

말뚝의 인발저항에 대한 지중 구속압 영향 분석을 위한 실내모형실험

Effect of Ground Confine Pressure on Pullout Resistance of Piles Using Model Experiment

유승경¹, 홍기권^{2*}

Seung-Kyong You¹, Gigwon Hong^{2*}

¹Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Myongji College, 134 Gajwa-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03656, Republic of Korea

²Member, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Halla University, 28 Halladae-gil, Wonju-si, Gangwon-do 26404, Republic of Korea

ABSTRACT

This paper describes the results of a pile pullout test considering the confine pressure and fines content of the ground. The Pullout tests were conducted under various ground conditions using model piles. The effect of ground confine pressure on the pullout resistance and the pullout resistance parameters of the pile were evaluated based on the experimental results. The results of pullout test showed that the maximum pullout resistance occurred at a pullout displacement of about 7mm to 9mm, regardless of the fines content and the confine pressure of the ground. The maximum pullout resistance of the pile decreased as the fines content of the ground increased, and this trend became clearer as the confine pressure increased. The pullout resistance calculated by theoretical formula was compared with the experimental results in order to ensure the reliability of the pullout test results. The comparative results showed that the experimental and theoretical values showed a tendency to decrease the pullout resistance as the fines content increased, in all confine pressure conditions. The analysis result of the pullout resistance parameters confirmed that the pullout resistance was greatly influenced by the adhesion compared to the interface friction angle, as the fines content of the ground around the pile increased.

요 지

본 연구에서는 말뚝에 작용하는 구속압과 지반의 세립분 함유율을 고려한 말뚝 인발실험을 실시하였다. 그리고 실험 결과를 이용하여 말뚝의 인발저항에 미치는 지중 구속압의 영향을 분석하여 인발저항정수를 고찰하였다. 인발실험 결과, 모형지반의 세립분 함유율과 구속압의 크기에 관계없이 약 7mm~9mm의 인발변위에서 최대인발저항력이 발생되었다. 말뚝의 최대인발저항력은 모형지반의 세립분 함유율이 증가할수록 감소하였고, 이러한 경향은 구속압이 클수록 현격하게 나타났다. 말뚝인발실험 결과의 신뢰성을 검토하기 위해 인발저항력을 이론식으로 산정해 실험결과와 비교한 결과, 모든 구속압 조건에서 세립분 함유율 증가에 따라 실험값과 이론값 모두 동일하게 인발저항력이 감소하는 경향을 보였다. 인발저항정수에 대한 분석 결과, 말뚝과 지반의 경계에서 발생하는 인발저항력에 있어서 주변 지반의 세립분 함유율이 증가할수록 경계면 마찰각보다 부착력의 영향이 커지는 것을 확인하였다.

Keywords : Pile pullout resistance, Confine pressure, Fines content, Pile-soil interface

1. 서 론

구조물의 대형화에 따라 효과적인 하중 전달을 위한 기초구조물로서 말뚝기초가 주로 적용되고 있으며, 말뚝기초는 크게 강관말뚝, 기성콘크리트말뚝, 현장타설말뚝 등으로 구분된다(You et al., 2019a). 일반적으로 말뚝기초는

Received 3 Dec. 2023, Revised 13 Dec. 2023, Accepted 15 Dec. 2023

*Corresponding author

Tel: +82-33-760-1843; Fax: +82-33-760-1261

E-mail address: g.hong@halla.ac.kr (G. Hong)

상부구조물에 의한 압축하중에 저항하도록 설계되고 있는데, 다양한 인발하중에 저항하도록 설계하기 위해서는 말뚝기초의 주면과 지반 경계면에서 발생하는 마찰저항을 평가해야 한다(You et al., 2019b). 특히, 현장타설말뚝의 인발저항은 말뚝 주면과 지반 경계면의 전단저항 특성이 매우 중요한 요소로 작용하게 된다(Lim and Seo, 2002; You et al., 2018). 즉, 구조물 설계에 있어서 하중저항계수 설계법의 적용이 확대되고 있는 점을 고려하면, 인발저항에 영향을 미치는 다양한 영향인자의 평가가 필요하다.

국내외에서는 말뚝기초의 인발저항에 관해 수많은 연구가 수행된 바 있다. 대표적으로 Meyerhof and Adams(1968)와 Meyerhof(1976)는 말뚝기초의 인발저항은 주면과 지반 경계면의 마찰저항에 의존하는 점을 고려하여 인발저항력 산정식을 제안하였다. 그리고 O'Neill and Reese(1999)는 현장타설말뚝의 인발저항 특성을 포함하여 말뚝의 안정성에 미치는 영향인자 등의 포괄적인 연구결과를 보고한 바 있다. Wang et al.(2023)은 직접전단시험 결과를 이용하여 그라우팅이 말뚝 주면과 지반의 경계면을 포함하여 주변 지반의 전단강도 향상에 미치는 영향을 분석하였다. Ma et al.(2023)은 인발에 저항하는 말뚝기초의 축방향 저항효과 평가를 위한 실험적 연구를 수행하였으며, Emirler et al.(2019)는 인발하중을 받는 말뚝기초의 저항은 모래의 상대밀도에 영향을 받는 것으로 평가한 바 있다. Ashour and Abbas(2020)은 다층지반에 설치된 인발저항 말뚝기초에 대하여 말뚝 주면과 지반 경계면의 마찰저항에 대한 하중 전달 메커니즘 모델을 제안하기도 하였다. Abi et al.(2023)은 말뚝과 암반 경계면에서의 하중전달 특

성을 평가하기 위한 전단시험을 수행하여, 마찰저항 수준에 따른 말뚝기초의 지지력 산정모델을 수립하였다. Khatri and Kur(2011)은 깊이의 증가에 따라 비배수 점착력이 선형적으로 증가하는 점토 지반에 설치된 말뚝기초의 인발저항 성능에 대한 영향인자를 평가하였고, Park et al.(2021)은 현장사례를 통해 다양한 설계기준에 따른 말뚝기초 주면과 지반 경계면의 마찰저항에 의한 부착력을 평가하였다. 또한 Chen et al.(2022)은 모래 지반의 상대밀도와 거칠기 정도가 모래와 콘크리트 경계면의 역학특성에 미치는 영향을 평가하였다.

이와 같이, 기존의 연구들은 주로 말뚝기초의 주면과 지반 경계면 특성 및 말뚝기초의 재료적 특성에 기인한 인발저항 성능 평가를 목적으로 하고 있다. 그러나 말뚝기초의 인발저항 성능은 지중의 구속압 조건에도 큰 영향을 받기 때문에, 보다 합리적인 인발저항 영향인자를 평가할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 말뚝에 작용하는 구속압과 지반의 세립분 함유율을 고려한 일련의 말뚝인발실험을 실시하였으며, 말뚝의 인발저항에 미치는 지중 구속압의 영향을 분석함으로써 말뚝의 인발저항정수에 대하여 고찰하였다.

2. 실내모형실험

2.1 실험장치

본 연구에서는 말뚝의 인발저항에 미치는 지중 구속압의 영향을 면밀히 고찰하기 위해 Fig. 1에 나타난 바와 같

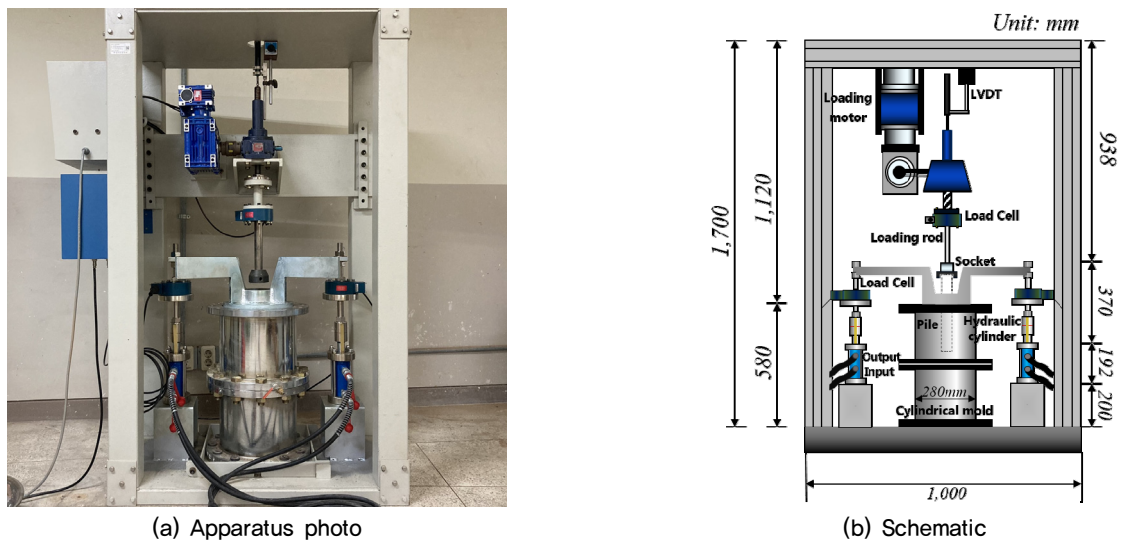


Fig. 1. Testing device for pullout resistance evaluation of model pile



Fig. 2. Confine pressure generator

이 실내모형실험 장치를 제작하여 말뚝인발실험을 실시하였다. 본 실험 장치는 기존 연구에서 개발한 말뚝인발실험 장치(You et al., 2018)를 본 연구의 목적에 맞게 개조한 것으로, 말뚝을 제외한 모형지반 상부에 상재압을 가함으로써 말뚝부 측면에 구속압이 작용되도록 제작하였다. 한편, 모형실험에 사용된 모형말뚝, 흙 시료, 응력 및 변위에 대한 계측장치 등은 상기의 기존 연구와 동일한 제원으로 적용하였다.

말뚝의 인발성능에 미치는 지중 구속압의 영향을 고찰하기 위해 모형토조 내에 설치한 말뚝에 구속압이 작용될 수 있도록 Fig. 2에 나타난 바와 같이 지중 구속압 발생 장치를 설치하였다. 즉, 말뚝을 제외한 모형지반 상부에 중공의 원형 재하판을 이용하여 상재압을 가함으로써 말뚝부에 구속압이 작용되도록 하였다. Fig. 3은 본 모형실험 중 말뚝에 작용하는 수평토압 즉, 구속압의 분포를 나타내고 있다. 말뚝에는 상재하중에 의한 구속압과 흙의 자중에 의한 구속압이 각각 작용하고 있는데, 상재하중에 의한 구속압은 일반적으로 Boussinesq의 응력증가량 산정 방법을 이용하여 산정하지만, 본 실험에서는 모형토조의 규모를 고려하여 상재하중의 크기를 그대로 적용하여 산정하였다.

2.2 실험 방법 및 내용

본 실험에서는 지중 구속압에 따른 말뚝의 인발저항 특성을 지반의 세립분 함유율의 변화에 따라 엄밀히 고찰하기 위해 모형토조에 충전하는 흙 시료의 세립분 함유율을 중량비로 다양하게 조정하였으며, 이를 위해 사용된 주문

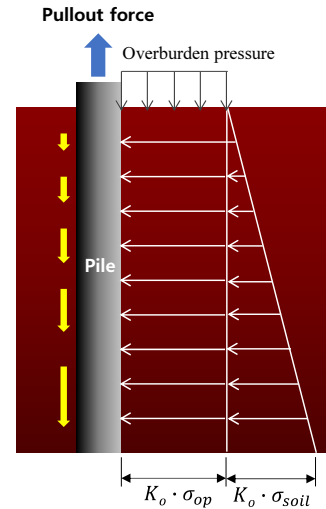


Fig. 3. Conceptual diagram of confine pressure distribution

Table 1. Soil properties (You et al., 2018)

Soil classification	Properties	
	Sand	G_s
C_u		2.1
C_g		1.1
U.S.C.S		SP
Fine-grained soil	LL(%)	39.4
	PL(%)	31.3
	PI	8.1
	U.S.C.S	ML

진 표준사 및 세립토의 공학적 특성은 Table 1에 나타난 바와 같다. 또한 모형지반은 기존 연구(You et al., 2018)를 통해 산정한 세립분 함유율 별 최대 및 최소 건조단위중량 값을 이용하여 약 80%의 상대밀도가 되도록 조성하였다.

모형실험 방법 요약하면, 토조 하부에 소정의 높이까지 준비된 흙 시료를 충전한 후, 말뚝이 토조 중앙에 위치할 수 있도록 가이드를 이용하여 거치시키고, 말뚝 주위에 흙 시료를 층 다짐하며 균질한 지반을 조성하였다. 모형지반 상부에 표출된 말뚝체를 관통시킬 수 있도록 제작한 중공 원형 재하판을 상부에 설치하고 재하판을 통과한 말뚝두부를 인발로드에 소켓을 이용하여 연결하였다.

모형지반에 대한 상재하중은 원형 재하판에 연결된 일직선에 의한 재하시스템(Fig. 2)을 이용하여 적용하였으며, 상재하중 재하로 인한 구속압이 발생된 후 말뚝두부에 연결된 인발로드를 상승시키면서 말뚝 인발을 실시하였다. 이때, 말뚝의 인발속도는 0.0025mm/min ~ 2.5mm/min이 가능한 모터를 이용하여 1mm/min으로 적용하였으며, 40mm의 인발변위가 발생할 때까지 로드셀과 LVDT를 이

용하여 인발하중 및 인발변위를 계측하였다(You et al., 2018). Fig. 4는 본 모형실험의 과정을 나타내고 있다.

본 모형실험에서는 말뚝의 인발저항 특성에 미치는 구속압의 영향을 지반의 세립분 함유율에 따라 엄밀히 고찰하기 위해 모형토조에 6가지의 세립분 함유율로 조정

한 흙 시료로 모형지반을 제작하였으며, 구속압의 영향을 분석하기 위해 각각의 인발시험 시 3가지의 상재압력을 모형지반 상부에 적용함으로써, 본 연구에서는 총 18케이스에 대한 말뚝인발실험을 실시하였다. Table 2는 본 시험의 조건을 나타내고 있다.



Fig. 4. Pullout test procedure and measurement

Table 2. Test cases

Case	Fines content (%)	Overburden pressure (kN)	Confine pressure (kPa)
FC00-C05	0	6,13	50,0
FC00-C10		12,54	100,3
FC00-C15		18,87	149,9
FC05-C05	5	5,54	50,0
FC05-C10		11,37	100,2
FC05-C15		17,15	150,2
FC07-C05	7	5,00	50,1
FC07-C10		10,24	100,2
FC07-C15		15,48	150,2

Table 2. Test cases (continued)

Case	Fines content (%)	Overburden pressure (kN)	Confine pressure (kPa)
FC10-C05	10	4,61	50,2
FC10-C10		9,46	100,2
FC10-C15		14,31	150,2
FC15-C05	15	4,31	50,4
FC15-C10		8,82	100,0
FC15-C15		13,38	150,1
FC20-C05	20	4,17	50,2
FC20-C10		8,58	100,0
FC20-C15		13,03	150,4

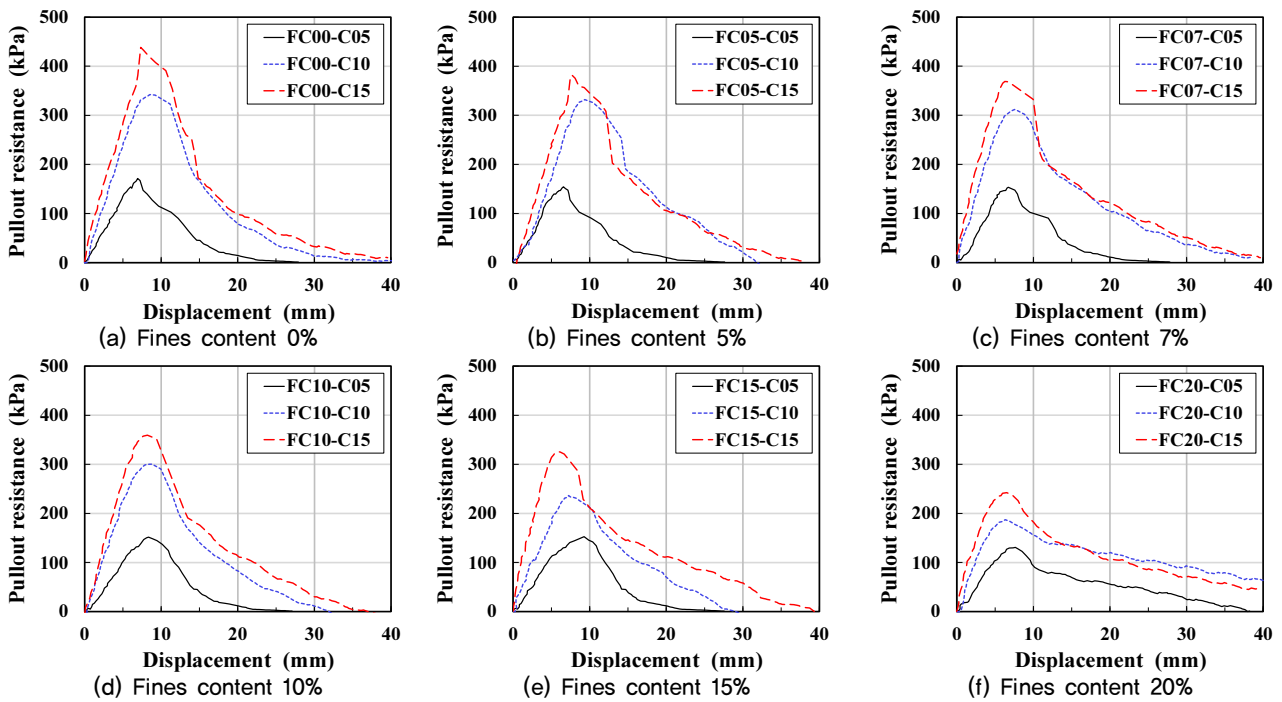


Fig. 5. Results of pullout test by fines content and confine pressure

3. 말뚝인발실험 결과

Fig. 5는 본 연구에서 수행한 다양한 조건에서의 말뚝인발실험 결과를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 세립분 함유율과 구속압의 크기에 관계없이 모형말뚝의 인발변위가 약 7mm~9mm의 범위에서 최대인발저항력이 발현되고 그 이후 급격히 인발저항력이 감소되는 것으로 나타났다. 또한, 모형지반의 세립분 함유율에 관계없이 모형말뚝에 작용되는 구속압이 커질수록 인발저항력이 크게 발생됨을 알 수 있다.

Fig. 6은 말뚝인발실험에서 얻은 인발저항력과 인발변위의 관계 곡선에서 결정된 최대인발저항력의 세립분 함유율에 따른 변화를 구속압의 크기에 따라 나타내고 있다.

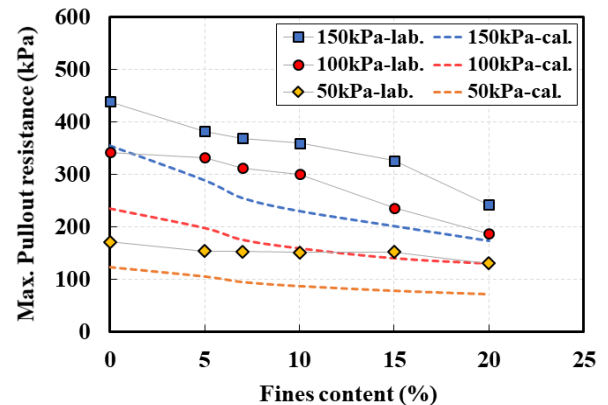


Fig. 6. Variation of maximum pullout resistance with fines content

그림에서 알 수 있듯이 최대인발저항력은 모형지반의 세립분 함유율이 증가할수록 감소하고 있으며, 이러한 경향

은 구속압이 클수록 현격히 나타나고 있다. 또한 그림에는 구속압과 세립분 함유율 조건에 따라 다음과 같은 이론식 (식 (1))으로 산정한 인발저항력을 점선으로 표시하여 실험결과와 비교하였다.

$$f_s = c_a + K_s \bar{\sigma}_v \tan \delta \quad (1)$$

여기서, c_a 는 말뚝과 주변 지반 사이의 부착력, K_s 는 말뚝 주면마찰력 산정을 위한 토압계수, $\bar{\sigma}_v$ 는 말뚝주변 지층의 평균유효상재압, δ 는 말뚝과 주변 지반 사이의 마찰각을 의미한다. 이론식에 의한 인발저항력 산정에 있어 c_a 와 δ 는 기존에 수행된 말뚝과 지반 경계면에 대한 대형직접전단 시험 결과(You et al., 2022)를 참고하여 적용하였고, K_s 는 본 실험 시 모형말뚝을 설치한 후 소정의 다짐을 통해 상대밀도 약 80%의 모형지반이 조성되었음을 고려하여 타입 말뚝에 대해 제안된 수동토압측의 값(Korean Geotechnical Society, 2018)인 1.5를 적용하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 본 연구의 실험에서 얻은 인발저항력은 이론식에 의한 값보다 모든 조건에서 다소 크게 나타나고 있다. 이는 토조 내 구속압 발생을 위한 상재하중 재하 시 상부 재하판에 의한 말뚝두부의 구속효과에 의한 것으로 생각된다. 그러나 모형실험과 이론식에 의한 인발저항력은 모든 구속압 조건에서 세립분 함유율 증가에 따라 동일한 감

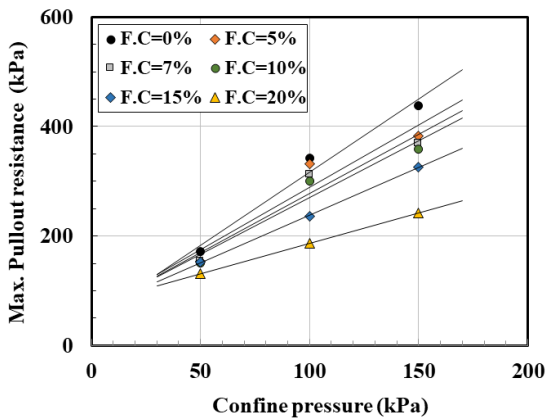


Fig. 7. Relationships between confine pressure and maximum pullout resistance

소 경향이 나타남을 고려해보면 다양한 조건에서의 본 모형실험에서 정성적으로 타당한 결과를 얻은 것으로 판단된다.

4. 실험 결과 분석

4.1 구속압에 따른 최대인발저항력의 변화

본 연구에서 수행한 말뚝인발실험 결과를 바탕으로 모형말뚝과 지반의 경계면에서 발휘되는 인발저항 특성에 미치는 구속압의 영향을 분석하기 위해 Fig. 7과 같이 구속압과 최대인발저항력의 관계를 도시하였다. 모형말뚝에 작용하는 구속압의 증가에 따라 최대인발저항력은 증가하고 있지만, 그 증가율은 세립분 함유율이 증가할수록 감소함을 알 수 있다.

4.2 말뚝과 지반 경계면의 인발저항정수 고찰

본 연구에서의 모형말뚝과 지반 경계면의 인발 특성을 정량적으로 평가하기 위해 말뚝에 작용하는 구속압과 최대인발저항력의 관계(Fig. 7)로부터 Coulomb의 전단강도 정수와 동일한 개념인 경계면의 인발저항정수로서 경계면 마찰각(Interface friction angle)과 부착력(Adhesion)을 Table 3과 같이 산정하였다. 또한, 지반의 세립분 함유율에 따른 인발저항정수의 변화 특성을 고찰하기 위해 Fig. 8과 같이

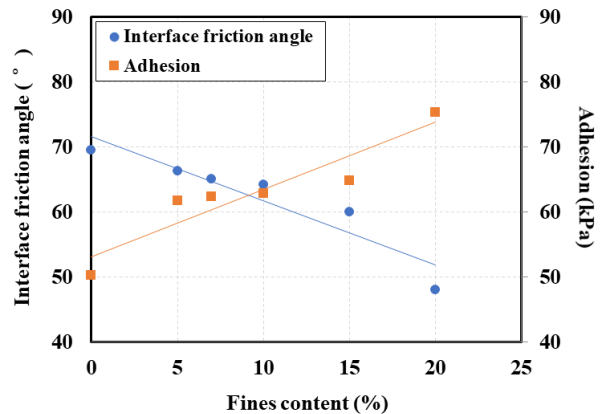


Fig. 8. Variation of strength parameters with fines content

Table 3. Summary of pullout resistance parameters by model test

Pullout resistance parameters	Fines content (%)					
	0	5	7	10	15	20
Interface friction angle, δ (°)	69.5	66.3	65.1	64.3	60.0	48.1
Adhesion, c_a (kPa)	50.3	61.7	62.3	62.9	64.8	75.3

세립분 함유율에 따른 인발저항정수 변화 양상에 대한 회귀분석을 수행하였다. 그림에서 알 수 있듯이 모형말뚝 경계면에서의 마찰각은 세립분 함유율이 증가할수록 감소하고 있으나, 경계면의 부착력은 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 기존에 수행된 흙 시료에 대한 직접전단시험(You et al., 2018)과 말뚝과 지반 경계면에 대한 대형직접전단시험 결과(You et al., 2022)와 동일한 양상을 나타내고 있으며, 이러한 결과로부터 말뚝과 지반의 경계에서 발생하는 인발저항 특성은 지반의 세립분 함유율이 증가할수록 마찰력보다 부착력의 영향이 크게 나타난다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 말뚝의 인발저항에 미치는 지중 구속압의 영향을 분석함으로써 말뚝의 인발저항정수에 대한 고찰을 수행하기 위해 말뚝에 작용하는 구속압과 지반의 세립분 함유율을 고려한 일련의 말뚝인발실험을 실시하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 말뚝 모형체를 삽입한 원형토조 상부에 하중을 재하함으로써 말뚝체에 구속압을 발생시키고 인발실험을 수행한 결과, 모형지반의 세립분 함유율과 구속압의 크기에 관계없이 약 7mm~9mm의 인발변위에서 뚜렷한 최대인발저항력이 발생된 후 급격히 저하하였다. 또한, 말뚝의 최대인발저항력은 모형지반의 세립분 함유율이 증가할수록 감소하였는데, 이러한 경향은 구속압이 클수록 현격히 나타남을 확인할 수 있었다.
- (2) 본 연구에서 수행한 말뚝인발실험 결과의 신뢰성을 검토하기 위해 구속압과 세립분 함유율 조건에 따른 인발저항력을 이론식으로 산정해 실험결과와 비교하였다. 상부 재하판에 의한 말뚝두부의 구속효과로 인해 실험으로부터 얻은 인발저항력은 이론식에 의한 값보다 모든 조건에서 다소 크게 나타났지만, 모든 구속압 조건에서 세립분 함유율 증가에 따라 두 방법 모두 동일한 경향으로 인발저항력이 감소 되었음을 확인하였으며, 따라서 본 모형실험에서 정성적으로 타당한 결과를 얻은 것으로 판단된다.
- (3) 본 모형실험에서의 최대인발저항력은 모형말뚝에 작용하는 구속압의 증가에 따라 증가하였지만, 모형지반의 세립분 함유율이 증가할수록 그 증가율은 감소

하였다. 이러한 관계를 이용하여 말뚝과 지반 경계면의 인발저항정수에 대한 분석을 수행한 결과, 모형말뚝 경계면에서의 마찰각은 세립분 함유율이 증가할수록 감소하였으나, 경계면의 부착력은 증가하는 것을 알 수 있었다. 즉, 말뚝과 지반의 경계에서 발생하는 인발저항력에는 주변 지반의 세립분 함유율이 증가할수록 경계면 마찰각보다 부착력의 영향이 커진다고 판단할 수 있다.

- (4) 본 연구를 통해 지반 내 타설된 말뚝과 주변 지반 경계에서 발생하는 말뚝의 인발저항력은 주변 지반으로부터의 구속압과 세립분 함유율에 따라 변화하는 것으로 평가되었다. 따라서 말뚝공법 설계에서의 말뚝 인발저항성능 산정 시에는 주변 지반의 세립분 함유율을 고려한 인발저항정수(경계면 마찰각과 부착력)를 적용함으로써 지반의 물리적 특성과 심도를 고려한 엄밀한 설계가 수행될 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work has been supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2021R1F1A1052445).

References

1. Abi, E., Shen, L., Liu, M., Du, H., Shu, D. and Han, Y. (2023), "Calculation Model of Vertical Bearing Capacity of Rock-Embedded Piles Based on the Softening of Pile Side Friction Resistance", *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol.11, No.5, p.939.
2. Ashour, M. and Abbas, A. (2020), "Response of piles in multi-layers of soil under uplift forces", *International Journal of Geomechanics*, Vol.20, No.6, 04020056.
3. Chen, C., Yang, Q., Leng, W., Dong, J., Xu, F., Wei, L. and Ruan, B. (2022), "Experimental Investigation of the Mechanical Properties of the Sand-Concrete Pile Interface Considering Roughness and Relative Density", *Materials*, Vol.15, No.13, p.4480.
4. Emirler, B., Tolun, M. and Yildiz, A. (2019), "An experimental study of rough single pile and pile group under uplift loading in sand", *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, Vol.25, No.3, pp.557-574.
5. Khatri, V. N. and Kumar, J. (2011), "Uplift Capacity of Axially Loaded Piles in Clays", *International Journal of Geomechanics*, Vol.11, No.1, pp.23-28.

6. Korean Geotechnical Society (2018), “구조물기초설계기준 해설”, pp.293-297. (in Korean)
7. Lim, Y. J. and Seo, S. H. (2002), “Uplift Testing and Load-transfer Characteristics of Model Drilled Shafts in Compacted Weathered Granite Soils”, *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.18, No.4, pp.105-117. (in Korean with English summary)
8. Ma, H., Ma, Y., Zhu, L. and Zhang, H. (2023), “Experimental Study on the Difference Mechanism of Shaft Resistance between Uplift Piles and Compressive Piles”, *Applied Sciences*, Vol.13, No.5, p.3158.
9. Meyerhof, G. G. (1976), “Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations”, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.102, No.GT-3, pp.197-228.
10. Meyerhof, G. G. and Adams, J. I. (1968), “The Ultimate Uplift Capacity of Foundation”, *Journal of Canadian Geotechnical*, Vol.5, No.4, pp.225-244.
11. O'Neill, M. W. and Reese, L. C. (1999), “Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods”, Publication No. FHWA-IF-99-025, *Federal Highway Administration*.
12. Park, K., Kim, D., Kim, G. and Lee, W. (2021), “Evaluation of the Pullout Behavior of Pre-Bored Piles Embedded in Rock”, *Materials*, Vol.14, No.19, p.5593.
13. Wang, G., Hong, B., Liu, X., Sun, D., Shao, Z. and Yao, Y. (2023), “Experimental Study on the Shear Properties of Soil around Piles with Permeation Grouting”, *Applied Sciences*, Vol.13, No.1, p.621.
14. You, S. K. and Hong, G. (2022), “Analysis of Shear Resistance Characteristics in Pile-Soil Interface using Large-Scale Direct Shear Test”, *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.21, No.3, pp.61-69. (in Korean with English summary)
15. You, S. K., Hong, G., Jeong, M., Shin, H., Lee, K. W. and Ryu, J. (2018), “Effect of Relative Density and Fines Content on Pullout Resistance Performance of Drilled Shafts”, *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.34, No.4, pp.37-47. (in Korean with English summary)
16. You, S. K., Shin, H., Lee, K. W., Park, J., Choi, C. L. and Hong, G. (2019a), “Evaluation on Applicability of Finite Element Analysis in Model Test of Pile Pullout”, *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.18, No.2, pp.11-21. (in Korean with English summary)
17. You, S. K., Shin, H., Lee, K. W., Park, J., Choi, C. L. and Hong, G. (2019b), “A Study on Strength Reduction Factor of Pile-soil Interface for Evaluation of Pile Pullout Resistance by Soil Condition”, *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.18, No.2, pp.45-54. (in Korean with English summary)