

# Implementation of GNSS-based Settlement Detector for Precise Settlement Detection on Buildings

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

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

## 건물 정밀 침하감지를 위한 GNSS 기반 침하감지기 구현

김성호/연구원 · 이수성/연구원 · 황상호/연구원 · 석수영/연구원 · 천승만<sup>†</sup>/연구원

(재)경북IT융합산업기술원 연구개발부

### Abstract

In this paper, we proposed and developed a settlement detector based on GNSS for solving the problems of previous manual and automatic settlement detectors. The proposed settlement detector can grasp the precise location information of objects by utilizing the receiver of latitude, longitude, and altitude in a real-time GNSS module. Moreover, it can send the real-time information of latitude, longitude, and altitude up to a connected remote server. In experimental results, the proposed settlement detector compared three cases of GNSS-based settlement detectors. We reduced the difference in deviation between the uncorrected GNSS case (case 1 and the corrected GNSS cases (case 2 and case 3) by a minimum of 4.74 times and a maximum of 36.7 times.

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

## 1. 서 론

2016년도 규모 5.8 경주지진 및 2017년도 규모 5.4 포항지진 발생 이후, 국내에서는 지질학회를 중심으로 지진에 관련된 다양한 연구가 진행 중에 있으며, 범정부 차원에서는 경주지진 및 포항지진과 관련한 다양한 정보 수집 및 지진 대비 서비스 제공에 관련한 연구

개발이 진행 중에 있다[1-4]. 특히 지진 관련한 연구 중 침하의 경우에는 지반/건물의 함몰 현상을 동반하기 때문에 국민의 생활 속 안전과 관련하여 사회적 이슈이다[5].

일반적으로 침하는 지반과 건물에 따라 차이가 있다. 지반 침하는 여러 가지 상관 요소에 따라 지반이 융기되거나 혹은 침하가 되어 변형될 수 있으며, 특히 흙이 쌓여서 생긴 성토에 의한 지반이나, 점토, 실트, 유기질

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

Corresponding Author: smchun@gitc.or.kr

©2020 The Korean Institute of Plant Engineering

Received 30 March 2020; Revised 17 April 2020; Accepted 24 April 2020

토, 느슨한 사질토 등의 함수비가 높은 연약지반에서 매우 빈번하게 발생한다[6]. 건물 침하는 기본적으로 지반 침하의 특성을 내포하고 있고 있으며, 지진력을 견딜 수 있는 내진 설계에 여부에 따라 붕괴 유무를 결정하는 요소로 작용한다[7].

특히, 건물 침하는 지반 침하의 특성과 건물 구조에 따라 구조물 자체 변형 및 연관 시설물 파괴를 초래할 수 있어, 구조물 및 부대시설을 심각한 손실을 끼칠 뿐만 아니라 심각한 경우 인명 손실이 발생할 수 있다[8]. 이러한 이유로 인해 건물에 관련한 침하 감지는 구조물/부대시설 및 인명 보호를 위해 필수적이라고 할 수 있다.

이는 2016년도 규모 5.8 경주지진 이후 잦은 지진으로 인해 건물 붕괴 및 인명 보호를 위해 건물을 정밀 침하를 위한 장치가 요구되고 있다. 기상청 통계에 따르면, 국내지진 발생 추이는 기상청 통계 집계 초기년 기준 2015년도까지 규모 2.0 이상의 지진 발생 횟수가 평균 31.8회로 조사된 반면에, 2016년 이후 현재까지 지진 발생 횟수는 평균 169.5회로 무려 5.33배 발생한 것으로 조사되었다[9].

가장 단편적인 예시로 경주지진은 사유 건물 및 공공시설 포함 경주시 추산 106억 원 재산피해가 발생하였으며, 포항지진은 주택 및 시설물 피해 포함해 3,000억 원 재산피해가 발생하였다고 추산하고 있다. 이는 국내에서도 더 이상 지진 안전지대가 아님을 의미한다. 따라서 국내에서도 경주 및 포항지진과 같이 대규모의 재산피해를 방지함과 동시에 국민 안정권을 보장하고 피해 규모를 최소화하기 위한 단기/장기적인 건물 침하를 측정할 수 있는 실시간 측정 기기가 요구되는 시점이다.

기존 침하 측정을 위한 기기들은 압력 센서, 수압 센서, 변위 센서 등 다양한 센서들을 활용하여 건물 및 지반 침하에 대한 계측을 진행하였다. 그러나 기존 장비들은 침하 측정을 위해 원격지에 실시간으로 침하 정보를 활용하기 어렵다는 특성이 있다. 이는 침하 정보를 활용하고 이를 통해 전문적으로 분석하기에 어려

운 측면이 존재한다.

본 논문에서는 저자들의 선행 연구 기반 지진 피해에 의한 건물의 침하 상태를 실시간으로 측정하고, 측정 데이터를 전송할 수 있는 GNSS 기반 건물 침하감지기 개발 및 구현하고자 한다[10]. 제안하는 건물 침하감지기는 GNSS(Global Navigation Satellite System) 모듈 및 NTRIP(Networked Transport of RTCM via Internet) 보정 정보를 활용하여 GPS 정확도를 향상을 통해 정밀 침하 정보를 측정할 수 있다는 특성을 가지고 있다. 또한 LTE, Ethernet, LTE 동굴 모듈 탑재를 통해 제안 침하감지기는 실시간 침하 측정 데이터를 송신을 통해 실시간으로 건물 침하 정보를 전달할 수 있는 장점이 있다. 제안 침하감지기를 활용한 실사 구현 및 테스트 결과 제안 기존 미 보정 GPS 정확도 대비 제안 건물 침하감지기는 침하 감지 편차를 최소 4.74에서 최대 36.7배까지 감소를 통해 건물 정밀 침하 정보를 실시간으로 수집할 수 있음을 실사 구현 및 테스트 결과를 통해 확인했다.

이하 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 침하 관련 배경지식을 서술하고, 침하 관련 연구에 대해 설명한다. 제안 침하감지기 개발 및 구현은 3장에서 상세하게 기술한다. 4장에서는 제안 침하감지기의 침하 오차에 대한 지표를 제시할 것이며, 마지막 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

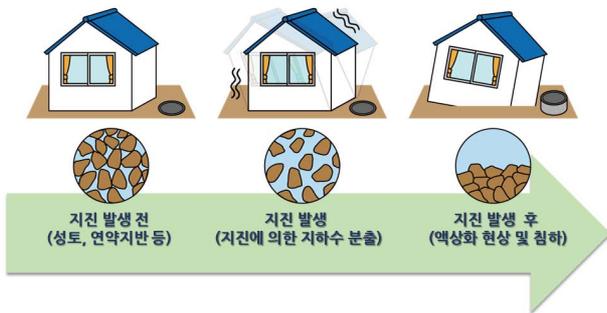
## 2. 배경지식 및 관련 연구

### 2.1 지진에 의한 액상화 현상

자연적 요인으로 인해 발생한 지진은 지구 표면을 흔들리는 현상을 의미하며, 이 과정에서 흔히 단층면에서 순간적 발생 변위를 지진이라 일컫는다[11]. 지진이 발생할 경우 지반 및 건물은 자연적 요인에 의해 변화가 발생하며, 특히 지반의 경우 지진의 강한 흔들림에 의해 액상화 현상이 발생하게 된다.

액상화 현상이란 단층면에서 부딪쳐 발생하는 강한

지진력에 의해 지면 지반 아래 결정하는 구성요소에 따라 지표면 밖으로 솟구쳐 오르는 현상을 말한다. 특히 액상화 현상은 흙으로 이루어져 생긴 성토지반이나, 점토, 실트, 유기질토, 느슨한 사질토 등 함수비가 높은 연약지반에서 두드러지게 발생한다[6]. [Figure 1]은 액상화 발생 현상에 대한 전 과정을 보여주고 있다.



[Figure 1] Procedure of liquefaction phenomenon

가장 가까운 예시로 액상화 현상은 2017년도 포항 지진 이후 행정안전부 국립재난안전연구원에서 212곳을 대상으로 포항시 액상화 가능 지수(LPI, Liquefaction Potential Index) 조사한 결과, 이 중 53%가 액상화 위험도 지수가 있는 것으로 발표하였다 [13-15]. 즉 액상화 현상으로 인해 국민 재산피해를 큰 영향을 끼칠 수 있음을 의미한다.

## 2.2 지진에 의한 건물 침하

지진에 의해서 발생하는 건물 침하는 다양한 특성을 가지는 지반으로 인해 건물이 아래 방향으로 변위가 발생하는 것을 말하며, 이 중 지반으로 인해 건물 침하에 영향을 끼치는 크게 세 가지 분류인 균등침하, 전도침하, 부등침하로 구분할 수 있다.

균등침하는 일반적으로 넓은 지반이 지진 혹은 외부 요인에 의해 지반 압축이 발생하고, 해당 지반에서 구조물 또는 구조물 일부의 모든 부분이 균일하게 침하하는 것을 의미한다. 전도침하는 구조물에 위치한 일부 지반이 불균등하여 발생하는 침하를 의미한다. 마지막

으로 부등침하는 지반 불균등과 함께 성토지반 및 연약지반으로 인한 침하를 의미한다. [Figure 2]는 건물 침하에 대한 상세 요약을 보여주고 있다.

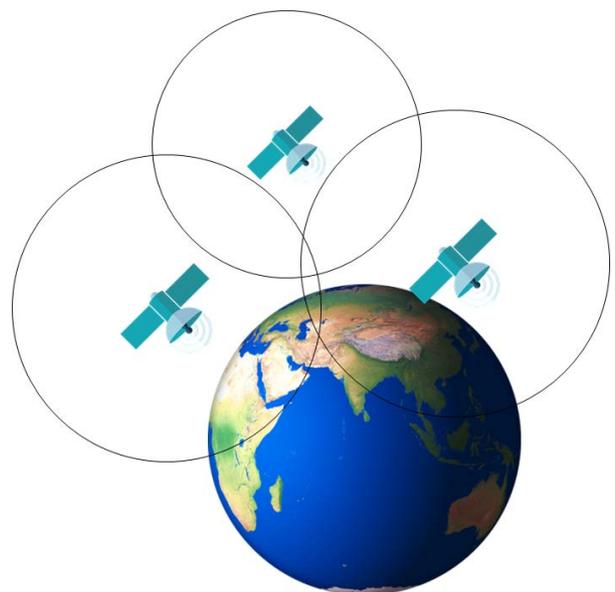


[Figure 2] Type of building settlement

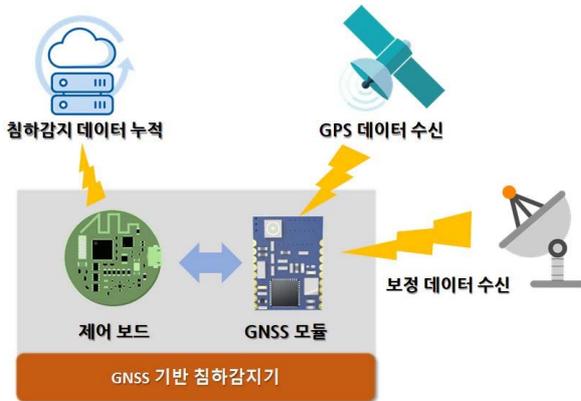
특히 지진에 의한 침하는 부등침하가 발생할 가능성이 크며, 부등 침하의 주요 요인으로는 건물 지지력 부족, 성토지반 및 연약지반, 내진 설계, 함수비 등 다양한 요소로 인해 부등 침하가 발생하고, 해당 원인을 파악하기 위해서 단기/장기적인 데이터 수집 및 관측을 통한 침하에 대한 적도를 측정할 필요가 있다.

## 3. GNSS(Global Navigation Satellite System)

GNSS는 우주 궤도에 돌고 있는 인공위성의 파장을 이용하여 지상에 위치한 물체의 위치, 속도, 가속 등



[Figure 3] Example of GNSS-based trilateration



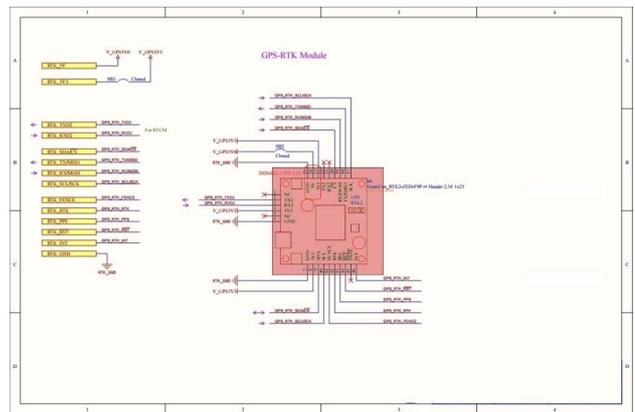
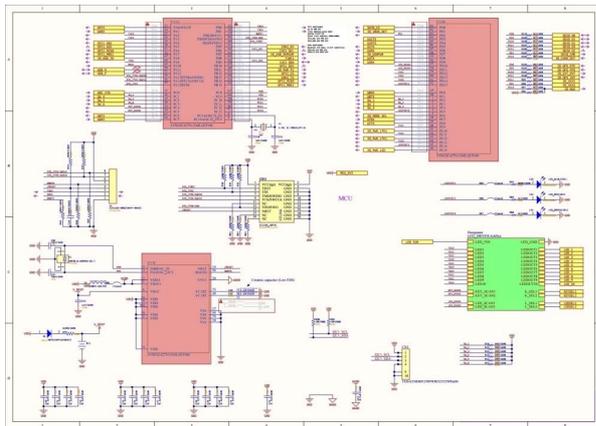
[Figure 4] Structure of GNSS-based settlement detector

다양한 정보를 제공받을 수 있는 시스템이다. 특히 지상 내 움직이는 물체의 정밀한 위치 정보를 파악할 수 있어, 기존 군사적 용도뿐만 아니라 항공기, 선박, 자동

차 등 다양한 민간 분야에서도 폭넓게 활용하고 있다 [16]. [Figure 3]은 GNSS 3변 측량 예시를 보여주고 있다.

현존하는 GNSS는 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 유럽의 Galileo, 중국의 Beidou, 일본의 QZSS가 가장 대표적이라고 할 수 있으며, 이외에도 QZSS, IRNSS 등이 존재한다[17]. GNSS는 현재 100여 개 이상의 신호 수신 및 처리가 가능하여 정확도 향상, 간섭과 다중 경로 강인함, 신호 견실함, 실시간 정밀 측위 등 GNSS 활용 측면에서 다양한 이익을 가져올 수 있다[18].

GNSS는 크게 수신기 1대 독립 수행을 할 수 있는 절대 측위(Point Positioning, PP) 방식과 기준국 보정 값을 활용하는 상대 측위(Differencing Positioning,



[Figure 6] Design circuit diagram of proposed settlement detector based on microprocessor board and gnss module

DGPS) 방식으로 구분할 수 있다[19]. 특히 코드 기반의 DGPS는 기지국의 보정 수신 정보에 따라 실시간 측위 정확도를 ±1m급의 위치결정이 가능하여 다양한 민간 분야에서 활용할 수 있다[19-20].

### 2.3 관련연구

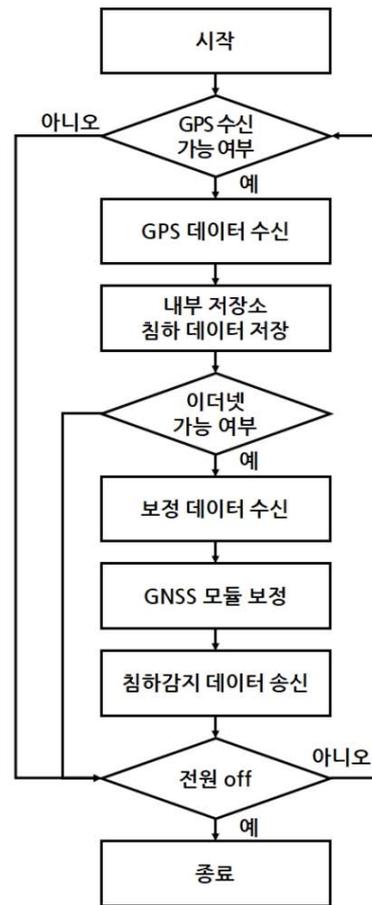
기존 침하계측기는 압력 센서, 수압 센서, 변위 센서 등 다양한 센서들을 활용하여 침하 감지를 측정하였으며, 특히 기존 침하계측 장비들은 수동으로 계측하기 때문에 신뢰성 및 경제성이 저하될 수 있다.

기존 수동 침하계측기의 문제점은 크게 세 가지로 볼 수 있다. 첫 번째는 대규모 단지 조성 등 연약 지반의 면적이 커질수록 기준점 원거리 오차가 크게 작용하여 측량 오차 발생 및 누적 오차 발생 가능성이 크다. 두 번째, 현장여건 및 기상변화 조건은 데이터 취득 불가 및 연속성 저하 문제를 가져온다. 세 번째, 측량 기술자에 따라 오차 발생하고, 이는 인건비 상승의 요인이 된다. 또한, 장기 유지관리 계측이 불가능하다는 문제점이 존재한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 홀센서 기반 자동 지반침하 계측기 시스템 개발을 제안했다[21]. 홀센서 기반 자동 지반침하 계측기 시스템은 디지털 홀센서를 이용하고 자력감지를 통해 주변 자력 발생 유무를 실시간을 출력하고 이를 통해 지반침하량을 판단한다. 본 시스템의 장점은 별도의 기준점 없이 지표침하와 다수 층별을 동시에 측정할 수 있어, 공성, 시공속도, 경제성, 운용 관리상 등 다양한 장점을 내포하고 있다.

그러나 자동 지반침하 계측기 시스템은 자력을 활용하여 침하 정도를 계측하기 때문에 건물과 같은 자력의 차이에 의해서 오차 발생이 크다는 단점이 있다. 또한, 자동 침하계측기의 경우에도 측량 기술자의 역량에 따라 오차 발생 요인이 크며, 침하 측정을 위해 원격지에서 실시간으로 침하 정보를 활용할 수 없다는 특성이 있다.

본 논문에서는 기존 수동/자동 침하계측기의 문제점



[Figure 5] Flowchart of detailed procedure between modules in proposed settlement detector

을 해결하기 위해 GNSS 기반 침하감지기 제안하고, 이를 개발 및 구현을 진행하고자 한다. 제안 침하감지기는 GNSS의 실시간 정보를 활용하여 물체의 정밀한 위치 정보를 파악할 수 있으며, 이를 실시간을 수신할 수 있어, 원격지에서 침하 정보를 활용 가능하다는 특성을 가지고 있다.

### 3. GNSS 기반 침하감지기 설계 및 구현

제안하는 침하감지기에서는 건물 정밀 침하 감지를 수행하기 위해 침하 감지 제어 보드 및 GNSS 모듈을 활용한다. [Figure 4]는 GNSS 기반 침하감지기의 구조를 보여주고 있다.

[Figure 4]에서 제안 침하감지기의 주요 구성요소는 제어 보드와 GNSS 모듈로 구성한다. 제어 보드는 GNSS 모듈 관련 제어, 침하감지 데이터 누적 제어를 수행하며, GNSS 모듈은 GPS 데이터 및 제어 보드에 의해 수신한 보정 데이터를 통해 GPS 데이터 정보 보정을 수행한다. GNSS 기반 침하감지기 보정에 대한 상세 수행 절차에 대해서는 [Figure 5]에서 보여주고 있다.

[Figure 5]에서 제안 침하감지기는 전원이 인가된 이후 가장 먼저 GPS 수신 가능 여부를 판단하고, 수신 가능 여부에 따라 내부 저장소에 침하 데이터를 저장한다. 이 때 내부 저장소에 저장하는 침하 데이터는 내부 저장소의 용량이 가득 찼을 때 가장 오래된 데이터에 덮어쓰기를 수행한다. 이후 제안 침하감지기는 이더넷 가능 여부를 판단하고 보정 데이터 수신 후 GNSS 모듈 보정을 수행한 후 침하감지 데이터 정보를 원격 서버로 송신한다. 마지막으로 전원 종료 유무를 판단한다. 이와 같은 과정을 반복적으로 수행하면서 제안 침하감지기는 침하 감지 데이터 누적을 수행한다.

GNSS 기반 침하감지기 설계를 기반으로 [Figure 6]은 제어 보드 및 GNSS 모듈의 설계 회로도를 보여주고 있다. [Figure 6]에서는 침하 감지 데이터를 수집하기 위한 주요 요소인 제어 보드와 GNSS 모듈에 대한 설계 회로도에 해당하면, 그 이외에도 제어보드를 수행하기 위해서 다양한 외부장치들인 내부 저장소, 이더넷 등 다양한 모듈을 탑재하여 PCB 보드 설계를 진행하였다.

마지막으로 [Figure 6]은 GNSS 기반 침하감지기 설계 회로도를 기반으로 침하감지기 PCB 보드 및 시작품에 관련된 실사 사진에 해당한다. [Figure 6]에서 제안 침하감지기는 건물 정밀 침하감지를 측정하고자 하는 위치에 시작품을 상시 전원 및 이더넷을 설치하고, 이를 원격지에서 침하 감지 데이터를 수집할 수 있어 실시간으로 침하 정보를 활용하는데 간편하고 용이하게 설계하고 시작품을 제작하였다.

#### 4. 침하감지기 구현 및 테스트 분석 결과

본 장에서는 침하감지기 구현 및 테스트 분석을 진행하기 위해 옥외 실사 환경에서 실험 테스트를 진행했다. [Figure 7]은 침하감지기 구현 및 테스트 진행 환경에 대한 옥외 실사 환경이다.

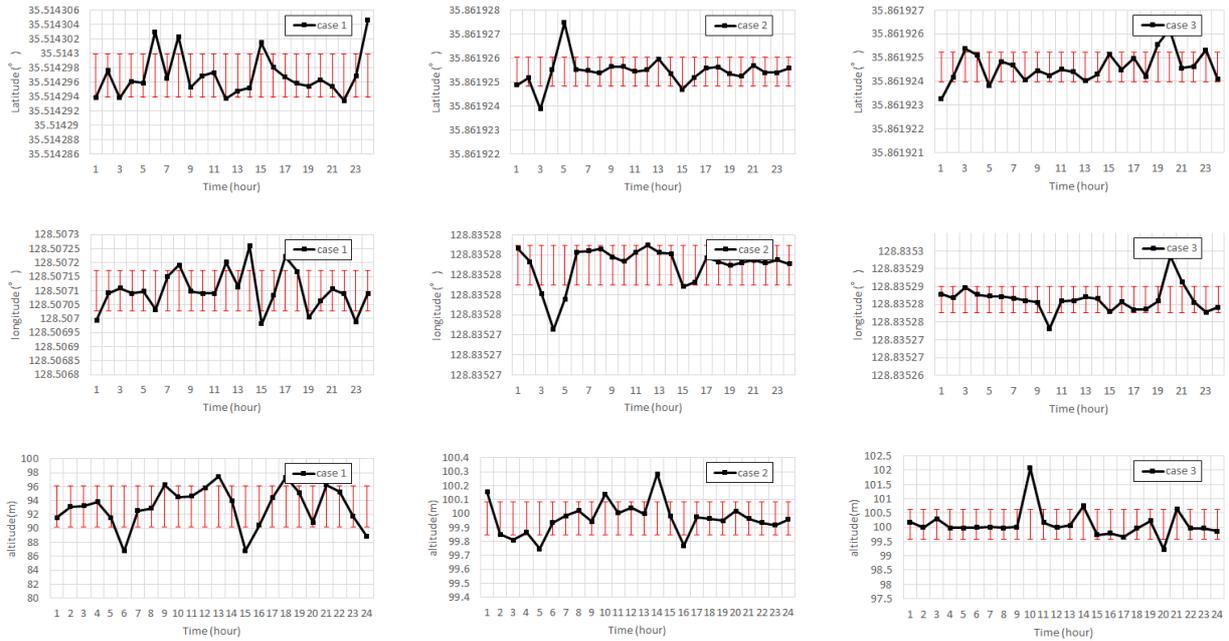


[Figure 7] Test environment of proposed settlement detector

침하감지기의 테스트 비교군은 미보정 침하감지(case 1), 호미곶 기준국 보정 침하감지(case 2), 속초 기준국 보정 침하감지(case 3) 세 가지 비교군을 통해 테스트 분석을 진행하였다. case 2와 case 3의 비교군은 기준국에 따라 보정 정확도 향상 척도를 확인하기 위함이다.

[Figure 8]은 세 가지 비교군을 대상으로 위도(latitude), 경도(longitude), 고도(altitude) 데이터를 초당 1회 1일 치 시간당 평균 데이터를 기준으로 침하감지 데이터 변화 추이를 측정했다.

[Figure 8]에서 모든 비교군 별 조금의 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다. [Figure 8]에서 호미곶 기준국 보정 침하감지와 속초 기준국 보정 침하감지는 미보정 침하감지와 비교하여 위도, 경도, 고도 오차 수치가 낮은 것으로 확인할 수 있다. [Figure 8]에서는 실제 위도, 경도, 고도에 대한 수치 값에 해당하기 때문에 비교군 별 오차 범위를 측정하기 힘들다. 비교군 별 비교분석을 진행하기 위해 [Figure 9]에서는 미보정 침하

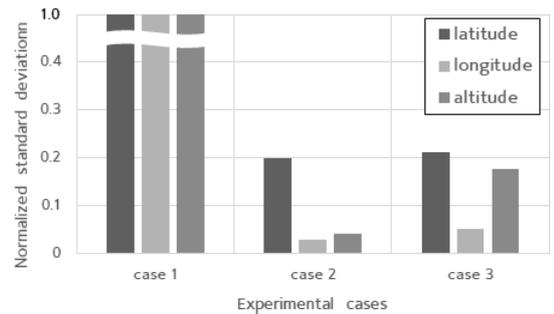


[Figure 8] Design circuit diagram of proposed settlement detector based on microprocessor board and gnss module

감지를 기준으로 표준편차 비교분석을 진행하였다.

용이한 것을 본 장에서 확인했다.

[Figure 9]에서 미보정 침하감지와 비교하여 호미곶 기지국 보정 침하감지와 속초 기지국 보정 침하감지는 최소 4.74배에서 최대 36.7배의 표준 편차 차이를 보여 준 결과이다. 이는 보정 기지국 정보를 활용하여 해당 오차를 줄였음을 의미한다.



[Figure 9] Comparison of normalized standard deviation about latitude, longitude, and altitude for experimental cases

또한, 해당 지표에서 주목해볼 만한 사실이 존재한다. 호미곶 기지국 보정 침하감지와 속초 기지국 보정 침하감지의 경우 상호 다른 기준국 보정 데이터를 활용할 경우 두드러지는 오차 차이를 확인할 수 있다. 이는 두 가지 경우로 종합할 수 있다. 첫 번째, 보정 데이터 기준국과 인접한 GNSS 모듈은 오차 보정의 신뢰성이 크다. 두 번째, 기준국의 보정 데이터 신뢰성에 따라 보정 오차 범위가 차이 난 것으로 종합할 수 있다.

이러한 결과로 종합하였을 때 제안 침하감지기는 GNSS 모듈을 활용 및 보정 데이터를 통해 건물 정밀 침하를 감지 측정에 대한 유의미한 지표를 통해 확인할 수 있으며, 제어 보드 및 GNSS 모듈을 통해 실시간으로 데이터 확인을 통해 침하 감지에 대한 분석이

## 5. 결 론

본 논문에서는 기존 수동/자동 침하계측기의 문제점을 해결하기 위해 GNSS 기반 침하감지기 제안하고, 이를 개발 및 구현을 진행하고자 한다. 제안 침하감지기는 GNSS의 실시간 정보를 활용하여 물체의 정밀한

위치 정보를 파악할 수 있으며, 이를 실시간을 수신할 수 있어, 원격지에서 침하 정보를 활용 가능하다는 특성을 가지고 있다. 제안 침하감지기 구현 및 테스트 결과 침하감지 데이터 변화 추이를 통해 유의미한 경향성을 파악할 수 있었으며, 미 보정 GNSS 대비 보정 GNSS는 최소 4.74배에서 최대 36.7배의 편차 차이를 줄일 수 있음을 테스트 결과를 통해 확인할 수 있었다.

향후 연구에서는 제안 침하감지기를 기반으로 실 측정을 진행할 것이며, 실 측정 결과를 바탕으로 침하감지에 대한 분석을 진행할 것이다.

## Acknowledgement

This work(research) was supported by 2019 R&D support project based on science and technology according to the regional demand funded by the Ministry of Science and ICT(CN19100GB001).

## References

- [1] 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
- [2] Kim, YS., Kim T., Kyung, J. B., Cho, C. S., Choi, JH. 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
- [3] Chang, C. J. and Chang, TW., "Behavioral characteristics of the Yangsan Fault based on geometric analysis of fault slip", *The Journal of Engineering Geology*, 19(3), pp. 277-285, 2009
- [4] Jeong, SH. and Jang, WS., "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
- [5] Lee, JS. and Kim, JD., "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, WS., Kim, ES. and Yang, IJ., "Design and Construction Cases of Preventing Ground Subsidence in Mine", *Tunnel & Underground Space*, 27(6), pp. 393-405, 2017
- [8] Lee, BJ., Park, S. W., Kim, DH. and Song, YK., "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, SM. and Suk, SY., "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] Yoo, BS., Bong, TH. and Kim, SR., "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

- [12] Baek, W. H., Choi, J. S. and Ahn, JK., "Liquefaction Hazard Map Based on in Pohang Under Based on Earthquake Scenarios", *Journal of the Korea Geotechnical Society*, 22(3), pp. 219-224, 2018
- [13] Jeon, SS., Heo, D. Y. and Lee, SS., "Earthquake-induced Liquefaction Areas and Safety Assessment of Facilities", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 19(7), pp. 133-143, 2018
- [14] Holzer, T. L., "Probabilistic liquefaction hazard mapping", the Proceedings of 4th Conference. on Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, pp. 1-32, 2008
- [15] 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
- [16] 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
- [17] 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
- [18] Park, CS. and Lee, SJ., "GNSS Trend", *The Proceedings of The Korean Institute of Electrical Engineers (KIEE)*, 58(11), pp. 18-28, 2009
- [19] Lee, YC., "A Study on the Comparison of Real Time GNSS Satellite Surveying Methods", *Korean Society of Civil Engineers*, 28(4), pp. 579-586, 2008
- [20] 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
- [21] Jeon, J. S., Lee, K. H. and Yoon, D. G., "Development of Automated Monitoring System for Soft Ground Settlement Based on Hole Senor", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, 28(6), pp. 39-52, 2012