

## 인공신경망 성능 향상을 통한 사질토 지반 말뚝의 극한지지력 산정

### A Study on Predicting the Ultimate Bearing Capacity of Pile in Cohesionless Soil by Improving the Performance of Artificial Neural Networks

한재혁<sup>1)</sup> · 정종원<sup>2)</sup>

Han, Jae-Hyeok · Jung, Jongwon

말뚝기초는 지반이 불안정한 지역에서 구조물의 무게를 지반의 하부에 위치한 단단한 흙으로 전달하도록 기초를 설계하는 방법이다. 말뚝의 극한지지력은 말뚝 및 지반의 물성을 포함한 많은 요소들에 영향을 받기에, 정확한 예측을 위하여 많은 시험과 시간이 요구된다. 이에 자갈다짐말뚝의 다중회귀분석을 통한 극한지지력 예측(Bong, 2017) 등 여러 연구가 진행되었는데, 본 연구에서는 인공신경망을 사용하여 사질토에서 말뚝의 극한지지력을 산정하는 기법을 개발하여 시간과 비용을 절감하고자 한다.

말뚝의 극한지지력은 Eq. (1)을 활용하여 이론적으로 예측할 수 있다(Meyerhof, 1951; 이인모, 2017).

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (1)$$

$$q_p = \sigma'_v N_q \quad f_s = \sigma'_v \tan 20^\circ \quad p = \pi d \quad Q_p = q_p A \quad Q_s = f_s p \Delta L \quad (2)$$

$Q_u$  = 말뚝의 극한지지력,  $Q_s$  = 말뚝의 극한주면마찰력,  $Q_p$  = 말뚝의 극한선단지지력

본 연구에서의 입력변수 및 극한지지력은 Eq. (1), Eq. (2)을 활용하여 얻어진 값을 이용하여, 인공신경망 성능 향상 연구를 수행하였다. 모델의 입력변수는  $\gamma$ ,  $N_q$ ,  $D$ ,  $L$ 이다(Table 1). 기존 문헌의 데이터를 바탕으로 입력변수의 범위를 정하고, Eq. (1)을 활용하여 극한지지력을 산정하였다. 산정된 극한지지력에 오차를 적용하여, 차후 실제 현장에서 얻은 값과 유사한 형태를 표현하였다.

Table 1. Input parameters used in artificial neural network model

| Symbols  | Properties                | Range      |            |
|----------|---------------------------|------------|------------|
|          |                           | min        | max        |
| $\gamma$ | Unit weight of soil       | $18kN/m^3$ | $23kN/m^3$ |
| $N_q$    | Bearing capacity factor   | 12         | 45         |
| $D$      | Pile diameter             | 200mm      | 800mm      |
| $L$      | Pile length               | 4m         | 14m        |
| $Q_u$    | Ultimate bearing capacity | 37.85kN    | 5057.64kN  |

연구에는 Gaussian Process와 ANN(Artificial neural network)을 활용하였다. 인공신경망의 뉴런 수 10개와 은닉층 수를 1층 설정하고, 입력변수 수와 조합, 데이터 개수, 교차 검증 계수를 변경하며 각 조건의 증감에 따라 모델 성능에 어떤 영향을 미치는지 비교 분석하였다. 두 모델의 성능을 회귀 평가 지표인

1) 충북대학교 토목공학부 석사과정(hjh94522@chungbuk.ac.kr)

2) 충북대학교 토목공학부 부교수(jjung@chungbuk.ac.kr)

RMSE(Root mean square error)로 나타내었는데, RMSE의 Eq. (3)은 다음과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y})^2} \quad (3)$$

$y_i$  = 실제값,  $\hat{y}$  = 예측값,  $N$  = 데이터 개수

학습 간 인공신경망의 데이터 개수와 입력변수 수에 따른 RMSE(Root mean square error) 경향을 각각 Fig. 1, Fig. 2에 표시하였다. 학습 결과, Gaussian Process와 ANN의 극한지지력 추정 성능은 오차 없는 데이터에 대해 RMSE가 각각 0.13, 1.04로 매우 높은 정확도를 보인다. 학습에 사용한 데이터 개수가 증가할수록 성능이 향상되며, 입력변수는 계산에 이용된 4개 미만으로 학습 시 낮은 성능을 보이고, 4개를 초과해도 성능에는 큰 영향을 끼치지 않는다. 이는 입력변수가 정역학 공식으로 계산된 극한지지력 추정에 4개 중 한 개만 제외되도 제대로 된 예측을 할 수 없고, 4개보다 더 추가되어도 모델이 불필요한 변수로 판단하기 때문으로 사료된다. 이를 통해 성능 향상을 위한 최소 조건으로 입력변수 수 4개, 데이터 개수 1,000개 이상이 필요함을 제안한다.

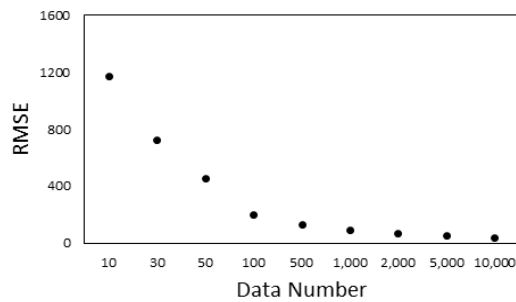


Fig. 1. RMSE of ANN by the number of data

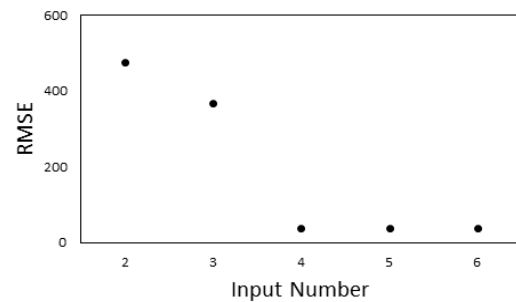


Fig. 2. RMSE of ANN by the number of input

## 감사의 글

본 연구는 “행정안전부 극한 재난대응 기반기술개발사업의 연구비 지원(2018-MOIS31-009) 및 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(과제번호: 20CTAP-C153021-02)”으로 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. 이인모 (2017), 기초공학의 원리, 씨아이알, 서울, pp. 107~178.
2. Bong, T. H. (2017), Prediction of ultimate bearing capacity of soft soils reinforced by gravel compaction pile using multiple regression analysis and artificial neural network, Journal of Korean Geotechnical Society, Vol. 33, No. 6, June, 2017, pp. 27~36 (In Korean).
3. Meyerhof, G. G. (1951), The ultimate bearing capacity of foundations, Géotechnique, Vol. 2, Issue. 4, December, 1951, pp. 301~332.