

도시정보모델의 침수피해정보관리에서의 활용

박 상 일¹ · 김 민 수¹ · 김 종 명¹ · 이 상 호^{1*}

¹연세대학교 토목환경공학과

City Information Model-based Information Management of Flood Damages

Sang Il Park¹, Min-Su Kim¹, Jong Myung Kim¹ and Sang-Ho Lee^{1*}

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

Abstract

Open city information model can increase the understanding of the situation, enable the effective reuse of information due to access the semantic and relational conditions of objects, and support the reliable decision-making through linking with external references. The city information model focused on terrain and buildings was implemented based on the actual data. In addition, a process for flooding simulation was proposed using hydraulic analysis data and the city information model. The deaths and damages were estimated by flooding simulation. The availabilities were examined by detailed queries and responses based on model data of the city information model, hydraulic analysis data and the estimated damages.

Keywords : open city information model, flooding simulation, model-based deaths and damages estimation

1. 서 론

정보모델은 체계적인 틀에 따라 정보를 저장하여 정보관리의 효율성을 높이는 측면도 있지만, 응용분야에서의 정보 재사용성을 높여 업무 생산성을 향상시키는 것도 중요한 목적 중에 하나이다(Park *et al.*, 2015). 건축분야에서는 정보모델 활용의 효율성이 가시화되고 있는 상황임에도 불구하고, 대규모 프로젝트로 진행되는 토목/인프라산업 분야에서는 그 특성상 다루어야 하는 정보의 형태와 양이 매우 다양하고 많아 모델 생성 자체도 쉽지않은 상황이었다(Lee and Park, 2013). 그러나 많은 연구자와 기관의 노력으로 최근에는 토목분야에서도 적극적인 형태의 정보모델 활용에 접근하고 있다. 재난예방 또는 재난재해 발생시 피해 최소화의 부분도 정보모델을 활용한 응용의 하나로 볼 수 있는데, 잘 구축된 도시정보모델은 재난발생 상황에 대한 시뮬레이션을 통해 행동조치에 대한 계획 수립을 지원할 수 있다(Park *et al.*, 2014). 특히, 3차원 형태의 지형과 구조물의 정보를 모두

아울러 수 있는 모델을 활용하는 경우에는 기존 지형 중심의 모델에 텍스트적인 속성으로만 구조물을 다루는 시뮬레이션 환경에 비해 보다 구체적인 신뢰도 높은 정보의 제공이 가능하며, 또한 관리자 및 지역 거주민의 행동사항에 대한 이해도를 대폭 향상시킬 수 있다(Chen *et al.*, 2014). 그러나 현재는 도시정보모델을 활용한 재난관리 의사결정지원에 대한 구체적인 프로세스가 수립되어 있지 않고, 실제 프로젝트에 도시정보모델을 활용한 사례 또한 거의 전무한 상황이다.

본 연구는 기존 Park 등(2014)이 연구한 방재업무 지원 개방형 도시정보모델 생성 방법론과 Song 등(2014)이 연구한 침수해 상황에서의 건물 모델의 정보관리 방안에 대한 후속 연구로, 실제 도시지역의 지형 및 건물의 지상부에 초점을 맞춘 정보모델을 생성하고 이를 활용하여 침수해 상황을 시뮬레이션할 수 있는 프로세스를 제시하였다. 그리고 제시한 프로세스를 도시정보모델에 적용하여 인명 및 재산피해의 예상 결과를 도출하였다. 또한 도출한 결과값을 검토하여 개방형 도시정보모델의 침수해 상황에서의 행동조치 계획 수립

* Corresponding author:

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

Received June 22 2015; Revised July 15 2015;

Accepted July 21 2015

©2015 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.

에 대한 활용 가능성을 확인하였다.

2. 침수해 정보관리에서의 개방형 데이터 스키마의 역할과 정보모델 생성 개념

3차원 도시정보모델링의 측면에서의 침수피해 정보관리는 도시를 구성하는 각 구조물에 대한 정확한 모사 및 이를 바탕으로 수행한 침수 시뮬레이션의 결과를 활용한 행동조치 의사결정지원의 핵심이라고 할 수 있다. 도시를 구성하는 구조물의 모사는 어떤 정보항목을 바탕으로 하는가에 따라 다르게 결정될 수 있다. 구조물의 형상적인 측면에 있어서는 해당 구조물에 어떤 요소를 포함시키느냐에 따라 표현의 상세수준(Level of Detail, LoD)이 달라진다. 어떤 정보항목을 바탕으로 하고 어떤 요소를 포함할지에 대한 결정은 모델 활용의 목적에 따라 달라진다. 정보모델의 생성을 통한 구조물의 모사는 타 시스템과의 정보연계 신뢰성, 정보활용의 영속성 및 정보 호환성을 고려해야 한다. 손실없는 정보의 저장 또는 재사용 자체가 모델의 활용과 직접적으로 연결되는 것으로, 이에 따라 전송한 신뢰성, 영속성 및 정보호환성의 항목은 모델의 최종 활용목적에 종속적이라고 할 수 있다. 이는, 모델기반의 침수해 대처 의사결정지원을 위해서는 최초 계획단계에서부터 모델의 활용에 이르기까지 일관된 형태의 프레임 내에서 정보가 생성되고 관리되어야 함을 의미하는 것이다. 정보의 흐름 차원에서 3차원 도시정보모델을 기반으로 생성정보를 연계하고 재사용하는 것의 가장 중추적인 프레임 역할을 하는 것이 데이터 스키마라고 할 수 있다. 데이터 스키마는 어떠한 정보항목을 어떤 속성을 가지는 형태로 어떻게 표현해야 하는지에 대해 개념화된 객체를 활용하여 사전에 이를 정해놓은 것이다. 특히 개방형 데이터 스키마를 기반으로 생성된 개방형 정보모델은 누구나 모델 데이터에 접근할 수 있는 형태의 것이라는 특징으로 인하여, 모델 생성 및 활용에 대한 소프트웨어의 독립성 및 정보 상호운용성의 가능성을 높인다. Park 등(2014)은 도시정보모델을 활용한 방재업무지원의 측면에서 도시 객체의 포괄성(comprehensiveness), 3차원 가시화 가능성(visualization), 필요 정보항목 또는 속성의 확장성(extensibility) 및 상용 소프트웨어의 모델링 지원 가능성의 특징에 대해 IFC, LandXML, GML, KML, CityGML 및 Geo4NIEM을 비교하였고, 이 중 CityGML이 가장 적합한 개방형 데이터 스키마라는 결론을 얻었다. 본 연구에서도 CityGML을 활용하여 도시정보모델링을 수행하였다.

CityGML을 활용한 지형모델의 형상표현은 Park 등(2014)이 제시한 방법에 따라 Relief 주제모듈(thematic

module)의 불규칙 삼각망(Triangulated Irregular Network, TIN)의 방식을 따랐다. 지형 활용에 대한 정보를 관리하기 위해서 CityGML에서는 LandUse 주제모듈을 제공하고 있는데, 본 연구에서는 Relief 모듈에서의 삼각면 그룹단위로 행정구역 및 토지이용 정보를 할당하는데 활용하였다. 건물 모델의 경우는 본 연구에서 침수해 상황에서의 피해산정에 직접적으로 활용하는 구조물로 Song 등(2014)이 제시하는 방법에 따라 CityGML의 Building 주제모듈을 활용하였다. 본 연구에서는 침수해 발생에 따른 행동조치 의사결정지원이라는 목적의 측면에서 건물 모델에 대한 LoD는 전체외형과 건물의 층 정보를 관리할 수 있는 수준으로 정하였다. 다만, 본 연구에서는 정보모델 생성 자체보다는 정보모델을 활용하는 것에 더욱 주안점을 두고 있어 CityGML의 요소에서는 제공하지 못하는 항목이 있는데, 이는 Park 등(2014)이 설명한 바에 따라 "Task attribute"로 구분하여 CityGML의 Generics 주제모듈을 적용하였다.

각각 독립적으로 생성한 지형모델과 건물모델간의 정보연계는 Gröger 등(2012)가 제시한 Terrain Intersection Curve(TIC)의 방법을 활용하였다. 이는 형상적으로 지형면과 건물면이 맞닿을 경계곡선을 지형면에 사전에 생성한 후, 생성한 건물모델을 지형모델의 경계곡선에 맞추는 개념이다. 본 연구에서는 지형모델이 관리하고 있는 행정구역 등의 정보는 TIC에 따라 건물모델에 전달해 주었다. 지형면 위에 생성되는 TIC는 축척에 종속되는 TIN의 구성 삼각면의 크기에 따라 단일 혹은 여러 개의 삼각면을 포함할 수 있다. 본 연구에서의 지형모델은 행정구역 및 토지이용 정보와 같은 범주형 데이터 형식을 갖는 속성만을 건물모델에 전달해 준다. 이에 따라 하나의 건물 TIC가 여러 개의 삼각면을 포함하는 경우에 대해서는 가장 많은 영역을 차지하는 삼각면의 정보항목을 따르도록 하였다.

3. 효율적 침수피해 정보관리를 위한 CityGML기반 도시정보모델링 및 침수피해 산정 방법

3.1 CityGML기반 지형 및 건물정보모델 생성 방법

본 연구에서는 침수피해 발생에 따른 피해정보를 관리하기 위해 실제 데이터를 활용하여 도시정보모델을 생성하였다. 이때 활용하는 실제 데이터는 다음과 같이 크게 세 가지로 구분하였다.

- 1) 구조물이 기본적으로 포함하고 있는 데이터
- 2) 침수피해와 관련한 정보관리를 위해 추가적으로 요구

되는 데이터

3) 침수 시뮬레이션을 위한 수리해석 데이터

지형모델의 경우, 형상 표현에 필요한 데이터는 1)의 항목에서 활용하였다. 본 연구에서의 지형 형상표현은 전술한 바와 같이 TIN을 활용하였다. 이에 따라 각 삼각면에 대한 식별자, 삼각면을 구성하는 각 꼭지점의 식별자 및 위치좌표가 이에 해당한다. 2)의 항목은 영역별 행정구역, 토지이용 및 영역 내 인구정보로 활용하였다.

건물을 대상으로 할 때, 1)의 경우와 2)의 경우를 명확하게 구분하는 기준은 없으나, 본 연구에서는 건물의 이름, 용도, 높이 등과 같이 일반적으로 건축물 대장이 포함하고 있는 데이터를 1)의 항목으로 분류하였다. 본 연구에서 정보모델링 시 실제 사용한 항목은 건물 식별자, 주소, 명칭, 대지면적, 건축면적, 건폐율, 연면적, 용적을 산정 연면적, 용적율, 지상층수, 지하층수, 높이, 주용도, 주택형태, 건축구조의 항목이다. 본 연구에서 2)의 항목은 주로 피해산정과 관련한 항목들로 활용하였다. 이에 해당하는 항목으로는 층별 인구수(65세 이상, 65세 미만), 건축단가, 현재의 건축단가 산정과 관련한 단가 기준년도 및 건설업 deflator, 가정용품 평가를 위한 가정용품 평가액, 소비자 물가지수 및 기준년도이다. 이들 자료는 NSIC(2015)와 지방자치단체 기관을 통해 자료를 획득하였다.

침수 상황을 모사하기 위해 본 연구에서는 FARD 프로그램과 Huff 방법을 사용하여 강우 지속시간 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 9시간, 12시간, 18시간 및 24시간에 대해 100년, 200년, 300년 및 500년 빈도의 상황을 적용한 수

리해석 데이터를 활용하였다. 수리해석은 자연배수를 반영한 결과이며, 이에 따라 침수가 가장 많이 되는 시점은 강우가 지속되는 중에 발생한다. 본 연구에서의 피해 상황 적용은 그 피해의 최대치를 산정하기 위하여 각 경우별 최대침수량을 기준으로 하였다. 침수 결과값은 TIN으로 구성되어 있는 모델 삼각면의 각 끝점마다 생성되게 하여 지형모델과 직접적으로 정보를 연계할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 지상부분에 초점을 맞추고 있어, 내수침수와 지하로의 강우침투는 연구범위에서 제외하였다.

필요 데이터를 반영한 CityGML기반 도시정보모델링은 Park 등(2014)이 제시한 방법을 참고하였다. 모델링 지역은 저수지 붕괴 시 침수될 가능성이 있는 것으로 보고된 경기도 수원시의 일부지역을 대상으로 하였으며, 아래와 같은 절차에 따라 생성하였다.

- 1) 수치지형도를 활용하여 TIN 형태의 동일한 위치점을 갖는 3차원 지형면과 수리해석면을 생성 - 본 연구에서는 Bessel 측지계의 1:1000 축척을 갖는 수치지형도 활용, 3차원 면은 상용 소프트웨어 활용
- 2) 2차원 건물 수치지도를 3차원 지형면에 투영하여 3차원 곡선 형태의 건물 TIC 생성
- 3) 3차원 지형면을 CityGML의 형태로 변환: 상용 소프트웨어의 Application Programming Interface(API)를 활용
- 4) 2차원 건물 수치지도와 건물의 층별 높이 정보를 활용하여 CityGML기반 3차원 건물 형상모델 생성 후, 침수 시뮬레이션에 필요한 추가 데이터 삽입 - 개발 프로그램 활용(Park et al., 2014; Song et al., 2014)

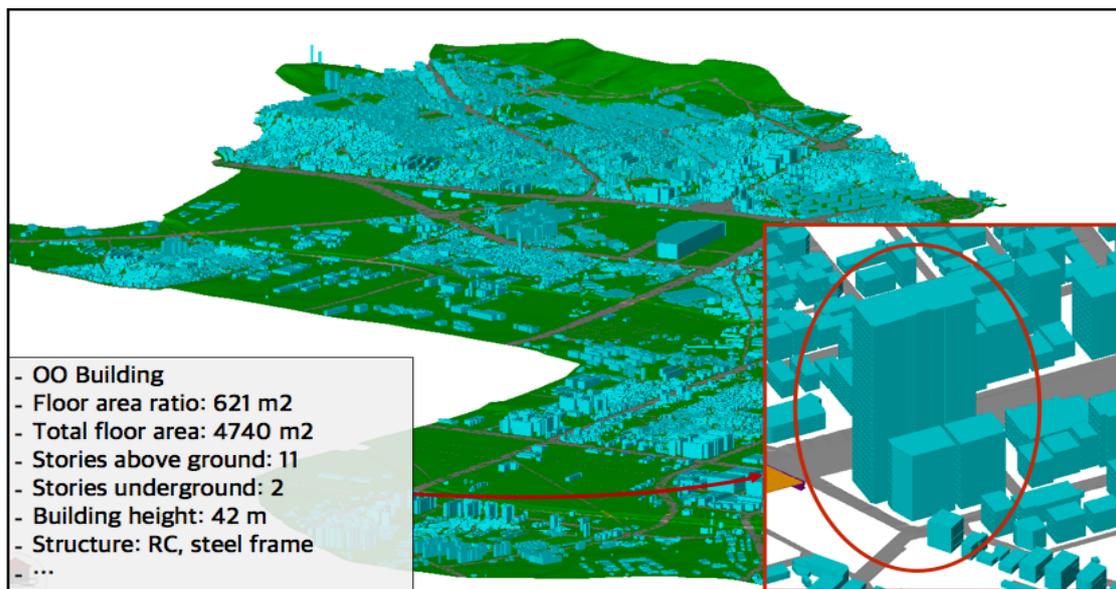


Fig. 1 Terrain and building information model based on CityGML data schema

Fig. 1은 전술한 내용을 바탕으로 본 연구에서 생성한 도시정보모델을 나타내는 것으로, 총 14,735개의 건물 모델을 포함하고 있다.

3.2 침수해 발생에 따른 인명 및 재산피해 산정 방안

본 연구에서는 침수해 발생에 따른 피해 산정은 인명 및 재산의 경우를 대상으로 하였다. 본 연구에서의 인명피해는 예상 사망자 수(ED)와 예상 최대 고립자 수(IP)를 산정하여 반영하였는데, MLIT(2013)이 제시하는 방법에 따라 다음 Eq. (1)과 Eq. (2)를 적용하였다.

$$ED = \sum_{i=1}^{TB} [(Po_i \times Do_i + Pu_i \times Du_i) \times (1 - \alpha)] \quad (1)$$

$$IP = \sum_{i=1}^{TB} [(Po_i + Pu_i) \times (1 - \alpha)] \quad (2)$$

Eq. (1)과 Eq. (2)에서 i 는 건물 식별자를 의미하며, TB 는 해당지역의 총 건물 수를 의미한다. Po_i 와 Pu_i 는 각각 i 건물에서의 65세 이상의 인구 수와 65세 미만의 인구 수를 나타내는 것이다. α 는 피난율로, 날씨, 지역특성 등의 정성적 인자를 정량화하여 나타낸 것이다. MLIT(2013)에서는 0, 0.4, 0.8의 값을 제안하고 있어 본 연구에서는 3가지의 경우 모두를 반영하였다. Do_i 와 Du_i 는 각각 65세 이상과 65세 미만의 사망률을 나타내는 것으로, 침수된 건물의 층에 영향을 받는다. 두 인자가 분리되어 있는 것은 건물 침수 시 65세 이상인 사람은 건물의 가장 높은 주거층으로 피난한 것으로 가정하며, 65세 미만인 사람은 건물의 지붕 또는 옥상으로 피난한 것으로 가정하기 때문이다. Do_i 와 Du_i 는 모두 피난면을 기준으로 침수 높이가 0~1.2m, 1.2m~1.8m, 1.8m 이상으로 구분하여 사망률 값을 각각 0.00023, 0.12, 0.9175로 산정된다. 인명피해 산정에 필요한 건물별 인구수는 3.1 절에서 언급한 바와 같이 외부 데이터 연계를 통해 접근 가능한 형태로 생성해 두었으며, 사망률은 침수 시뮬레이션 과정에서 연산하여 그 결과값을 유도하였다.

재산피해의 산정은 국내에서 주로 사용하고 있는, MOCT(2004)가 제시한 다차원 홍수피해산정 방법(Multi-Dimensional Flood Damage Analysis, MD-FDA)을 적용한 건물 자체의 피해액과 건물 내용물의 피해액을 대상으로 하였다. 기본적으로 재산피해는 해당자산의 가치와 침수에 따른 피해율 및 주거지역 침수편입률의 곱으로 산정된다. 이때 자산가치는 물가를 반영한 수정인자가 포함된 값을 사용한다. 피해율은 건물 바닥면을 기준으로 침수된 높이에 따라 0.5m

이하, 0.5m~1m, 1m~2m, 2m~3m, 3m 이상의 경우로 구분하여, 건물 자체 피해율의 경우에는 15, 32, 64, 95, 100의 값에 침수 건물의 평균 층수를 나누어 산정하며, 건물 내용물의 피해율은 14.5, 32.6, 50.8, 92.8, 100의 상수값을 갖는다. 침수 편입률은 주택 형태에 따라 침수지역 내 침수 건물의 비율로 산정하였다.

4. 도시정보모델기반 침수피해 시뮬레이션 및 결과 검토

4.1 도시정보모델기반 침수 시뮬레이션 절차

3장을 통해 생성한 지형-건물 정보모델에 수리해석 데이터를 결합하여 건물의 침수 시뮬레이션을 수행하였다. 지형면과 수리해석면은 동일한 TIN을 활용하였기 때문에, 지형면을 기준으로 지형면을 구성하는 삼각면 및 삼각면을 구성하는 점의 식별자를 통해 해당 위치에서의 침수 결과는 직접적으로 도출가능하다. 침수피해의 경우에는 침수 시뮬레이션의 과정에서 내부 연산이 필요한데, 이는 3.2 절에서 서술한 바와 같이 건물의 침수 층 수 및 건물 바닥면에서의 침수 높이가 필수적으로 요구되기 때문이다. Fig. 2은 본 연구에서의 침수피해 산정 과정을 나타낸 것이다.

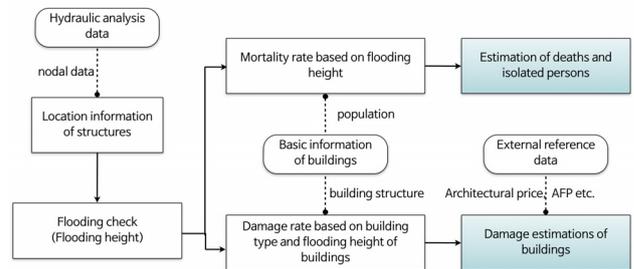


Fig. 2 Damage estimation process based on city information model

전술한 바와 같이 본 연구에서는 지형면 생성에 1:1000 축척의 수치지형도를 기본으로 활용하였고, 따라서 건물은 지형면 중 다수의 삼각면에 걸쳐 있다. 이에 따라 건물의 침수 여부 판단은 건물의 TIC를 이루는 각 꼭지점들이 각각 어떤 지형면에 속하는지를 검토한 후, 꼭지점이 속하는 해당 지형면의 침수 여부에 따라 건물의 침수 여부도 결정하였다. 지형을 이루는 하나의 삼각면 $\triangle ABC$ 내부에 건물 TIC의 점 P 가 속하는지에 대한 판별은 다음과 같이 Eq. (3)을 활용하였다.

$$S = |(\overline{AB} \times \overline{AC})/2| \quad (3)$$

$$S_1 = |(\overline{AB} \times \overline{PC})/2|, S_2 = |(\overline{AC} \times \overline{PC})/2|$$

$$S_3 = |(\overline{AB} \times \overline{AC}) / 2|$$

if $|S - (S_1 + S_2 + S_3)| \leq \epsilon$, P is in ΔABC

Eq. (3)에서 ϵ 는 허용오차의 한계로 본 연구에서는 $5e-7$ 의 값을 사용하였다. 즉, 임의의 점이 삼각형 내부에 있는지에 대한 검토는, 전체 삼각형의 넓이와 임의의 점을 기준으로 분할한 삼각형들의 넓이의 합을 비교하여 판단하는 것이다.

건물의 침수 높이의 판단은 지형면, 지형면에 따른 수리해석 결과 및 건물의 TIC로 산정하였다(Fig. 3 참조).

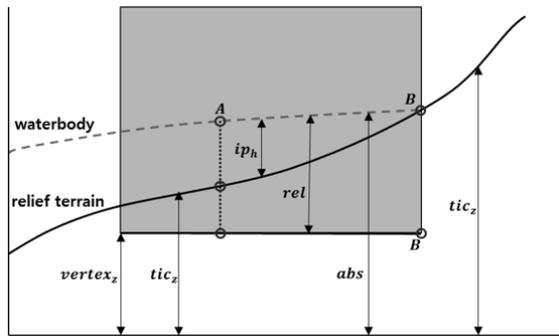


Fig. 3 Flooding check concept using model data

Fig. 3에서 수면(waterbody)과 지형면(relief terrain)은 건물의 내부를 관통하는 것으로 개념도를 나타내고 있는데, 이는 침수 높이 판단의 산정 방식을 일반화하기 위함이다. abs 와 rel 은 모두 해당 점의 침수 높이를 나타내는 것으로, abs 는 평균해수면을 기준으로 한 것이고, rel 은 건물의 바닥면을 기준으로 한 것이다. abs 와 rel 은 다음 Eq. (4)와 Eq. (5)으로 산정하였다.

$$abs = tic_z + ip_h \tag{4}$$

$$rel = abs - vertex_z = tic_z + ip_h - vertex_z \tag{5}$$

침수되지 않은 B점의 경우, $abs = tic_z$ 가 된다. 연산에 필요한 tic_z 와 $vertex_z$ 는 3.1절에서 설명한 바와 같이, 모델 생성 단계에서 도시정보모델에 포함시켜 둔 값을 활용하였다. ip_h 는 수리해석 삼각면 각 꼭지점에서의 데이터를 해당 점의 위치에 맞게 보간한 값을 사용하였다. 이는 수리해석 결과는 수리해석 삼각면의 각 꼭지점에서만 얻을 수 있기 때문이다. 침수된 층의 정보는 연산한 rel 의 값과 건물의 기본정보인 층별 높이 정보를 비교하여 획득하였다.

침수에 따른 인명피해는 Eq. (1)과 Eq. (2)를 그대로 적용하였다. 이때 건물별 인구수는 3.1절에서 서술한, 추가적으로 요구되는 데이터에 해당하는 항목으로, 사전에 각 건물

모델과 연결시켜 놓은 값을 활용하였다. 피난율인 Do_i 와 Du_i 는 Eq. (5)의 결과를 활용하여 건물 바닥면 기준 침수 높이와 침수 층을 산정하여 적용하였다.

재산피해의 산정은 3.2절에서 서술한 내용을 따랐는데, Table 1은 본 연구에서의 재산피해 산정에 필요한 정보항목의 활용방법을 나타낸 것이다.

Table 1 Model and external data for damage estimation based on MD-FDA

Damages	Factors		Using data
Building damages	Building asset value	Building value	- Building type - Building structure - <u>Architecture price</u> - Total floor area
		Deflator	- <u>Baseline year</u> - <u>Deflator</u>
	Damage rate		- <i>Flooding height</i> - Building storey
	Transfer rate		- <i>Flooding check</i> - Building type
Building furniture damages	Building furniture asset value	Appraised Furniture Prices (AFP)	- <i>City type</i> - Household - <u>AFP</u>
		Consumer Price Index (CPI)	- <u>Baseline year</u> - <u>CPI</u>
	Damage rate		- <i>Flooding height</i> - Building storey
	Transfer rate		- <i>Flooding check</i> - Building type

Legends: regular text - model data, *italic* - calculated data, underline - external reference data

전술한 내용에 따라 생성된 침수피해 정보는 침수 시나리오별로 외부 참조 데이터베이스를 생성하여 저장하였다. 이는 침수 상황 발생 조건에 따른 질의를 통해 의미적 결과수집이 가능하도록 하여 행동조치에 대한 의사결정을 지원할 수 있다. 이때 검색질의는 생성해 놓은 모델 데이터와 침수 피해 결과 모두를 활용할 수 있다.

4.2 도시정보모델기반 침수 시뮬레이션을 통한 피해산정 결과 검토

Fig. 4은 생성한 CityGML기반 도시정보모델과 수리해석 데이터를 활용하여 침수 상황을 가시화한 것의 일부를 나타내는 것으로, 100년빈도의 강우가 1시간 지속시간 동안 내리는 경우를 입력조건으로 사용하였다. 이때는 전체 건물 수 대비 7.7%인 1,140개의 건물이 침수된 것으로 나타났으며,

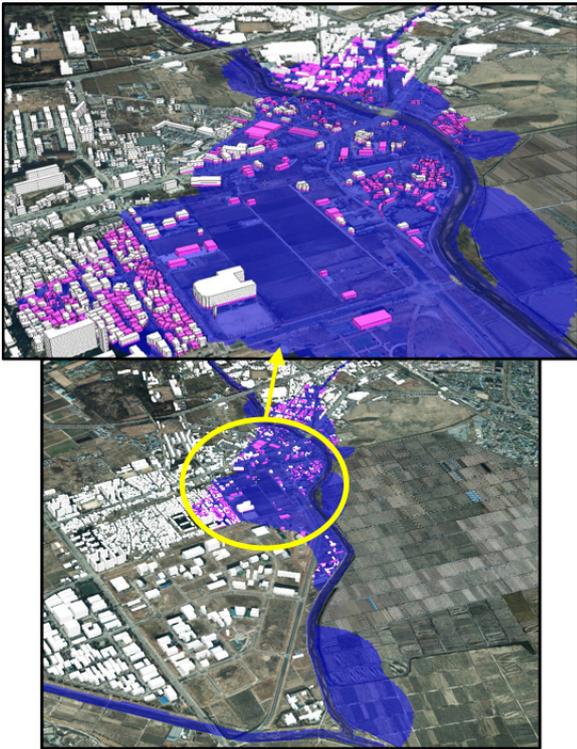
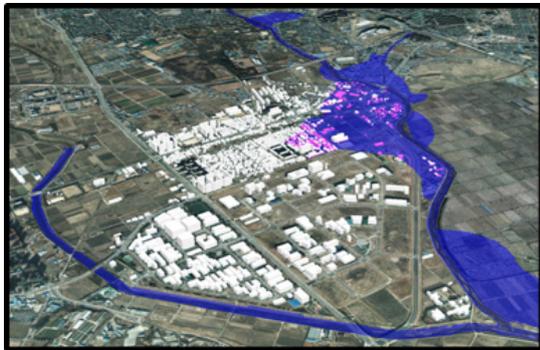


Fig. 4 Visualization example: Whole area with 100-year-recurrence-interval and 1-hour-duration conditions



(a) G-dong, 100-year-recurrence-interval, 1-hour-duration



(b) P-dong, 100-year-recurrence-interval, 1-hour-duration

Fig. 5 Visualization examples in a specific administrative district



Fig. 6 Example of detailed query response to support decision-making

총 건물 피해액은 1,763,132,172원, 총 건물 내용물 피해액은 880,189,670원으로 산정되었다. 피난율을 40%로 가정했을 때의 예상 고립자 비율은 3.24%가 되었다.

검색조건의 변경에 따라 특정지역, 또는 보다 구체적인 형태의 결과를 도출하여 가시화할 수 있었다. Fig. 5은 전체 지역 중에서 특정한 행정동만을 분리하여 침수결과를 도출한 것을 가시화한 것이다.

Fig. 5(a)는 행정구역 G동만을 대상으로 한 것으로, 해당 지역에는 2,576개의 건물이 있으며, 이 중 철근 콘크리트 구조로 된 건물의 수는 626개이다. 100년빈도의 강우가 1시간 지속시간 동안 내리는 경우, 침수건물 수는 542개였으며, 그 중 철근 콘크리트 구조로 되어 있는 건물은 60개였다. Fig. 5(b)는 행정구역 P동만을 대상으로 한 것으로, 전체 1,060개의 건물 중 50.3%가 침수되었고, 단독주택은 60.5%인 314개가 침수되는 것으로 나타났다.

보다 복합적인 질의를 통한 의사결정지원도 가능한데, Fig. 6은 200년 빈도, 12시간 지속 강우 시, 철골조 구조물 중 건물 피해액이 가장 큰 건물에서 피난율이 80%일 때, 65세 미만 예상 고립자 수가 가장 많은 위치를 나타낸다.

Fig. 7는 32개 시나리오를 활용하여 대상지역 건물 14,735개에 대해 산정한 침수 건물 수 및 예상 피해를 나타낸 그래프로 x축이 케이스별 시나리오를 나타낸다. 결과를 살펴보면, 강우빈도가 증가하면 피해도 커지는 경향을 나타냄을 확인할 수 있으나, 지속 강우시간의 경우는 3시간인 경우가 대체적으로 큰 피해를 나타낸다. 이는 전술한 바와 같이 피해 상황에 대한

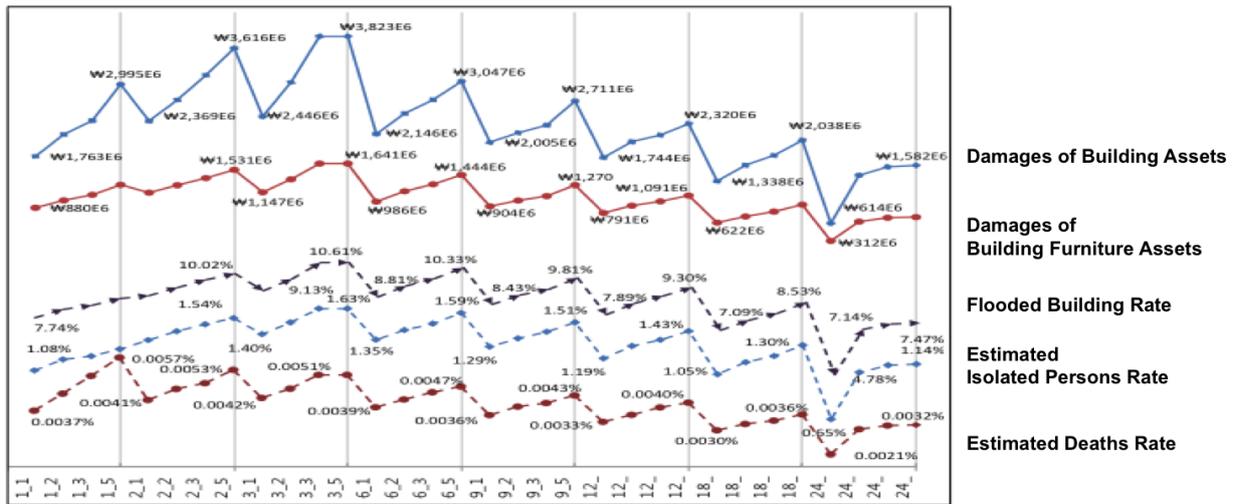


Fig. 7 Flooded buildings, estimated deaths, isolated persons and building damages based on 32 flooding simulation scenarios

기준이 우량 주상도에서 최대 강우량을 나타내는 시점을 기준으로 했기 때문이다.

5. 결 론

본 연구에서는 침수해 발생 시뮬레이션을 수행하여 인명 및 재산피해를 산정하고, 이를 활용하여 행동조치 계획 수립을 위한 의사결정지원에 도시정보모델을 활용하는 방법을 제시하였다. 도시정보모델링은 타 개방형 표준 스키마에 비해 도시 객체의 포괄성, 3차원 가시화 가능성 및 필요 정보항목 또는 속성의 확장성에서 우수한 특징을 보이는 CityGML을 기반으로 하였다.

생성한 도시정보모델은 지형모델의 위치정보를 활용하여 수리해석 데이터와 연계하였다. 또한 이들 정보를 활용하여 도시모델 상의 건물모델의 침수 여부를 판단하고, 이에 따라 거주민의 예상 사망자 수와 고립자 수 및 건물의 피해액을 산정하였다. 산정한 결과는 도시정보모델과 연결되는 외부 데이터베이스에 저장하였고, 이를 통해 도시모델이 포함하고 있는 데이터와 피해산정 결과를 입력 질의인자로 활용할 수 있도록 하였다. 3차원 정보모델을 활용한 침수 시뮬레이션은 거주민의 실제 침수해 발생 상황에 대한 이해도 신뢰도 있게 향상시켜 피해를 최소화할 수 있는 측면이 있다. 또한 다양한 조건에 대한 질의 및 결과도출을 가능하게 하는 도시정보 모델 기반의 침수 시뮬레이션과 그 피해산정은 행정 관리자가 침수해 발생에 따른 보다 적극적인 형태의 행동조치 계획 수립을 지원한다.

본 연구에서 중점적으로 다루고 있는 부분은 침수 시뮬레이션을 통해 정확한 피해 결과를 도출하는데 있는 것이 아니

라, 개방형 정보모델을 어떤 방식으로 활용하여 침수해 발생 상황과 같은 응용 모델을 생성할 수 있느냐에 있다. 여러 연구자들은 개방형 정보모델링이 건설 생산성을 향상시킬 수 있음을 주장하고 있고, 건축분야를 중심으로 이러한 주장을 뒷받침할 수 있는 성과들이 나타나고 있다. 그러나 수 많은 구조물을 동시에 다루어야 하는 도시모델을 대상으로 하는 응용 방법론 연구는 극히 초기 수준이다. 본 연구에서도 도시 구성요소 중, 지형과 건물만을 다루었으며, 또한 지하 공간에 대한 부분도 제외하고 있다. 그러나 향후 본 연구에서 수행한 방법론은 더 많은 도시 구성요소, 더 구체적인 현실 모사에 적용할 수 있을 것이다. 이에 따라 침수해와 같은 재해 상황에 대한 보다 신뢰도 높은 행동조치 계획 수립이 가능해질 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(10기술혁신B01-직선교량의 공사기간 단축을 위한 표준모델 활용 조립식교량 기술 개발 연구단)을 받았습니다. 또한 침수 시뮬레이션을 위한 가시화 모듈개발을 지원해 준 (주)두컴스엔지니어링코리아에게도 감사의 말씀을 드립니다.

References

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, *Comput. Environ. & Urban Sys.*, 45, pp.1~12.
- Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C., Häfele, K.-H.** (2012) *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*. Open Geospatial.
- Lee, S.-H., Park, S.I.** (2013) Industry Foundation Classes-based Approach for Enhanced Information Management in Civil Infrastructure, *The 6th Civil Engineering Conference in Asia Region (CECAR6)*, pp.SS4_16~SS4_21.
- MLIT** (2013) *Flood Damage Index Analysis*, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism.
- MOCT** (2004) *Study of Economical Analysis of Flood Control Project*, Ministry of Construction and Transportation.
- NSIC** (2015) *National Spatial Information Clearinghouse* [Online], Available: <https://www.nsic.go.kr/> [Accessed June 10, 2015].
- Park, S.I., Song, M., 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.
- Park, S.I., Song, M., Kim, M.-S., Lee, S.-H.** (2015) Model-Driven Decision-making Support Framework for Disaster Prevention, *The 2nd International Conference on Civil and Building Engineering Informatics*, pp.76.
- Song, M., Kim, M.-S., Lee, S.-H.** (2014) Applications of Open Information Model for Information Management on Building Flood Damage, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 27(6), pp.565~572.

요 지

개방형 도시정보모델은 3차원 가시성으로 인한 상황 이해도를 증진시키고, 의미정보 및 객체간 관계정보로의 접근으로 인한 효율적인 정보 재사용을 가능하게 하며, 다양한 외부 데이터와의 연계를 통해 구체적이고 신뢰도 높은 의사결정을 지원한다. 본 연구에서는 실제 데이터를 기반으로 지형 및 건물에 대한 개방형 도시정보모델 생성하였다. 또한 침수해 발생과 관련한 수리해석 데이터와 도시정보모델을 연계한 건물의 침수 시뮬레이션 프로세스를 개발하고 이를 적용하였으며, 인명 및 재산피해 예상값을 도출하였다. 마지막으로 정보모델이 포함하고 있는 모델 데이터와 침수 수리해석 결과 및 피해결과를 활용한 구체적인 질의를 통해 도시정보모델의 활용성을 검토하였다.

핵심용어 : 개방형 도시정보모델, 침수 시뮬레이션, 모델기반 인명 및 재산피해 도출