

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 (1) 정종원 (2)

(1)충북대학교 공과대학 토목공학부 석사과정

(2)충북대학교 공과대학 토목공학부 부교수

서론

- 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 본 연구에서는 인공신경망을 사용하여 사질토에서 말뚝의 극한지지력을 예측하는 기법을 개발하여 시간과 비용을 절감하고자 한다.

말뚝의 정역학적 극한지지력 산정

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

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

값	식	풀이
Q_p	$q_p \times A$	q_p =단위선단지지력, A =단면적
q_p	$\sigma_v' \times N_q^*$	N_q^* =내부마찰각에 영향 받는 지지력 계수
Q_s	$f_s \times p \times \Delta L$	$p = \pi d$
f_s	$\sigma_v' \times \tan 20^\circ$	20° : 강말뚝의 벽면 마찰각
σ_v'	$(\gamma - 9.81) \times L$	-

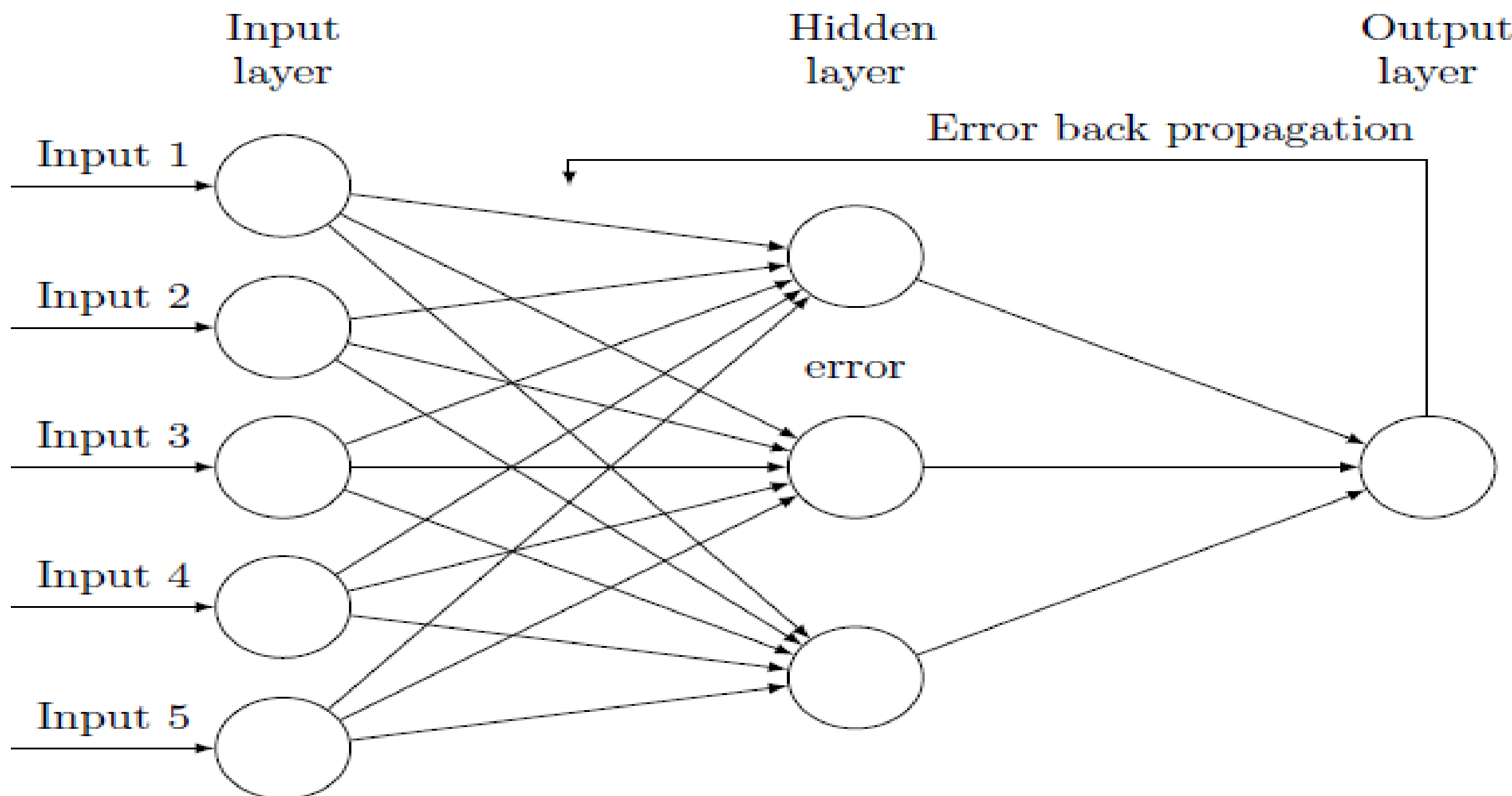
- 위 식을 모두 풀어 나열했을 때, 서로 독립적인 값을 선정하여 입력 변수로 채택하였다.

- 기존 문헌을 바탕으로 입력변수의 범위를 정하고, 계산된 극한지지력에 오차를 적용하여, 실제 현장에서 얻은 값과 유사한 형태를 표현하였다.

값	물성치	범위	
		최소	최대
γ	흙의 단위 중량	$18kN/m^3$	$23kN/m^3$
N_q^*	지지력 계수	12	45
D	말뚝 직경	200mm	800mm
L	말뚝 길이	4m	14m
Q_u	극한 지지력	37.85kN	5057.64kN

인공신경망(ANN, Artificial Neural Networks)

- 인공신경망은 인간의 뉴런을 모사한 알고리즘이다.
- 노드(Node)가 연산을 수행하며, 역할이 동일한 노드끼리 층을 이룬다.
- 데이터를 받는 층을 입력층, 학습이 이뤄지는 층을 은닉층, 결과를 출력하는 층을 출력층이라 한다.
- 본 연구에서는 MLP(Multi Layer Perceptron) 알고리즘을 사용하였다.
- MLP는 오류 역전파법으로 예측값과 실제값에 대한 오차를 바탕으로 스스로 학습한다.



MLP 모식도

성능 평가 지표

- 모델의 성능을 회귀 평가 지표인 RMSE(Root Mean Square Error)로 확인하였으며, 그 식은 다음과 같다.

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

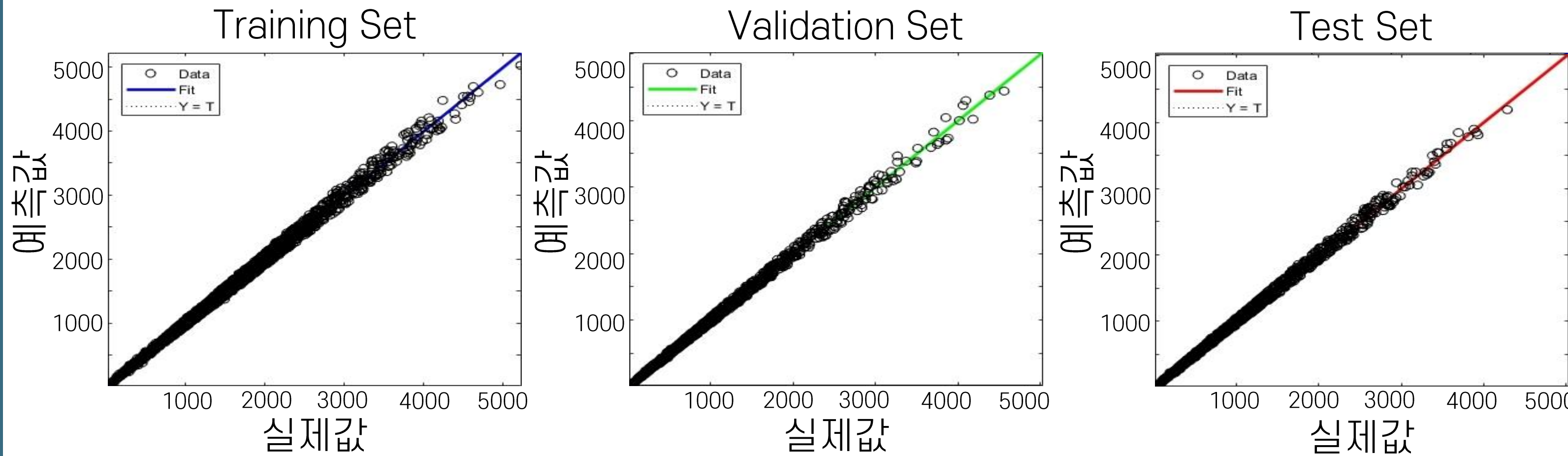
y_i = 실제값

$\hat{y}$ = 예측값

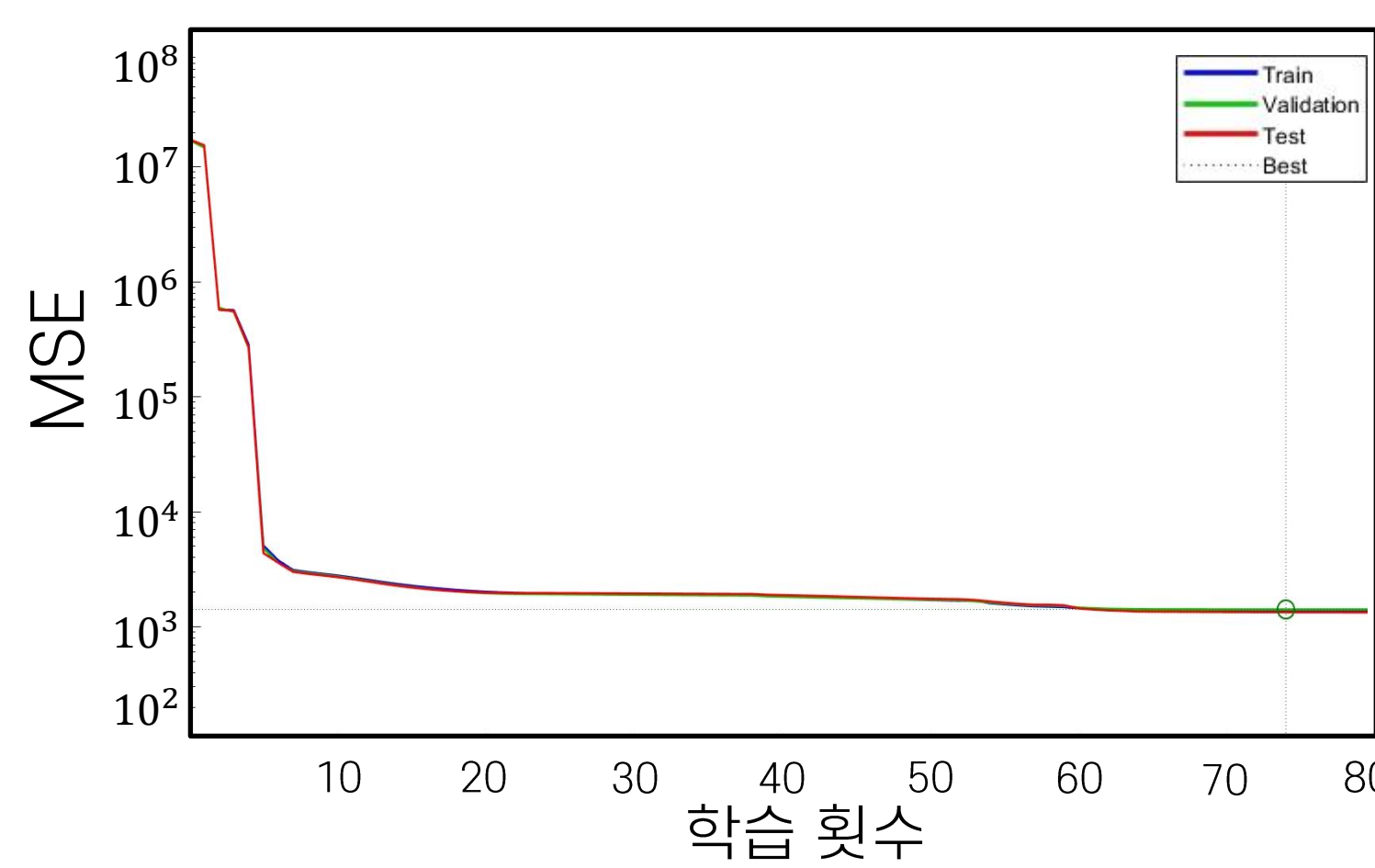
N = 데이터 개수

학습 과정

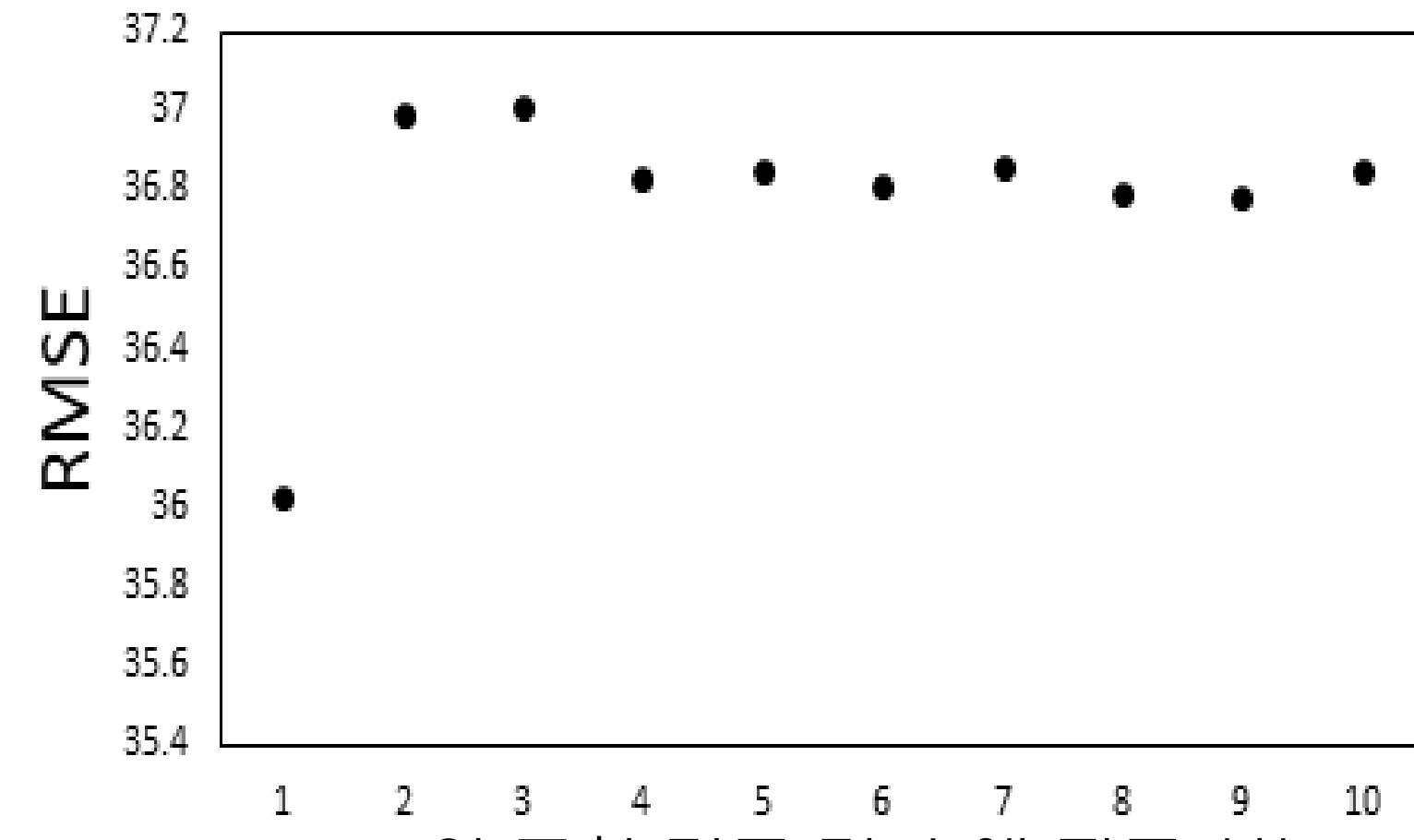
- 인공신경망의 성능 비교를 위해, 머신러닝 방법 중 하나인 GP(Gaussian Process)를 이용하였다.
- 인공신경망의 은닉층 노드 수를 10개, 은닉층 수를 1층으로 설정하였다.
- 두 모델을 이용해 입력변수 수와 조합, 데이터 개수를 변경하며 각 조건의 변화에 따라 성능에 어떤 영향을 미치는지 비교 분석하였다.



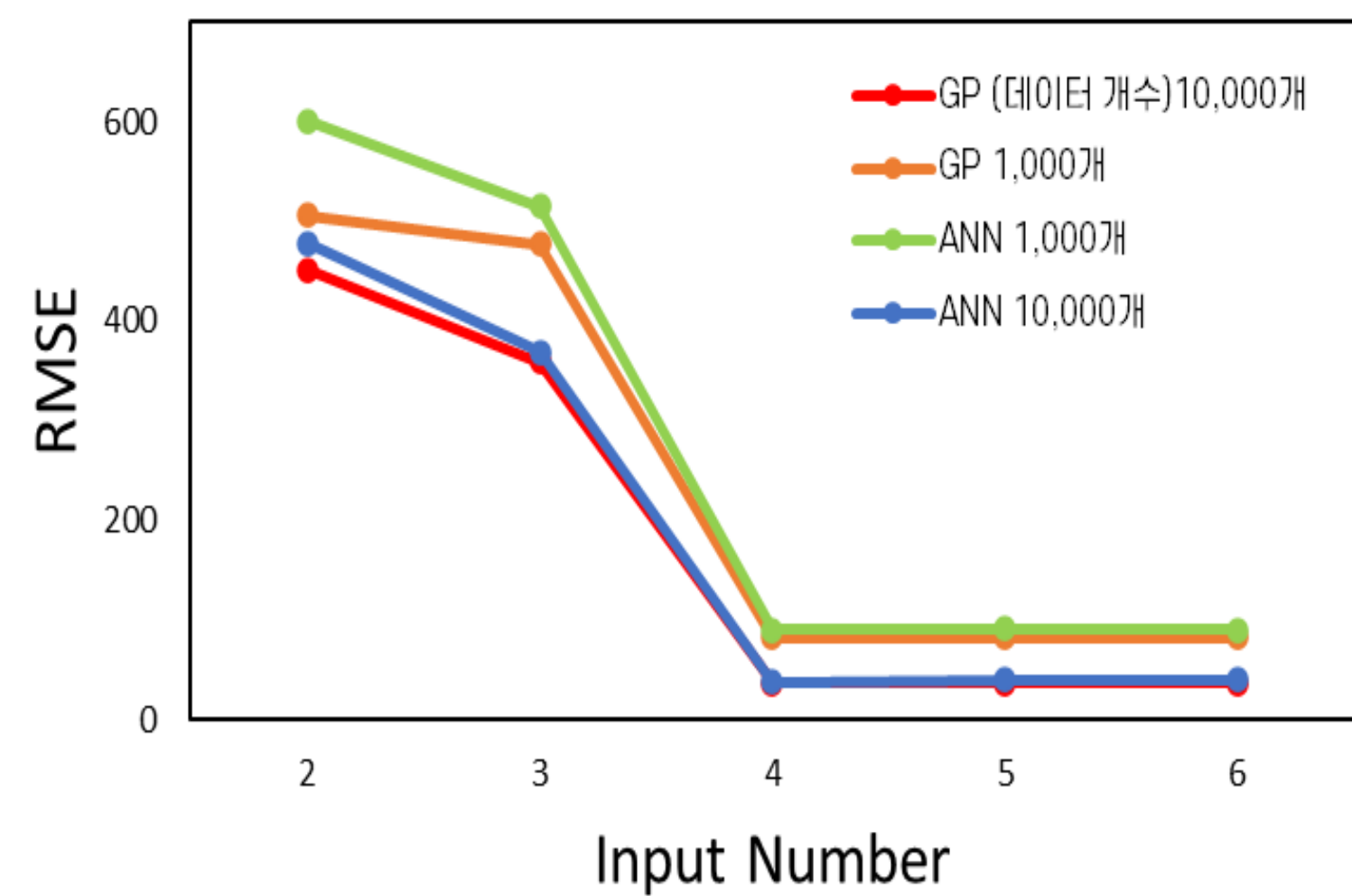
Response Plot For Each Dataset of ANN



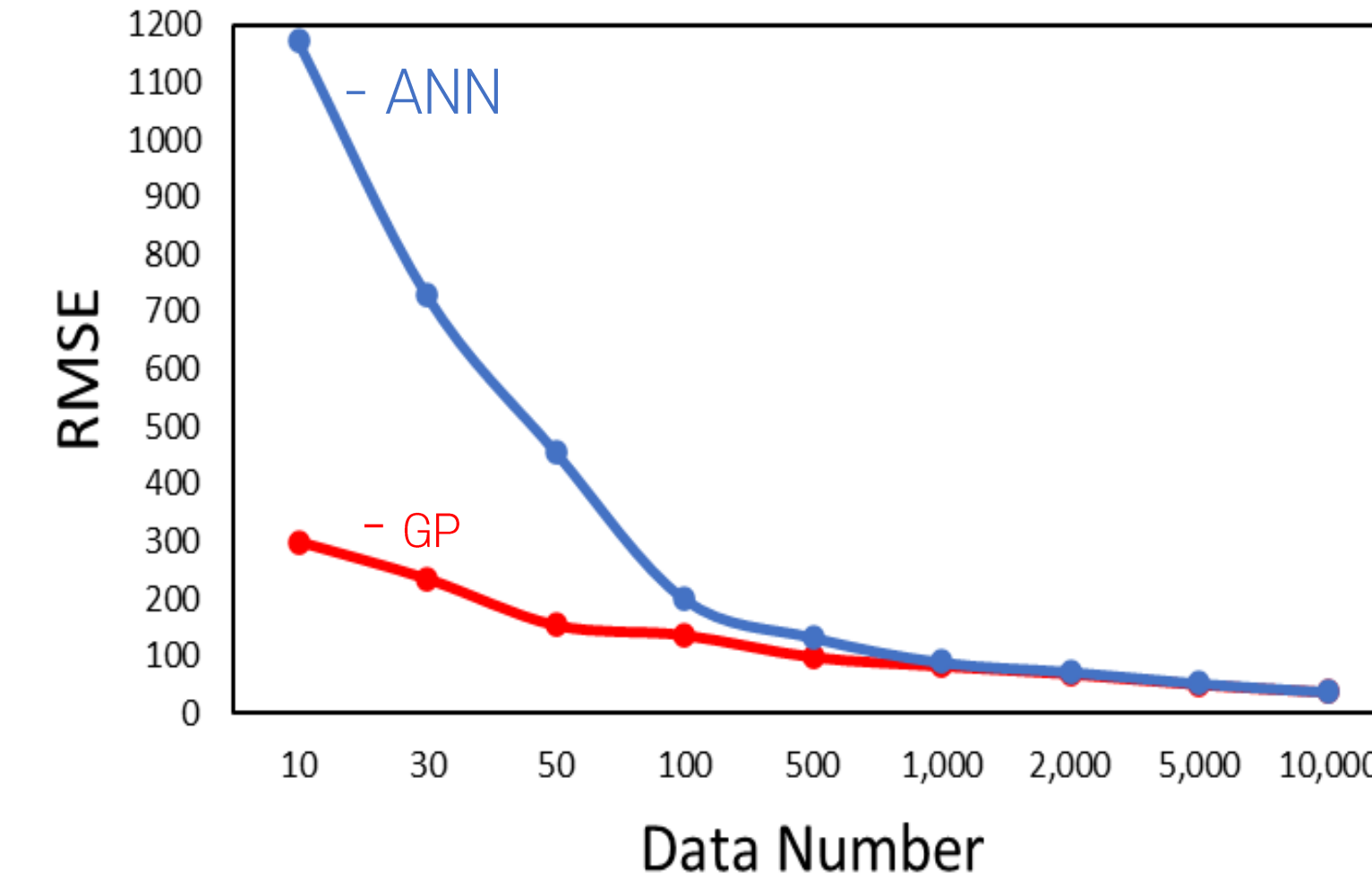
ANN의 학습 간 성능 변화



GP의 교차 검증 겹 수에 따른 성능 (데이터 개수 10,000개, 입력 변수 수 4개)



입력 변수 수에 따른 성능



데이터 개수에 따른 성능

데이터 개수	GPR	ANN	데이터 개수	GPR	ANN
	RMSE	RMSE		RMSE	RMSE
1,000	0.595	0.768	1,000	15.769	19.651
10,000	0.136	1.041	10,000	4.441	4.571

오차 0% 결과 비교

오차 5% 결과 비교

학습 결과

- GP와 ANN은 정역학 공식을 이용해 생성한 데이터에 대해 매우 높은 정확도로 예측할 수 있다.
- 오차 발생 시 데이터 개수가 적을수록 성능 감소가 뚜렷하였으나, 데이터 개수가 증가할수록 성능 감소 폭은 줄어든다.
- GP 학습 시 교차 검증 겹 수에 따른 성능 변화는 1 RMSE 이하로 큰 변화가 없음을 확인하였다.
- ANN이 사용하는 입력 변수를 계산에 이용된 4개 미만으로 제한하고 학습할 시, 매우 낮은 성능을 보인다. 단, 데이터 개수가 많아질수록 최고 수준은 아니지만 성능은 향상된다.
- 입력 변수가 계산에 이용된 4개를 초과해도, 성능에는 큰 변화가 없었다.
- GP와 ANN의 성능은 큰 차이가 없으나, 학습에 소요되는 시간은 ANN이 크게 적었다.

결론

본 연구에서는 인공신경망을 이용하여 말뚝의 극한지지력을 예측하고자 정역학적 극한지지력 공식을 이용한 사질토 강말뚝의 데이터에 오차를 추가하고, GP를 통해 성능을 비교하였다. 학습에 사용한 데이터 개수가 증가할수록 성능이 향상되며, 입력 변수는 계산에 이용된 4개 미만으로 학습 시 낮은 성능을 보이고, 4개를 초과해도 성능에는 큰 영향을 미치지 않았다. 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. 위 내용을 바탕으로, 정역학적 공식을 이용한 사질토 강말뚝의 극한 지지력 예측을 위한 최소 조건으로 데이터 개수 1,000개, 입력 변수 수 4개를 제안한다.

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.