인공지능 기반 초고속 복합 재난 구조 성능 예측 기술

Artificial Intelligence-Based Fast-Running Models to Predict Multi-Hazard Structural Performance

신 지 욱*
Shin, Jiuk

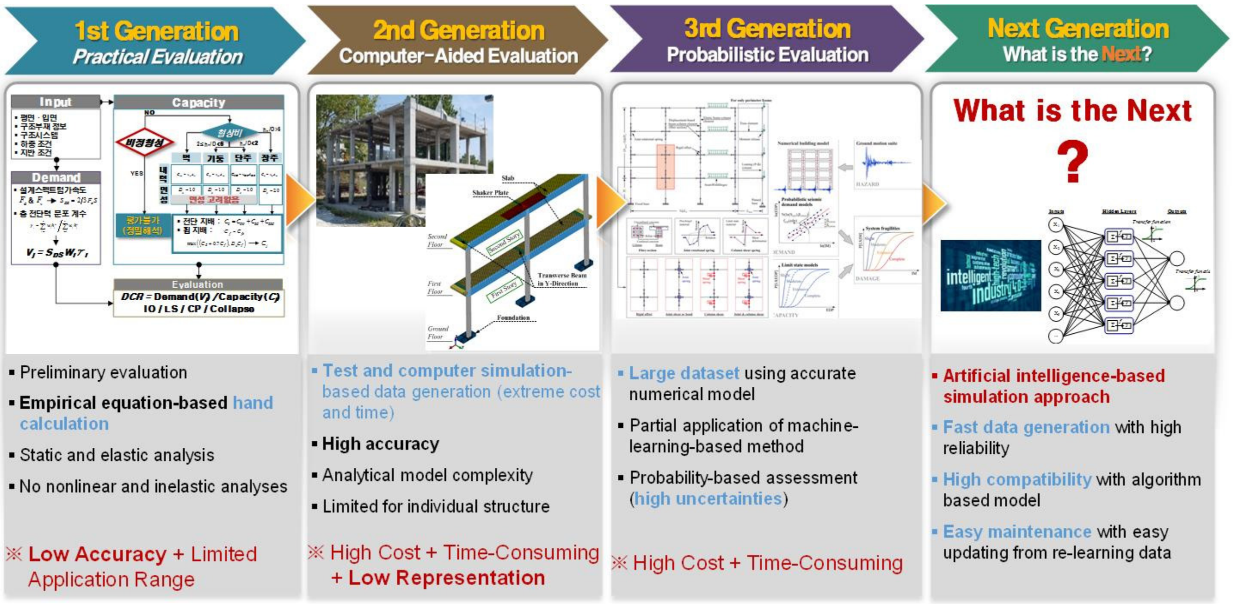
1. 서론

국내에서 내진설계기준이 수립되기 전 건설된 대부분의 건축물은 지진, 폭발 등 다양한 재난에 취약한 특성을 갖는 지진 취약 건축물이라 할 수 있다. 국토교통부의 통계자료에 따르면 국내에 내진설계가 적용된 건축물은 약 10% 수준으로 중규모 이상의 지진 발생 시 심각한 인명 및 재산 피해가 발생할 것으로 예상된다[1]. 2017년 포항 지진에 의해 필로티 구조와 같은 비정형 건축물, 비구조재 등 지역 단위로 심각한 피해가 발생한 바 있다. 1995년 미국에서 발생한 폭발 테러 사건은 목표 건물인 Alfred Murrah 건축물의 심각한 구조 손상 외 폭발에 의한 파장이 확산되면서 피해 규모의 차이는 있지만 인접 건물까지 피해가 발생하였다[2].

* 한국건설기술연구원 수석연구원, 공학박사
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

〈Fig. 1〉 Seismic and blast damage on building structures

최근 이상기후 현상으로 태풍의 규모 및 빈도수가 증가하고 있다. 일례로 부산시에서는 빌딩풍에 의한 실질적 재산 및 인명 피해가 발생하였다. 빌딩풍은 고층건물이 밀집된 도심지역에 발생하는 신종 재난이다. 바람이 건물 사이를 통과하면서 풍속이 최대 2~3배 증폭하는 현상으로, 신축 고층건물 및 기존 인접건물까지 피해가 발생할 수 있다. 이러한 빌딩풍 효과는 건축구조기준에서 정의하는 풍하중에 따라 판단할 수 없으며, 풍동실험 및 전산유체해석 등 지역 단위의 실험 및 해석 기술로 평가할 수 있다.



〈Fig. 2〉 Trend of data generation techniques against disasters

우리나라는 건축물의 재난 성능을 평가할 수 있는 정보를 체계적으로 관리하고 있지 않으며, 전국 단위로 정보를 수집하는 것은 많은 시간과 비용이 소모된다. 이러한 이유로 포항지진 발생 후 약 2개월 동안 전문 인력을 투입하여 현장 점검을 실시하고, 건물의 사용 가능 여부만 판단하였다. 재난에 대한 인명 및 재산 피해를 최소화하기 위해서는 재난 발생 전 또는 발생 즉시 대응 가능한 기술이 필요하다.

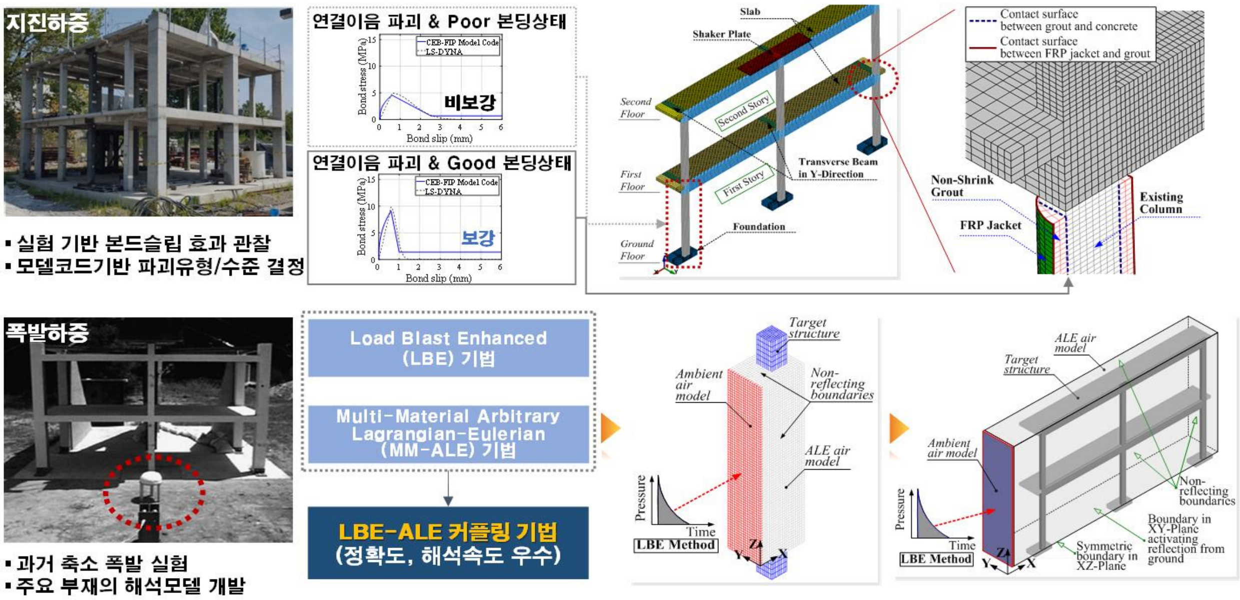
본고는 광역 단위 재난에 신속하게 대응할 수 있는 인공지능 기술 기반의 데이터생성 엔진에 대하여 기술하고자 한다.

2. 건축물 재난 성능 평가 기술 동향

건축물의 재난 관련 구조 안전성 평가 및 데이터 생성 기술은 〈Fig. 2〉와 같이 4세대에 걸쳐서 발전해 왔다.

1세대 기술은 실험 등 경험식을 기반으로 약산식 등의 구조계산식을 활용하였으나, 적용 범위가 제한적이고 비탄성 거동까지 고려하기 어렵다. 2세대 기술은 컴퓨터 등 기술이 발전하면서 실험을 기반으로 컴퓨터 해석 기술이 개발되었다. 이를 통해 복잡한 구조 거동을 더욱 정확히 묘사할 수 있게 되었지만, 컴퓨터 시뮬레이션에 많은 시간이 소모되고 개별 단위 건축물의 컴퓨터 해석에 의존하여 데이터의 대표성이 낮은 단점이 있다. 이후 확률 기반의 평가 기법이 개발되었으며, 지역 단위의 건축물 재난 취약도 예측에 활용되고 있다. 대표적으로 미국 FEMA(Federal Emergency Management Agency)에서 개발한 HAZUS-MH[3)]의 지진 모델은 확률 기반의 지진 취약도 모델을 활용하여 지진에 따른 지역 단위 손실 평가를 수행할 수 있다. 그러나 확률 평가에 대한 불확실성을 개선하기 위해 대표성 있는 건축물에 대한 상세한 컴퓨터 해석 모델이 필요하며, 취약도 곡선 도출을 위하여 많은 양의 해석이 필요하다.

1세대부터 3세대 기술을 통한 지역 단위의 건축물 재난 관련 데이터베이스 구축은 많은 시간, 인력, 비용이 발생할 수 있다. 이러한 기존 기술의 단점을 극복하기 위하여 최근 기계학습을 활용하여 구조물의 재난성능평가 및 성능 등급을 분류하기 위한 데이터 생성 엔진 기술이 개발되었다.



〈Fig. 3〉 Seismic and blast numerical models for collecting input and output dataset[4),5)]

3. 인공지능 기반 초고속 데이터 생성 엔진 기술

3.1 복합재난 대응 인공지능 기술

기계학습 모델은 아래의 4단계에 걸쳐서 개발되며, 검증된 학습 모델은 사용 목적에 따라 적용할 수 있다.

- 1단계: 데이터세트 구축 기술의 개발
- 2단계: 학습·검증·테스트 데이터세트의 설계 및 구축
- 3단계: 기계학습 기반 학습 모델 개발
- 4단계: 학습 모델 검증 과정

본 기사에서 다루는 지진, 폭발 등 복합 재난에 대응하는 신속·최적의 보강 전략 구축을 위해 개발된 인공지능 모델은 〈Fig. 3〉과 같다.

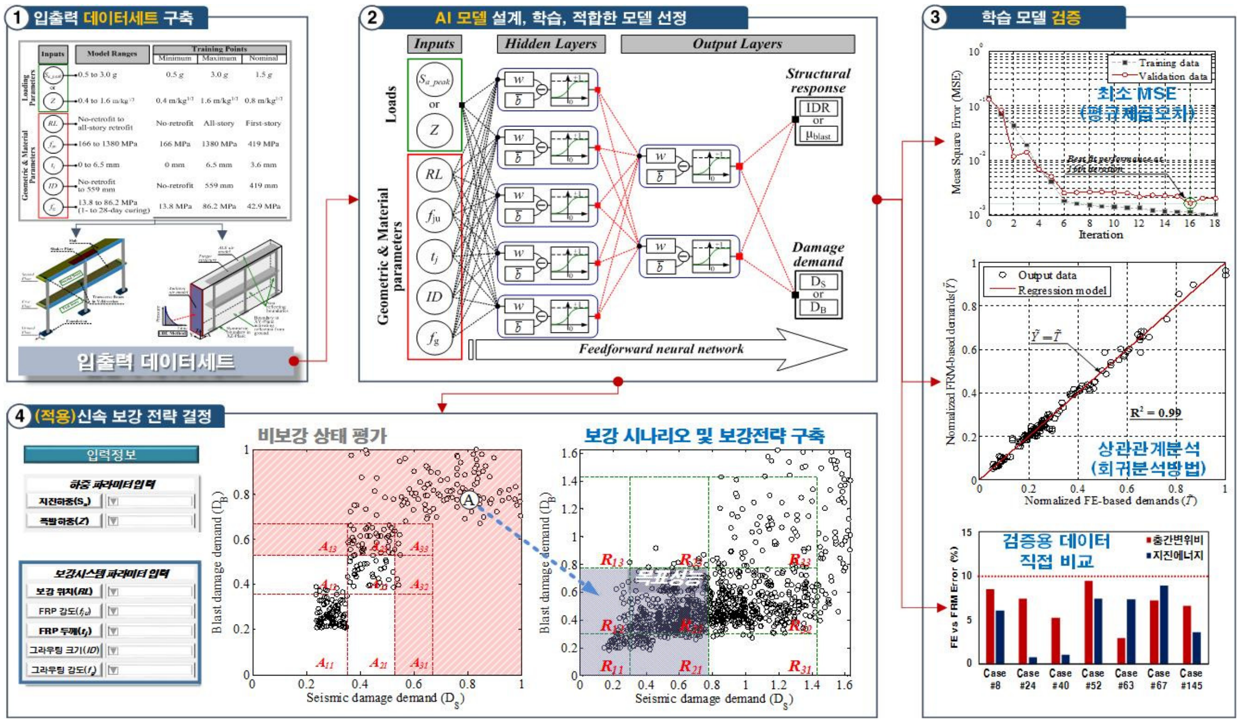
1단계에서는 실제 지진, 폭발에 대한 실험 기반의 건축물 동적 거동 특성을 바탕으로 지진 취약 건축물의 유한요소해석 모델을 개발 및 검증한다.

이후 2단계에서 지진 및 폭발 하중 시나리오와 보강 시스템의 핵심 파라미터에 대한 핵심 영향인자를 도출하여 입력 데이터세트를 설계한다. 해당 입력 정보를 다시 유한요소해석 모델에 적용 후 해석을 통해 사용자가 원하는 출력 데이터를 구축하여 입력-출력 데이터세트를 확보할 수 있다.

3단계는 기계학습 알고리즘을 선정 및 설계하는 과정이다. 이때 다양한 기계학습 모델을 실험하고, 알고리즘 내 활성함수, 파라미터 등을 조정하여 사용자가 정의한 목표에 가장 근접하게 예측할 수 있으며, 학습 속도가 빠른 알고리즘을 선정한다.

마지막 단계는 개발된 기계학습 모델을 검증하는 과정이다. 학습 및 실험에 대한 유한요소해석의 출력값과 기계학습 모델의 예측값 사이의 상관관계를 분석하고, 학습에 사용하지 않은 실험 데이터세트를 바탕으로 오차율을 비교하는 과정을 거친다.

상기 과정을 통해 개발 및 검증된 기계학습 모델은 다양한 용도로 활용될 수 있다. 본고에 언급된 기술은 빠른 속도로 지진 취약 건축물(비보강상태)에 대한 내진 및 내폭 성능을 평가하고, 목표 성능에 도달하지 않는 경우 보강 시스템의 핵심 영향인자를 자동으로 다변화하여 목표 성능 내에서 최적의 보강 전략을 구축하기 위하여 활용된다. 본 절에 언급된 기계학습 모델의 개발 및 적용 과정은 〈Fig. 4〉를 참고할 수 있다. 해당 기술을 통해 실시간 수준으로 목표 건축물의

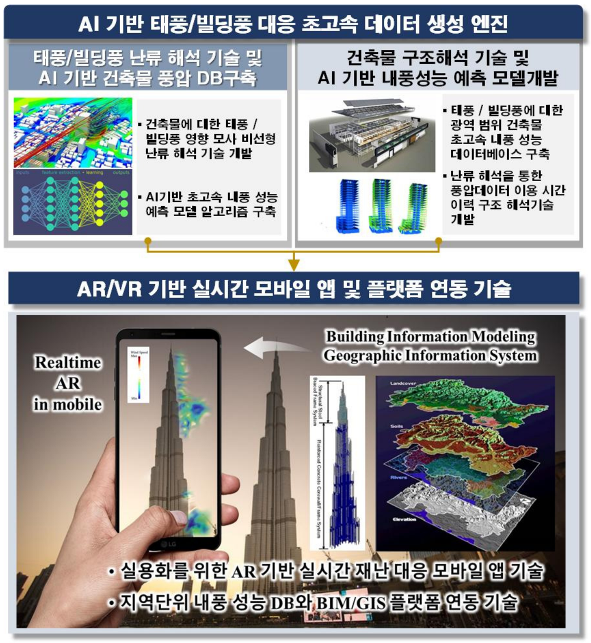


〈Fig. 4〉 Machine-learning based data generation engine[3)]

비보강 상태에 대한 내진 및 내폭 성능평가와 최적 보강 전략을 수행할 수 있다.

3.2 빌딩풍 실시간 예측 기술

빌딩풍 효과를 예측하기 위하여 도시 단위의 풍동 실험과 전산유체해석을 활용할 수 있다. 그러나 풍환경실험 및 전산유체해석은 많은 시간과 비용이 발생하는 한계가 있다. 이를 극복하기 위한 목적으로 최근 한국건설기술연구원은 인공지능 기술을 활용한 빌딩풍 예측 원천 기술을 개발 중에 있다. 해당 기술은 빌딩풍 발생의 핵심 영향인자인 바람 시나리오(바람 속도, 바람 방향 등), 건축물 배치(인접 건물과 대상 건물의 공간 정보), 인접 및 목표 건물 높이 정보 등을 포함하여 입력 데이터세트를 설계하였다. 해당 데이터세트 정보는 전산유체해석에 연동하여 건물 표면에 발생하는 빌딩풍 효과에 의한 증폭된 풍압을 측정하였다. 전산유체해석을 통해 구축된 입·출력 데이터세트는 인공지능 모델의 학습 및 검증에 활용하였다. 해당 인공지능 모델은 건축물 성능 평가를 위해 개발된 다른 학습 모델과 결합하여 빠른 속도로 빌딩풍에 의한 건축물 안전 평가까지 가능하도록 기술이 개발되고 있다.



〈Fig. 5〉 Research scheme of real-time prediction technology for skyscraper wind effect

현재 연구 개발 중인 기술의 최종 목표는 결합형 인공지능 엔진을 모바일 앱에 탑재하여 간단한 입력

정보만으로 증강현실 기술을 바탕으로 빌딩풍 효과를 가시화하여 누구나 쉽게 사용할 수 있는 재난 기술을 개발하는 것이다.

4. 결언

본 기사는 광역 단위로 피해를 입힐 수 있는 재난에 실시간으로 대응하기 위해 개발이 완료되었거나 현재 개발 중인 인공지능 기반의 재난 데이터생성 엔진을 소개하였다. 기존의 개별 단위 건축물에 대한 복잡한 컴퓨터 모델링 및 시뮬레이션 기술은 지역 단위의 재난 성능 데이터베이스를 빠른 속도로 구축하기 어렵다. 이러한 이유로 복잡한 컴퓨터 해석 과정 없이 간단한 정보만으로 사전에 재난 발생 피해 규모를 파악할 수 있는 기술이 필요하다. 이를 위하여 예측 정밀도 등을 개선하는 추가적인 연구가 필요하지만, 본 기사에 기술된 인공지능 기반의 데이터생성 엔진이 재난 발생 전 데이터베이스를 제공할 수 있는 기술로 활용되어 재난으로 인한 소중한 인명과 재산 피해가 최소화되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 학연융합사업으로 수행 중 "재난환경 유동인자를 고려한 인공지능 기반 Building profile 개발"의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

1. Shin, J., Choi, H. S., & You, Y. C., "BIM/GIS Platform-Based Seismic Damage Assessment System for Building Structures", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.20, No.1, pp.18~22, 2020, Retrieved from file:///C:/Users/user/Downloads/00020_001_18.pdf
2. Shin, J., Scott, D. W., Stewart, L. K., Jeon, J. S., "Multi-hazard assessment and mitigation for seismically-deficient RC building frames using artificial neural network models", Engineering Structures, Vol.207, 2020, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.110204
3. FEMA (2012). Multi-Hazard Loss Estimation Methodology, Hazus-MH 2.1 Technical Manual-Earthquake Model. USA: Federal Emergency Management Agency.
4. Shin, J., Stewart, L. K., Yang, C. S., Scott, D. W., "Implementation of Bond-Slip Performance Models in the Analyses of Non-Ductile Reinforced Concrete Frames Under Dynamic Loads", Journal of Earthquake Engineering, Vol.24, No.1, pp.129~154, 2020, doi: 10.1080/13632469.2017.1401565
5. Shin, J., & Jeon, J. S., "Retrofit Scheme of FRP Jacketing System for Blast Damage Mitigation of Non-Ductile RC Building Frames", Composite Structures, Vol.228, 2019, doi: 10.1016/j.compstruct.2019.111328