의 지형과 지물(시설물)에 대한 상호적 이해와 그에 관한 정보관리로부터 시작된다. 도시방재업무를 보다 효율적으로 수행하기 위해서는 관련 정보를 모두 수용할 수 있는 일관된 프레임 하에서 데이터를 수집하고, 모델을 생성하며, 정보를 추적하고 관리할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 도시 객체를 대상으로 표준화된 도시정보모델을 생성하는 방법 및 정보관리의 관점에서 도시모델을 방재업무에 효과적으로 활용할 수 있는 방안을 제시하였다. 이를 위해 방재모형 생성에 필요한 도시 객체를 분류하고, 객체별 필요속성을 도출하는 과정을 거쳐, 방재정보를 포함한 관련 정보를 효율적으로 관리할 수 있는 통합 데이터 스키마인 CityGML기반의 개방형 도시정보모델의 생성 방안을 제시하였다. 또한 예제모델의 구현과 검토를 통해 제시된 도시정보모델 구축 방법론의 방재업무 적용성과 활용성을 확인하였다.

**핵심용어** : 도시방재, 통합 데이터 스키마, CityGML, 도시정보모델