

# AI 및 IoT에 대한 위성항법시스템 활용 동향

박희선\* · 주정민\*\* · 황석승\*\*\*

## Trends in Utilizing Satellite Navigation Systems for AI and IoT

Heui-Seon Park\* · Jung-Min Joo\*\* · Suk-Seung Hwang\*\*\*

### 요약

4차 산업혁명에서 AI(Artificial Intelligence)와 IoT(Internet of Things) 기술은 다양한 분야에서 혁신적으로 활용되고 있으며, 특히 자산 관리, 재해 관리, 기상 관측 분야에서의 성장세가 돋보인다. 이러한 분야에서는 실시간으로 대상의 위치와 상태를 정확히 파악하고, 기존 센서로 감지하기 어려운 상황에서도 다양한 데이터를 수집할 필요가 있다. 이를 위해 위성항법시스템 기술의 활용이 필수적이며, 이 기술을 통해 자산의 효율적인 관리, 재해 예방 및 대응, 정확한 기상 상황 예측 등이 가능하다. 본 논문은 AI 또는 IoT를 접목한 다양한 분야 중 자산관리, 재난 관리, 기상 관측 분야에서 위성항법시스템 기술이 적용된 최신 동향을 조사한 결과를 제시하고 분석한다.

### ABSTRACT

In the 4th Industrial Revolution, AI(Artificial Intelligence) and IoT(Internet of Things) technologies are being applied to across various fields, with particularly prominence in asset management, disaster management, and meteorological observation. In these fields, it is necessary to accurately determine the real-time and precise tracking of the object's location and status, and to collect various data even in situations that are difficult to detect with existing sensors. In order to address these demands, the use of GNSS(Global Navigation Satellite System) is essential, and this technology enables the efficient management of assets, disaster prevent and response, and accurate weather forecasting. In this paper, we provide the investigated results for the latest trends in the application of GNSS in the fields of asset management, disaster management, and weather observation, among various fields incorporating AI and IoT and analyze them.

### 키워드

GNSS, AI, IoT, Asset Management, Meteorological Observation  
위성항법시스템, 인공지능, 사물인터넷, 자산관리, 기상 관측

\* 조선대학교 전자공학과 IT-Bio 융합시스템 전공 · Received : Aug. 27, 2023, Revised : Sep. 19, 2023, Accepted : Oct. 17, 2023  
(bang4900@chosun.kr) · Corresponding Author : Suk-Seung Hwang

\*\* 한국항공우주연구원 Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, School of

\*\*\* 교신저자 : 조선대학교 전자공학부 IT-Bio 융합시 Electronic Engineering, Chosun University,  
스텝 전공 Email : hwangss@chosun.ac.kr

• 접수일 : 2023. 08. 27  
• 수정완료일 : 2023. 09. 19  
• 게재확정일 : 2023. 10. 17

## I. 서 론

4차 산업혁명 이후 AI( Artificial Intelligence)와 IoT( Internet of Things) 기술이 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 그중에서도 자산 관리, 재해 관리, 기상 관측 분야에서의 성장세가 두드러지고 있다[1], [2]. 이러한 AI와 IoT 기술이 접목된 다양한 분야에서 정확한 위치 정보가 요구되는데, 이는 위성항법시스템을 통해 충족될 수 있다.

자산 관리 분야에서는 산업환경의 자동화가 가능해지면서 자산관리에 대한 필요성이 증대되고 있다. 자산에는 고정형 자산과 이동형 자산이 있는데, 고정형 자산 관리의 경우 사람이 접근하기 어렵거나 실제로 확인하기 전에 유무를 파악하기 어려운 환경에 있는 자산의 경우 위성항법시스템을 통해 위치 및 상태를 파악하여 정보를 제공하고, 원격 모니터링 및 관리를 가능하게 한다. 이동형 자산 관리의 경우 운송 단계에서 제조업체부터 소매업체에 이르기까지 모든 물류 정보를 인식한 다음 위치 확인 및 추적이 가능하며, 이러한 물적, 인적 자산의 실시간 위치 및 상태 파악을 통해 안전성을 높이고, 비효율적인 프로세스를 개선하여 효율을 향상시킨다[3-4].

재해 관리 분야에서 AI 응용 프로그램의 사용은 지속적으로 증가하고 있으며, AI 기반 재해 관리는 그동안 축적된 날씨 데이터, 지리적 변동 데이터, 이전에 발생한 재난 및 재해 데이터를 학습하여 앞으로 일어날 재난 및 재해를 예측한다. 적절한 시기에 재난 및 재해를 예측함으로써, 재해 피해 예방, 효율적인 구조인력 배치, 상황에 맞는 재난 구호 물품 보급 등 재난 상황에 대해 즉각적인 대응 및 복구가 가능하다[5]. 재해 관리를 위한 데이터 수집은 위성항법시스템 신호, 기상 관측 센서 등을 이용한다<sup>1)2)</sup>. 특히, 위성항법시스템 신호는 기존 센서가 감지하기 어려운 미세한 지각변동 분석 및 재해로 인한 교란 검출과 같은 다양한 데이터 수집이 가능하여 재해 관리에 필수적인 요소 중 하나이다[6].

마지막으로 기상 관측 분야에서는 급변하는 기후 변화를 예측하기 위한 다양한 기술들이 접목되고 있다[7]. 특히, AI 및 IoT 기술은 기후 변화 혹은 기상 재해에 대한 위험 요소를 조기에 식별하여 기상 상황을 예측하고, 효과적으로 대처할 수 있는 의사 결정 도구를 제공함으로써, 재해 대비 능력을 향상시킨다<sup>3)</sup>[8]. 또한, 대부분의 상황에 안정적인 위성 연결이 가능한 위성항법시스템을 사용하여 센서를 통해 수위 상승 및 하강, 기압 변화와 같은 경고 신호를 감지할 수 있다[9]. 본 논문은 AI와 IoT를 접목한 자산 관리, 재난 관리, 기상 관측 분야에서 위성 항법 시스템을 활용한 최신 동향을 조사한 결과를 제시하고 이를 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 IoT를 접목한 자산 관리 분야에서의 위성항법시스템 활용사례를 소개하고, 3장에서는 AI를 접목한 재난 관리 분야에서의 위성항법시스템 활용사례를 소개한다. 4장에서는 AI를 접목한 기상 관측 분야에서의 위성항법시스템 활용사례를 소개하며, 마지막으로 5장에서 결론으로 논문을 마무리 짓는다.

## II. 자산 관리 분야의 위성항법시스템 활용사례

자산관리를 위해 실시간으로 정확한 위치 데이터 및 각종 정보를 제공하는 위성항법시스템의 사용이 필수적이다[10]. 본 장에서 각 자산 유형별 위성항법시스템 활용사례에 대해 설명한다.

### 2.1 고정형 자산관리

효율적이지 못한 전기 자산 매핑, 검사, 관리 계획은 심각한 수준의 재정적 위험을 초래하며, 이는 경제 발전을 방해하는 요인 중 하나로 꼽힌다. 특히, 거대 자본의 유입으로 인해 급격히 산업화가 이루어진 개발 도상국은 자기 자신의 나라에 대한 전기 자산에 대한 인프라 및 관리 시스템을 갖추지 못한 경우가 대부분이며, 이로 인해 전기 자산에 대한 관리가 비효

1) Available online : <https://public.wmo.int/en/bulletin/public-weather-services-disaster-risk-reduction>

2) Available online : <https://www.euspa.europa.eu/newsroom/news/galileo-and-egnos-supporting-effective-disaster-management>

3) Available online : <https://www.forbes.com/sites/markminevich/2022/07/08/how-to-fight-climate-change-using-ai/?sh=77c7e472a838>

울적일 수밖에 없다. 이러한 문제를 개선하기 위해 전력 네트워크 정보 수집에 사용할 전용 솔루션 엔지니어링 및 상용화를 목표로 하는 AMPERE Project를 제안하였다[11].

AMPERE Project는 그림 1과 같이 GNSS/INS 장치, LIDAR, 광학 및 열화상 카메라가 장착된 드론을 활용하여 데이터를 수집하고 솔루션을 제공하는데, 이를 위한 핵심 요소로 Galileo 위성의 데이터가 활용된다. 특히, 전기 유틸리티를 매핑하는 핵심 요소로 HAS(High Accuracy Service)와 고정밀 E5 AltBOC가 고려된다. 현재 Galileo는 빠른 수렴 시간과 약 20cm의 정확도를 가지는 개방형 무료 서비스인 HAS를 제공하는데, 정확도를 높이기 위해 HAS로 PPP(Precise Point Positioning) 처리를 수행하고 E5 AltBOC를 이용하여 최대 다중경로 효과와 cm 수준의 정밀함을 얻을 수 있다.

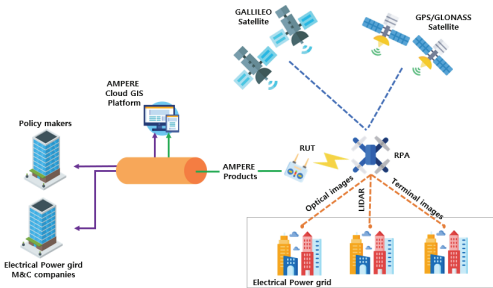


그림 1. AMPRE Project 개요 [11]  
Fig. 1 Concept of AMPRE project

## 2.2 이동형 자산관리

기존 위성항법시스템은 사용자가 실내로 이동하는 경우 위치 정보서비스를 더 이상 제공할 수 없게 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 실내와 실외를 구분하지 않고 정확한 위치정보를 제공하기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔는데, Thales Group이 제안한 GEONAV IoT 포지셔닝 알고리즘[12]도 그중 하나이다.

GEONAV IoT 포지셔닝 알고리즘은 유럽우주국(ESA)과 Thales가 공동으로 개발한 고정밀 측위 알고리즘으로 실외에서는 위성항법시스템 신호를, 실내에서는 배치된 GEONAV IoT UWB 비콘에서 방출되는 UWB(Ultra-Wide Band) 신호를 사용한다.

GEONAV IoT 솔루션의 구조는 그림 24)에 나타나 있다. 제한된 영역에서 GNSS-UWB PVT(Position, Velocity, Timing) 정보를 계산하는 가벼운 UWB 인프라를 배치하여 위성항법시스템 포지셔닝을 개선하며, 계산된 위치정보는 장치에서 GEONAV IoT 모니터링 웹 애플리케이션으로 전송되는데, 이를 PC, 스마트폰을 포함한 각종 IT 디바이스에서 실행시킬 수 있어 휴대성이 좋다. 또한, 시스템이 설치된 제한된 영역 내 모든 환경에서 높은 정밀도로 사람과 자산을 찾을 수 있다. 해당 시스템은 Nexter Systems (GEONAV IoT 포지셔닝 알고리즘을 사용하여 정기적으로 장비의 위치를 정확하게 파악하고 현장과 현장 간을 이동 중인 기계와 도구를 정밀하게 추적할 수 있는 시스템)와 제휴하여 군용 차량 부품에 대해 테스트를 완료하였다.

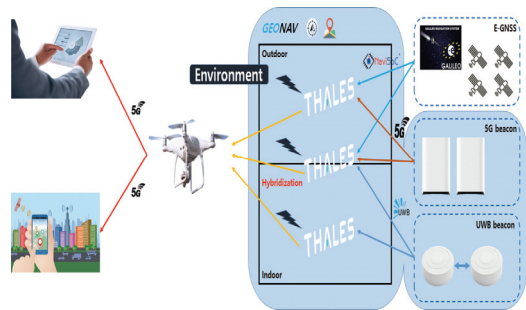


그림 2. GEONAV IoT 솔루션 구조 [13]  
Fig. 2 Architecture of GEONAV IoT solution

## III. 재난 관리 분야의 위성항법시스템 활용사례

재해 중에서도 지진 및 화산과 같은 심각한 인명피해가 초래되는 지질 재해들을 예측하고 관리하기 위한 연구들이 활발히 진행되어 왔는데, 위성항법시스템 데이터는 지각의 움직임에 대한 상시 모니터링과 재해 발생 시 관측되는 전조 증상 및 변동량 등을 분석하기 위한 데이터로 활용되며[14], 분석된 데이터를 기반으로 지질 재해를 예측할 수 있다[15]. 또한, 위성

4) Available online : <https://www.thalesgroup.com/en/markets/defence-and-security/geonav-iot-precise-positioning-solution-both-outdoor-and-indoor>

항법시스템 데이터를 기반으로 신속한 재난 경보를 위한 재난 안전 관리 시스템을 구축할 수 있다. 본 장에서는 지진 및 화산과 같은 재난 상황에서의 위성항법시스템 활용사례를 소개한다.

### 3.1 지진

현대 건축물의 고층 건물 비중이 높아짐에 따라 지반 침하 혹은 건물의 기울어짐으로 인한 건물 붕괴 위험 안전도의 중요성이 높아지고 있다. 특히, 지진과 같은 재난 상황에서 건물 붕괴에 대한 위험도는 더욱 중요하게 부각되고 있으며, 이러한 건물 붕괴를 최소화하기 위해 건물 위험 안전성에 대한 신속하고 효율적인 평가 방안을 제안하였다[16].

건물 안전 위험도 분석을 위한 데이터 구축에는 그림 3에서 확인할 수 있듯이, 지반 침하 특성에 대응하기 위한 위성항법 센서와 기울기 특성에 대응하기 위한 자이로 센서 모듈을 사용한다. 이 중 위성항법시스템 기반 침하 감지는 위성항법시스템의 고도 측위 정보와 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Services) 기반 NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) 보정 정보를 활용한 실시간 건물 침하 정보를 수신하여 수행된다[17]. 건물 안전 위험도 추정은 위성항법시스템을 통해 측정된 침하 특성과 자이로 센서를 통해 측정된 기울기 특성을 샘플링하여 선형화 데이터를 생성한 다음 선형 회귀 모델을 적용하여 기울기를 추정하고, 건물 붕괴에 대한 종합 위험도를 판단한다. 또한, 추정된 기울기 값으로 앞으로의 지반 침하 추이를 예상할 수 있다.

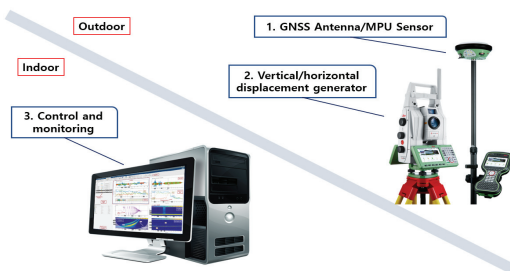


그림 3. 실내외 설치형 모의거동 발생장치 구조 [16]

Fig. 3 Structure of Indoor and outdoor installed simulated behavior generator

### 3.2 화산

활화산 관련 지질 재해는 용암 흐름, 화쇄류 및 화산재로 인한 인명, 농업을 포함한 각종 산업과 시설 등에 대한 피해와 화산 분화 분진으로 인한 항공 교통 혼란 등이 대표적이다. 앞서 기술한 잠재적 위험에 대한 대피 여부를 판단하기 위해 폭발이 임박한 화산을 예측하기 위한 모니터링 시스템이 개발되었다[18].

화산 분화를 모니터링하기 위한 TZVOLCANO 네트워크는 개방형 데이터를 보유하고 있으며, 그림 4와 같이 현재 실시간 포지셔닝 데이터 스트리밍이 가능한 6개의 위성항법 스테이션과 1개의 광대역 지진계로 구성되어 있다. 화산 폭발 예측 시스템은 위성항법시스템을 통해 지구 표면에서의 움직임 또는 과열을 감지하고 분석하기 위해 Jupyter Notebook을 사용하는데, 위성항법 데이터를 분석하여 화산 신호일 가능성이 없는 데이터는 필터링을 통해 삭제하고, 필터링된 데이터는 잠재적으로 위험도가 높은 화산 활동 감지를 위한 신경망 훈련을 위해 사용된다.

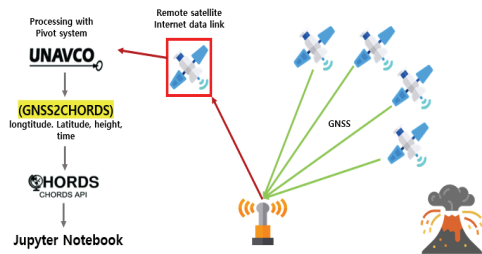


그림 4. 화산폭발 예측 데이터 수집을 위한 시스템 [18]

Fig. 4 System of collecting volcanic eruption prediction data

## IV. 기상 관측 분야의 위성항법시스템 활용사례

기상 재해를 효율적으로 예측하고 대응하기 위해, 극단적인 기상 상황에도 다양한 신호를 정확하게 수신할 수 있도록 네트워크 연결 상태를 정상적으로 유지하는 것이 중요하다[19]. 그림 5 5)는 기상 위성 등

5) Available online : <https://public.wmo.int/en/programmes/global-observing-system>

의 첨단 장비를 활용한 기상 관측 시스템을 나타낸다. 본 장에서는 위성항법시스템 데이터가 활용된 기상 관측 사례를 소개한다.

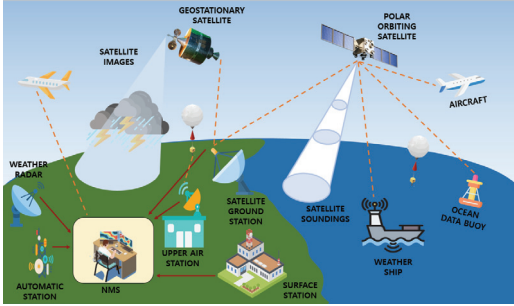


그림 5. 기상학 관련 지구 관측 시스템 [20]  
Fig. 5 Global observing system related to meteorology

#### 4.1 강우량 예측 모델

강우량은 대기 중 수증기 함량과 밀접한 관련이 있으며, 수증기 변화는 기상이변의 모니터링 및 조기 경보에 큰 의미를 부여한다. 중국 Ningbo의 측량연구소에서 기존 강우 예측 모델의 단점을 개선하기 위해 기존 모델과 BP-NN(Back-Propagation Neural Network) 모델을 결합한 새로운 종합 강우 예측 모델을 제안하였다[21].

강우 조기 경보 모델을 구성함에 있어 BP-NN 알고리즘은 온도, 압력, 습도 등의 파라미터를 적용하기에 적합하며, 위성항법시스템에서 얻은 고정밀 PWV(Precipitable Water Vapor)와 표면 압력, 상대 습도, 표면 온도 등과 같은 다양한 기상 데이터를 사용하여 폭우 이벤트를 감지하는 비선형 자동 회귀 외인성 신경망 모델(Nonlinear Autoregressive Exogenous Neural Network model)을 구축한다. 그림 6은 해당 지역에 있는 8개의 위성항법시스템 스테이션과 1개의 라디오존데(radiosonde) 스테이션의 지리적 분포를 보여준다. 위성항법시스템을 통해 얻을 수 있는 PWV 값, PWV의 변동과 변화율, ZTD (Zenith Total Delay)의 변동과 변화율의 5가지 매개변수를 강우 예측 변수로 선정하여 예측 매개변수의 임계값을 결정하고, 계절적 변화를 고려하여 단기 강우량 조기 경보 모델을 구축할 수 있다.

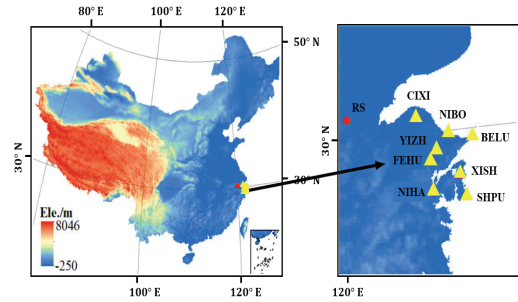


그림 6. 위성항법시스템과 라디오존데 스테이션의 지리적 분포 [21]  
Fig. 6 Geographical distribution of GNSS stations and radiosonde station

#### 4.2 AQI 예측 모델

황사 및 미세먼지를 포함한 각종 대기오염 물질로 인한 도시 대기 오염 상황을 제어하고 관리하기 위해, 주변 대기질을 효과적으로 모니터링하고 평가할 수 있어야 한다. 이를 위해 서로 다른 대기 오염 농도를 단일화하여 숫자로 변환하는 방법인 AQI(Air Quality Index)는 여러 국가와 기관에서 공공 정보 및 데이터 해석을 위해 널리 채택되어 사용되고 있다.

다수의 대기오염 물질로 구성된 복잡한 대기 시스템에서 AQI를 정확하게 평가하고 예측하는 것이 필요한데, 이를 위해 중국과학원 우주 과학 연구센터는 GNSS-RO(GNSS radio occultation) 데이터에 기반한 AQI 예측 모델을 제시하였다[22]. GNSS-RO는 저궤도 위성에서 수신한 위성항법시스템의 측정값을 사용하여 높은 수직 해상도와 전역 범위로 지구의 대기과 전리층을 프로파일링하는 위성 원격 감지 기술이다 [23]. 온도, 습도, 압력 및 대기 경계층 높이 정보를 알 수 있으며, 이를 통해 AQI 데이터를 예측할 수 있을 뿐만 아니라, GNSS-RO 위성은 대기권 밖에서 궤도를 돌기 때문에 온도 및 기타 요인에 의한 측정 오차가 발생하지 않는다. GNSS-RO를 통해 얻은 기상 데이터를 기반으로 LSTM(Long Short Term Memory), CNN(Convolution Neural Network), DNN(Deep Neural Network)의 세 가지 신경망 모델을 선택하고, 비교하여 AQI 예측 모델을 구축한다. 그림 7은 AQI 예측 모델의 구조를 나타낸다. 기존의 물리적 예측 모델과 비교하여, 기계 학습 모델은 대기 운동 패턴을 설명하기 위해 일련의 제어 방정식을 구

성할 필요가 없어 예측 속도를 크게 향상시킬 수 있고, 위성항법시스템 데이터를 사용하여 정확도를 높일 수 있다.

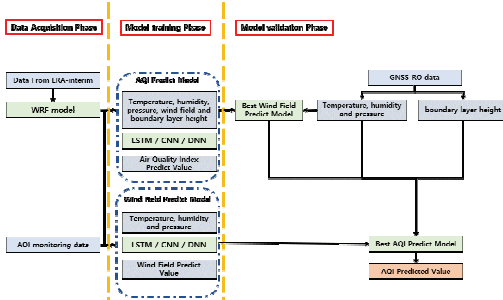


그림 7. AQI 예측 모델 흐름도 [22]  
Fig. 7 Workflow of AQI prediction model

### V. 결 론

본 논문은 4차 산업혁명에서 AI와 IoT 기술이 적용된 자산 관리, 재난 관리, 기상 관측 분야에서 위성항법시스템이 활용된 최신 사례들을 살펴보았다. 각 분야에서 위성항법시스템의 활용을 통해 정확한 위치 정보뿐만 아니라 다양한 데이터 수집이 가능함을 확인하였다. 이를 통해 효율적인 자산 운용 강화, 정확한 재해 예측 및 대응 방안 제시, 정밀한 기상 상황 예측 등에 상당한 도움이 될 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2023년도 조선대학교 연구비의 지원을 받아 연구되었음.

### References

[1] I. Lee and K. Lee, "The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises," *Business Horizons*, vol. 58, no. 4, 2015, pp. 431 - 440.  
[2] J. Borana, "Applications of Artificial Intelligence &

Associated Technologies," *Science [ETEBMS-2016]*, vol. 5, no. 6, 2016.  
[3] C. Jing, S. Wang, M. Wang, M. Du, L. Zhou, T. Sun, and J. Wang, "A Low-Cost Collaborative Location Scheme with GNSS and RFID for the Internet of Things," *ISPRS Int. J. of Geo-Information*, vol. 7, no. 5, 2018, p. 180.  
[4] A. Frankó, G. Vida, and P. Varga, "Reliable Identification Schemes for Asset and Production Tracking in Industry 4.0," *Sensors*, vol. 20, no. 13, 2020, p. 3709.  
[5] H. Woo, Y. Joo, M. Choi, and S. Jang, "Analysis about technology requirements for Development of Disaster Detecting Satellite Sensor," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science (KIECS)*, vol. 10, no. 11, Nov. 2015, pp. 1205-1216.  
[6] K. M. Kafi, and M. B. A. Gibril, "GPS Application in Disaster Management: A Review," *Asian J. of Applied Sciences*, vol. 4, no. 1, 2016.  
[7] H. Yoon, "Development of Contents on the Marine Meteorology Service by Meteorology and Climate Big Data," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science (KIECS)*, vol. 11, no. 2, Feb. 2016, pp. 125-138.  
[8] G. Bak, S. Oh, G. Park, and Y. Bae, "Groundwater Level Prediction using ANFIS Algorithm," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science (KIECS)*, vol. 16, no. 6, Dec. 2021, pp. 1239-1248.  
[9] K. Wilgan, W. Rohm, and J. Bosy, "Multi-observation meteorological and GNSS data comparison with Numerical Weather Prediction model," *Atmospheric Research*, vol. 156, 2015, pp. 29 - 42.  
[10] R. Malik, S. Das, and A. Bose, "A GNSS-GSM Integrated Location Tracking System," In *Proc. National Conf. on Materials Devices and Circuit for Communication Technology (MDCCT)2014*, 2014, pp. 156-159.  
[11] G. Fasano et al., "AMPERE: exploiting Galileo for electrical asset mapping in emerging countries," in *2021 IEEE 8th International Workshop on*

- Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)*, Naples, Italy: IEEE, Jun. 2021, pp. 709 - 714.
- [12] M. Fabius, D. Lapeyre, F. Messenger, I. Kiely, L. Arzer, and A. Pomies, "GEONAV IoT-Study of Hybrid 5G/GNSS Positioning," In *Proc. of the 34th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2021)*, Sep. 2021, pp. 725 - 752.
- [13] THALES, "GEONAV IoT precise positioning solution both outdoor and indoor"
- [14] R. Hohensinn and A. Geiger, "Stand-Alone GNSS Sensors as Velocity Seismometers: Real-Time Monitoring and Earthquake Detection," *Sensors*, vol. 18, no. 11, 2018, p. 3712.
- [15] J. R. Elliott, "Earth Observation for the Assessment of Earthquake Hazard, Risk and Disaster Management," *Surveys in geophysics*, vol. 41, no. 6, 2020, pp. 1323 - 1354.
- [16] D. Hwang, D. Kim, and D. Kim, "Estimation of Building Safety Risk in Earthquake Calamity Situation using Linear Regression Algorithm," *J. of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 59, no. 1, 2022, pp. 138 - 147.
- [17] S. Kim, S.-H. Hwang, O. Kwon, S.-Y. Suk, and S.-M. Chun, "Analysis of Settlement Trend Information in GNSS-based Settlement Detector for analyzing Settlement of Buildings in Earthquake Hazard Zones," *J. of the Korean Institute of Plant Engineering*, vol. 26, no. 1, 2021, pp. 65 - 72.
- [18] M. Dye, D. S. Stamps, M. Mason, and E. Saria, "Toward autonomous detection of anomalous GNSS data via applied unsupervised artificial intelligence," in *2021 Third Int. Conf. on Transdisciplinary AI (TransAI)*, Laguna Hills, CA, USA, Sep. 2021, pp. 85 - 91.
- [19] F. Alshawaf, T. Fuhrmann, A. Knöpfler, X. Luo, M. Mayer, S. Hinz, and B. Heck, "Accurate Estimation of Atmospheric Water Vapor Using GNSS Observations and Surface Meteorological Data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 53, no. 7, 2015, pp. 3764 - 3771.
- [20] World Meteorological Organization (WMO), "Global Observing System"
- [21] H. Fu, W. Zhang, C. Li, and Z. Hu, "A Rainfall Forecast Model Based on GNSS Tropospheric Parameters and BP-NN Algorithm," *Atmosphere*, vol. 13, no. 7, 2022, p. 1045.
- [22] W. Li, S. Kang, Y. Sun, W. Bai, Y. Wang, and H. Song, "A Machine Learning Approach for Air-Quality Forecast by Integrating GNSS Radio Occultation Observation and Weather Modeling," *Atmosphere*, vol. 14, no. 1, 2022, p. 58.
- [23] E. R. Kursinski, G. A. Hajj, J. T. Schofield, R. P. Linfield, and K. R. Hardy, "Observing Earth's atmosphere with radio occultation measurements using the Global Positioning System," *J. of Geophysical Research*, vol. 102, no. D19, 1997, pp. 23429 - 23465.

## 저자 소개

### 박희선(Heui-Seon Park)



2021년 조선대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2023년 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2023년 ~ 현재 조선대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※ 관심분야 : 적응신호처리, 빔형성 기법, 무선통신, 신호 추정 알고리즘

### 주정민(Jung-Min, Joo)



2004년 한국과학기술원 대학원 전기및전자공학과 졸업(공학석사)

2015년 한국과학기술원 대학원 항공우주공학과 졸업(공학박사)

2004년 ~ 현재 한국항공우주연구원 근무

※ 관심분야 : 위성항법시스템



**황석승(Suk-seung Hwang)**

1997년 광운대학교 제어계측공학과 졸업

2001년 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department

대학원 졸업 (공학석사)

2006년 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department

대학원 졸업 (공학박사)

2006. 5~2008. 3 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008. 3~2014. 1 조선대학교 메카트로닉스공학과 교수

2014. 2~ 조선대학교 전자공학부 교수

※ 관심분야 : 적응신호처리, 위치추정, 채널추정, 이동로봇용 위치추정, 간섭제거, RFID