

# 딥러닝 기반 구조물 안전을 위한 손상확률 예측 모니터링 시스템

정의한, 김경영, 서영주, 김경준

포항공과대학교 인공지능연구원

{defined314, gy\_kim, yjsuh, kimkj23}@postech.ac.kr

## A PoD(Probability of Damage) Prediction Monitoring System for Structure Safety based-on Deep Learning

Euihan Jeong, Gyeongyeong Kim, Youngjoo Suh, Kyungjun Kim

Pohang University of Science and Technology, Postech Institute of Artificial Intelligence

### 요약

최근 경주와 포항의 지진 발생 이후, 구조물 노후화 정도와 구조물 붕괴 위험도의 사전 탐지 및 피해 대응을 위한 구조물 건전성 모니터링(SHM, Structural Health Monitoring) 기술이 주목을 받고 있다. 본 논문에서는 구조물의 센서 데이터와 1-D CNN 모델을 이용하여 구조물 건전성 모니터링을 수행하고, 구조물 건전성 모니터링에 IoT를 결합하여 딥러닝 기반 구조물 손상확률(PoD, Probability of Damage) 예측 시스템을 제안한다. 1-D CNN 모델을 활용한 구조물 손상확률 예측 모델에서는 구조물 센서 데이터를 프레임 단위로 나누어 예측 속도를 빠르게 하였고, 전체 프레임들의 손상확률 평균으로 결과를 산출하여 예측 정확도를 개선하였다. 이를 활용하여, 제안한 시스템은 구조물 유지 보수에 대한 의사결정 지원 및 사전 경보 등을 통하여 지진과 같은 재난으로부터 발생하는 피해를 최소화하는 분야에 적용할 수 있다.

### I. 서 론

과거에는 구조물 건전성을 평가하기 위해 많은 시간과 이에 따른 추가 비용이 필요했고, 평가기간 동안에는 구조물 폐쇄로 인해 상당한 경제적 손실이 발생하기도 했다. 또한 2016년 경주와 2017년 포항 지진 발생 시 막대한 피해가 발생하면서, 지진과 같은 재난 발생 시 손상 및 노후화로 인한 구조물 붕괴에 대한 불안감이 증대되었다. 이와 같은 이유로 구조물 붕괴를 예방하고 예측할 수 있는 대책 마련이 시급한 실정이다[1].

본 논문에서는 구조물의 붕괴 위험도를 판단하기 위하여 구조물 건전성 모니터링[2]을 이용한 예측 시스템을 제안한다. 우선 구조물에 설치되어 있는 가속도센서와 기울기센서 등의 센서값을 수집하여 데이터셋을 구축하고, 딥러닝 기반의 예측 모델을 이용하여 손상확률(PoD, Probability of Damage)을 예측한다. 그리고 예측한 손상확률을 통해서 구조물의 붕괴 위험도를 판단하고, 모바일 서비스 및 상황판과 연계하여 구조물 관리자와 시민들에게 공유 및 전파할 수 있는 딥러닝 기반 구조물 안전을 위한 손상확률 예측 모니터링 시스템을 제안한다.

제안 시스템을 활용함으로써, 평상시에는 구조물의 손상 및 노후화 정도를 파악하여 유지 보수에 대한 의사결정을 지원하고 지진과 같은 재난이 발생했을 때에는 구조물 붕괴 위험도 예측을 통해 피해 규모와 그 범위를 줄일 수 있을 것이라고 기대한다.

### II. 구조물 손상확률 예측 시스템

#### 1) 구조물 센서 데이터셋 구축

구조물 손상확률 예측용 데이터 수집을 위해서 다수가 이용하는 공공시설이나 2017년 포항 지진 피해가 있던 구조물 등을 대상으로 포항시 북구 소재의 중요도 및 위험도가 높은 10개 건물을 선정하였다. 그리고 건물별로 침하감지 2개, 지진가속도 1개, 기울기 1개씩 총 40개의 센서를 설치하여 데이터를 수집하였다. 그림 1은 현재 센서가 설치된 구조물들의 위치를 나타낸다.



그림 1 센서 설치 구조물 10개소(파란색, 포항시 북구)

그러나 현재 건물에서 얻을 수 있는 센서 데이터는 안전한 상태의 데이터가 대부분이기 때문에 위험한 상태의 데이터가 상대적으로 부족한 상황이며, 위험한 상태의 데이터는 손상 및 노후화 정도가 심한 건물에서 수집하거나 지진과 같은 재난 발생 시 추가 수집이 필요하다. 손상 및 노후화 정도가 심한 건물의 데이터는 사고 위험이 있어 신규 센서 설치 및 수집이 어렵고, 지진과 같은 재난 관련 데이터는 2016년 경주와 2017년 포항에서 발생한 지진에 대한 데이터만 보유하고 있어 데이터의 양이 적어 분석에 어려움이 있다.

재난 관련 데이터를 추가 확보하기 위해서 2019년부터 포항시 북구에 지진관측소를 구축하여 데이터를 수집 중이며, 2021년까지 1개 이상의 지진관측소를 추가로 구축할 예정이다. 또한 지진관측소에서 수집한 데이터를 바탕으로 평상시와 지진 발생 시의 데이터를 비교 및 분석하여 지진 발생 시의 구조물 센서 데이터를 가상으로 생성[3-5]할 것이다.

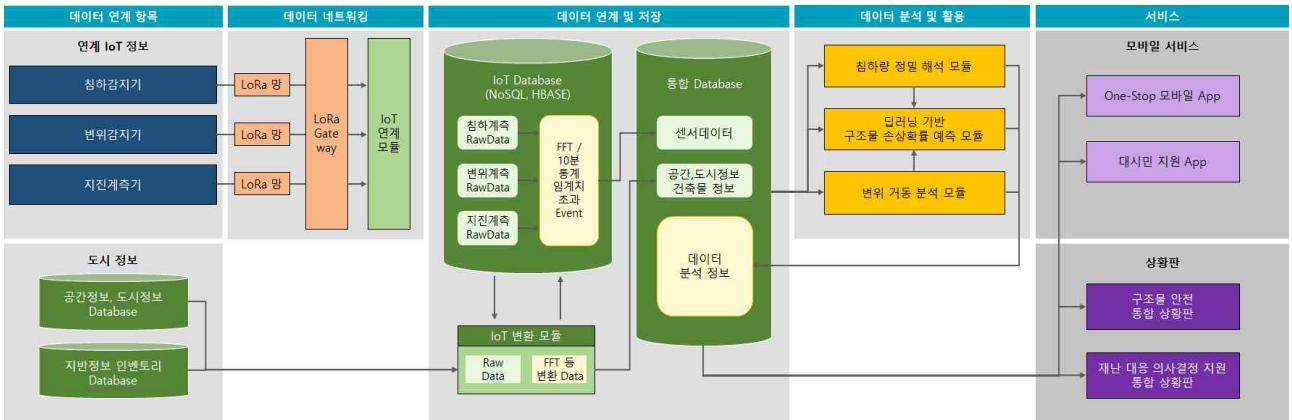


그림 3 제안 구조물 손상화를 예측 모니터링 시스템의 구성

## 2) 구조물 손상화를 예측 모델

기존의 규칙 기반(Rule-based) 방식 및 통계적 방식은 상대적으로 예측 정확도가 낮고 예측 속도가 느린 문제가 있었다. 그리고 전통적인 CNN 방식은 데이터의 질에 따라 정확도가 많이 달라지고, 아주 많은 데이터가 필요한 단점이 있었다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 본 논문에서는 적은 데이터로도 높은 정확도를 얻을 수 있는 1-D CNN 모델[6]을 이용하였다. 아주 안전한 구조물과 아주 위험한 구조물의 데이터로 학습하여 손상화률을 예측했다. 이 때, 데이터셋을 프레임 단위로 나누어서 예측 속도를 빠르게 하고, 전체 프레임들의 손상화률 평균으로 결과를 산출하여 예측 정확도를 높였다. 그림 2는 예측 모델의 성능 평가 결과를 나타낸다. 지진 전 구조물의 손상화률은 낮지만 지진 후 구조물의 손상화률은 높게 예측하였고, 평상시와 재난 발생 시의 손상화률을 비교하여 차이가 크기 때문에 재난 발생 시 붕괴 위험 구조물로 예측하였다.

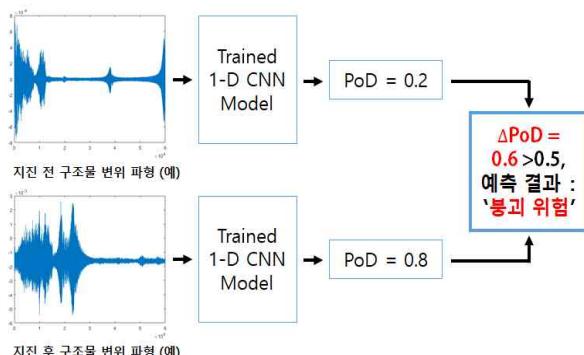


그림 2 예측 모델의 성능 평가 결과

## 3) 구조물 건전성 모니터링을 이용한 예측 시스템

본 논문에서는 구조물 손상화를 예측 시스템 구성을 위해 구조물 건전성 모니터링에 IoT를 결합한다. 우선 구조물의 센서를 통하여 센서값을 획득하고, 통신망을 이용하여 데이터베이스에 전달한다. 데이터베이스에서는 전달 받은 센서값으로 데이터셋을 구축하고, 구조물 손상화를 예측 모델에 전달한다. 예측 모델으로 손상화률을 예측하여 평상시의 손상화률이 기준치 이상이면 손상 및 노후화 구조물으로 판단하고, 평상시와 재난 발생 시의 손상화률을 비교하여 차이가 크다면 재난 발생 시 붕괴 위험 구조물로 판단한다. 그리고 예측한 손상화률을 통해서 구조물의 손상 및 노후화 정도와 구조물의 붕괴 위험도를 판단하고, 모바일 서비스 및 상황판과 연계하여 구조물 관리자와 시민들에게 공유 및 전파한다. 제안한 시스템의 연계도는 그림 3과 같다.

## III. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 구조물 안전을 위하여 구조물 건전성 모니터링을 이용한 구조물 손상화를 예측 시스템에 대해 제안하였다. 본 시스템 활용 시 기존의 방식보다 더 높은 정확도와 빠른 위험 예측 속도를 바탕으로 구조물 붕괴 등의 사고를 예방하고 재난 발생 시 피해 규모 및 범위를 대폭 축소할 수 있을 것이라고 예상한다. 또한, 시민들의 불안을 해소하고 구조물 관리자의 유지 보수에 대한 의사결정을 지원할 수 있을 것이다.

향후 구조물 및 지반 센서 데이터 추가 확보와 딥러닝 모델 기능 고도화를 통하여 예측 성능을 더욱 개선할 수 있을 것으로 생각한다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 2019년 과학기술기반 지역수요맞춤형 R&D지원사업(No. CN19100GB001)과 2016년 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2016R1D1A1B01014776)

## 참 고 문 헌

- [1] Lim. H.Y., Park. C.Y., Cho. S.H., Lee. G., "The Method for Analyzing Potentially Collapsible Aged Buildings Using Big Data and its Application to Seoul," JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design, Vol. 35, No. 2, pp. 139-146, Feb 2019.
- [2] Moon. K.H., "Application and Case Study of Structure Health Monitoring Systems for Building," Architectural Institute of Korea, Vol. 62, No. 11, pp. 31-34, Oct 2018.
- [3] Goodfellow. I., Pouget-Abadie. J., Mirza. M., Xu. B., Warde-Farley. D., Ozair. S., Courville. A., Bengio. Y., "Generative adversarial nets," Proceedings of the 27th International Conference on Neural Information Processing Systems(NIPS 2014), Vol. 2, pp. 2672-2680, Dec 2014.
- [4] Li. Z., Meier. M.A., Hauksson. E., Zhan. Z., Andrews. J., "Machine Learning Seismic Wave Discrimination: Application to Earthquake Early Warning," Geophysical Research Letters, Vol. 45, No. 28, pp. 4773-4779, May 2018.
- [5] Wang. T., Trugman. D., Lin. Y., "SeismoGen: Seismic Waveform Synthesis Using Generative Adversarial Networks," Journal of Geophysical Research: Solid Earth, Nov 2019.
- [6] Abdeljaber. O., Avci. O., Kiranyaz. M.S., Boashash. B., Sodano. H., Inman. D.J., "1-D CNNs for structural damage detection: Verification on a structural health monitoring benchmark data," Neurocomputing, Vol. 275, No. 31, pp. 1308-1317, Jan 2018.