

점성토에서 유한요소해석에 의한 무소음·무진동 스크류PHC말뚝의 거동 분석 An Analysis on the Behaviors of a Noise & Vibration-Free Screw PHC Pile in cohesive Soils by Finite Element Code

김영필¹⁾, Young-Pil Kim, 하영민¹⁾, Young-Min Ha, 정호영¹⁾, Ho-Young Jung, 황정환¹⁾, Jeong-Hwan Hwang, 최용규²⁾, Youngkyu Choi

¹⁾ 경성대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Kyung Sung Univ.

²⁾ 경성대학교 건설환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil & Environ. Engineering, Kyung Sung Univ.

SYNOPSIS : Noise & vibration-free screw pile method is being developed for solution of noise and vibration problem in existing pile method. In this paper, prior to pilot test construction, conditions which a PHC pile and a screw PHC pile were constructed into ground were modeled by finite element code and through the parametric study in cohesive soils, the behaviors of two kinds of pile according to soil characteristics were compared.

Keywords : Noise & vibration-free screw pile method, finite element code, parameteric study, cohesive soils, behaviors

1. 서론

최근의 기초공사에서 가장 큰 문제가 되고 있는 것이 민원문제이다. 이러한 민원의 원인으로는 소음과 진동, 그리고 공사중에 생긴 분진 등이 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 많은 방법들이 연구되고 있다.

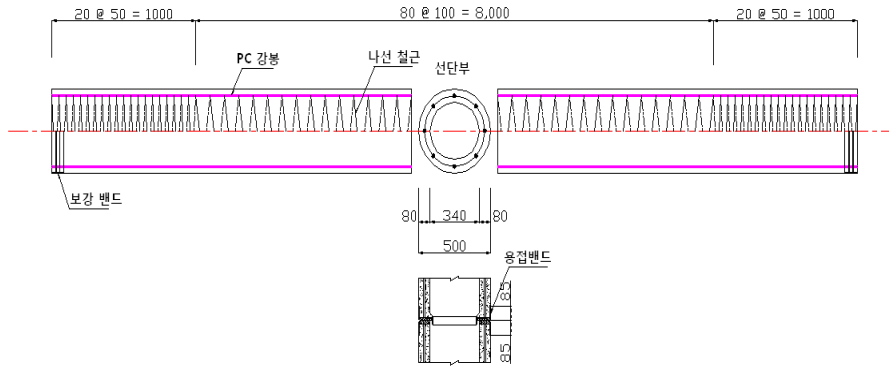
이러한 연구 중 하나로 무소음·무진동 스크류PHC말뚝공법이 개발중에 있다. 기존의 항타공법에서 항타에 의한 소음과 진동이 발생하고, 저소음·저진동 매입공법에서는 최종경타에 의해 소음과 진동이 발생하지만, 무소음·무진동 스크류PHC말뚝의 경우 소음과 진동이 발생하지 않는 친환경적 말뚝공법이다.

본 논문에서는 수치해석을 이용하여 기존의 PHC말뚝과 무소음·무진동 스크류PHC말뚝의 거동을 비교하고 지반특성치에 따른 말뚝의 거동을 알아보았다.

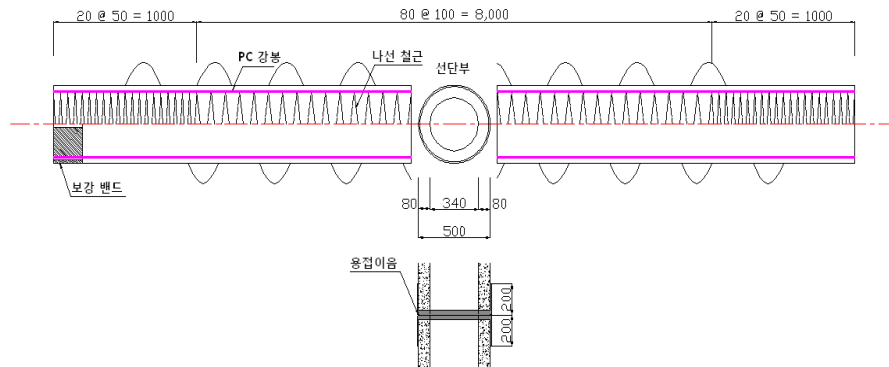
2. 말뚝제원 및 지반조건

2.1 말뚝제원

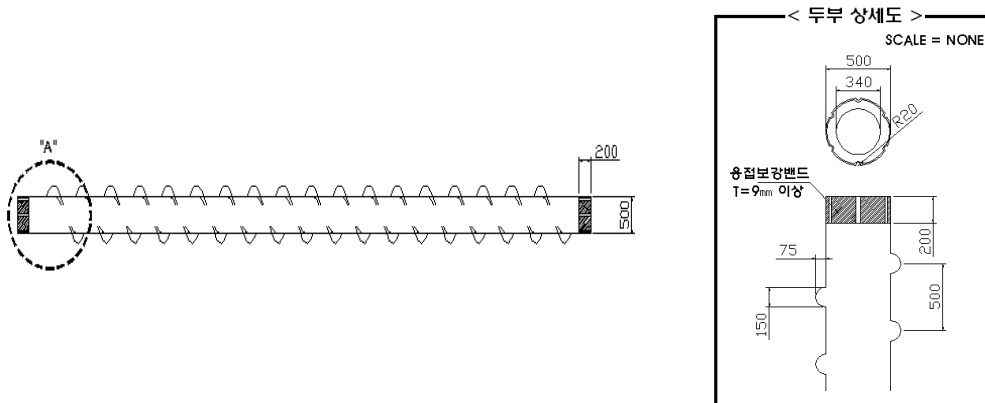
무소음·무진동 스크류 PHC말뚝은 일반 PHC말뚝에 스크류 형태의 날을 나선형으로 장착하였으며 그 외 부분은 기존의 PHC말뚝과 동일한 형태로 볼 수 있다. 말뚝의 일반적인 특성치는 기존의 PHC말뚝과 같으며 스크류 부분도 말뚝제작틀에서 제작될 수 있게 하였으므로 스크류 부분의 강도는 말뚝본체와 같은 강도를 가질 수 있었다. 말뚝의 상세도는 그림 1과 같다.



(a) 기존의 PHC말뚝



(b) 스크류PHC말뚝



(c) 말뚝의 모형 및 두부상세도

그림 1. PHC말뚝 및 스크류 PHC말뚝의 상세도

현재 스크류PHC말뚝은 시험시공을 위하여 생산중에 있으며 생산된 말뚝의 모습은 그림 2와 같다. 또한 수치해석을 진행하기 위한 말뚝의 제원을 표 1에 나타내었다.



그림 2. 실제 생산된 스크류PHC말뚝

표 1. 말뚝의 제원

종 류	압축강도 (MPa)	직경 D (mm)	두께 t (mm)	포아슨비 ν	탄성계수 E (GPa)
스크류 PHC말뚝	80.0	500	80	0.2	35.0
PHC말뚝	80.0	500	80	0.2	35.0

2.2 지반조건

본 연구에서 수치해석을 수행한 점성토 지반조건을 표 2에 나타내었다. 점착력은 N치를 기준으로 Terzaghi-Peck(1948)의 식을 이용하여 구하였으며, 탄성계수는 정규압밀점토의 탄성계수를 구하는 경험 식인 $E_s = 250 \sim 500c_u$ (Das의 기초공학, 2004)를 이용하고, 단위중량은 도로설계요령(한국도로공사, 2002)을 이용하였으며, 포아슨 비는 일반적인 값으로 산정하였다.

표 2. 지반조건

점토						
구분	No.	N	γ	c (kPa)	E (kPa)	ν
Soft	C-1	3	15.4	19	4800	0.4
	C-2	4	15.7	25	6300	0.4
Medium	C-3	5	15.7	31	7800	0.4
	C-4	6	15.7	38	9500	0.4
	C-5	7	15.7	44	11000	0.4
Stiff	C-6	8	16.0	50	12500	0.4
	C-7	12	16.0	75	18800	0.4
	C-8	15	16.3	94	23500	0.4

3. 수치해석

3.1 해석 프로그램

해석 프로그램으로는 GEO-SLOPE에서 개발한 유한요소 프로그램인 sigma/w(2007)를 이용하여 말뚝이 지반에 관입된 상태에서 정하중을 상재하는 방식으로 해석하였다. 본 논문에서는 2차원 해석을 수행하기 위하여 대칭 단면을 선택하였다.

3.2 해석 모델 선정

해석모델의 선정을 위하여 2가지 형태의 모델을 사용하였다. 중공단면을 나타낸 모델A(그림 3)과 환산단면을 나타낸 모델B(그림 4)를 사용하였는데 동일한 1가지 지반조건에 대하여 해석을 수행하여 결과를 비교해 보았다. 2가지 모델 모두 대칭단면이었으므로 좌·우 경계면에서는 수평변위를 구속하고 하부 경계면에서는 수직 및 수평변위를 구속하였다. 하중은 140단계를 7사이클로 나누어 재하 및 제하를 실시하였는데 재하시에는 122.6kN 씩을 재하하고 언로딩시에는 50%씩 제하하며 최고하중은 9810kN으로 설정하였다. 재하 및 제하시간은 20분으로 설정하였다. 또한 말뚝자중의 영향도 해석에 포함하였다.

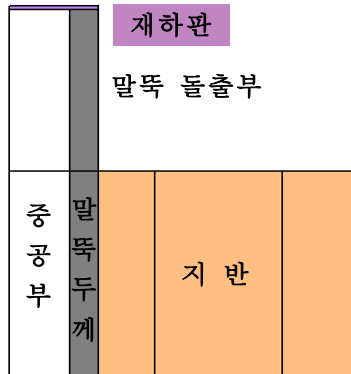


그림 3. 중공단면 모델(모델A)



그림 4. 환산단면 모델(모델B)

2가지 모델에 대한 해석 결과 중 P-S 곡선을 도시하면 그림 5와 같다. 비교해 본 결과 말뚝의 침하량이 서서히 증가하며 항복의 형태를 보이는 중공단면이 실제거동에 가깝고 모델링 형상 역시 실제 말뚝의 형태와 같은 중공단면의 형태로 결정하였다.

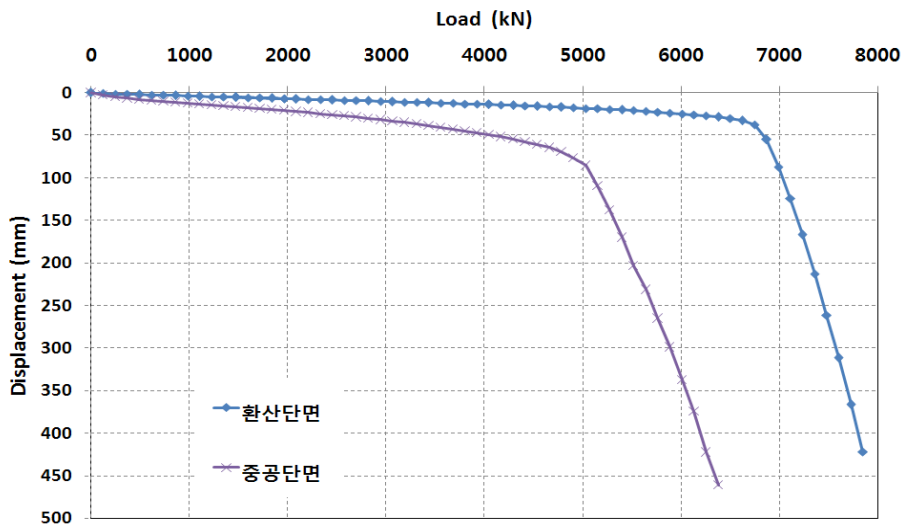


그림 5. 모델 선정을 위한 P-S곡선 비교

수치해석을 수행하기 위하여 기존의 PHC말뚝과 스크류PHC말뚝의 형태를 그림 6 및 그림 7과 같이 중공단면으로 모델링 하였다. 경계설정 및 하중조건은 모델선정을 위한 해석에서와 동일하게 하였다. 기존의 PHC말뚝은 항타에 의하여 관입되었고 말뚝외면에 스크류가 없으므로 지반의 교란이 없다고 판단

하여 인터페이스를 설정하지 않았으나 스크류PHC말뚝의 경우는 말뚝외면에 있는 스크류가 지반을 교란시키면서 관입되었으므로 말뚝주변 지반과 말뚝주면 사이에 인터페이스를 설정하였다.



그림 6. PHC말뚝

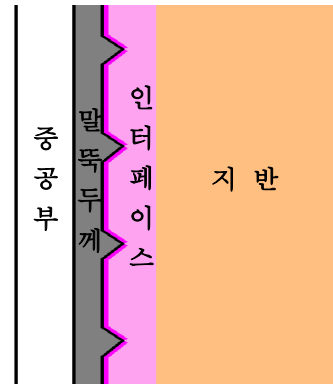
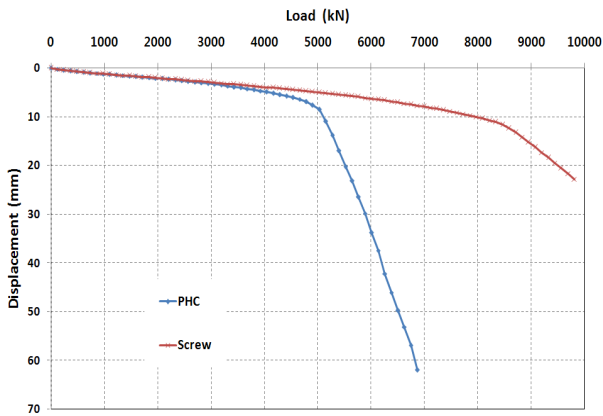


그림 7. 스크류PHC말뚝

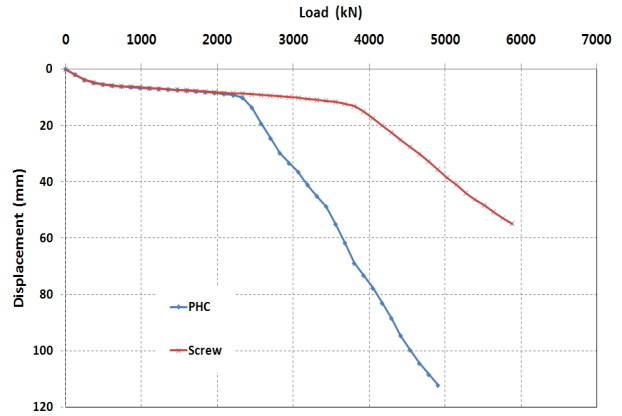
3.3 해석결과

3.3.1 2가지 말뚝의 거동비교

동일한 지반조건에서 기존의 PHC말뚝과 스크류PHC말뚝의 P-S곡선을 그림 8에 나타내었다. 그림 8(a)에서 기존의 PHC말뚝은 4900kN에서 항복이 나타났고 스크류PHC말뚝은 8100kN에서 항복이 나타났다. 그림 8(b)에서 기존의 PHC말뚝은 2350kN에서 항복이 나타났고 스크류PHC말뚝은 3800kN에서 항복이 나타났다. 이와 같이 스크류PHC말뚝의 항복하중이 기존의 PHC말뚝의 항복하중보다 1.6~1.7배 정도 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.



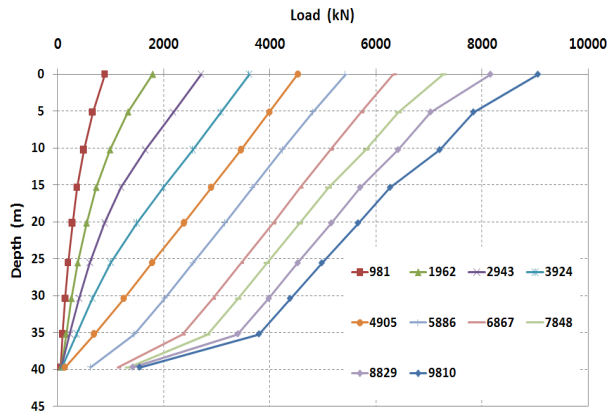
(a) 지반조건 C-8



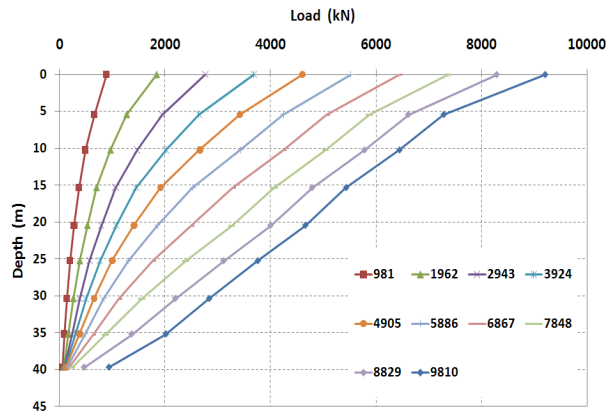
(b) 지반조건 C-4

그림 8. 기존의 PHC말뚝과 스크류PHC말뚝의 P-S 곡선 비교

지반조건 C-8 및 C-4에서 기존의 PHC말뚝과 스크류PHC말뚝의 축하중분포도를 그림 9와 그림 10에 나타내었다. 그림 9와 그림 10의 축하중 분포도에서 기존의 PHC말뚝에 비해 스크류PHC말뚝의 마찰력이 더 크게 나타나고 있다. 또한 2가지 말뚝의 축하중 분포도에서 마찰력이 최대로 발휘되는 하중 단계는 그림 8 및 9에서 P-S 곡선상의 항복점인 것으로 보인다.

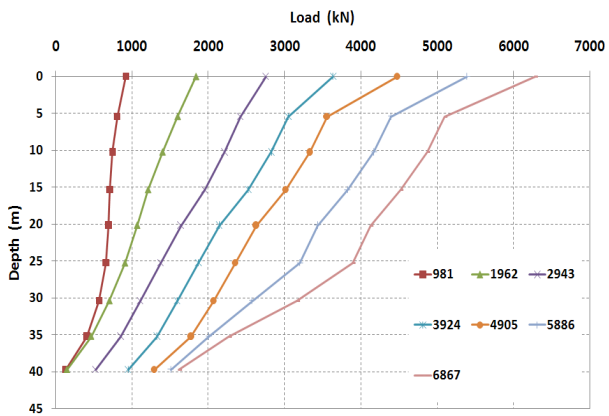


(a) PHC말뚝

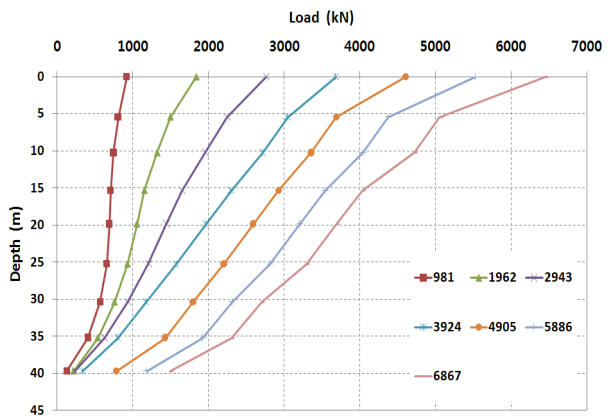


(b) 스크류PHC말뚝

그림 9. 기존의 PHC말뚝과 스크류PHC말뚝의 축하중 분포도 비교(지반조건 C-8)



(a) PHC말뚝



(b) 스크류PHC말뚝

그림 10. 기존의 PHC말뚝과 스크류PHC말뚝의 축하중 분포도 비교(지반조건 C-4)

3.3.2 점성토 지반특성에 따른 말뚝의 거동변화

표 2에 나타난 지반조건으로 수치해석을 실행하여 점성토지반특성에 따른 기존의 PHC말뚝과 스크류 PHC말뚝의 거동변화를 P-S 곡선을 이용하여 분석하였다. 수치해석 결과로 나온 P-S 곡선을 그림 11과 12에 나타내었다.

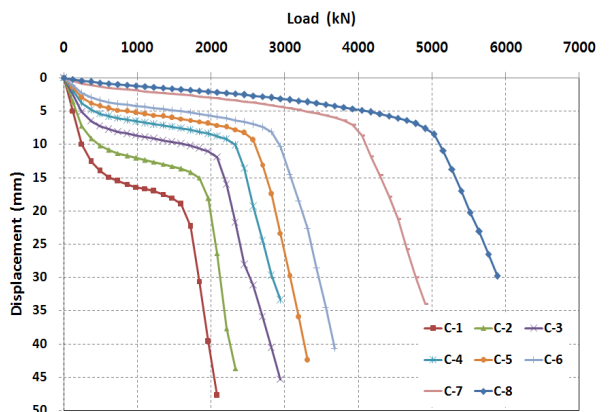


그림 11. PHC말뚝의 P-S 곡선

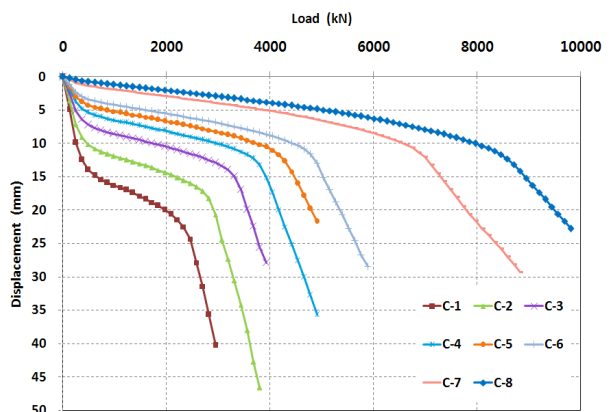
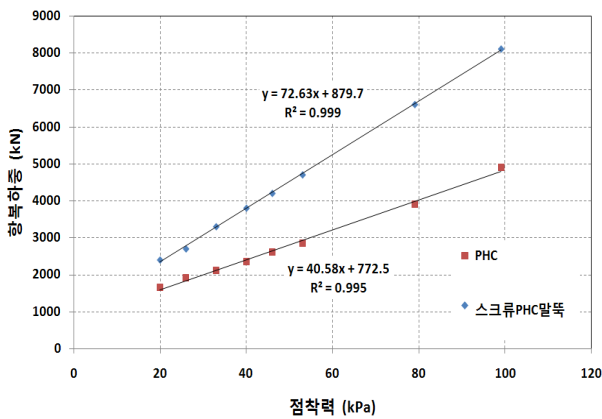


그림 12. 스크류PHC말뚝의 P-S 곡선

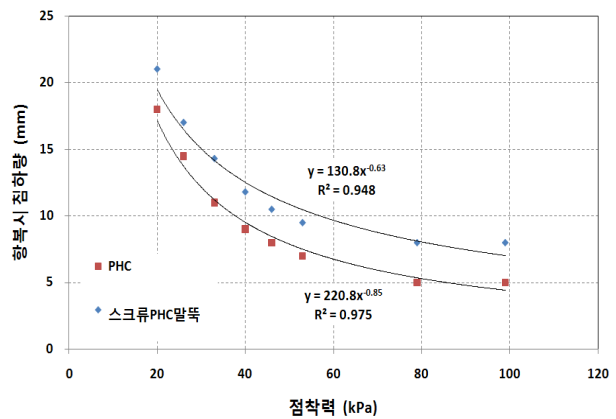
그림 11 및 12에서 항복시 하중 및 침하량을 구하고, 그 결과를 표 3에 나타내었다. 그리고 그 결과를 점착력의 크기에 대하여 도시하여 그림 13에 나타내었다. 그림 13(a)에 나타난 바와 같이 점착력과 항복하중의 관계는 점착력이 증가함에 따라 항복하중도 증가하는 직선의 형태를 나타내며 스크류PHC말뚝이 기존 PHC말뚝보다 1.8배 정도 기울기가 더 큰 것을 확인할 수 있다. 그림 13(b)에 나타난 바와 같이 점착력과 항복시 침하량의 관계는 점착력이 증가함에 따라 침하량이 감소하다가 일정해지는 곡선의 형태를 나타낸다.

표 3. 각 케이스별 항복하중과 점착력

구분	점착력 (kPa)	항복하중 (kN)		항복시 침하(mm)	
		PHC말뚝	스크류PHC말뚝	PHC말뚝	스크류PHC말뚝
C-1	20	1650	2400	18.0	21.0
C-2	26	1900	2700	14.5	17.0
C-3	33	2100	3300	11.0	14.3
C-4	40	2350	3800	9.0	11.8
C-5	46	2600	4200	8.0	10.5
C-6	53	2850	4700	7.0	9.5
C-7	79	3900	6600	5.0	8.0
C-8	99	4900	8100	5.0	8.0



(a) 항복하중과의 관계



(b) 항복시 침하량과의 관계

그림 13. 점착력의 증가에 따른 항복시 거동 양상

4. 결론

본 논문에서는 점성토지반에서 관입된 기존의 PHC말뚝과 스크류PHC말뚝에 대한 수치해석을 실시하였으며 점성토 지반특성의 변화에 따른 2가지 말뚝의 거동을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) P-S곡선에서 항복시 지지력은 스크류PHC말뚝이 기존 PHC말뚝보다 1.6 ~ 1.7배 정도 더 크게 나타났으며, 항복시 침하량은 스크류PHC말뚝이 2.5 ~ 3.0mm 정도 더 크게 나타났다.
- (2) 축하중 분포도에서 스크류PHC말뚝의 마찰력이 더 크게 나타났으므로 스크류의 형태가 마찰력에 큰 영향을 주는 것으로 판단되었다. 또한 P-S 곡선의 항복점 이후에는 마찰력이 극한 상태에 도달하는 것을 알 수 있었다.

- (3) 점착력과 항복하중 및 항복시 침하량의 관계를 도시하면 항복하중과는 선형 관계를 항복시 침하량과는 수렴하는 곡선의 형태로 나타난다. 즉 점착력이 커질수록 항복하중은 선형으로 증가하지만 항복시 침하량은 곡선의 형태로 감소한다. 또한 점착력 80kPa 이후부터는 항복시 침하량이 일정해지는 것을 알 수 있었다.
- (4) 향후 본 연구의 결과는 수행될 현장재하시험 결과를 토대로 검증되어야 할 것으로 보이며 점성토 뿐만 아니라 사질토와 혼성토에 대해서도 수치해석 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 및 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업의 지원을 받아 수행되었음

참고문헌

1. 한국도로공사(2002), 도로설계요령 제2권 토공, pp. 41.
2. Braja M. Das(2004), 기초공학, 도서출판 인터비전, 서울, pp.223.
3. GEO-SLOPE International Ltd.(2007), SIGMA/W 2007 An Engineering Methodology, United Kingdom.
4. Terzaghi, K., Peck, R. B.(1948), Soil Mechanics in Engineering Practice, New York, John Wiley & Sons.