



도심지질학적 접근을 통한 3차원 도심지질모델

김지성^{1,2} · 임현수¹ · 남옥현^{2,*}

¹부산대학교 지질환경과학과

²한국지질자원연구원

요 약

도심지질학(urban geology)은 도시화된 지역의 지질환경과 인간의 상호작용에 대해 연구하고, 이를 토대로 정책결정자, 건설공학자, 도시계획자, 그리고 일반 거주민 등의 사용자에게 유용한 지질정보를 제공하는 것을 목적으로 하는 학문이다. 도심지질도 및 3D 도심지질모델은 도심지의 지질정보를 표현하고 제공하는 도심지질학의 핵심 요소로, 단순히 시추자료만을 이용한 3D 지질모델링과 구별된다. 본 연구에서는 최근 혁신도시 조성사업이 진행된 서전주 일대의 전주 혁신도시 지역 중 일부 2.59 km² 면적을 대상으로 도심지질학적 접근을 통하여 도심지 개발과정에서 발생한 지형기복 변화를 추적하고, 인위적인 지형을 분류하고, 층적층의 분포와 체적의 변화를 추적한 사례를 소개하고자 한다. 이 연구를 통하여 향후 국내 도심지역의 지질정보 생성과 그 활용 가능성을 확인하였다. 또한, 인간 활동에 따른 근지표환경, 즉 압권, 수권, 생물권, 대기권 등에서 측정 가능한 여러 지표들을 추가함으로써 각 분야의 목적에 맞는 특정 개념모델 생성을 위한 기초 플랫폼으로 활용 가능할 것으로 전망할 수 있다.

주요어: 도심지질학, 지하정보, 3차원 모델, 전주

Jisung Kim, Hyoun Soo Lim and Wook-Hyun Nahm, 2019, Three-dimensional modelling of urban area based on the urban geological approach. Journal of the Geological Society of Korea. v. 55, no. 3, p. 333-342

ABSTRACT: Urban geology is the study of the geological environments and its interaction with human beings in the urban and surrounding areas. It aims to provide useful geological information to the end-users, such as the policymakers, the construction engineers, the urban planners, and the general citizens. The urban geological map and the 3-dimensional urban geological model are the efficient methods for supplying the geological information of the urban areas. It is distinguished from 3D geological modeling using merely drilling data. In this study, the urban geological survey on the 2.59 km² area in western part of Jeonju, where the construction of the Innovation City Development Project was carried out, was used to track the changes in the terrain relief that occurred during the urban development processes, to classify the anthropogenic terrains, and to calculate the changes in volume of sediments. Through this study, it was confirmed that geological information can be generated and utilized in the urban area in the future. In addition, by adding various parameters that can be measured from the surface environments such as lithosphere, hydrosphere, biosphere, and atmosphere, it could be used as a basic platform for creating a conceptual process model suitable for specific field purpose.

Key words: urban geology, underground information, 3D model, Jeonju

(Jisung Kim and Hyoun Soo Lim, Department of Geological Sciences, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea; Jisung Kim and Wook-Hyun Nahm, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea)

1. 서 론

도심지는 높은 인구밀도와 그에 따른 자연변화가 확연한 물리적인 경계를 가지는 지역으로서 지구 표

면에서 차지하는 비율은 약 0.5% 정도로 낮지만, 인간의 삶과 가장 밀접하게 상호작용하는 중요한 공간이다(Schneider *et al.*, 2009). 도심지질학은 이러한 도심지와 그 주변의 지질을 연구하여 거주지의 안정

* Corresponding author: +82-42-868-3110, E-mail: nahmwh@kigam.re.kr

성 및 이와 관련한 정보들을 주민과 행정가들이 활용할 수 있도록 제공하는 것을 목적으로 한다. 따라서 도심지질학은 연구의 물리적 범위가 도심지와 그 주변으로 제한되며, 인간활동에 따른 영향(anthropogenic impact)과 밀접한 관련이 있고, 정보를 제공하기 위한 목적과 그 대상이 뚜렷하다는 점에서 타 지질학 분야와 구분된다(de Mulder, 1993; Culshaw and Price, 2011). 이처럼 도심지질학은 도시개발 및 관리, 혹은 지질학적 재해방지를 위한 응용지질학의 한 분야로서 발전되어 왔다(McGill, 1964; Alfors *et al.*, 1973; Rau, 2003). 현대에 들어서는 도심환경의 지속가능한 개발 및 개선 목적으로 도심지의 지질뿐 아니라 및 수권과 대기권, 생물권 등을 포함한 근지표환경과 인간활동의 상호작용을 연구하는 학문으로 그 범위가 확장되어가고 있다(Culshaw and Price, 2011).

도심지질도는 도심지질의 여러 지질 정보들을 표현하는 전통적인 방식으로 도심지질학의 역사와 그 궤를 함께한다. 그러나 2차원적인 표현방식은 3차원으로 분포하는 지질정보의 생성과 활용에 그 한계를 보여 왔다. 이에 현대 도심지질학에서는 보다 정확한 지질정보 생성을 위해 전통적인 방식의 지표면 답사나 시추자료를 통해 획득한 자료 이외에도 지리정보시스템(geographic information system, GIS), 데이터베이스(database, DB), 3D 시각화 소프트웨어 등을 활용하여 3D 도심지질도를 만들고 있다(Turner, 2006; Jarna *et al.*, 2015). 특히 3D 도심지질모델의 경우, 인위적인 개발로 인하여 지표답사에 한계가 따르는 도심지의 특성상 현대 도심지질학 분야에서 매우 유용하게 사용되고 있다(Lee and Ford, 2016).

미국, 영국, 독일 등 세계 각국에서는 이르게는 19세기부터 기록되어 온 수많은 시추자료를 GIS 시스템과 접목하여 웹 기반의 디지털 데이터베이스 형태로 일반인에게 공급하고 있다. 특히 미국, 영국, 독일, 호주, 캐나다 등의 국가들은 이런 시추자료들을 단순히 제공하는 것에 그치지 않고 이를 활용하여 국토의 3D 지하모델을 구축하고 있으며 그 대상 면적은 점차 확대되어 가는 추세이다. 국내의 경우 국토지반정보 통합DB센터에서 2000년대 초반에 시추자료를 전산화 한 뒤, 현재까지 지속적으로 갱신하여 공개하고 있다. 자료량이 2000년에 19,765공 이었는데 2018년에는 255,952공으로 빠르게 증가하는 추세이다. 그러나 현재 공개되어 있는 정보는 시추자료 간

의 통일성이 부족하고, 지역별로 시추공 개수와 밀집도에 큰 편차를 보인다. 또한 대부분의 시추자료들이 지반공학 자료 위주의 기록이며 지질학적 및 지형학적 분석 정보가 포함되어 있지 않아 정확한 도심지질정보를 즉각적으로 활용하는데 한계가 따른다.

따라서 이번 연구의 목적은 직접적인 지질조사가 어려운 도심지 지역을 대상으로 기존 시추자료와 더불어 지표 지질과 지형 조사자료를 함께 이용한 도심지질학적 접근 방법을 통해 정확하고 활용가능한 지질정보를 생성하는데 있다. 이를 위해, 최근 혁신도시 조성사업이 진행된 서전주 일대의 전주 혁신도시 지역을 대상으로 도심지질도를 작성하고 3D 도심지질모델을 생성하였다. 이를 통해 도심지 근지표환경 정보에 대한 기초 플랫폼으로서 도심지질도와 3D 도심지질모델의 활용 가능성을 타진하고자 한다.

2. 연구지역 및 연구방법

2.1 연구지역

연구지역인 전주 혁신도시는 행정구역상 전라북도 전주시의 장동, 만성동, 중동과 완주군 이서면 갈산리, 반교리의 경계에 위치한다(그림 1). 전주 혁신도시의 총 면적은 약 9.9 km²이고, 계획인구는 29,000명이다. 2008년 3월에 부지조성공사를 착공하였으며, 부지에는 택지 지구와 함께 한국국토정보공사, 한국전기안전공사, 농촌진흥청(농업생명지원부, 농업공학부, 농업에너지 기후대책연구센터), 한국농수산대학 등 공공기관이 이전하게 된다.

본 연구는 전주 혁신도시의 동쪽 2.59 km²를 대상으로 하였다. 연구지역의 전체적인 지형을 보면, 북/서쪽은 평균 고도 40 m 이하로 낮고 평탄하며 남/동쪽은 상대적으로 지대가 높다. 연구지역의 남동쪽에는 해발 194 m의 황방산과 해발 216 m의 홍산이 위치하고 있으며, 연구지역의 중앙에는 지방 2급 하천인 조촌천이 남에서 북으로 흐르고 있다. 조촌천 상류 쪽, 즉 연구지역의 남쪽에는 면적 14 ha의 안심제 저수지가, 그리고 하류 쪽, 즉 연구지역의 북쪽에는 면적 128 ha의 기지제 저수지가 조성되어 있다. 조촌천은 계속 이어져 최종적으로는 북쪽으로 약 6 km 떨어진 지점에서 만경강으로 합류한다. 전주 지역은 남부내륙형 기후구에 속한다. 연평균 기온 13°C, 1월 평균기온 -0.3°C, 8월 평균기온 27°C이며, 연강수량은

1,300 mm 내외이다(기상청, www.weather.go.kr). 1969년 한국지질자원연구원에서 발간한 지질도에 의하면 조촌천과 기지제 주변부의 낮은 지형의 일부는 제4기 충적층으로 덮여 있고, 그 이외 대부분의 지역은 중생대 백악기의 불국사 화강암으로 이루어져 있다(Hong *et al.*, 1969).

2.2 연구방법

연구지역의 지표면 변화과정을 파악하기 위해 수치표고모델을 생성하고 이를 과거/현재 지형도, 수치 지형도, 항공사진과 대조 분석하였다. 과거 지형도는 1910년대 제작된 ‘근세한국 1:50,000 지형도’ 고산/전주 도첩을 활용하였고, 현대 지형도는 국토지리정보원에서 발간한 1:25,000 지형도를 활용하였다. 또한 도시개발이 연구지역의 지형에 미친 영향을 파악하기 위해 2009년과 2016년에 발행된 1:5,000 수치지형도를 비교 분석하였다. 각 수치지형도에서 생성한 수치표고모델의 비교를 통해 지형 변화량을 계산하였으며, 항공사진과 대조 작업을 통해 실제 지형과의 일치도를 교차 검증하였다(Hutchinson and Gallant, 2000). 지표변화 분석결과는 McMillan *et al.* (1999)의 인위적 지형지질 변화 분류 체계를 적용하여 도심지질도 작성에 이용하였다. 지형 분석과 지질도 제작은 ESRI Arc Map 10.2 및 QGIS Lyon 2.12.2

프로그램을 이용하였다.

3D 도심지질모델 작성은 2.59 km²에 해당하는 면적을 대상으로 수행하였으며, 기존에 보고된 62공의 시추 코어 자료(Korea Land and Housing Corporation, 2009, 2013)를 이용하였다(그림 2). 각 시추공 자료를 수치지형도에 입력하여 단면도와 격벽구조도(fence diagram)를 작성하였고, 표면정보(envelope) 작성 및 입력과정을 거쳐 3D 도심지질모델을 생성하였다(Kessler *et al.*, 2009) (그림 3). 3D 도심지질모델링을 위해 사중경계 알고리즘(Quad-edge Algorithm) (Green and Sibson, 1978) 기반 델로네 삼각분할기법(Delaunay Triangulation)을 사용하는 독일 Insight사의 Subsurface Viewer MX 6 프로그램을 이용하였다. 상기 과정에서 사용한 자료들은 모두 ESRI Arc Map 10.2 및 국토지리정보원 NGI MAP 1.0 프로그램을 이용하여 좌표계를 보정하였으며, 좌표계는 국토지리정보원 표준 대한민국 2010 중부 원점, GRS80 타원체, 트래버스 메르카토르 직각좌표계(EPSC: 5186)로 통일하였다.

3. 연구결과 및 토의

3.1 전주 혁신도시의 지표 지형 분석

1910년대 제작된 근세한국 1:50,000 지형도와 본

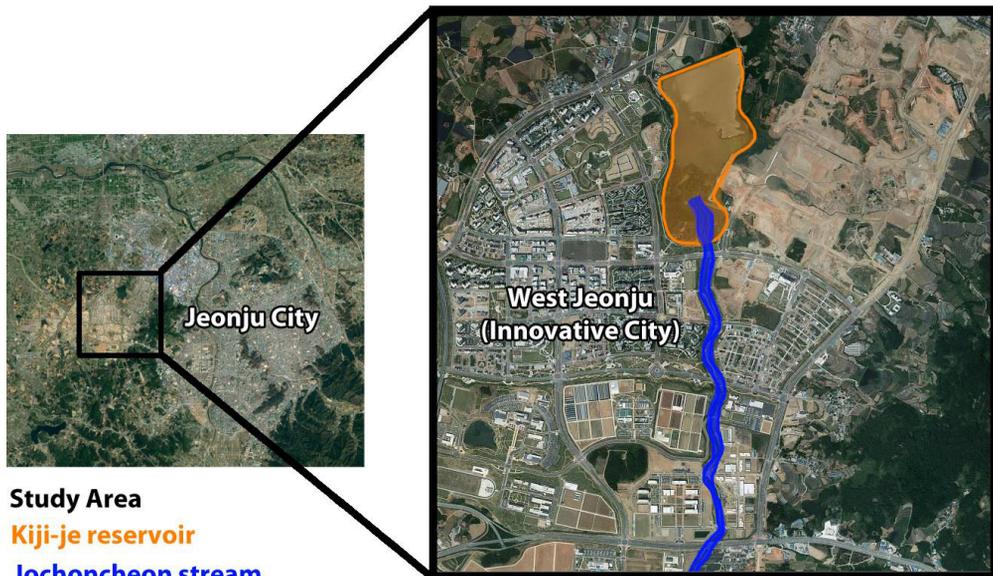


Fig. 1. A location map of the study area.

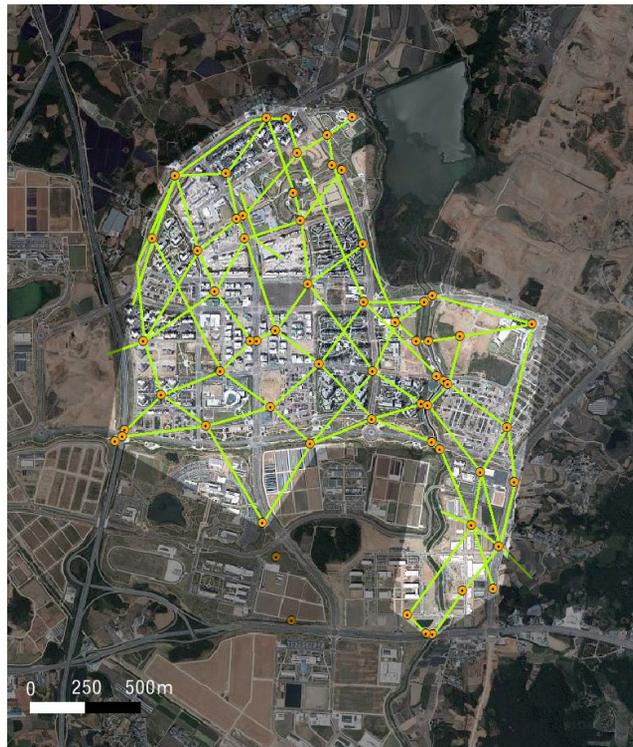


Fig. 2. A 3D modelling area (bright part) with the borehole data points (orange circle with dot) and the cross-section lines (light-green lines) on a satellite image of the Jeonju Innovative City.

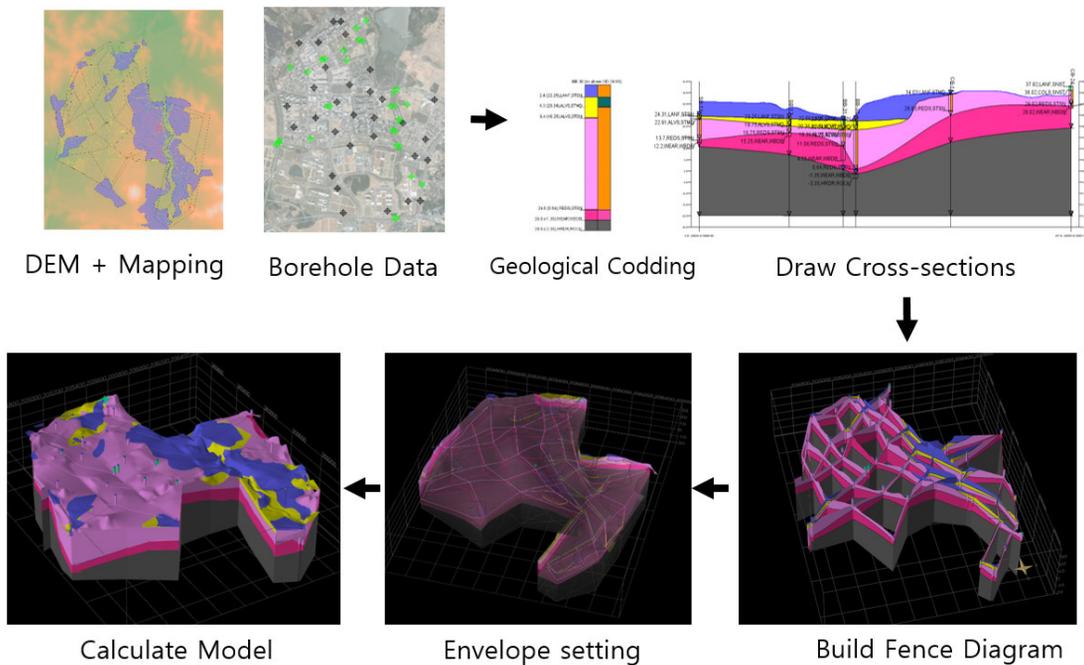


Fig. 3. 3D modelling process for the study area with The Subsurface viewer MX 6.

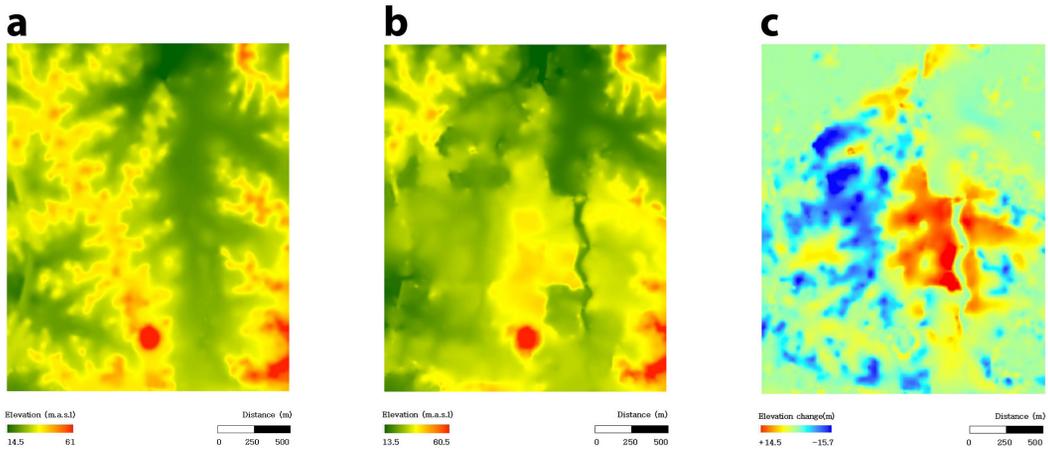


Fig. 4. Generated Digital Terrain Model (DTM) of the study area in 2009 (a) and 2016 (b) by data extracted from 1:5,000 digital topographic map, and calculated DTM of land surface change between two of DTM in the study area (c) in ESRI Arc map 10.2 software.

격적인 도시개발이 이루어지기 전인 2009년에 제작된 수치지형도와 비교한 결과, 전체적인 지형의 변화는 미약한 가운데 일부 저수지의 면적 변화가 관찰되었다. 이와 대조적으로 본격적인 도시개발이 진행된 2009년(그림 4a)와 2016년(그림 4b)의 수치표고모델을 대조하여 분석한 결과 많은 지형변화가 나타났다. 가장 큰 변화로 조촌천 하도변 저지대가 평균 8 m 가량 상승하였으며, 기지제의 남부와 서부 일부 지역 역시 비슷한 수준으로 지형이 상승하였다. 해발 40 m에 달하던 구릉지는 30 m 정도로 전반적으로 낮아졌다. 종합적으로 볼 때, 연구지역의 전체적인 지형은 기복차 5 m 이내로 평탄하게 변화하였으며 평균 고도는 약간 상승하였다(그림 4c).

도시개발로 인해 연구지역의 대부분은 인공적인 지형을 보이게 되었다. 연구지역의 인공적 지형은 크게 본래 구릉지로 상대적으로 높은 지형이었던 부분을 깎아냄으로서 모암층이 드러난 지역(worked ground), 조촌천 주변 및 저수지 주변부의 낮은 지대로 주로 논의었던 곳을 매립하여 지형을 높게 돌운 지역(made ground), 그리고 염순제와 오공제 주변부를 정비하여 만들어진 근린공원 및 조촌천변 운동장 부지 등 상대적으로 원 지형이 남아있는 지역(landscaped ground)으로 분류할 수 있다(Price *et al.*, 2004)(그림 5).

이번 연구에서는 전주 혁신도시 일대의 지질정보 분석을 위해 도심지질도를 작성하였다. 도심지질도는 인위적 퇴적층과 표층 및 상부 기반암에 대한 지

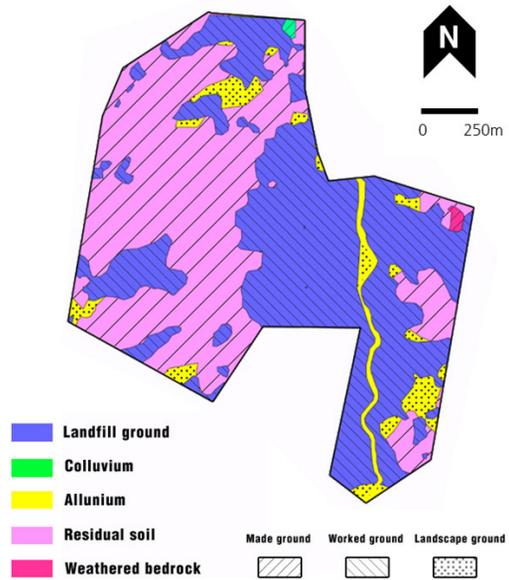


Fig. 5. The urban geological map of the study area. Colors and symbolic patterns indicate lithostratigraphy and classification of the artificial effect at the area, respectively.

질정보를 포함하고 있다. 일반적으로 도심지의 지질 분포 양상과 인공적인 퇴적작용은 서로 밀접한 관계를 가지게 되며(Haworth, 2003; Ford *et al.*, 2014), 연구지역의 도심지질도 역시 이러한 관계를 잘 나타내고 있다. 연구지역의 매립층은 대표적인 인위적 퇴적층으로 연구지역 내에서 최근 6년 사이에 발생한

대규모 지형변화를 반영하는 특징을 보인다. 매립층은 주로 조촌천 주변부와 저수지가 위치한 저지대 인근에 분포하며 이는 연구지역 내 관찰되는 인위적으로 둔운 지역과 일치한다. 반면 같은 기간 동안 인위적인 침식작용을 받아 지형이 낮아진 지역은 대부분 잔류토층을 포함하는 기반암층의 분포를 반영하고 있는 것으로 나타났다.

그밖에 일부 원지형이 남아있는 지역은 대체적으로 충적층의 분포와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다며 과거 저수지로 사용하던 지역들은 일부 매립층을 포함하기도 하였다. 조촌천을 중심부에 발달한 하천퇴적층은 연구지역에서 드물게 자연적인 퇴적물 이동에 의해 형성된 토층이다. 그러나 조촌천의 하도 형태는 인공적인 제방에 의해 제한되고 있었으며, 일부 구간의 하도 바닥은 인공구조물로 대체되어 있는 만큼 자연적인 퇴적작용과 달리 그 퇴적양상 자체는 인간활동의 영향을 강하게 대변하고 있는 것으로 보인다.

연구지역인 전주혁신도시 일대의 지표지질 분석결과 연구지역의 지형변화가 도시개발구역 내에 국한됨을 보여주며 지표지질의 분포는 이런 지형변화를 받은 지역과 받지 않은 지역 사이의 극명한 대조를 보

이며 개발에 따른 지질분포 양상의 차이를 나타내고 있다. 이러한 인위적 지표지질의 변화양상은 도시 개발에 따른 산물이며 이런 인위적 퇴적물의 구분과 그에 따른 특성 분류는 향후 도시계획 및 발전에 중요한 기초 정보를 제공한다(Rosenbaum *et al.*, 2003).

그 외 연구지역의 지표지질에서 보이는 모든 변화 양상을 지난 약 100년 동안의 지형변화와 대조하여 판단하였을 때, 연구지역의 지형변화가 자연적인 퇴적과 침식작용에 의해 받은 영향은 거의 없는 것으로 판단된다. 이와 대조적으로 인간활동의 영향이 매우 컸던 것으로 나타나는데, 이는 연구지역의 지표층이 도시개발로 인해 2008년 이후 짧은 시간 동안 급격한 변화를 보였음을 지시한다. 이와 같은 인공적 퇴적과 침식 작용의 발생은 후기 홀로세에서만 관찰되는 특징적인 현상이다. 때문에 일부학자들은 이런 특징을 층서학적 기준으로 판단하여 기존 지질시대와 구분 짓는 ‘인류세(Anthropocene)’의 척도로 삼을 것을 주장하기도 한다(Price *et al.*, 2011; Zalasiewicz *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2016; Brown *et al.*, 2017). 이런 관점에서 이번 연구지역의 도심지질도는 후기 홀로세 시기의 특징적인 지질 양상을 잘 표현하고 있으며, 도심지 개발로 인한 과거-현재-근미래에 걸친 지

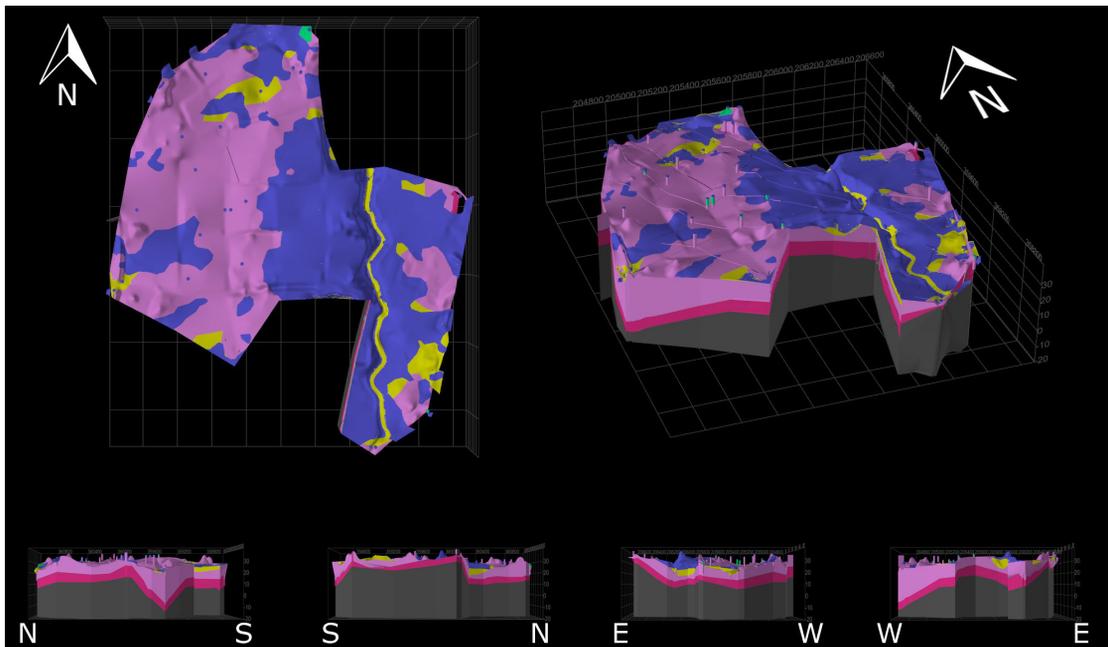


Fig. 6. A 3D geological model of the study area in top view, quarter view, and the cardinal points view from each direction (vertically exaggerated by 10 times).

Table 1. Calculated area and volume for sediment formations of the study area.

Unit	Area	Volume
Landfill ground	1.31 km ²	3,002,295 m ³
Colluvium	8,334 m ²	6,531 m ³
Alluvium	869,274 m ²	2,174,835 m ³
Residual soil	2.598 km ²	19,205,877 m ³

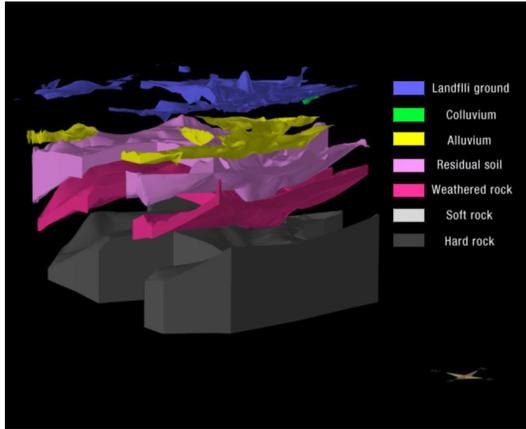


Fig. 7. The separated 3D geological model for each formation of the study area (vertically exaggerated by 10 times).

표환경 변화에 대한 정보를 제공하고 연구하는 지표로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

3.2 3차원 지질모델을 통한 층적층 체적 분석

이번 연구에서 3D 도심지질모델 생성에 사용된 시추자료는 도시개발 계획단계에서 조사된 자료로서 이후 개발과정에서 발생한 인위적 퇴적작용과 침식작용 결과를 반영하지 못한다. 이러한 한계로 인하여 시추자료만을 이용한 3D 지질모델링의 결과는 실제 연구지역의 지질정보와 큰 차이를 나타내게 된다(그림 6, 8). 이처럼 부정확한 초기 3D 지질모델에 추가적으로 도심지질도를 이용한 표면모델을 반영시킴으로써 최종적으로 실제 도심지질을 반영한 3D 도심지질모델을 생성할 수 있었다.

연구지역 일대의 면적 2.9 km²를 대상으로 3D 도심지질모델을 생성하여 연구지역의 지질분포를 표현하고(그림 6), 층서별 면적과 체적을 계산하였다(그림 7; 표 1). 3D 도심지질모델링 결과는 인위적 매립층과 층적층이 모두 유사한 분포 양상을 보이며 조촌천 일대에 증점적으로 퇴적되어 있음을 나타내

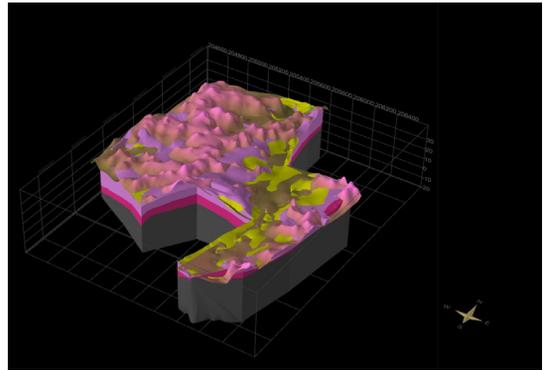


Fig. 8. An example of the borehole-based 3D geological model without an urban geological approach that shown low accuracy due to the lack of up-to-date information by city developments and its anthropogenic effects.

며, 풍화토층과 기반암 풍화대는 동쪽에서 가장 낮은 심도를 보이며 남서쪽으로 갈수록 두꺼워지는 양상으로 분포하고 있음을 보여준다. 특히 층적층의 경우, 평면도를 통해 표현된 분포양상과 3D 모델을 통해 표현된 실제 분포 면적간의 차이가 가장 큰 것으로 나타났다. 풍화토층 하위 층서의 경우, 대부분의 시추공 자료가 풍화토층 혹은 풍화암층 내에서 굴착이 종료된 관계로 정확한 층서의 두께를 알 수 없으므로 지층부피 계산 결과를 생략하였다.

이번 연구에서는 생성한 3D 도심지질모델에 특정 지표자료를 적용한 결과를 직접 제시하진 못했지만, 해외 연구 사례들은 추가적인 지표자료를 활용한 3D 도심지질모델의 응용 가능성을 보여주고 있다. 예를 들어, 표준관입시험(standard penetration test; SPT) 지수를 기준으로 지반 강도에 따른 분포를 표현한 것, 도심지의 침강률 및 그 위험도를 표현한 것(Thierry *et al.*, 2009; Ferrario *et al.*, 2015), 투수율에 따른 지층 분포를 이용하여 지하수 오염에 취약한 지역을 표현한 것(Lelliott *et al.*, 2006; Price *et al.*, 2008; Robins *et al.*, 2008), 기반암의 특성과 연계하여 도심지 주택가의 라돈가스 밀집도를 표현한 것(Miles and Appleton,

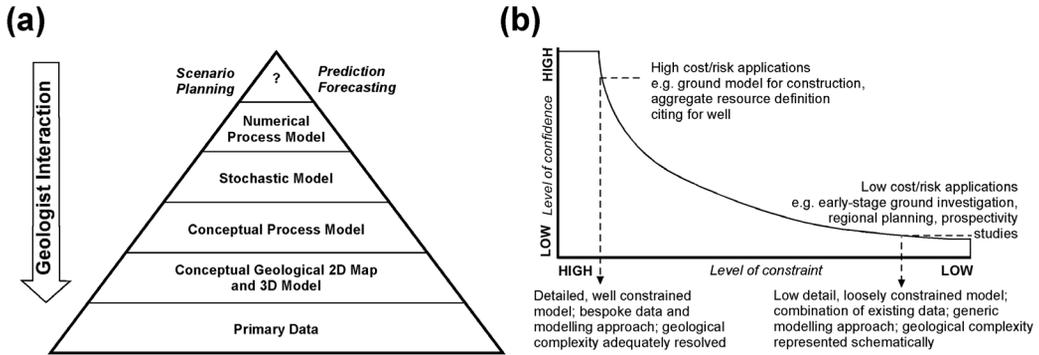


Fig. 9. (a) A pyramid diagram showing the hierarchy of different types of geological model. (b) A schematic graph showing the relationship between level of constraint and level of confidence within a geological model. Geologists' interaction is greatest in the primary data and conceptual modelling stages (modified from Lee and Ford, 2016).

2005) 등 지역이 갖는 특성과 목적에 따라 다양하게 응용이 가능하다. 따라서 향후 국내에서도 도심지를 대상으로 개발 계획, 지질학적 재해 대비, 거주민의 주거환경 관련정보 등 특정 주제에 관한 지표자료를 연계하기 위한 기초 플랫폼으로 3D 도심지질모델의 활용 가능성이 높을 것으로 기대된다. 또한 상대적으로 넓은 지역을 대상으로 할 때에는 정밀도가 떨어질 수 있으나 일반적인 지질양상을 표현할 수 있다는 장점도 있다(Lee and Ford, 2016)(그림 9).

4. 결론

이번 연구에서는 도심지질학적 접근을 통해 전주 혁신도시일대의 도심지질도를 작성하고 3D 도심지질모델을 생성하였다. 이들 결과물은 지표 조사자료와 시추자료 등 일반적인 자료에 층서학적 해석을 더하여 만든 도심지질학적 기초개념모델에 해당한다. 도심지질도와 3D 도심지질모델을 함께 과거의 자료들과 대조하여 비교한 결과 연구지역 일대의 지형과 지하 퇴적체 분포 양상이 도시 개발 전후로 크게 달라진 것을 확인하였다. 연구지역의 개발 전후의 지형을 비교하여 변화 양상을 추적할 수 있었으며, 인위적 지형의 분류까지 가능하였다. 또한 시추자료를 입력한 3D 도심지질모델을 이용하여 층적층의 분포와 체적까지 계산할 수 있었다. 본 연구에서는 각각의 층적층의 강도나 침강률이나 투수율 등 특정 지표자료를 포함하지 않은 비교적 간단한 모델만을 제시하였으나, 우리나라에서 처음 시도하는 도심지질학적 접근이라는 측면에서 그 의미가 있겠다.

도심지질학적 접근 방법을 통해 생성된 3D 도심지질모델은 기존의 시추자료를 이용함으로써 비교적 저비용으로 직관적이고 정확한 도심지의 지질정보를 생성할 수 있다는 장점이 있다. 또한 이 모델은 디지털 기반의 여러 자료를 종합적으로 관리하여 최신의 변동 사항을 즉각 반영하여 수정과 갱신이 용이하다. 이를 통해 도심지의 지질정보를 필요로 하는 다양한 사용자들에게 실용적인 정보를 공공재의 개념으로 공급함으로써 우리나라 도심지질정보의 활용성을 극대화시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 앞으로의 추가 연구를 통해 도심지역의 수권, 기권, 생물권 등 특정 매개변수에 대한 자료를 획득하고 이를 3D 도심지질모델에 추가하여 특정 개념모델로 표현함으로써, 도심지의 인간활동과 근지표환경의 상호작용연구를 위한 기초 플랫폼으로 이용할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원의 주요과제인 “지질기록체를 활용한 한반도 아열대화 규명 연구: 중기 홀로세 기후-특성 평가(GP2019-013)”의 일환으로 수행되었습니다. 유익한 조언을 주신 두분의 심사 위원께 진심으로 감사드립니다.

REFERENCES

Alfors, J.T., Burnett, J.L. and Gay, Jr.T.E., 1973, Urban geology: master plan for California. California Division

- of Mines and Geology, Bulletin, 198.
- Brown, A.G., Tooth, S., Bullard, J.E., Thomas, D.S.G., Chiverrell, R.C., Plater, A.J., Murton, J., Thorndycraft, V.R., Tarolli, P., Rose, J., Wainwright, J., Downs, P. and Aalto, R., 2017, The geomorphology of the Anthropocene: emergence, status and implications. *Earth surface processes and landforms*, 42, 71-90.
- Culshaw, M.G. and Price, S.J., 2011, The 2010 Hans Cloos lecture The contribution of urban geology to the development, regeneration and conservation of cities. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70, 333-376.
- de Mulder, E.F.J., 1993, Urban geology in Europe: An Overview. *Quaternary International*, 20, 5-11.
- Ferrario, M.F., Bonadeo, L., Brunamonte, F., Livio, F. and Michetti, A.M., 2015, A model of Como (N Italy) urban subsurface: a multidisciplinary tool for hydraulic, hydrogeologic and subsidence risk management. *Engineering Geology for Society and Territory*, 5, 889-902.
- Ford, J.R., Price, S.J., Cooper, A.H. and Waters, C.N., 2014, An assessment of lithostratigraphy for anthropogenic deposits. *Journal of the Geological Society*, 395, 55-89.
- Green, P.J. and Sibson, R., 1978, Computing Dirichlet tessellations in the plane. *Computer Journal*, 21, 168-173.
- Haworth, R.J., 2003, The shaping of Sydney by its urban geology. *Quaternary International*, 103, 41-55.
- Hong, M.S., Yoon, S. and Gil, Y.J., 1969, Explanatory text of the geologic map of Samye sheet. *Geological Survey of Korea*, 1-17.
- Hutchinson, M.F. and Gallant, J.C., 2000, Digital elevation models and representation of terrain shape. In: Wilson, J.P. and Gallant, J.C. (eds), *Terrain Analysis*. Wiley, New York, 29-50.
- Jarna, A., Bang-Kittilsen, A., Haase, C., Henderson, I.H.C., Høgaas, F., Iversen, S. and Seither, A., 2015, 3-Dimensional geological mapping and modeling activities at the geological survey of Norway. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL2, 11-16.
- Kessler, H., Mathers, S. and Sobisch, H.G., 2009, The capture and dissemination of integrated 3D geospatial knowledge at the British Geological Survey using GSI3D software and methodology. *Computers & Geosciences*, 35, 1311-1321.
- Kim, J., Nahm, W.H. and Lim, H.S., 2016, Anthropocene: on the starting point and the significance of the new geological epoch. *Journal of the Geological Society of Korea*, 52, 163-171 (in Korean with English abstract).
- Korea Land and Housing Corporation, 2009, Geological Survey Report for Jeonbuk Jeonju and Wanju Innovation City Development Project.
- Korea Land and Housing Corporation, 2013, Geological Survey Report for Jeonju Manseong Urban District Development Project.
- Lee, J.R. and Ford, J.R., 2016, KIGAM-BGS Quaternary Collaboration 2016: the application of conceptual geological models in coastal and urban areas. *British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, CR/16/181*.
- Lelliott, M.R., Bridge, D.M., Kessler, H., Price, S.J. and Seymour, K.J., 2006, The application of 3D geological modelling to aquifer recharge assessments in an urban environment. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 39, 293-302.
- McGill, J.T., 1964, Growing importance of urban geology. *United States Geological Survey, Reston*.
- McMillan, A.A. and Powell, J.H., 1999, BGS Rock Classification Scheme Volume 4 Classification of artificial (man-made) ground and natural superficial deposits - applications to geological maps and datasets in the UK. *British Geological Survey Research Report, RR 99-04*.
- Miles, J.C. and Appleton, J.D., 2005, Mapping variation in radon potential both between and within geological units. *Journal of Radiological Protection*, 25, 257-276.
- Price, S.J., Ford, J.R., Kessler, H., Cooper, A.H. and Humpage, A.J., 2004, Artificial ground: mapping our impact on the surface of the Earth. *Earthwise issue*, 20, 30-31.
- Price, S.J., Crofts, R.G., Terrington, R.L. and Thorpe, S., 2008, A 3D geological background for Knowsley Industrial Park and surrounding area, NW England. *British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, CR/07/203N*.
- Price, S.J., Ford, J.R., Cooper, A.H. and Neal, C., 2011, Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene: the significance of artificial ground in Great Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society (Series A)*, 369, 1056-1084.
- Rau, J.L., 2003, The state of geosecurity in Asian cities. In: *The ground beneath our feet: a factor in urban planning. Atlas of Urban Geology*. United Nations, New York, 14.
- Robins, N.S., Davies, J. and Dumbleton, S., 2008, Groundwater flow in the South Wales coalfield: historical data informing 3D modelling. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 41, 477-486.
- Rosenbaum, M.S., McMillan, A.A., Powell, J.H., Cooper, A.H., Culshaw, M.G. and Northmore, K.J., 2003, Classification of Artificial (man-made) ground. *Engineering Geology*, 69, 339-409.
- Scheider, A., Friedl, M.A. and Potere, D., 2009, A new map of global urban extent from MODIS satellite data. *Environmental Research Letters*, 4, 0444003.
- Thierry, P., Prunier-Leparmentier, A., Lembezat, C., Vanoudheusden, E. and Vernoux, J., 2009, 3D geo-

- logical modelling at urban scale and mapping of ground movement susceptibility from gypsum dissolution: The Paris example (France). *Engineering Geology*, Elsevier, 105, 51-64.
- Turner, A.K., 2006, Challenges and trends for geological modelling and visualisation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65, 109-127.
- Zalasiewicz, J.A., Williams, M., Haywood, A. and Ellis, M., 2011, The Anthropocene: a new epoch of geological time?. *Philosophical Transactions of the Royal Society (Series A)*, 369, 835-841.
-

Received : January 21, 2019

Revised : June 13, 2019

Accepted : June 14, 2019