

# 건물 침수피해 정보관리를 위한 개방형 정보모델의 응용방안

송민선<sup>1</sup> · 김민수<sup>1</sup> · 이상호<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 토목환경공학과

## Application of Open Information Model for the Information Management on Building Flood Damage

Min Sun Song<sup>1</sup>, Min-Su Kim<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

A systematically structured 3D information model can be effectively utilized in many application fields. This study presents the methodology of generation and application of the city information model, which is suited for the management of the flood damage information. To ensure the interoperability and re-usability of the information, this study develops application methodology to utilize the information attributes included in the CityGML as an open standard data schema and extension methodology for additional information attributes. Also, an effective combining method for topography and building model was proposed. Using the data extracted from the combined information model based on a real flood damage case, it was shown that the numbers of casualties and isolation during a flood can be predicted and as a result, the applicability of the data model on flood damage estimation is naturally verified.

**Keywords** : 3D information model, CityGML, open standard data schema, flood damage estimation

### 1. 서 론

기후변화, 지각변동 등에 따른 자연재해나 시설물 관리 부실 등에 따른 인위적 재해는 시설물 붕괴에 직접적으로 영향을 미쳐 대규모의 인명피해를 유발하기도 한다. 세계 각국은 재해 및 재난상황에서 인명 및 시설물의 피해를 최소화하기 위해 축적된 데이터와 정보를 활용하여 최적의 행동조치를 위한 의사결정이 신속하고 정확하게 이루어질 수 있도록 국가차원의 시스템 개발 및 개선에 힘쓰고 있다. 미국의 경우, 연방정부 차원에서 재해 및 재난에 따른 현황 파악, 대응, 복구 및 피해 완화 등에 대한 일관된 절차를 수립하여 관리하고 있으며(DHS, 2012), 일본 정부는 재해유형별 3차원 재해예측 및 시뮬레이션을 통해 국민들에게 재해 발생 및 전개 상황을 전달할 수 있는 시스템을 구축하고 있다(Lee, 2005). 국내에서도 중앙기관, 지방자치단체 및 소방본부에

서 홍수예보시스템, 국토해양재난종합상황관리시스템 등과 같은 체계를 구축하여 재해 및 재난을 예방하고 피해를 최소화하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 그러나 정보관리의 관점에서 보면 현존하고 있는 시스템에서 구축된 자료들은 주로 구조물의 성능적 지표보다는 개소, 위치처럼 단순 채워 등의 데이터만을 다루고 있으며, 각 관리주체별로 데이터 관리체계가 동일하지 않아 재해 및 재난상황에 따른 지식의 공유가 원활히 이루어지고 있지 않다(Lee and Kim, 2008).

이러한 문제점을 개선하기 위해 지형정보의 측면에서는 보다 많은 데이터를 수집한 후, 데이터 마이닝 기법을 적용하여 의사결정지원의 효율성을 높이는 방향의 연구가 진행되고 있다(Tsai *et al.*, 2008; Sin and Joo, 2013; Tehrani *et al.*, 2014). 시설물의 측면에서는 정보를 생성하는 단계에서부터 정보의 재사용성을 고려하는 Building Information Modeling / Model(BIM)을 활용하는 연구가 있으며, 단일

\* Corresponding author:

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

Received November 17 2014; Revised November 20 2014

Accepted November 21 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.

시설물 내에서의 재해 및 재난에 대한 적극적 행동조치 요령에 대한 연구가 주를 이룬다(Rueppel and Stuebbe, 2008; Shiau *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2014). 그러나 재해 및 재난 발생에 대한 적극적인 조치전략의 수립은 해당 지형과 구조물의 정보를 동시에 관리할 수 있는 환경이 요구되는 것으로, 정보의 통합과 재활용의 측면에서 지형과 건물을 동시에 관리할 수 있는 표준화된 데이터 스키마의 정립이 필요하다(Raper, 1989).

본 논문에서는 Park 등(2014)이 제시한 방재업무를 위한 모델 생성 개념에 따라, 도시정보모델을 기반으로 침수 발생에 따른 피해정보관리 가능성을 검토하는 연구를 수행하였다. 이를 위해 2장에서는 정확하고 일관된 정보를 포함하고 있는 도시모델 생성에 필요한 데이터 스키마의 정보 항목 및 속성 도출에 대한 절차를 서술하였고, 3장에서는 2장에서 서술한 내용을 바탕으로 지형 및 건물을 포함하고 있는 정보모델을 생성하는 방안에 대해 설명하였다. 마지막으로 4장에서는 제안한 방법을 통해 생성한 도시정보모델을 대상으로 침수에 따른 피해 결과를 도출하고, 그 의의를 분석하여 정보모델의 활용 가능성을 검토하였다.

## 2. 침수피해 정보관리를 위한 데이터 스키마 선정 및 건물속성 도출

### 2.1 도시정보모델에 적용 가능한 개방형 표준 데이터 스키마 선정

재해 및 재난 발생 시 도시에 대한 정보관리는 지형과 구조물의 속성 및 형상 정보를 동시에 다루되, 각 정보가 객체간에 연계될 수 있어야 함을 뜻한다. 이를 위해 개방형 표준 데이터 스키마를 통한 정보관리를 제안하였다.

객체의 정보관리는 영속성(perpetuity)을 가진 모델 내에서 객체별 일관성(consistency)있는 속성을 포함하고 있어 정보교환 시 정보의 손실을 최소화할 수 있도록 호환성(compatibility)을 유지하고 추가 정보 항목에 대한 직접적인 지원을 할 수 있는 정보의 확장성(extensibility)을 갖추어야 한다. 따라서 도시 내 침수 발생에 대한 정보를 체계적으로 생성 및 관리하기 위해서는 전술된 정보관리의 특징이 반영된 정보관리체계가 필요하다. 즉, 정보모델을 통한 표준화된 정보관리 방법과 침수 시 지형 및 건물을 대상으로 목적에 따른 필수 정보 항목의 분석이 필요하다. 이를 위해 도시 대상 침수피해 정보관리에 적합한 데이터 스키마를 선정하였다. 기 수행된 연구로 Park 등(2014)은 방재업무 활용을 위한 개방형 도시정보모델 생성 연구에 적합한 데이터 스

키마로 City Geography Markup Language(CityGML)을 제안하였다. Open Geospatial Consortium(OGC)에서 제시하는 표준 데이터 모델인 CityGML은 도시전체의 지형, 구조물 및 사회기반시설과 필요항목을 다루고 있는 개방형 데이터 스키마 및 데이터 포맷이다(Gröger *et al.*, 2012). CityGML은 다룰 수 있는 정보 항목의 수가 많아 도시에 대한 방대한 의미 정보를 다룰 수 있으나 과도한 데이터의 축적은 모델 구현, 정보의 검색, 연산 작업 등의 효율성을 저하시키기 때문에 목적에 맞게 선정된 정보 항목으로 초기 모델을 구성하고, 향후 필요시 사용자가 속성을 추가 및 관리할 수 있어야 한다.

### 2.2 침수피해 정보관리를 위한 건물정보 항목 도출 방안

도시의 시설물 또는 사회기반시설물을 정의 및 분류하고 있는 법령 및 규정에는 『국가회계기준에 관한 규칙』(MOSF, 2014), 『시설물 안전관리에 관한 특별법』(MOLIT, 2013), 『수치지도 작성 규정』(MLTM, 2010) 등이 있다. 위 법령 및 규정에서는 건물을 교량, 도로, 터널 등과 같이 도시 구성요소 중 하나로 분류하고 있으며, 거주공간이라는 점에서 침수 시 인명피해가 발생할 가능성이 높다. 따라서 본 연구에서는 침수 발생에 따른 민간 건물의 경제적 피해 및 인명 피해 정보관리를 위한 속성항목을 분류 및 도출하였다.

건물의 구성 요소 및 정보에 대한 분류는 각 항목들에 대한 의미적, 기능적 식별을 위한 것으로, 이는 건물의 기본적인 정보로 구분될 수 있다. 도시모델의 건물정보는 3차원 형상을 구현하면서 형상 이외의 정보들을 추가시켜 완성하였다. 본 연구에서는(Park *et al.*, 2014)에서 제시한 형상 및 기본속성정보, 추가업무속성을 활용하여 침수피해 정보관리와 같이 특정 목적을 위한 건물모델에 필요한 정보를 구분하고 정의하였다.

건축물 대장(MOLIT, 2014)의 항목을 분석하여 건물의 기본속성을 도출하였다. 건축물대장은 적법하게 건축된 건축물에 대하여 소유권의 구분에 따라 '일반건축물대장'과 '집합건축물대장'으로 나누어진다. '일반'은 단독주택과 같이 건축물의 소유권이 구분되지 않은 것이며, 아파트, 연립, 다세대주택과 같이 건축물의 부분별 소유권이 다르게 구성된 것을 '집합'이라고 한다. 대장은 공통적으로 건축물의 고유번호, 위치, 지번, 연면적, 용도 및 형태와 같은 기본내역과 소유자현황을 포함하고 있다. 단, '집합'의 경우, 건물 및 소유자현황을 층 및 가구별로 구분하여 기록하고 있다. 건축물대장의 정보를 바탕으로 건물, 층 및 가구단위로 세분화하여 건물의 기본속성을 분류 및 정리하였다. 정보모델의 속성들은 특정

업무 목적에 맞는 항목으로 구성해야 하지만 기본속성은 객체의 의미정보를 담고 있어 객체간 구별기준으로 활용될 수 있기 때문에 다양한 업무에서의 활용이 가능하다.

건물의 추가업무속성은 특정 목적에 맞추어 직접적으로 연관되는 정보 항목들 중 기본속성이 포함하지 않는 항목들을 의미하는 것이다. 본 연구에서는 침수 시 건물이 받는 물리적인 피해와 건물 내 거주 인명피해 산정에 초점을 맞추기 위해 건물 및 인명피해 산정식을 바탕으로 결과 값 도출에 활용되는 정보 항목들을 분류 및 정규화하였다. Table 1은 건물의 침수피해 산정을 위해 MOCT(2004)에서 제시하는 '다차원 홍수피해 산정방법(Multi-dimensional Flood Damage Analysis, MD-FDA)'을 활용하여 추가업무속성을 분류한 것이다. 이는 건물 및 건물 내용물 피해액 산정방법으로 하위속성은 상위속성을 유도하기 위해 필요한 항목으로 구성되어 있고, 하위속성은 연계된 외부정보 또는 연산을 통해 상위속성을 산출할 수 있다. 따라서 건물 침수피해 산정을 위한 추가업무속성은 피해액 산출에 직접적인 영향을 주지 않더라도 그 과정에서 요구되는 세부항목까지 고려해야 한다. 그 중 '가구 수', '건물형태', '건물구조'의 경우, 기본속성에서 도출 가능한 항목이다. Table 2는 침수발생 시 인명피해 산정에 필요한 추가업무속성을 분류한 것이다. 앞서 언급한 '다차원 홍수피해 산정방법'은 피해액 중심으로 산정하기 때문에 MLIT(2013)에서 제시하

**Table 1** Classification of additional task attributes for flood damage information on building and contents

Primary item	Attribute item	
	Secondary item	Tertiary item
Damage type : Damage of building by flood		
Property value of structure	Architecture unit price	Form, Structure
	Ratio of average gross area	Form, Area, Division section
	No. of houses	
	Construction industry deflator	Year
Inundated inclusion ratio	Administrative district map	
	Land cover/Digital map	
	Flood inundation map	
Flood probability of damage	Depth	
	Form	
Damage type : Damage of contents by flood		
Property value of contents	Assessment price of contents	City type
	Number of households	
	Price index	Base year
Inundated inclusion ratio	Administrative district map	
	Land cover/digital map	
	Administrative district map	
Flood probability of damage	Depth	

**Table 2** Classification of additional task attributes on casualties

Damage type	Attribute item
No. of persons in flooded area	① ②
No. of persons who need help in flooded area	① ② ③ ④ ⑨
Estimated number of deaths	① ② ⑦ ⑧ ⑩
Maximum No. of isolated persons	① ② ⑩
No. of isolated persons for 3 days or more	⑤ ⑥ ⑩
① No. of person aged over 65 in flooded area ② No. of person aged under 65 in flooded area ③ No. of person aged 0-4 in flooded area ④ No. of person aged 5-9 in flooded area ⑤ No. of person aged over 65 for over 3 days in flooded area ⑥ No. of person aged under 65 for over 3 days in flooded area ⑦ Mortality rate according to submergence depth and housing height about person aged over 65 ⑧ Mortality rate according to submergence depth and housing height about person aged under 65 ⑨ Rate of disabled person aged over 65 in flooded area ⑩ Refuge rate	

는 인명피해 산정방법을 활용하였다. 이 방법은 침수지역을 격자(mesh)로 나누고 각 격자의 연령별, 건물 층별 인구수에 따른 인명피해를 산출하므로 속성항목들의 연산을 통해 인명피해를 산출할 수 있다. 본 연구에서는 건물단위로 정보관리가 가능하다는 점을 고려하여 지역단위를 세분화시켜 건물단위의 인명피해 산출이 가능하도록 하였다.

### 3. 침수피해 정보관리를 위한 CityGML기반 도시정보 모델 생성

본 장에서는 침수피해 정보관리를 위한 지형과 건물의 형상 모델을 생성하고, 이를 결합할 수 있는 방안을 제시하였으며 2장에서 분류한 속성을 추가 할 수 있는 방법을 서술하였다.

CityGML에서는 지형정보를 나타내기 위해 Relief 주체 모듈을 제공하고 있다. Relief 모듈은 지면의 형상 표현에 초점을 맞추고 있는 것으로, 3차원 형태의 표면(surface)으로 나타난다. 본 연구에서는 지형 형상 표현을 위해 필요한 항목을 Table 3과 같이 도출하였다. 지형면은 기본적으로

**Table 3** Relief model applied element based on CityGML

	Applied element		
Relief	ReliefFeature ⊃ reliefComponent(1...∞) ⊃ TINRelief ⊃ tin ⊃ TriangulatedSurface ⊃ trianglePatches ⊃ Triangle(1...∞) ⊃ exterior ⊃ LinearRing ⊃ posList		
Support ID about point&surface	ReliefFeature	⊃ name	Surface ID
	LinearRing	⊃ description	Point ID

불규칙 삼각망(Triangulated Irregular Network, TIN)의 형태로 나타냈으며, 지형면에 시설물의 위치 참조점으로 활용하기 위하여 삼각면과 삼각면을 구성하는 각 점에 식별자를 부여하였다. 본 연구에서 생성한 지형모델은 실제 지역의 수치지도 데이터를 활용하여 CityGML형태로 변환 후, 생성하였다.

건물과 관련한 정보 항목은 CityGML의 *Building* 주제모델에서 다루고 있다. BIM에서 다루는 건물에 비해 CityGML에서 다루는 건물의 정보 항목은 기본적인 정보만을 다루고 있고 이는 도시전체의 정보를 효율적으로 다루기 위한 관점으로 생각할 수 있다. 이에 따라 CityGML에서는 객체가 포함해야 하는 정보 표현의 상세수준(Level of Detail, LoD)의 개념을 제공하고 있는데, 본 연구에서는 정보관리의 적용성을 검토하기 위해 건물의 외형만을 다루는 수준의 모델을 생성하였고, 침수심에 따른 피해산정을 위해 층을 구분할 수 있는 정보를 추가로 고려하였다. CityGML에서는 직접적으로 층의 의미에 대한 항목을 제공하고 있지는 않지만, 건물을 구성하는 부분에 대한 항목을 제시하고 있어 본 연구에서는 Table 4에 나타낸 바와 같이 *BuildingPart*의 항목을 사용하였다.

CityGML에서 3차원 솔리드의 표현은 2차원 단면의 결합의 형태로 표현하는 Boundary Representation(B-rep)으로 지원한다. 건물 객체의 솔리드 표현은 Table 4와 같이 B-rep의 방식을 그대로 따랐다. 본 연구에서는 NGII(2014)에서 제공하는 실제 건물의 2차원 평면도를 활용하여, 이를 건물 모델의 아랫면으로 하고 실제 층수를 적용하여 건물 형상모델을 생성하였다. 본 연구에서의 형상모델의 구성은 아랫면과 윗면이 동일한 형태이고 기준면과 수직방향으로 옆면이 생성되는 것으로 제한하였으며, 지하공간은 고려하지 않았다.

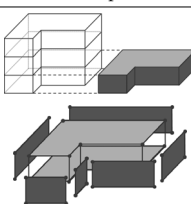
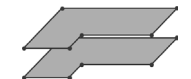

2차원 단면을 통한 3차원 건물모델의 생성은 건물모델의 밀면을 구성하는 점들이 동일 수준(level)을 가진다. 건물의 실제 수준 값은 지형모델과의 결합을 통해 적용 가능하다.

그러나 정확한 좌표 값을 알고 있는 지형면 및 건물면이 한 지점에 일치하는 경우를 제외하고는 컴퓨터를 기반으로 건물을 지형에 정확히 배치하는 것은 불가능하다. 특히 수천 개 이상의 건물을 일괄 생성하는 경우, 모델 결합은 수작업으로 인한 한계를 가질 수밖에 없다. 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하기 위하여 지형모델과 건물모델의 결합과정에서 Terrain Intersection Curve(TIC)를 적용하였다. 즉, 지형면과 건물면 맞닿을 경계 곡선을 미리 정해놓는 것으로, Fig. 1은 본 연구에서 활용한 TIC에 대한 기본개념을 과장된 지형면을 통해 나타낸 것이다. Fig. 1(a)에서는 이미 알고 있는 건물과 지형을 구성하는 점의 X, Y값을 활용하여 일치시킨 후, Fig. 1(b), Fig. 1(c)에 나타낸 바와 같이 건물면을 지형면으로 투영하여 알고 있는 지형면 점의 Z값을 건물면의 점에 반영하여 건물과 지형의 Z좌표가 동일한 좌표점을 생성하였다. 생성된 좌표점을 활용하여 Fig. 1(d)와 같이 건물의 TIC를 생성하여, 이를 활용한 지형모델과 건물모델의 결합이 가능하다.

건물의 기본정보를 나타내는 속성들은 2장에서 제시한 건축물대장의 정보로 구성하고 있으며, 이를 형상모델에 추가하였다. 건물의 기본속성은 객체의 일반적인 식별 또는 기능에 대한 정보들로 목적에 따라 항목의 수를 달리할 수 있다. 다만 과도한 정보 항목의 생성은 데이터 관리의 측면에서 비효율적이므로 가장 기본적인 항목만을 실제 정보모델에 반영하였다. Table 5는 건물정보모델 생성에 활용한 기본속성을 나타내는 것이다. 기본속성의 경우, CityGML에서 제공하는 항목을 활용하였는데 모델의 생성자, 사용자 및 관리자 사이에서 모호한 의미전달 가능성이 있는 *class*, *function*, *usage* 등과 같은 항목에 대해서는 표현하고자 하는 정보의 명확한 의미를 재정의 해 주었다.

침수해와 관련하여 생성되는 정보들은 정보모델 활용영역으로 기본 CityGML 데이터 스키마에서 항목의 확장이 필요

Table 4 Building model applied element based on CityGML

	Shape	Applied element
Priority level		<b>Building</b> ⊃ consistsOfBuildingPart (0...∞) ⊃ BuildingPart ⊃ lod1Solid ⊃ Solid ⊃ exterior ⊃ CompositeSurface ⊃ surfaceMember(1...∞) ⊃ Surface
Upper/lower surface		⊃ polygonPatches ⊃ PolygonPatch ⊃ exterior ⊃ LinearRing ⊃ posList
Sides		⊃ patches ⊃ Rectangle ⊃ exterior ⊃ LinearRing ⊃ posList

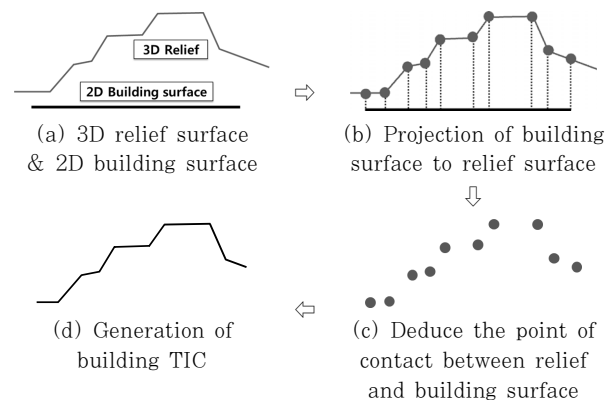


Fig. 1 Basic connection concept of relief and building model using TIC

**Table 5** Generation of the basic attributes for building information model

Basic attribute	Structure of CityGML	Applied element	Definition	
Building No.	<b>Building</b>	▷ id	Building ID	
Address		▷ address ▷ Address ▷ xalAddress ▷ AddressDetails ▷ ...	nation, city, road name, land no, etc	
Title		▷ name	Building name	
Zone		▷ class	public/private	
Use		▷ function	Main use	
Form		▷ usage	Form	
Structure		▷ _GenericApplicationPropertyofCityObject (0...∞) ▷ _genericAttribute ▷ ...	Structure	
Total No. of stories		▷ storeyAboveGround	Total No. of floor	
Height of floor		▷ storeyHeightsAboveGround	Height of floor	
Owner of building		▷ _GenericApplicationPropertyofCityObject (0...∞) ▷ _genericAttribute ▷ ...	Owner name	
Floor No.		<b>Building</b> ▷ consistsOfBuildingPart (0...∞) ▷ BuildingPart	▷ id	Floor ID
Household No.		<b>Building</b> ▷ consistsOfBuildingPart (0...∞) ▷ BuildingPart ▷ consistsOfBuildingPart(0...∞) ▷ BuildingPart	▷ id	Household ID
Household			▷ name	Household name
Household usage	▷ function		Use for household	
Owner of household	▷ _GenericApplicationPropertyofCityObject (0...∞) ▷ _genericAttribute ▷ ...		Owner name	

**Table 6** Generation of task attribute for managing flood damage information about building and contents

Task Attribute	Symbol	Structure of CityGML	Condition
Architecture unit price	<i>Mb</i>	<b>Building</b> ▷ _GenericApplicationPropertyofCityObject(0...∞) ▷ _genericAttribute ▷ ...	Using external information
Division section	<i>Cd</i>		{dong, eup, myeon}
Area	<i>Ca</i>		{-7, 7-9, 9-14, 14-19, 19-29, 29-39, 39-49, 49-69, 69-99, 99-}
Rate of average gross area	<i>Ra</i>		Using external information
Base year	<i>Cy</i>		{2012, 2011, 2010, 2009, 2008, 2007, 2006}
Construction industry deflator	<i>Rb</i>		Using external information
City type	<i>Cc</i>		{large city, Medium/small city, rurban city, garden city, rural area}
Assessment price of household contents	<i>Mh</i>		Using external information
Price index	<i>Rp</i>		Using external information
Inundated inclusion ratio	<i>Rf</i>		Using external information
Flood probability of damage about building	<i>Rd<sub>b</sub></i>		Using external information
Flood probability of damage about contents	<i>Rh</i>		Using external information

**Table 7** Generation of task attributes for managing flood damage information about casualties

Task attribute	Symbol	Structure of CityGML	Condition
Refuge rate	$\alpha$	<b>Building</b> ▷ _GenericApplicationPropertyofCityObject (0...∞) ▷ _genericAttribute ▷ ...	{0, 0.4, 0.8}
Rate of disabled person aged over 65 in flooded area	<i>Dd</i>	...	$0 \leq Dd \leq 1$
Mortality rate according to flood depth and number of stories about person aged over 65	<i>Do</i>	<b>Building</b> ▷ consistsOfBuildingPart(0...∞) ▷ BuildingPart ▷ _GenericApplicationPropertyofCityObject (0...∞) ▷ _genericAttribute ▷ ...	{0.00023, 0.12, 0.9175}
Mortality rate according to flood depth and number of stories about person aged under 65	<i>Du</i>		
No. of person aged over 65 in flooded area	<i>Po</i>		
No. of person aged under 65 in flooded area	<i>Pu</i>		$Pu \geq Pz + Pf$
No. of person aged 0-4 in flooded area	<i>Pz</i>		$Pz \leq Pu$
No. of person aged 5-9 in flooded area	<i>Pf</i>		$Pf \leq Pu$
No. of person aged over 65 for over 3 days in flooded area	<i>Pto</i>		$Pto \leq Po$
No. of person aged under 65 for over 3 days in flooded area	<i>Ptu</i>		$Ptu \leq Pu$

한 부분이다. Table 6과 Table 7은 침수해 관련 추가업무 속성에 관해 확장된 정보 항목을 나타내는 것으로, Park 등 (2014)이 제시한 바에 따라 CityGML의 *Generics* 주제모듈이 제공하고 있는 *generic attribute*의 하위요소를 활용하였다. 이때, 속성의 계층관계를 고려하여 지역단위의 변수인 피난비율, 장애자 비율 등은 건물 단계에서 정의하였고, 거주 인구수 등은 건물의 층 단위에서 정의하였다.

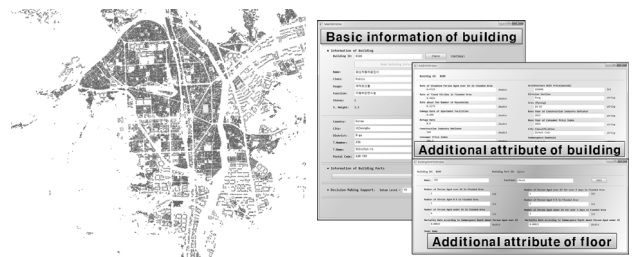
#### 4. CityGML기반 도시정보모델을 통한 침수피해 정보 관리 활용성 검토

본 연구에서는 생성된 도시정보모델의 응용분야에 대한 활용 가능성을 제시하기 위해 실제 침수사례와 유사한 환경을 조성하고 인명피해 수식에서 도출한 정보 항목을 적용한 도시정보모델을 통해 침수피해 발생규모를 확인하였다. 과거 발생된 침수사례를 살펴보면 1998년 8월, 5일간 최대 일 강우량 409mm의 250년 강우빈도의 폭우로 인해 의정부시 의정부 2, 3동을 중심으로 사망 17명, 실종 1명의 인명피해가 발생하였다.

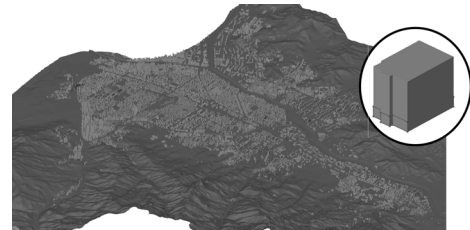
당시 침수상황과 유사한 모델을 생성하기 위해 250년 강우빈도의 최대 강우량의 경우를 의정부 2, 3동에 적용하였다. 당시 지역의 인구수는 국가통계포털(KOSTAT, 2010)에서 제공하는 정보를 바탕으로 40,844명으로 설정하였다. 다만, 본 연구모델에서 필요한 건물별 인구수 및 65세 기준으로 나누어지는 인구비율은 임의의 분배하였고, 실제 의정부시의 피해현황에서는 나타나고 있지 않은 침수해에 따른 사망률 및 피난비율은 3장에서 제시한 내용에 따라 적용하였다.

Fig. 2는 전술한 내용에 따라 생성한 지형 및 건물정보모델을 나타낸 것이다. Fig. 2(a)는 의정부시 건물의 2차원 평면도이고, Fig. 2(c)는 Fig. 2(a)와 TIC를 활용하여 3차원 솔리드 형태의 지형 및 건물모델을 나타낸 것이다. Fig. 2(b)는 각 건물 및 건물을 이루고 있는 층의 식별 ID를 통해 기본 및 추가업무속성의 확인 및 수정이 가능하도록 개발한 정보관리 사용자 인터페이스(user interface)이다. Fig. 2(d)는 건물에 대한 CityGML 물리파일의 일부를 나타낸 것으로, 생성한 정보들이 유효한 형태로 저장되어 있음을 확인할 수 있다.

구축한 도시정보모델에 침수 시 예상 인명피해 산정을 위해 MLIT(2013)에서 제시하는 Eq. (1)부터 Eq. (3)까지의 식을 적용하였다. 예상 인명피해 산정에 필요한 속성들은 3장에서 정규화시킨 Table 7을 활용하였다. 이를 통해 침수 시 예상 사망자 수(ED), 예상 최대 고립자 수(IP) 및 3일 이상 예상 고립자 수(IP3)를 산출하였다.



(a) 2D plane of building in Uijeongbu (b) User interface for information management



(c) 3D solid of relief and building model

<pre> ... &lt;bldg:consistsOfBuildingPart&gt; &lt;bldg:BuildingPart gml:id="3_floor"&gt; &lt;gml:name&gt;301&lt;/gml:name&gt; &lt;bldg:function&gt;Hospital&lt;/bldg:function&gt; &lt;gen:intAttribute name="Number of Person Aged over 65 in Flooded Area"&gt;&lt;gen:value&gt;0&lt;/gen:value&gt; &lt;/gen:intAttribute&gt; &lt;gen:intAttribute name="Number of Person Aged under 65 in Flooded Area"&gt;&lt;gen:value&gt;6&lt;/gen:value&gt; &lt;/gen:intAttribute&gt; &lt;gen:doubleAttribute name="Mortality Rate according to Submergence Depth about Person Aged over 65"&gt; &lt;gen:value&gt;0.00023&lt;/gen:value&gt;&lt;/gen:doubleAttribute&gt; &lt;gen:stringAttribute name="Owner Name"&gt; &lt;gen:value&gt;Jongmyeong Kim&lt;/gen:value&gt; &lt;/gen:stringAttribute&gt; ...                 </pre>	<p>←building</p> <p>←floor ID</p> <p>←name</p> <p>←function</p> <p>←<math>P_{o_i}</math></p> <p>←<math>P_{u_i}</math></p> <p>←<math>D_{o_i}</math></p> <p>←owner</p>
--	--

(d) Physical file of CityGML-based information model

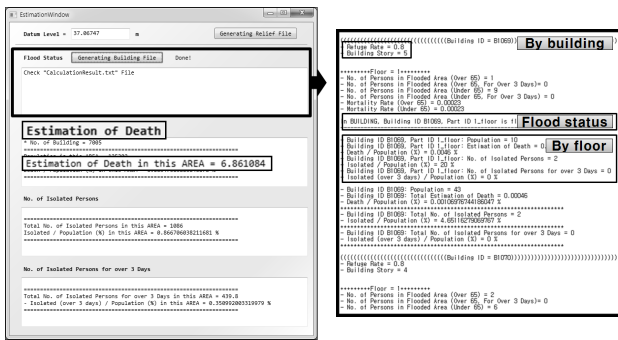
Fig. 2 Implementation of CityGML-based city information model

$$ED = \sum_{j=1}^{TB} \left[ \sum_{i=1}^{TF} \left\{ P_{o_i} \times (1 - \alpha_j) \times D_{o_i} + P_{u_i} \times (1 - \alpha_j) \times D_{u_i} \right\} \right] \quad (1)$$

$$IP = \sum_{j=1}^{TB} \left[ \sum_{i=1}^{TF} \left\{ P_{o_i} \times (1 - \alpha_j) + P_{u_i} \times (1 - \alpha_j) \right\} \right] \quad (2)$$

$$IP3 = \sum_{j=1}^{TB} \left[ \sum_{i=1}^{TF} \left\{ P_{t_{o_i}} \times (1 - \alpha_j) + P_{t_{u_i}} \times (1 - \alpha_j) \right\} \right] \quad (3)$$

여기서,  $i$ 는 건물에서의 층 식별자를 나타내며, TF는 하나의 건물에서의 총 층수를 의미하며 Table 5의 총 층수와 동일한 값을 가진다.  $j$ 는 건물의 식별자를 나타내며, TB는 침수 지역의 총 건물의 수를 나타낸다.  $\alpha$ 는 범람특성, 날씨, 시간, 요일, 지역특성 등의 정성적인 항목을 정량화한 것으로, MLIT (2013)에서는 0, 0.4, 0.8의 값을 제안하고 있다.  $D_o$ 와  $D_u$ 의 경우, 층수가 간접적으로 반영되는 인자로 위험수위



(a) Decision-making module for (b) Flood status of building flood damage information

Fig. 3 Usability of decision-making module for flood damage information

(91.75%), 준 위험수위(12%), 안전수위(0.023%)의 값으로 구분하여 적용할 것을 권고하고 있다. 본 연구에서  $\alpha=0.8$ 의 값을 활용하였으며,  $D_o$ 와  $D_u$ 는 침수되는 건물의 층에 따라 다른 값을 적용하였다.

Fig. 3(a)는 전술된 인명피해 도출식을 적용하여 개발한 침수피해 정보 생성 모듈을 나타낸 것으로, Fig. 2(b)의 모듈과 정보연계가 이루어진다. 구체적인 결과는 Fig. 3(b)를 통해 확인할 수 있는데, 건물 및 건물의 층 단위별, 해당 지역의 행정구역 단위별, 그리고 해당 전체 지역의 예상 사망자 수 및 최대 고립자 수, 3일 이상 예상 고립자 수를 산정할 수 있다. 적용 사례의 경우, 의정부 2동의 예상 사망자 수는 4.49명, 예상 최대 고립자 수는 708명, 3일 이상 예상 고립자 수는 280.6명, 의정부 3동의 예상 사망자 수는 2.37명, 예상 최대 고립자 수는 378명, 3일 이상 예상 고립자 수는 159.2명, 해당 지역 전체의 예상 사망자 수는 6.86명, 예상 최대 고립자 수는 1,086명, 3일 이상 예상 고립자 수는 439.8명이 각각 도출되었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 정보관리 관점에서 CityGML 데이터 스키마를 기반으로 도시정보모델 생성과 응용분야로의 활용 가능성을 확인하였다. 이를 위하여 첫째, 특정 목적에 적합한 데이터 스키마의 활용방안을 제시하였다. CityGML를 기반으로 침수피해 산정을 위한 정보 항목을 선별하고, 모호한 항목에 대해서는 새롭게 활용범위에 대한 정의를 내렸다. CityGML에서 제공하고 있지 않은 정보 항목에 대해서는 Generics 모듈을 활용하여 CityGML의 Framework 내에서 추가하였다. 둘째, 침수피해 산정에 대한 응용분야에서 활용 가능한 지형과 건물에 대한 정보모델을 생성하였다. 침수피해 대한 정보관리 시 대규모 건물 객체의 정보모델링 방법 및 지형모

델과 효과적으로 통합할 수 있는 방안을 제시하고, 이를 통해 의정부 일부 지역의 정보모델을 생성하였다. 셋째, 생성한 정보모델을 활용하여 해당 지역을 대상으로 예상 사망자 수, 최대 고립자 수 및 3일 이상 예상 고립자 수를 산정하였다.

본 연구는 개방형 데이터 표준 스키마를 활용하여 생성한 정보모델의 응용분야에 대한 활용 가능성을 확인하는 것에 주목적이다. 따라서 예상 사망자 수의 자체의 정확성 보다는 어떠한 방식으로 정보모델링을 하느냐에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다. 향후 본 연구에서 제안한 방법을 활용하여 지상뿐만 아니라 지하구조물을 모두 다룰 수 있는 모델을 통해 건물과 도로, 교량 및 수방시설 등 도시시설 전체를 대상으로 적용범위를 점차 확대해 나가면, 도시에서의 재해·재난 상황에 대해 보다 정확히 묘사가 가능하게 될 것으로 기대된다. 보다 더 넓게는 개방형 스키마를 사용하여 얻을 수 있는 정보의 소프트웨어 간 상호운용성, 모델 재사용으로 인한 업무 효율성 등의 이점으로 인해 정보모델의 응용분야로의 활용 가치는 더욱 높아질 것으로 예상된다.

### 감사의 글

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

### References

DHS (2012) Privacy Impact Assessment for the National Emergency Management Information System Individual Assistance (NEMIS-IA) Web-based and Client-based Modules, DHS/FEMA/PIA-027, Department of Homeland Security, p.18.

Gröger, G., Kolbe, T.H., Nagel, C., Häfele, K.-H. (2012) OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. OGC 12-019, Open Geospatial, p.344.

KOSTAT (2010) Korean Statistical Information Service, <http://kosis.kr> (accessed Oct 1, 2014).

Lee, B.-G., Kim, G.-W. (2008) A Study on The Development of Emergency Management System in Korean Local Government, Korea Research Institute for Local Administration, p.250.

Lee, Y.-J. (2005) National Management System in Developed Countries, *J. Korean Assoc. Reg. Inf. Soc.*, 35, pp.47~53.

Li, N., Becerik-Gerber, B., Krishnamachari, B.,

- Soibelman, L.** (2014) A BIM Centered Indoor Localization Algorithm to Support Building Fire Emergency Response Operations, *Autom. Constr.*, 42, pp.78~89.
- MLIT** (2013) Flood Damage Index Analysis, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, p.96.
- MLTM** (2010) Regulation for Physical Map, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.
- MOCT** (2004) Study about Economic Analysis Method of Flood Control Project, Ministry of Construction and Transportation.
- MOLIT** (2013) Special Law on the Safety Management of Public Structures, Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- MOLIT** (2014) National Architecture Information System, <http://www.eais.go.kr> (accessed Oct 1, 2014).
- MOSF** (2014) Regulation for National Accounting Standard, Ministry of Strategy and Finance.
- NGII** (2014) Digital Map, <http://www.ngii.go.kr> (accessed Oct 1, 2014).
- Park, S.I., Song, M.S., Jang, Y.-H., Seo, K.-W., Lee, S.-H.** (2014) Generation of Open City Information Model for Disaster Prevention, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 27(4), pp.321~328.
- 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 & Francis*, pp.11~19.
- Rueppel, U., Stuebbe, K.M.** (2008) BIM-Based Indoor-Emergency-Navigation-System for Complex Buildings, *Tsinghua Sci. & Tech.*, 13(S1), pp.362~367.
- Shiau, Y.C., Tsai, Y.Y., Hsiao, J.Y., Chang, C.T.** (2013) Development of Building Fire Control and Management System in BIM Environment, *Stud. Inform. & Control*, 22(1) pp.15~24.
- Sin, H.G., Joo, Y.J.** (2013) A Study on Prototype Model for Mesoscopic Evacuation Using Cube Avenue Simulation Model, *J. Korean Spatial Inform. Soc.*, 21(5), pp.33~41.
- 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, *J. Hydrol.*, 512, pp.332~343.
- Tsai, C.-H., Chen, C.-W., Chiang, W.-L., Lin, M.-L.** (2008) Application of Geographic Information System to The Allocation of Disaster Shelters via Fuzzy Models, *Eng. Comput.*, 25(1), pp.86~100.

## 요 지

체계적으로 구축된 3차원 정보모델은 응용분야에서 효과적으로 활용 가능하다. 본 연구에서는 침수에 따른 피해정보 관리에 적합한 도시정보모델을 생성하여 활용하는 방법을 제시하였다. 정보의 상호운용성과 재사용성을 보장받기 위해 개방형 표준 데이터 스키마인 CityGML이 포함하고 있는 정보 항목을 활용하는 방법 및 추가 필요항목에 대한 확장방안을 제시하였고, 지형과 건물모델을 효과적으로 통합할 수 있는 방안을 제시하여 적용하였다. 실제 침수피해 사례를 대상으로 생성한 통합정보모델이 포함하고 있는 데이터를 활용하여 침수해에 따른 예상 사망자 수, 예상 고립자 수를 산정하였으며, 이를 통해 정보모델이 침수피해 산정과 같은 응용분야에 활용 가능함을 확인하였다.

**핵심용어** : 3차원 정보모델, CityGML, 개방형 표준 데이터 스키마, 홍수피해 산정