

2025년 추계학술발표대회 : 일반부문

필로티 RC 구조물의 AI 기반 지진 손상 상태 예측 모델 개발

Development of AI-based seismic damage state prediction model for Piloti RC Structures

○정 택 규*

Jeong, Teque

장 학 종**

Chang, Hak-Jong

김 준 희***

Kim, Jun-Hee

키워드 : 내진설계, 필로티 구조물, 최대층간변위비, 인공지능, 장단기 기억 신경망, 시간이력해석

Keywords : Seismic Design, Piloti Structure, MIDR, Artificial Intelligence, LSTM, Time history analysis

대한민국은 판 내부의 안정 지역으로 분류되어 왔으나, 최근 지진 발생 빈도와 규모가 증가하고 있다. 1999년 디지털 관측 체계 도입 이후 연평균 지진 발생 횟수는 약 72.2회로 증가하였으며, 2016년 경주지진(규모 5.8)과 2017년 포항지진(규모 5.4)은 대규모 피해를 초래하며 지진 안전지대에 대한 인식을 변화시켰다. 이에 따라 2017년 12월 이후부터는 2층 이상, 연면적 200m² 이상의 건축물에 내진설계가 의무화되었으며, 필로티 구조 역시 적용 대상에 포함되었다. 그러나 다양한 시기에 건설된 필로티 건축물은 내진설계 여부가 불확실해 지진 시 구조적 위험에 노출될 가능성이 크다. 실제로 도시형 생활주택의 약 88.4%가 필로티 구조이며, 전국 30만여 동 중 22.2%는 내진설계 적용 여부가 확인되지 않아 안전성 검토가 필요하다.

필로티 구조는 지상층을 개방하여 주차장이나 통로로 활용하는 특성상 하부층 강성이 부족하고, 상부와의 수직적 불연속성으로 횡력 저항 성능이 저하된다. 코어와 벽체의 비대칭 배치로 비틀림 응답이 크게 발생하며, 이로 인해 휨·전단 파괴 등 다양한 손상 메커니즘이 나타난다. 이러한 구조적 취약성은 기존 선형 해석이나 정적 평가 방식만으로는 정밀한 예측이 어렵고, 구조 특성과 지진 응답 간의 비선형 상호작용을 반영할 수 있는 데이터 기반 예측 모델 개발이 요구된다.

본 연구는 지진에 취약한 필로티 RC 구조물을 대상으로 손상 상태를 정량적으로 예측하고 자동 분류할 수 있는 인공지능기반 모델을 개발하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 비틀림 영향이 큰 대표적 평면 배치 두 가지를 분석 대상으로 선정하였다. 선정된 구조물은 MIDAS Gen을 활용하여 3차원 유한요소 해석 모델로 구현되었으며, 실제 지진파 100개와 주요 구조 변수(코어 위치, 내력벽 두께, 설계 압축강도, 기둥 단면 치수 등)의 조합을 반영하여 총 3,200개의 해석 데이터를 구축하였다. 해석 결과로 도출된 최대층간변위비(Maximum Interstory Drift Ratio, MIDR)는 내진 성능 평가의 핵심 지표로 활용되어 구조 변수와 지진 응답 특성 간의 상관성을 정량적으로 분석하고 AI 학습 데이터셋으로 구성되었다.

AI 모델링 단계에서는 시계열 특성이 강한 지진 응답 데이터를 효과적으로 처리하기 위해 장단기 기억 신경망(Long Short-Term Memory, LSTM)을 적용하였다. 특히 정적인 구조 변수와 동적인 지진 응답을 동시에 반영하기 위해 Conditional Vector 기법을 도입하여, 구조 조건이 지진과 시계열 전 구간에 걸쳐 영향을 미칠 수 있도록 입력 형식을 설계하였다. 학습 과정은 전체 데이터셋의 80%를 학습용, 20%를 검증용으로 분할하여 진행되었으며, 다양한 하이퍼파라미터 조합을 비교한 결과 최적 모델에서 RMSE 0.1001, MAE 0.0668, R² 0.7154를 기록하였다. 이러한 결과는 제안 모델이 필로티 구조물의 내진 성능 평가와 지진 피해 예측에 효과적으로 활용될 수 있음을 보여 준다.

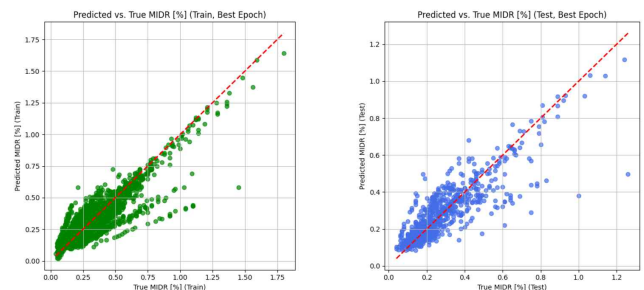


그림 1 최대층간변위비 예측 결과

* 연세대학교 건축공학과 석사과정

** 연세대학교 건축공학과 박사 후 연구원

*** 연세대학교 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Yonsei University, junhkim@yonsei.ac.kr)

이 연구는 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00220019, RS-2021-NR059199).