

무소음·무진동 스크류말뚝공법의 수치해석에 의한 거동 연구

A Study on the Behavior of a Noise & Vibration-Free Screw Pile Method by Means of numerical analysis

김영필¹⁾, Young-Pil Kim, 정호영²⁾, Ho-Young Jung, 하영민³⁾, Young-Min Ha, 오승률⁴⁾, Seung-Ryul Oh, 최용규⁵⁾, Yongkyu Choi

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

²⁾ 경성대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Kyungshung

³⁾ 경성대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Kyungshung

⁴⁾ (주)무성토건 설계부 팀장, Dept. Head of Design, Musung Construction Industrial Co., LTD

⁵⁾ 경성대학교 건설환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil & Environ. Engineering, Univ. of Kyungshung

SYNOPSIS : In doing the foundation work in the downtown, the popular complaints by means of Noise and vibration have been became heavy burden. Therefore, the noise & vibration-free screw PHC pile method will contribute to the foundation work by removal of the popular complaints and improvement of the constructability.

In this paper, the load bearing capacity and displacement characteristics of the noise & vibration-free screw PHC pile were analyzed. The noise & vibration-free screw PHC pile's behavior was better well than the existing PHC pile's one.

Keywords : Noise & vibration-free PHC screw pile method, foundation work, the popular complaints, load bearing capacity, the existing PHC pile

1. 서론

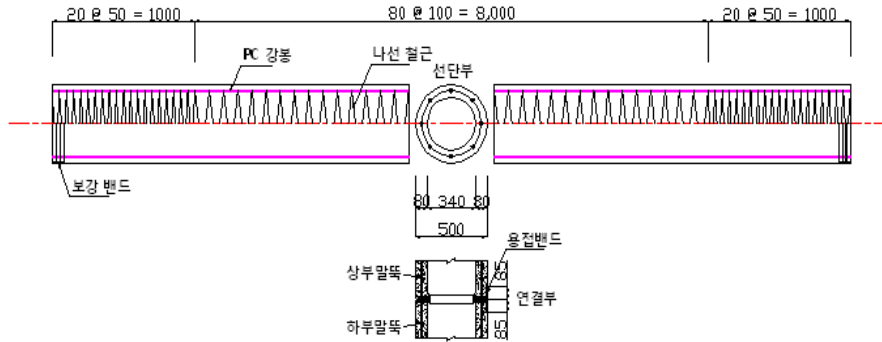
기존의 기성말뚝 시공법인 항타공법 또는 매입공법은 말뚝의 최종관입을 위하여 항타를 필수적으로 시행하여야 한다(박영호 외, 2008). 도심지 외의 지역에서는 위의 공법을 무리없이 사용할 수 있으나, 인접한 곳에 구조물이 있거나 주거지역이 있을 경우 항타로 인한 소음과 진동으로 민원을 피할 수 없게 된다. 이러한 민원은 보상금액과 공기 지연으로 인해 기초공사가 큰 부담이 아닐 수 없다. 민원의 원인이 되는 소음과 진동을 없앨 수 있다면 공사금액을 절약하고 공기를 단축시킬 수 있다. 따라서 항타 또는 최종경타 없이 스크류말뚝 전용오거만을 이용하여 계획된 깊이까지 말뚝을 시공할 수 있는 무소음·무진동 스크류 PHC말뚝공법의 개발은 꼭 필요하다.

또한 심도가 깊을 경우에도 기성말뚝을 용접하여 이음하므로 깊이의 제약을 받지 않으며 말뚝의 강성에도 문제가 없다. 이러한 스크류 PHC말뚝은 연약지반에 시공하더라도 회전에 의하여 관입되므로 주변 지반의 침하나 융기에도 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

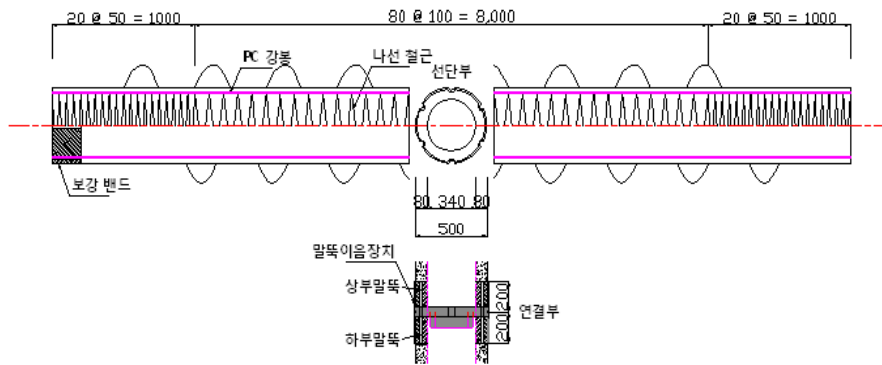
본 논문에서는 이러한 무소음·무진동 스크류 PHC말뚝공법의 개발과 관련하여 수치해석을 수행하여 말뚝의 거동을 분석하였다. 특정 현장의 지반조건을 참고하여 기존의 PHC말뚝과 스크류 PHC말뚝의 거동을 비교·분석하였다.

2. 말뚝의 제원

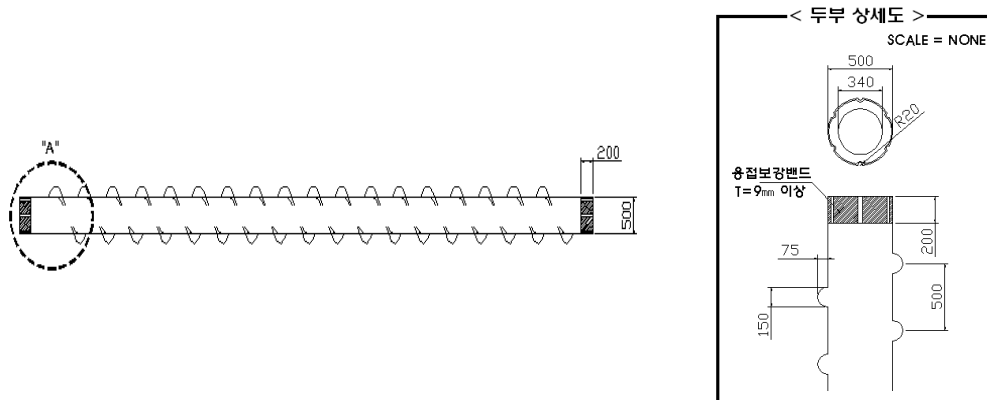
무소음·무진동 스크류 PHC말뚝은 일반 PHC말뚝에 스크류 형태의 날을 나선형으로 장착하였으며 말뚝의 이음부는 회전에 의한 관입이 용이할 수 있도록 별도의 이음부속품을 사용하였으며 그 외 부분은 기존의 PHC말뚝과 동일한 형태로 볼 수 있다. 말뚝의 일반적인 특성치는 기존의 PHC말뚝과 같으며 스크류 부분도 말뚝제작사에서 제작될 수 있게 하였으므로 스크류부분의 강도는 말뚝본체와 같은 강도를 가질 수 있었다. 말뚝의 상세도는 그림 1과 같다.



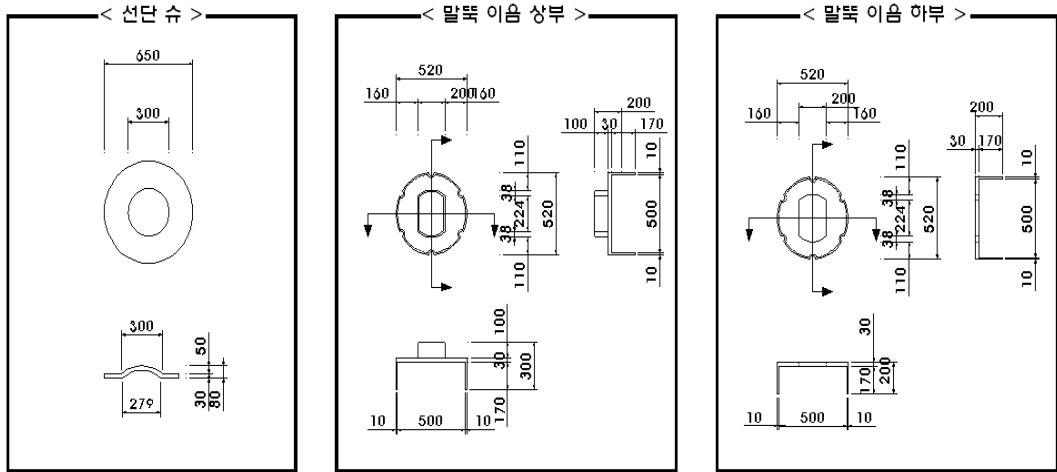
(a) 기존의 PHC말뚝



(b) 스크류 PHC말뚝



(c) 말뚝의 모형 및 두부상세도



(d) 말뚝부속 상세도

그림 1. PHC말뚝 및 스크류 PHC말뚝의 상세도

3. 수치해석

3.1 해석조건

해석 프로그램으로는 Geo-Studio사에서 개발한 sigma/w를 이용하였다. 말뚝이 지반에 관입된 상태에서 정하중을 상재하는 방식으로 해석하였다. 부산 명지지역의 지층분포 및 특성치를 활용하였다. 말뚝의 제원 및 지반특성치를 각각 표 1과 표 2에 나타내었다.

표 1. 말뚝의 제원

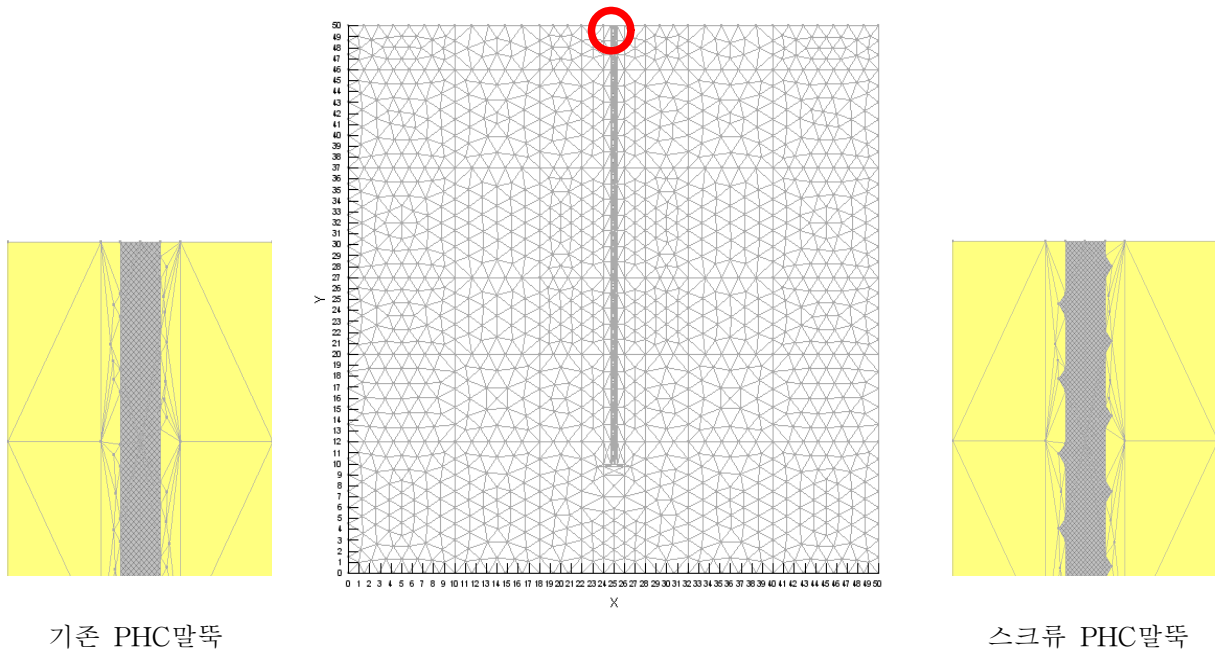
종 류	압축강도 (MPa)	직경 D (mm)	두께 t (mm)	포아슨비 ν	탄성계수 E (GPa)	스크류형태	스크류단면적 A (cm ²)
스크류 PHC말뚝	80.0	500	80	0.2	35.0	삼각형으로 표현	37.5
PHC말뚝	80.0	500	80	0.2	35.0	-	-

표 2. 지반조건

지층	지층두께 (m)	\bar{N}	단위중량 (kN/m ³)	점착력 (kPa)	ϕ (°)	ν	탄성계수 (kPa)
매립층	4.0	6	16.0	0.0	25.0	0.3	5580.0
실트질점토	9.0	4	17.0	20.0	15.0	0.3	5000.0
점토층	10.0	7	17.0	30.0	20.0	0.3	8450.0
자갈층	7.0	30	18.0	0.0	35.0	0.3	39700.0
모래점토층	8.0	12	18.0	0.0	30.0	0.3	8160.0
풍화암	12.0	50	19.0	50.0	35.0	0.3	270000.0

여기서, 단위중량과 \bar{N} 값은 지반조사에 의해 측정된 값이며 점착력, ϕ 는 도로설계요령(한국도로공사, 2002)에 제시된 개략적인 토질정수를 사용했으며, ν 는 일반적인 수치를, 탄성계수는 \bar{N} 치를 이용하여 Schultz-Menzenbach(1961)가 제안한 식들을 이용하여 산정하였다.

지반에 근입된 말뚝의 형태를 그림 2와 같이 모델링을 하였다. 중앙에 말뚝이 시공되었으며 지반의 좌·우측 경계면과 지반의 하부경계면은 수평 및 수직축 변위를 모두 고정시켜 두었다. 선단부는 풍화암에 근입되어 있으므로 선단지말뚝으로 모델링하였다. 말뚝의 단면은 환산단면적으로 하여 해석을 수행하였다. 본 논문에서는 말뚝의 자중을 포함하여 해석하였는데 자중을 포함한 경우와 포함하지 않은 경우를 비교했을 때 말뚝두부의 수직변위는 30mm 정도 차이를 보였다. 즉 자중의 영향이 크다고 판단하여 자중을 포함시켰으며 스크류 PHC말뚝에서는 스크류날의 자중이 포함되어 기존의 PHC말뚝자중보다 10% 정도 크게 나타났다.



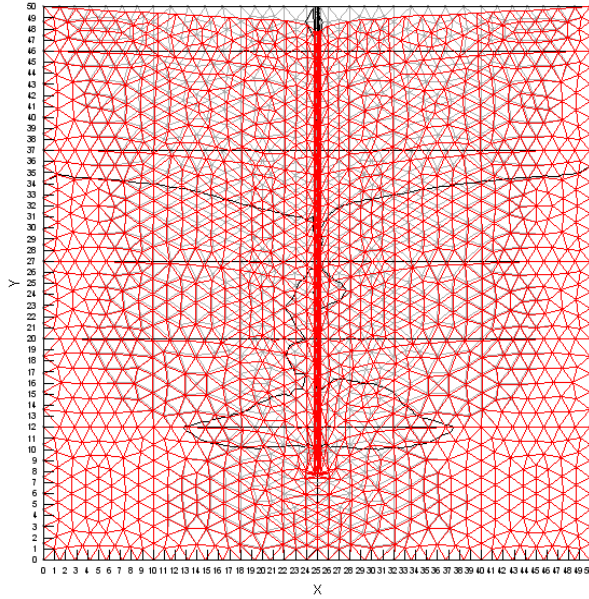
기존 PHC말뚝

스크류 PHC말뚝

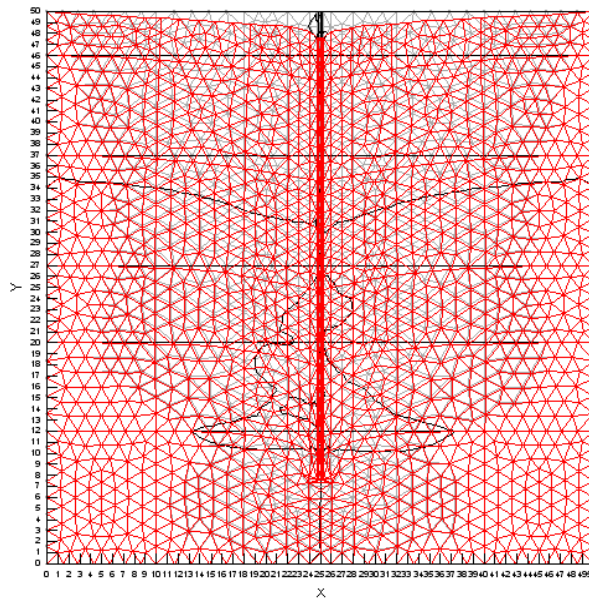
그림 2. σ/w 를 이용한 모델링

3.2 하중재하 및 해석

단계별로 하중을 재하하여 해석을 수행하였다. 하중재하는 총 32단계로 125kN씩 증가시켰고 그에 따른 말뚝과 지반의 변위를 확인하고 말뚝두부 침하량-하중 곡선과 축하중 분포도를 작성하였다. 기존의 PHC말뚝과 스크류 PHC말뚝의 해석결과를 비교하였으며 말뚝 및 지반의 변위는 그림 3과 같이 나타났다. 비슷한 형태의 변위를 보이고 있으며 최종하중 4000kN일 때의 말뚝 두부변위는 기존의 PHC말뚝에서 140mm, 스크류 PHC말뚝에서 135mm이고, 선단변위는 기존의 PHC말뚝에서 125mm, 스크류 PHC말뚝에서 124mm로 나타났으며 스크류가 달린 말뚝의 두부변위가 5mm 정도 덜 침하되었다. 자중을 포함했기 때문에 스크류 말뚝에 더 큰 하중이 재하되었지만 변위가 더 작다는 것은 스크류 부분이 말뚝의 거동에 큰 영향을 주는 것으로 판단되었다. 더 자세한 내용은 3.2.1 절과 3.2.2 절에서 설명하였다.



(a) 기존의 PHC말뚝

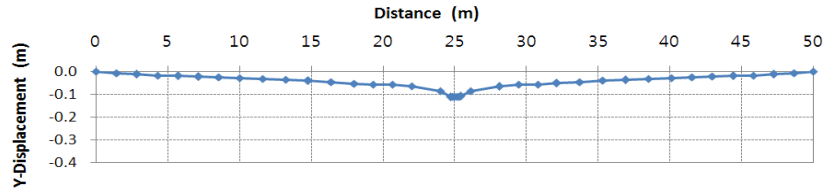


(b) 스크류 PHC말뚝

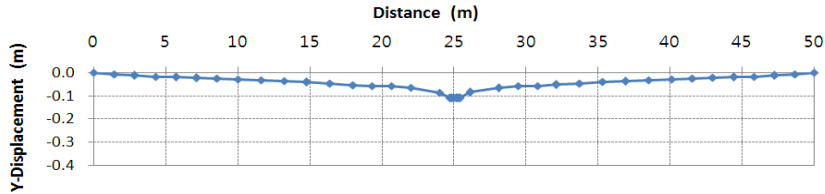
그림 3. 말뚝 및 지반의 변위 (재하하중 = 3375kN일 때)

3.2.1 말뚝머리 하중-침하량 관계

지표면과 말뚝머리의 침하량을 그림 4에 나타내었다. 여기서 말뚝머리 침하량을 구할 수 있으며 각 단계별 재하 하중과 말뚝머리 침하량을 정리하여 도시하면 그림 5와 같다. 하중이 3,375kN일 때 하중-침하량 관계 곡선이 선형성을 벗어나서 증가하는 것을 볼 수 있었다.



(a) 기존의 PHC말뚝



(b) 스크류 PHC말뚝

그림 4. 3375kN 재하시의 상부지반 및 말뚝머리 침하량

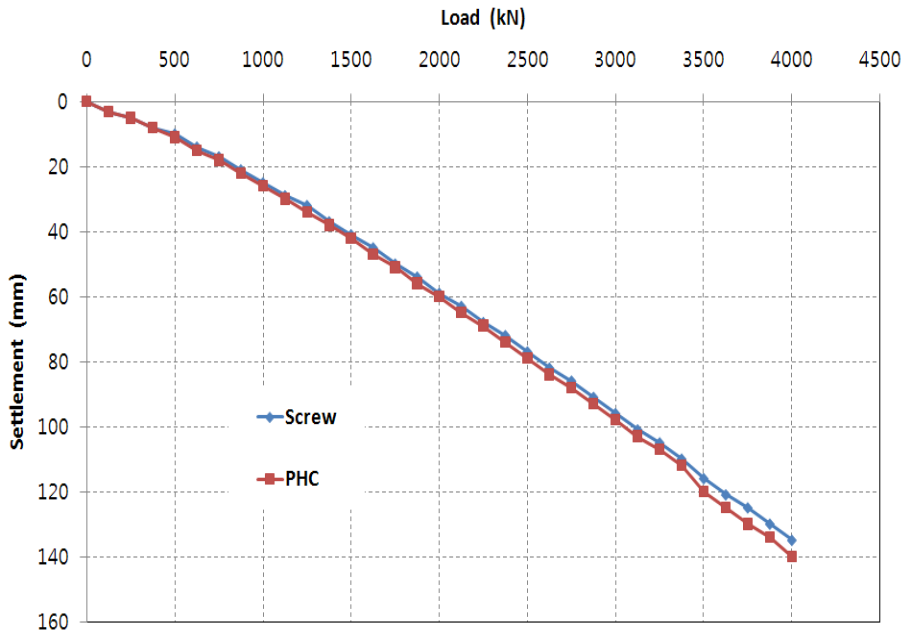
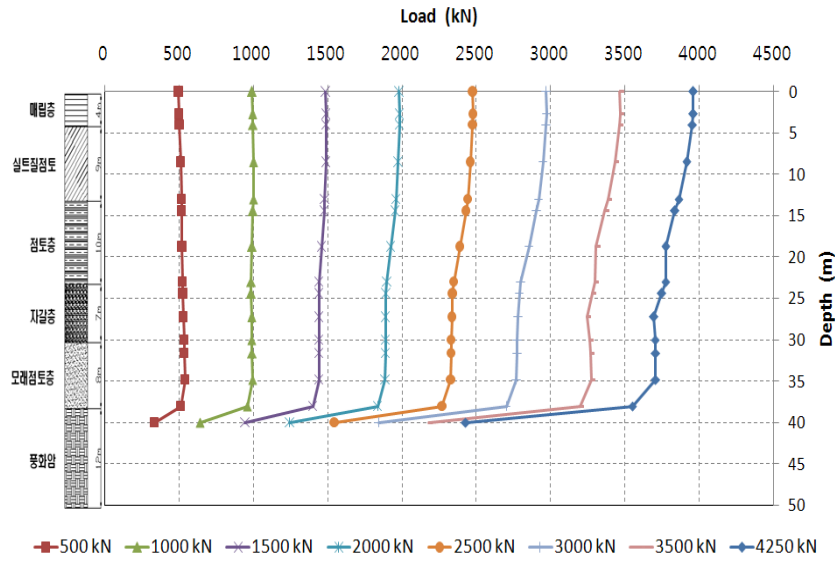


그림 5. 말뚝머리 하중-침하량 관계 그래프

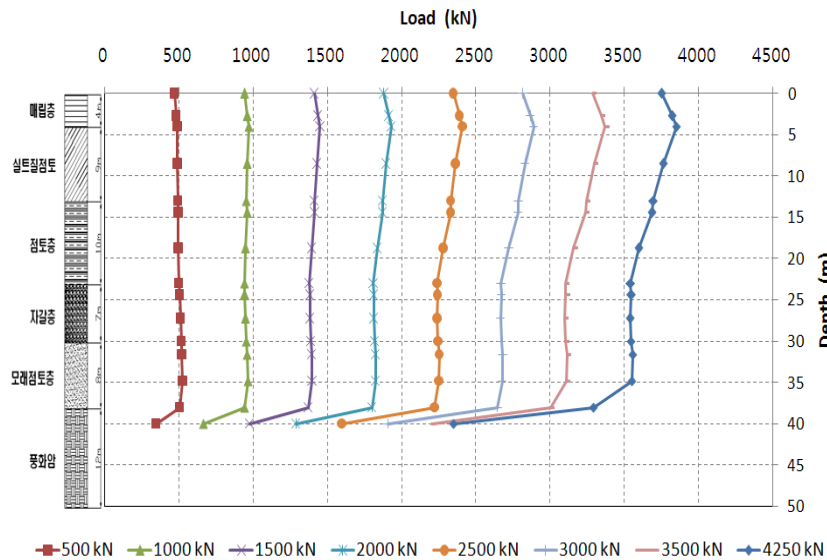
말뚝머리 하중-침하량 관계 곡선에서 작은 하중단계에서는 거의 동일한 침하량을 보이고 있으나 하중이 커질수록 스크류 말뚝의 침하량이 더 작은 것을 알 수 있었다. 즉 스크류 PHC말뚝이 침하에 대하여 유리한 것으로 나타났다. 해석상의 데이터를 이용한 말뚝머리 하중-침하량 관계 곡선에서는 뚜렷한 극한상태는 나타나지 않았다.

3.2.2 축하중 분포도

말뚝이 받는 축하중 분포도를 그림 7과 같이 도시하였다. 스크류 말뚝의 마찰력이 기존의 PHC말뚝의 마찰력보다 더 크게 나타나고 있어 스크류가 마찰력에 큰 영향을 주는 것으로 판단되었다. 그림 7에서 보이는 바와 같이 매립층, 실트질점토, 점토층, 자갈층에서는 기존의 말뚝과 비슷한 하중전이 양상을 모래점토층 하부 아래에서는 스크류 말뚝의 마찰력이 더 커지는 것을 알 수 있었다.



(a) 기존 PHC말뚝



(b) 스크류 PHC말뚝

그림 6. 하중단계별 축하중 분포도

4. 결론

본 논문에서는 수치해석을 통해 스크류 말뚝의 거동을 분석하였고 기존의 PHC말뚝의 거동과 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 풍화암층에 시공되었을 때 하중 4000kN 재하시 선단침하량에서 스크류 PHC말뚝이 기존의 PHC말뚝보다 5mm 정도 더 작게 나타났다. 즉 스크류 PHC말뚝이 침하에 대해 유리한 거동을 나타내는 것으로 보여진다.
- (2) 말뚝머리 침하량-하중 관계 곡선에서 스크류 PHC말뚝과 기존 PHC말뚝이 하중 3,375kN 근처에서부터 선형성을 벗어나서 증가하기 시작하였다.

(3) 스크류 PHC말뚝과 기존 PHC말뚝의 축하중 분포도에서는 작은 하중 단계에서는 비슷한 침하거동을 보이고 있었으나 1500kN 이상의 하중에서부터 스크류 PHC말뚝의 마찰력이 커진 것을 확인할 수 있었다. 스크류 PHC말뚝의 스크류 부분이 마찰력 부분에서 유리한 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 및 한국산업기술재단의 2008년도 지역혁신인력양성사업(과제번호 : 20080703160330)의 지원을 받아 수행되었음

참고문헌

1. 박영호, 남문석, 김낙영, 육정훈(2008), “한국도로공사의 매입말뚝 공법의 설계와 시공”, **한국지반공학회**, 가을학술발표회 논문집, pp. 521~532.
2. 한국도로공사(2002), **도로설계요령 제2권 토공**, pp. 41.
3. Schultze. E. Menzenbach. E.(1961), "Standard Penetration Tests and Compressibility of Soils", Proc of 5th ICSM. Vol. 1, pp.527-532.