

딥러닝 기반 토양 액상화 위험도 예측 재난 모니터링 시스템

김경영, 서영주, 김경준

포항공과대학교 인공지능연구원

{gy_kim, yjsuh, kimkj23}@postech.ac.kr

A Disaster Monitoring System for Predicting Soil Liquefaction Risk Based on Deep Learning

Gyeong Yeong Kim, Young Joo Suh, Kyung Jun Kim

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

요 약

2017년 포항 지진에 따른 액상화 현상이 나타남으로써 실시간으로 액상화를 예측하는 방법 및 시스템의 중요성이 커지고 있다. 기존 방식에서는 액상화를 평가하는 데 필요한 지표 내용이 많고, 각각의 지표를 도출하기 어려울 뿐 아니라, 도출하는 식들이 대부분 경험식에 의존하는 제한점을 가진다. 본 연구에서는 딥러닝 기반 네트워크 방식을 통해 기존 액상화 위험도 평가 방식의 복잡도를 최소화하며 국내적인 특성을 고려한 평가 모델과 액상화 안전도를 실시간으로 예측하고 알리는 시스템을 제안한다.

I. 서 론

지진에 의한 사면활동에 의한 지반 침하와 위치 변동의 피해가 발생할 수 있는 액상화는 심한 경우 건물 하중 지반이 약해져 구조물의 붕괴로 이어질 수 있다. 2017년도 포항 지진으로 홍해읍, 마천리, 학선리에 액상화 현상이 나타난 사례를 통해 국내의 액상화의 사전 예측과 손상 건물에 대한 보강작업 등이 주목을 받고 있다 [1].

기존의 액상화 관련 연구들은 해당 지반의 현장실험, 실내실험을 통해 통합적으로 결정되되, 많은 경우 임상곡선에 맞춰 위험도를 보수적으로 판단하는 형식으로 진행된다. 그러나 경험식에 적용된 많은 케이스들이 한국 지반과 성격이 달라 적용하기에 까다로우며, 액상화를 평가하기에 필요한 지표들이 직접 실험을 통해 도출하기도 어렵고, 도출하기에 오래 걸리는 문제를 지닌다. 액상화의 경우 지진을 통한 다른 피해양상과는 달리 공터, 모래가 많은 지형 등에서 나타날 수 있다. 이러한 지형적 특성은 2017년 포항 지진 액상화 사례에서 보듯이 액상화를 판단할 수 있는 좋은 예를 제공한다. 이외에도 액상화는 다양한 지역에서 발생할 수 있어서 실시간으로 인지 및 액상화 진조를 파악하는 것이 중요하다. 하지만 현재 그 위험성을 실시간 모니터링 할 수 있는 시스템 등이 전무한 실정이다.

본 연구는 국내 시추 데이터, 액상화 문제가 나타난 사례들의 데이터를 딥러닝 기반 네트워크에 적용한 액상화 안전도 예측 시스템을 제안한다. 본 시스템의 정확도 검증은 기존에 도출한 공식의 결과값과 비교하여 평가하였으며, 제안 시스템을 통해 실시간으로 특정 지역의 액상화 위험을 알릴 수 있는 시스템을 제안한다.

II. 딥러닝 기반 지진 액상화 위험도 예측

1) 액상화 위험도 평가 모델

액상화를 평가하는 방식은 크게 예비평가, 간이평가, 상세평가 3가지로 진행되며 [2], 이에 대한 설명을 그림 1을 통해 도식화하였다.

1차 예비평가는 대상 지반 주상도, 입도 분포 등 지반 자료의 수집 및

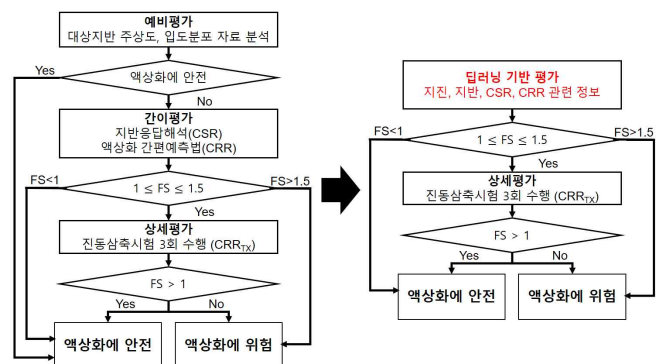


그림 1 액상화 위험도 평가 모델(기존, 제안)

분석을 진행하여 지진에 상관없이 액상화가 절대 나타날 수 없는 지반 상황들을 여과하는 역할을 한다. 2차 간이평가는 지진과 지반의 상황에 맞춰 나타날 지진전단응력(Cyclic Stress Ratio, CSR)과 액상화에 대한 저항 수준을 판단하는 액상화 전단저항응력(Cyclic Resistance Ratio, CRR)의 비율로 액상화안전도(Factor of Safety, FS)를 구하여 액상화 여부를 판별한다. 이때 CSR은 지반 응답 스펙트럼 조사(Response Spectrum Analysis, RS), CRR은 측정하는 방식에 따라 표준관입시험(Standard Penetration Test, SPT), 원추 침투계 테스트(Cone Penetration Test, CPT), 지반 내 마찰 속도를 통해 도출할 수 있으며, 이에 대한 설명은 표 1로 정리하였다[3]. CSR과 CRR을 구하는 모든 식은 각 요소에 대한 많은 보정값들과 복잡한 임상 식으로 구성되었으며, CRR의 많은 경우가 액상화 위험도에 비교해 낮게 책정되는 경향을 확인하였다. 또한, 국외 지역의 액상화 사례로만 이뤄지기 때문에 해당 경험식들이 국내 상황에 적용하기엔 신뢰성이 떨어진다. 3차 상세평가는 해당 지반의 시료를 통해 실내진동삼축실험을 세 차례 진행해서 나온 CRR값을 토대로 최종적으로 결정한다.

본 연구에서는 실시간으로 액상화 상황을 알릴 수 있는 서비스를 염두에 두어 2차 간이평가까지의 액상화 안전도 평가를 딥러닝 기반 모델로 개선하는 것을 목표로 두었다.

표 1 간이평가의 평가지표 및 도출식

기호	도출방법	식
FS		$FS = \frac{CRR}{CSR}$
CSR	RS	$0.65 \times \frac{a_{\max}}{g} \times \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \times r_d$
CRR _{7.5}	SPT	$\frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{50}{(10(N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200}$
	CPT	$\begin{cases} 0.833(0.001 \times (q_{dN})_{CS}) + 0.05 & \text{if } (q_{dN})_{CS} < 50 \\ 93(0.001 \times (q_{dN})_{CS})^3 + 0.08 & \text{if } (q_{dN})_{CS} > 50 \end{cases}$
	Vs	$0.03 \left(\frac{V_{sl}}{100} \right)^2 + 0.9 \left(\frac{1}{V_{sl}^* - V_{sl}} - \frac{1}{V_{sl}^*} \right)$
CRR		$CRR_{7.5} \times MSF = CRR_{7.5} \times \left(\frac{M_w}{7.5} \right)^n$

2) 딥러닝 기반 액상화 위험도 평가

딥러닝 기반 액상화 평가 모델에 대한 설명은 그림 2를 통해 도식화하였다. 본 모델의 입력값들은 예비평가와 간이평가에서 쓰이는 매개변수들을 한 입력 레이어(Input Layer)로 모아서 진행한다. 액상화 데이터 수집을 위해 기존 국내에서 발생한 규모 5 이상의 지진 중 액상화가 발생한 지역의 데이터와 220가지 액상화 사례들을 대상으로 액상화 데이터를 구축하였으며 [4], CSR/CRR 정보는 한국 내 수집된 시추 정보들을 토대로 시추 정보를 구축하였다 [5]. 위치마다 시추방법이 다르게 존재할 수 있기 때문에 필요한 매개변수가 존재하지 않는 경우 다른 주어진 정보들 값을 토대로 연계된 값을 대입하였다. 입력부에 가져지는 정보들은 총 40차원으로 지정된다. 제안 모델의 네트워크는 Fully Connected(FC) 레이어를 통해 각 특징점이 될 수 있는 상황을 80차원으로 만들고, 이에 대한 학습은 Softmax 손실함수를 통해 최적화 작업을 거쳐 진행한다. 이에 따른 출력할 값은 총 세 가지로써, 액상화에 안전, 주의, 위험에 대한 확률값이 나오도록 하며, 주의의 경우 상세평가로 진행하는 역할을 가진다. 특별히 지반의 매개변수는 일반적으로 대표하기 어려운 특성을 보이는데, 그 특성을 고려하여 각 매개변수의 변화도 값을 데이터 증강으로 적용하여 학습시켰다.

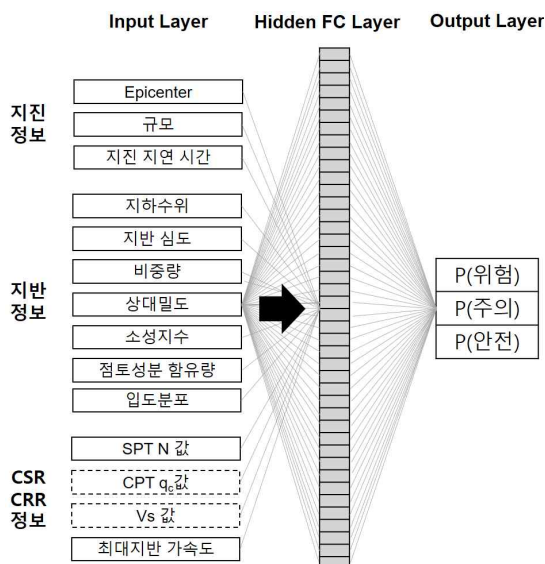


그림 2 딥러닝 기반 액상화 평가 모델

실제로 2017년도 포항 지진으로 액상화가 발생한 지역의 정보들을 적용하여 도출한 결과, 모든 지역에서 액상화 위험의 확률이 가장 높게 나오는 것을 확인하였다.

3) 액상화 위험도 예측 시스템

액상화의 위험도를 알릴 수 있는 모델은 실시간에 가까운 재난 알람을 통해 그 필요성을 얻을 수 있다. 따라서 액상화 위험 수준이 도출됨에 따라 One-Stop 형식으로 중앙 재난관리 시스템, 일반 시민, 액상화 해당 지방의 건물 관리자에게 알릴 수 있는 효과적인 시스템을 제안한다. 시스템은 다음과 같이 동작한다.

본 시스템에서는 각 위치에서의 지반 정보들을 사전에 구축해놓는 상태를 고려한다. 지진 시 지진의 규모와 진앙 위치에 대한 정보가 지진계를 통해 확인되고, 해당 정보는 센서를 통해 액상화 평가 시스템 시스템으로 전송한다. 전송된 데이터에 따라 각 지역별 지진정보를 가미한 액상화 위험 확률을 확인하는데, 결과로 위험도마다 취해지는 방식을 달리한다. 만약 주변이 ‘안전’인 경우, 액상화와 관련된 알람을 할 필요가 없게 되며, ‘위험’인 경우, 해당 지역의 직경 500m에 있는 사람들에게 모바일로 해당 위험 알람을 보내고, 액상화에 대한 안전조치에 내용을 추가로 보내도록 설정한다. ‘주의’인 경우, 근처에 위험 지역이 있으면 위험 지역과 동일하게 취급하여 진행하되, 그렇지 않은 경우 해당 지진 수준에 맞는 진동삼축 실험 결과를 예측하여 위험도를 측정할 수 있도록 설정한다. 기존 경험식 중심의 모델에서는 액상화 위험도를 도출하기 위해 이르면 시간 단위에서 하루 단위로 걸리나, 본 모델을 통해서도 초 단위로 결과를 도출 후 알릴 수 있다.

III. 결론 및 향후 연구 방향

액상화 위험도 평가 모델을 통해 기존의 평가와 국내 특화된 시스템으로써 액상화의 위험도를 세밀하고 신속하게 전달할 수 있는 시스템으로 구축될 가능성을 확인하였다. 향후에 이에 대한 모델에서의 매개변수 부분을 고도화하고 실증함으로써 현장에 실제 적용할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고 문헌

- [1] Park, Sung-Sik, et al. "A Simple and Sustainable Prediction Method of Liquefaction-Induced Settlement at Pohang Using an Artificial Neural Network." Sustainability 12.10 (2020): 4001.
- [2] 이태형. "기존시설물의 기초및지반 내진성능평가 및 향상요령 보완·개정." [공공저작물 연계] 한국시설안전공단 발간자료 (2011): 0-0.
- [3] Youd, T. Leslie, and Izzat M. Idriss. "Liquefaction resistance of soil s: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils." Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering 127.4 (2001): 297-313.
- [4] Cetin, K. Onder, et al. "Dataset on SPT-based seismic soil liquefaction." Data in brief 20 (2018): 544-548.
- [5] Integrated DB Center of National Geotechnical Information, SPT Databased Available at 542. 2015. Available online: <http://www.geoinf.o.or.kr>