

# Analysis of Settlement Trend Information in GNSS-based Settlement Detector for analyzing Settlement of Buildings in Earthquake Hazard Zones

Sungho Kim/Researcher · Sang-Ho Hwang/Researcher · Oeon Kwon/Researcher ·  
Soo-Young Suk/Researcher · Seung-Man Chun<sup>†</sup>/Researcher

Dept. of Research Development, Gyeongbuk Institute of IT Convergence Industry Technology (GITC)

## 지진 위험 지대에서 건물 침하 분석을 위한 GNSS 기반 건물 침하감지의 데이터 활용 침하 경향 분석

김성호/연구원 · 황상호/연구원 · 권오연/연구원 · 석수영/연구원 · 천승만<sup>†</sup>/연구원  
(재)경북IT융합산업기술원 연구개발부

### Abstract

In this paper, the settlement data was collected using the settlement detector developed in the previous study, and a settlement trend analysis method was presented based on the collected data. The settlement trend analysis method was largely composed of three mathematical steps. The first formula measures an error range based on latitude and longitude, and the second formula determines whether to use the data for the error range. The last equation was analyzed through a method that can filter the distributed altitude information by intermediate values.

Through these results, in this paper, it was possible to confirm the information on settlement through three equations and analysis results for the error of the building where the building settlement occurs through the settlement detector developed in the previous study.

Keywords : Earthquake, Global Navigation Satellite System, Precision Settlement Detection, Building Collapse, Trend

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.

Corresponding Author: mycsm0@gitc.or.kr

©2021 The Korean Institute of Plant Engineering

Received 22 March 2021; Revised 29 March 2021; Accepted 31 March 2021

## 1. 서 론

경주지진(2016년도)과 포항지진(2017년도) 이후 국내에서는 지질학회를 중심으로 지진에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다[1-4]. 두 지진은 규모 5.0 이상의 지진으로 국내도 지진에 대한 안전지대가 아니라는 것을 보여주는 사례로 평가받고 있다. 이러한 지진으로 인해 정부에서는 범정부 차원에서 지진과 관련한 정보 수집/지진 대비 서비스 마련 등 다양한 연구과제 및 서비스에 대한 노력이 이루어지고 있는 상황이다. 특히 지진으로 인한 피해 중 침하는 인적피해가 발생할 수 있는 다양한 요인이 존재하기 때문에 국민의 생명 보존 및 안전과 관련하여 사회적 이슈가 되고 있는 상황이다[5].

지진에서 발생할 수 있는 침하의 경우 지반 침하와 건물 침하로 구분할 수 있다. 지반 침하는 다양한 요소로 인해서 지반이 용기 혹은 변형이 발생할 수 있는 것을 의미하며, 흩이 쌓여 생긴 성토, 점토, 실트, 유기질토, 느슨한 사질토 등 물의 비중이 높은 연약지반에서 자주 발생한다[6]. 건물 침하는 지반 침하의 기본 성질을 기반으로 건축 구조물에 따라 자체 변형 혹은 연관 시설물 파괴를 초래할 수 있다[8]. 특히 건물은 국민이 생활 안전 보호를 위해 건물 내 구조물 안전을 확보하고, 이를 통해 인명 보호하기 위한 건물 구조물 안전에 대한 건물 침하 감지는 필수적이라고 할 수 있다. 이는 기상청 통계 집계 이후 2015년까지 규모 2.0 이상 기준 평균 31.8회인 반면에 2016년 이후 평균 169.5회로 약 5.33배 이상 발생한 것을 확인할 수 있다[9].

이러한 건물 침하와 관련한 단기/장기적인 경향 정보를 측정하기 위해 기존의 연구들에서는 압력, 수압 변위 등 다양한 센서들을 활용한 접근 방법을 통해 침하 정보를 측정하였다. 그러나 기존 센서들은 원격지에서 실시간으로 측정하기 힘들다는 단점이 있다. 저자들은 기존 연구에서 GNSS 기반 건물 침하감지기 개발 및 구현을 진행하였다[10-11]. 기존 연구에서는 보정 GPS 정확도를 기반으로 건물 침하에 대한 측정을 진

행하였다.

본 논문에서는 기존 연구의 후속 연구로써, 개발 침하감지기를 이용하여 실시간으로 수신하는 GPS 정밀 데이터를 활용하여 침하 경향 활용 분석을 진행하고자 한다. 침하 경향 분석을 위해 본 논문에서는 침하 감지를 위한 실험 환경 구축 기반 침하 경향 분석을 진행하였다. 침하 경향 분석 실험은 실제 건물 침하가 발생할 수 있는 테스트 기구를 제작하여 진행하였다. 실험 결과에서 침하 감지 경향 분석 결과, 개발 침하감지기는 실시간 정보를 활용하여 침하에 대한 경향성을 확인할 수 있었다.

이하 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 침하 관련 배경지식을 서술하고, 침하 관련 연구에 대해 설명한다. 기존 연구에서 개발 침하감지기를 이용하여 3장에서는 침하 감지 경향성 분석에 대한 상세 서술 방법을 제시하고, 4장에서는 경향 분석에 대한 지표표를 제시한다. 마지막 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 배경지식 및 관련연구

### 2.1 액상화 현상

지진은 지구 표면의 단층면이 순간적으로 변위를 일으켜 발생하는 자연적인 요인으로 인해 흔들리는 현상을 의미한다[12]. 이로 인해 건물 및 지반에 변화가 발생할 수 있으며, 지반의 경우 지진의 강한 흔들림에 의해 액상화 현상이 발생하게 된다.

액상화 현상은 지구 표면의 단층면이 강하게 발생하여 지반 아래에 결정하는 세부 요소들이 지표면으로 솟아오르는 것을 의미한다. 특히 액상화 현상은 흩을 주로 이루는 성토나 점토, 실트, 유기질토, 느슨한 사질토 등 물의 비중이 높은 지반에 빈번하게 발생하게 된다[6].

액상화 현상은 2017년도 이후 행정안전부 국립재난안전연구원에서 조사를 진행하였으며, 그 중 212 곳을 대상으로 액상화 가능 지수(LPI, Liquefaction Potential

Index) 중 53%가 위험하다고 발표하였다[13-15]. 이러한 연구 결과는 지진으로 인해 액상화가 발생하고 액상화는 국민 재산피해에 상당한 영향을 초래할 수 있음을 의미한다.

## 2.2 지진 건물 침하

다양한 특성으로 인해 지진 건물 침하는 건물의 하단 방향으로 변위가 발생하게 된다. 이때 건물 침하는 세 가지의 침하(균등침하, 전도침하, 부등침하)가 발생하게 된다[6].

균등침하는 넓은 지반이 지진 혹은 외부 요인에 의해 지반 압축이 발생하고, 이로 인해 구조물과 관련된 일부 또는 전체가 균등하게 침하가 발생하는 것을 의미한다. 전도침하는 지반이 좁은 면적이 침하가 발생하여 불균일하게 발생하는 침하를 말하며, 부등침하는 지반의 연약토로 인해 하중 영향을 받아 침하가 발생하는 것을 의미한다.

특히 세 가지 침하 중 부등침하는 경주 및 포항지진으로 인해 많이 발생하는 것을 확인하였다. 부등침하의 주요 요인으로는 건물 지지력 부족, 성토지반, 연약지반, 내진설계, 함수비 등 다양한 요인으로 인해 발생할 수 있다. 이러한 다양한 요인들은 중/장기적으로 수집 및 관측을 통해 부등침하 발생 전 사전에 측정할 수 있는 방안에 대한 다양한 연구가 진행 중에 있다.

## 2.3 GNSS(Global Navigation Satellite System)

지구를 기준으로 우주 궤도를 돌고 있는 인공위성의 파장을 이용한 GNSS는 지상 내 물체에 대한 위치, 속도, 고속 등 다양한 정보를 제공하는 시스템이다. GNSS는 최초 미국의 군사적 목적으로 시작하여 현재는 항공기, 선박, 자동차 등 민간 분야에 다양한 분야에서 활용하고 있다[16].

GNSS는 미국(GPS), 러시아(Glonass), 중국(Beidou),

유럽(Galileo), 일본(QZSS), IRNSS 등 국가들 간 다양한 서비스가 존재한다[17]. 현재 GNSS는 100여개 이상의 신호 수신/처리가 가능하며 정확도 향상, 간섭과 다중 경로 강인함, 건설함, 실시간 정밀측위 등 다방면에서 활용 가능하다[18]. GNSS는 독립 수신기를 측정할 수 있는 절대측위(PP, Point Positioning) 방식과 기준국 보정값 기준 상대측위(DGPS, Differencing Positioning)로 구분할 수 있으며, 특히 DGPS의 경우 실시간 측위 정확도가  $\pm 1m$  급의 위치결정이 가능하여 다양한 민간분야 활용 가능하다[19-21]

## 2.4 관련연구

침하계측기는 일반적으로 압력, 수압, 변위 센서들을 활용하여 침하 감지를 측정하였다. 그러나 기존 장비의 경우 수동으로 계측하기 때문에 신뢰성과 경제성 측면에서 활용성이 떨어지는 측면이 존재한다.

수동 침하계측기는 크게 세 가지 문제점으로 요약할 수 있다. 첫 번째, 원거리 오차 변위가 클수록 기준점 간 오차 발생이 크고 그로 인해 누적 오차가 크다는 단점이 있다. 두 번째로는 현장여건 및 기상 조건에 따라 데이터 취득의 어려움 및 연속 데이터 수집에 대한 문제점이 있다. 마지막 세 번째는 측량 기술자 재량에 따라 측위에 대한 신뢰성이 크게 차이가 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 홀센서 기반 자동 침하계측기를 제안하였다[22]. 홀센서 기반 자동 침하계측기는 주변 자력발생 유무에 따라 지반침하량을 판단하며, 해당 장비의 경우에는 별도의 기준점 없이 지표 침하와 다수 층별 동시 측정이 가능하다는 특성이 있다. 그러나 해당 시스템의 경우에도 침하 측정을 원격지에서 측정하지 못하는 특성으로 인해 원격지에서 침하에 대한 정도를 실시간으로 분석하지 못하는 문제점이 존재함과 동시에 기술자의 역량에 따라 침하 측정에 대한 오차 발생 요인일 발생할 수 있다.

GNSS 기반 침하감지기는 GNSS의 고도 측위 정보와 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime

Services) 기반 NTRIP(Networked Transport of RTCM via Internet) 보정 정보를 활용하여 실시간 원격지에서 정밀 건물 침하가 가능한 침하감지기 설계 및 개발을 진행하였다[10-11]. 해당 장비의 경우 원격지에 정보를 별도의 서버를 활용하여 실시간 침하 정보를 수신하는 특징이 있다. 그러나 해당 장비의 경우 추가적인 연구가 필요하다. GNSS는 측위 정확도 특성상 위치에 대한 정확도 오차가 존재하기 때문에 해당 오차를 줄이고 실시간 측위를 위한 추가적인 분석이 필요하다

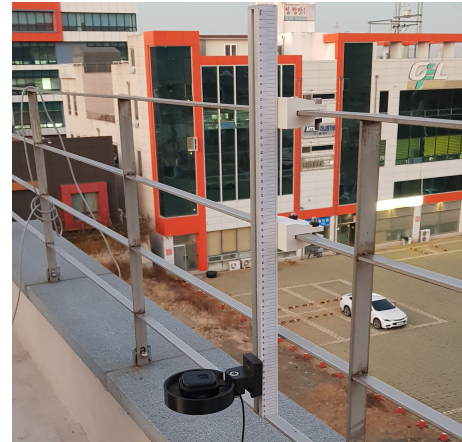
### 3. 침하 데이터 경향 환경 구성

본 논문에서는 침하 데이터 경향 분석을 진행하기 위해 기존 연구에서 개발한 침하감지기를 사용하였으며, 상세 개발 침하감지기 장비는 그림 1과 같다[11].



[Figure 1] Device of developed settlement detector

그림 1에서 개발 침하감지기를 이용해서 침하 데이터 경향 분석을 진행하기 위해 옥상 최상층에 장비 설치를 진행하였다. 그림 2는 침하 감지 데이터를 측정하기 위해 개발 침하감지기 설치 실사 사진을 보여주고 있다.



[Figure 2] Experiential environment

실험 환경에서 사용한 상세 매개변수는 표 1과 같다.

<Table 1> Parameters of experimental environment

Parameter	Description
Indicator(cm)	50cm
Test period	5 days
Service station in NTRIP	Homigot
Mount point	RTCM 2.3
Experimental position	Rooftop in buildings
Address	Gyeonsan-si, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea

본 논문에서는 개발 침하감지기를 사용하여 경향 분석을 진행하기 위해 일 단위 10cm 침하가 발생한다고 가정하고 5일 간 총 50cm 침하를 발생한다고 가정하고 실험을 진행하였다. 실험 과정에서 개발 침하감지기는 정밀 고도 오차를 보정하기 위해 호미곶 기지국을 기준 기지국으로 활용하고, 마운트포인트는 RTCM 2.3을 사용하였다.

실제 침하감지기의 정밀 위치 정보를 획득하기 위해 본 논문에서는 표 1에서 제시한 대한민국 경상북도 경산시 주소 기준(위도: 35.8234949, 경도: 128.6942807)으로 길이 측정을 실시하였다.

<Table 2> Length of 1 degree, 1 minute, and 1 second of latitude and longitude on gyeongsan-si

Parameter	length(km)		
	1 degree	1 minute	1 second
latitude	111.1949	1.853249	0.030887
longitude (gyeongsan-si)	91.08555	1.518093	0.025302

경도의 경우 위도에 따라 1도가 차이의 길이가 다르기 때문에 그 차이를 아래의 수식 1에 의해 산정하였다[23].

$$l = \frac{2\pi r \times \cos A}{360} \quad (1)$$

수식 1에서  $\pi$ 는 원주율,  $r$ 은 지구반지름,  $A$ 는 위도,  $l$ 은 경도 1도의 길이를 의미한다.

#### 4. 침하 데이터 경향 분석

침하감지기 침하 데이터 경향 분석을 위해 본 논문에서는 표 1에서 제시한 실험 환경을 기반으로 경향 분석을 진행하였다. 그림 3은 실험 환경을 기반으로 침하 감지 데이터의 경향을 보여주고 있다.



[Figure 3] The trend of settlement detection data based on experiment environment

그림 3에서 침하 관련 실험 데이터는 2021년 1월 13

일에서 2021년 1월 20일 총 7일 동안 진행하였으며, 그 중 2021년 1월 16일과 17일 주말이므로 실험에서 제외하였다. 그림 3에서는 위도, 경도, 고도의 정밀 정보를 수집하였다.

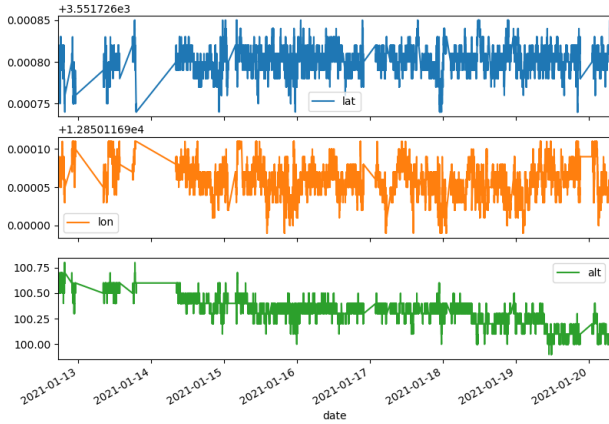
그림 3에 결과에서는 위성들의 배치 상황, 시간 및 위치 오차, 전리층과 대류층에 의한 굴절 등 기타 요인으로 인해 오차가 발생한 것을 확인할 수 있다. 또한 침하감지기는 지지국의 상태에 의해 NTRIP 보정 정보 미 수신, 기기 상태 등 다양한 오차가 발생할 요인이 있다. 이는 건물의 정밀 침하 경향을 파악하는데 방해 요인이 되며 이를 제거하고 온전히 침하 경향만을 분석하기 위한 새로 기법이 요구된다.

가장 먼저 그림 3에서 발생한 오차를 줄이기 위해 본 논문에서는 표 1과 수식 1의 위도와 경도 길이 수치를 기준으로 침하감지기가 설치 위치 범위가 오차 범위를 벗어 날 경우를 제외하고 분석을 진행하였다. 건물은 바람 등에 의해 흔들릴 수 있기 때문에 일정길이의 허용범위(건물 높이의 1/400)가 있으며, 실험에서는 허용오차 범위를 약 3m로 설정하였다. 아래 수식 2는 침하감지기 위도/경도 위치에 대한 거리 계산식을 의미하며, 수식 3은 범위 산정 수식을 의미한다.

$$d = \sqrt{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} \quad (2)$$

$$p = \frac{d}{\tau} \quad (3)$$

수식 2와 3에서  $x_i, y_i$ 은 측정된 위도/경도 위치에 대한 점,  $x_p, y_p$ 은 침하감지기 설치 위치에 대한 실제 위도/경도,  $d$ 는 침하감지기 설치 위치 직선과 점 사이에 거리,  $\tau$ 는 거리 오차 기준 수치,  $p$ 는 허용 수치를 의미한다. 식 3에서  $\tau$ 는 1이하의 수치,  $p$ 는 0.0003을 기준으로 분석을 진행하였다. 그림 4는 수식 2와 수식 3을 적용한 침하 감지 데이터 추이를 보여주고 있다.



[Figure 4] The trend of settlement detection data with removed outliers in settlement detection data

그림 4에서는 그림 3과 달리 수식 2와 수식 3을 적용했을 경우 일일 10cm 단위로 침하가 발생하였다고 가정하였을 때 오차가 발생하지만 추이 상으로는 침하가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통해 본 논문에서는 위도와 경도만으로도 침하에 대한 추이를 확인할 수 있음을 확인하였다.

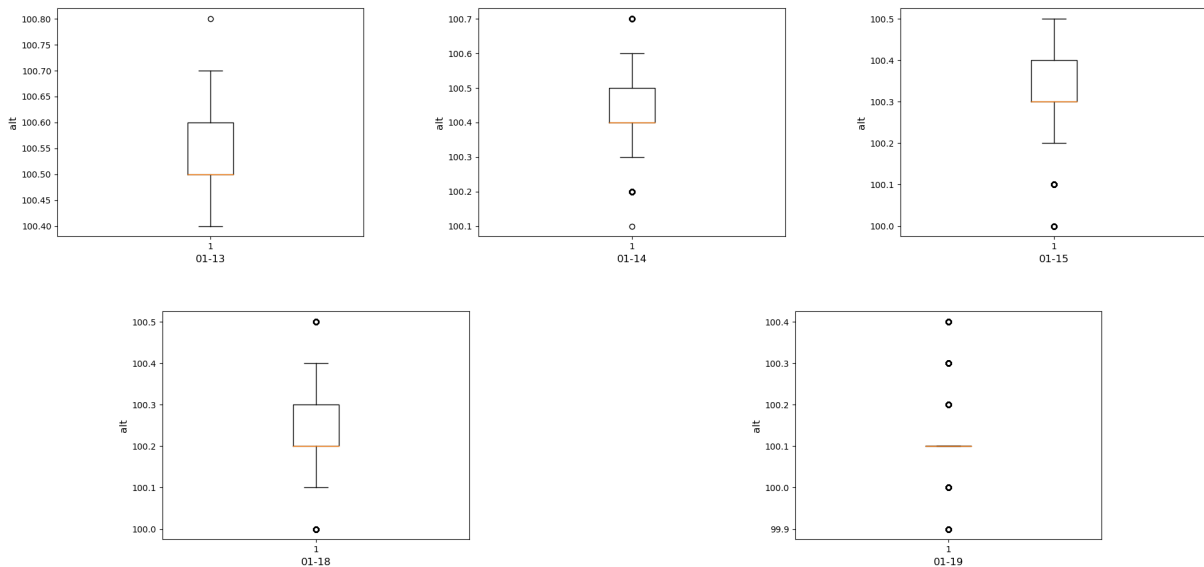
그러나 그림 4에서는 추이만을 확인할 수 있으며, 실제로 일일 단위 10cm가 감소하였는지를 확인할 수 없다. 또한 고도 범위 오차가 크기 때문에 이를 보정하기 위한 추가적인 방법이 요구된다. 수식 4는 이러한 고도

오차에 대한 범위를 제거하기 위해 일일 데이터에 대한 중간 값 필터링을 보여주고 있다.

$$median = \begin{cases} \frac{(N+1)^{th}}{2} & \text{when } N \text{ is odd} \\ \frac{(\frac{N}{2})^{th} + (\frac{N}{2}+1)^{th}}{2} & \text{when } N \text{ is even} \end{cases} \quad (4)$$

수식 4에서  $N$ 은 일일 데이터 개수를 의미한다. 이러한 중간 값 필터링을 적용한 최종 결과는 그림 5와 같다. 그림 5는 요일 별 실제 고도 정보에 대한 이상치를 보여주고 있다. 실험 환경과 동일하게 그림 5에서는 일별 10cm 씩 침하가 되는 것을 결과로 확인할 수 있다. 이로써 제안 침하감지기는 실시간 정밀 데이터 정보를 활용하여 오차가 발생할 수 있는 정보를 제외하고 침하 데이터에 대한 경향을 분석할 수 있음을 그림 5를 통해 확인할 수 있었다.

그러나 해당 연구에는 분명한 한계가 존재한다. 제작 침하감지기는 GNSS 모듈의 고도 한계가 10cm까지 측정 가능한 것이다. 이러한 한계로 인해 cm 단위로 측정이 어렵다는 특성이 있다. 이는 기술적인 한계로 인한 것으로 향후 기술적인 발전으로 인해 극복할 수 있



[Figure 5] The trend of settlement detection data using proposed median filtering

을 것이라 판단되며, 해당 침하 데이터 경향 분석을 통해 향후 cm 단위로도 측정할 수 있을 것이라고 기대한다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 기존 연구에서 개발한 침하감지기를 이용하여 침하 데이터를 수집하고 수집한 데이터를 기반으로 침하 경향 분석 방법을 제시하였다. 침하 경향 분석 방법은 크게 세 가지 수식 단계로 구성하였다. 첫 번째 수식은 위도와 경도 기반에 오차 범위를 측정하고, 해당 오차 범위를 데이터를 활용 여부를 두 번째 수식으로 결정하였다. 마지막 수식은 분포된 고도 정보를 중간 수치로 필터링할 수 있는 방법을 통해 분석을 진행하였다.

이러한 결과를 통해 본 논문에서는 기존 연구에서 개발한 침하감지기를 통해 건물 침하가 발생하는 건물에 대한 오차를 세 가지 수식과 분석 결과를 통해 침하에 대한 정보를 확인할 수 있었다.

## Acknowledgement

This research was supported by Reginal Demand-Specific R&D Support Program from Ministry of Science and ICT(Republic of Korea) (CN20120GB001).

## References

- [1] Chang, C. J. and Chang, T. W., "Behavioral characteristics of the Yangsan Fault based on geometric analysis of fault slip", *The Journal of Engineering Geology*, 19(3), pp. 277-285, 2009.
- [2] Jeong, S. H. and Jang, W. S., "Building safety analysis system using earthquake acceleration measurement information", *Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 21(1), pp. 14-19, 2017.
- [3] Kim, Y. S., Kim T., Kyung, J. B., Cho, C. S., Choi, J. H. and Choi, C. U., "Preliminary study on rupture mechanism of the 9.12 Gyeongju earthquake", *Journal of the Geological Society of Korea*, 53(3), pp. 407-422, 2017.
- [4] Yul, E. and Seop, S., "A Study on Information Linkage Service for Disaster Situation Management : Focusing on Earthquake", *Journal of Digital Contents Society*, 19(1), pp. 67-73, 2018.
- [5] Lee, J. S. and Kim, J. D., "Construction and role of safety responsibility system for public institutions through the case of the Pohang earthquake", *Construction Engineering and Management*, 19(2), pp. 30-34, 2018.
- [6] Choi, C., Han, S., Kim, B., and Kim, Y., "Characteristics of Residual Settlement of Soft Ground Using In-situ Settlement DB on Concrete Track", *Journal of the Korean Society for Real way*, 21(2), pp. 189-199, 2018.
- [7] Choi, W. S., Kim, E. S. and Yang, I. J., "Design and Construction Cases of Preventing Ground Subsidence in Mine", *Tunnel & Underground Space*, 27(6), pp. 393-405, 2017.
- [8] Lee, B. J., Park, S. W., Kim, D. H. and Song, Y. K., "Ground Subsidence Caused by the Development of Underground Karstic Networks in Limestone Terrain, Taebag City Korea", *The Journal of Engineering Geology*, 26(1), pp. 63-70, 2016.
- [9] Korea Meteorological Administration., *Korea Meteorological Administration Earthquake Statistics*, 2019.
- [10] Lee, S., Kim, S., Chum, S. M. and Suk, S. Y.,

- "Design and Analysis of GNSS-based Building Settlement Sensing for detecting Building Settlement on Seismic Zones", Institute of Embedded Engineering of Korea (IEMEK) Conference, pp. 1-3, 2019.
- [11] Kim, S., Lee, S. S., Hwang, S. H., Suk, S. Y. and Chun, S. M., "Implementation of GNSS-based Settlement Detector for Precise Settlement Detection on Buildings", Journal of the Korean Institute of Plant Engineering, 25(2), pp. 15-23, 2020.
- [12] Yoo, B. S., Bong, T. H. and Kim, S. R., "Evaluation Methods of Cyclic Shear Stress Ratio for the Assessment of Liquefaction in Korea", Journal of the Korea Geotechnical Society, 35(6), pp. 5-15, 2019.
- [13] Baek, W. H., Choi, J. S. and Ahn, J. K., "Liquefaction Hazard Map Based on in Pohang Under Based on Earthquake Scenarios", Journal of the Korea Geotechnical Society, 22(3), pp. 219-224, 2018.
- [14] Jeon, S. S., Heo, D. Y. and Lee, S. S., "Earthquake-induced Liquefaction Areas and Safety Assessment of Facilities", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 19(7), pp. 133-143, 2018.
- [15] Holzer, T. L., "Probabilistic liquefaction hazard mapping", The Proceedings of 4th Conference on Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, pp. 1-32, 2008.
- [16] Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. and Sato, H., "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods", Proceedings of 3rd Int. Conf. on Microzonation, pp. 1319-1330, 1982.
- [17] Zhu, N., Marais, J., Bétaille, D. and Berbineau, M., "GNSS position integrity in urban environments: A review of literature", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 19(9), pp. 2762-2778, 2018.
- [18] Kazmierski, K., Sośnica, K. and Hadas, T., "Quality assessment of multi-GNSS orbits and clocks for real-time precise point positioning", Gps Solutions, 22(1), pp. 11, 2018.
- [19] Park, C. S. and Lee, S. J., "GNSS Trend", The Proceedings of The Korean Institute of Electrical Engineers (KIEE), 58(11), pp. 18-28, 2009.
- [20] Lee, Y. C., "A Study on the Comparison of Real Time GNSS Satellite Surveying Methods", Korean Society of Civil Engineers, 28(4), pp. 579-586, 2008.
- [21] Paziewski, J. and Wielgosz, P., "Investigation of some selected strategies for multi-GNSS instantaneous RTK positioning", Advances in Space Research, 59(1), pp. 12-23, 2017.
- [22] Jeon, J. S., Lee, K. H. and Yoon, D. G., "Development of Automated Monitoring System for Soft Ground Settlement Based on Hole Sensor", Journal of the Korean Geotechnical Society, 28(6), pp. 39-52, 2012.
- [23] Hwang, S. H., Kim, S., Jung, C. W. and Chun, S. M., "A method of obtaining settlement trend information using data from a GNSS-based building settlement detector", Institute of Embedded Engineering of Korea (IEMEK) Conference, pp. 1-3, 2020.