

# 강제 슬릿댐퍼를 활용한 비대칭 구조의 최적 내진보강설계

## Optimal Seismic Retrofit of Asymmetric Structures Using Slit Dampers

○조 원 희\*      김 진 구\*\*  
Cho, Won-hee      Kim, Jin-Koo

### Abstract

This study aims to achieve the objective of optimum seismic retrofit design of existing structures by satisfying specified limit states with minimal costs. The optimal design method is developed for reinforcing asymmetrical soft-story structures. By leveraging feature importance in machine learning model, this research identifies the variables having the most significant impact on the outcome, and determines the optimal locations of the dampers based on these insights. The developed optimization approach does not require the development of complex algorithms but effectively utilizes nonlinear dynamic analysis for efficient retrofitting designs. It is also expected that this methodology enhances the seismic performance of asymmetric structures using relatively low cost.

키워드 : 슬릿댐퍼, 머신러닝, 필로티 구조물, 최적설계

Keywords : slit dampers, machine learning, soft-first story structure, optimum design

### 1. 서론

기존 건축물의 내진성능을 보강하기 위하여 다양한 형태의 내진보강 기법이 사용되고 있다. 특히 포항 지진 당시 큰 손상이 발생한 필로티구조와 같이 평면 및 수직 비정형성을 가지고 있는 구조물의 경우 내진보강장치의 적정 설치 위치를 선정하는 것이 쉽지 않다 [1].

본 연구에서는 최근 구조공학에 활발하게 적용되고 있는 머신러닝 기법을 활용하여 비대칭 필로티구조를 보강하기 위한 최적 설치 위치 선정 방법을 개발한다. 머신러닝은 컴퓨터가 데이터를 통해 학습하고, 그 학습을 기반으로 예측이나 의사결정을 할 수 있게 만드는 인공지능의 한 분야이며, 본 연구에서는 머신러닝의 예측결과에 가장 큰 영향을 미치는 매개변수를 식별하고 이러한 결과를 바탕으로 슬릿 댐퍼의 최적 배치를 결정한다.

### 2. 해석모델

그림 1은 1층 코너에만 전단벽이 있고 나머지 부분은 기둥

으로 지지 되는 필로티구조물의 구조평면도 및 3D 형상을 나타낸다. 해석 모델은 내진보강 장치의 최적 설치 위치를 선정하기 위한 머신러닝 모델의 학습 데이터를 확보하기 위하여 사용되며, 지진 발생 시 구조적 요소에 불균등한 변형을 초래하는 soft-first story 구조의 특성을 보유하고 있다. 이 구조는 첫 번째 층이 주로 기둥으로 이루어져 있고, 상부 층에서는 기둥이 없이 주로 전단벽이 위치하고 있다. 상부 층의 벽체가 비대칭적으로 위치함으로써, 구조물은 수직 및 평면적 비정형성을 나타내며, 지진 발생 시 큰 수평 및 비틀림 변형이 발생한다.

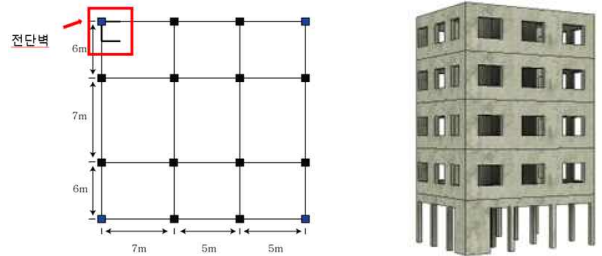


그림 1. 필로티구조 해석모델의 구조평면 및 3D 형상

\* 성균관대학교 대학원 석사과정

\*\* 성균대학교 건설환경시스템공학부 교수

(Corresponding author : Department of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan University, jkim12@skku.edu)

이 연구는 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업으로 지원되었습니다

### 3. 슬릿 댐퍼 해석모델 및 머신러닝 매개변수 설정

해석모델의 내진보강을 위하여 적용된 보강장치는 강제 슬릿댐퍼이며, 내진보강장치의 반복가력 실험으로 구한 데

이터를 기반으로 비선형해석 프로그램 opensees을 이용하여 실험 결과로 얻어진 힘-변위 관계를 모델링하고, 해석 모델의 내진보강에 적용하여 비선형 시간이력 해석을 수행한다. 슬릿댐퍼는 해석모델인 필로티 구조물의 각 기둥 측면에 배치하는 것으로 가정하였다. 1층의 모든 기둥에 고유번호를 지정하고, 기둥의 댐퍼설치유무를 이진수로 매개변수를 정하였다. 그림2, 3은 슬릿댐퍼의 이력거동을 구하기 위한 test setup 및 실험 결과의 그래프이며, 그림4와 5는 opensees를 이용하여 개발된 슬릿댐퍼의 해석 모델 및 실험값과 해석모델을 비교한 그래프이다.

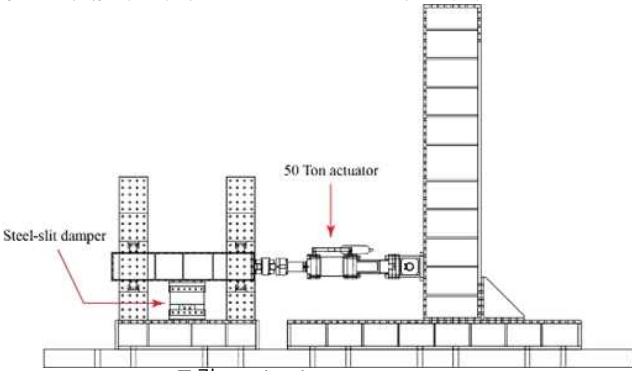


그림 2. slit damper test setup

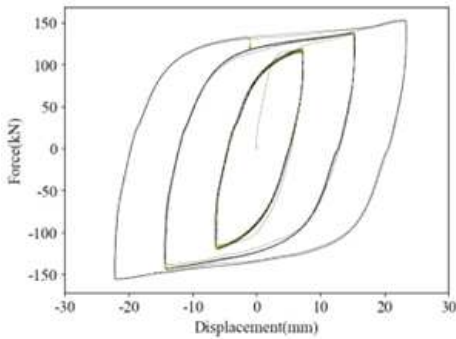


그림 3. 반복가력 실험결과

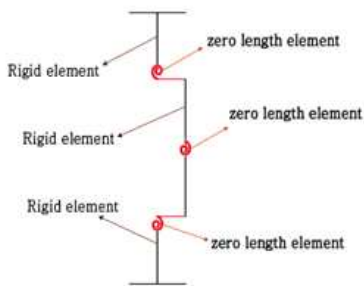


그림 4. 슬릿댐퍼의 opensees 해석모델

#### 4. 머신러닝 모델 학습

그림6은 본 연구 전체과정의 흐름도를 나타낸다. 구조물의 기둥에 설치 되는 댐퍼의 유무를 매개변수로 설정하고 비선형 해석을 통해 약 6400개의 데이터를 머신러닝 모델의 학습데이터로 확보하였다. Random forest, XG

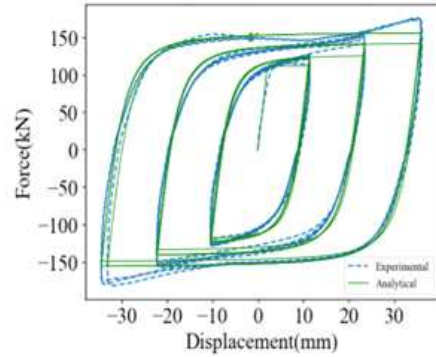


그림5. 실험결과와 opensees 해석모델의 비교

Boosting, ANN (Artificial Neural Network) 등 총 3가지 머신러닝모델의 정확성을 비교 검토하여 가장 적절한 머신러닝모델을 이용하여 내진보강 최적설계를 진행한다.

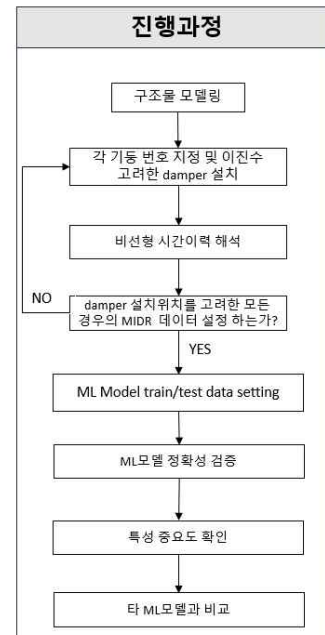


그림6 Flowchart

#### 5. 결론

본 연구에서는 최근 구조공학에 활발하게 적용되고 있는 머신러닝 기법을 활용하여 비대칭 필로티구조를 보강하기 위한 최적 설치 위치 선정 방법을 개발한다. 비선형 해석을 통해 얻은 데이터를 기반으로 머신러닝 모델을 학습하고, 다양한 조건에서 해석모델의 비선형 동적해석을 통하여 학습된 머신러닝 모델의 정확성을 평가하며, 각 매개변수가 예측결과값에 미치는 영향을 보여주는 특성중요도를 바탕으로 구조물의 최적 지진보강설계 방법을 제안할 예정이다.

#### 참고문헌

1. Assefa Jonathan Dereje, Jinkoo Kim 'Optimal seismic retrofit design method for asymmetric soft first-story structures', Steel and Composite Structures, Vol. 81, No. 6, pp. 677-689