

# 중소구경 헬리컬 파일의 축과 원판의 형상이 지지력에 미치는 영향 평가 : I. 시험시공과 현장재하시험

## Effect of Configuration of Shaft and Helix Plate on Bearing Capacity of Moderate-size Helical Pile : I. Test-bed Construction and Field Loading Test

이종원<sup>1</sup>, 이동섭<sup>1</sup>, 김형남<sup>2</sup>, 최항석<sup>3\*</sup>

Jongwon Lee<sup>1</sup>, Dongseop Lee<sup>1</sup>, Hyung-nam Kim<sup>2</sup>, Hangseok Choi<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Nonmember, Graduate student, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea Univ, Anam Campus, Anam-dong 5-ga, Seongbuk-gu, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Nonmember, Team manager, Sambo Geotechnical Engineering Co, Ltd

<sup>3</sup>Member, Professor, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea Univ. Anam Campus, Anam-dong 5-ga, Seongbuk-gu, Seoul, Korea

### ABSTRACT

The helical pile is a manufactured steel pile consisting of one or more helix-shaped bearing plates affixed to a central shaft. This pile is installed by rotating the shaft into the ground to support structural loads. The advantages of helical piles are no need for boring or grout process, and ability to install with relatively light devices. The bearing capacity of the helical pile is exerted by integrating the bearing capacity of each helix plate attached to the steel shaft. In this paper, to estimate the bearing capacity of moderate-size helical piles, 6 types of helical piles were constructed with different shaft diameter, plate configuration and the penetration depth. A series of field loading tests was performed to evaluate the effect of helical pile configuration on the bearing capacity of helical pile, constructed in two different shaft diameters (i.e. 73 mm and 114 mm). In the same way, the diameter of bearing plate was also changed from 400mm to 250mm with one or three plates. As well, the penetration depth was varied from 3m to 6m to analyze the relation between the penetration depth and the bearing capacity. As a result, not only the increase of the shaft diameter, but also the number or diameter of helix bearing plates enhances the bearing capacity. Especially the configuration of the helix plate is more critical than the shaft diameter.

### 요 지

헬리컬 파일(helical pile)은 한 개 이상의 나선형 원판을 중공형 축에 부착한 후 지반에 회전 관입시켜 지지력을 발현하게 하는 말뚝기초의 하나이다. 헬리컬 파일은 나선형 원판이 부착된 철재 축과 나선형 원판이 모두 지지력을 발휘하기 때문에 기존의 말뚝 지지력 식으로 헬리컬 파일의 지지력을 예측하기 위해서는 검증이 필요하다. 본 연구에서는 중소구경 헬리컬 파일의 지지력을 확인하기 위하여 김포 일대에서 헬리컬 파일의 축의 직경과 원판의 형상, 관입 깊이를 변화시키며 시공한 후 재하시험을 수행하였다. 현장시험은 동일한 조건에서 헬리컬 파일 축의 직경을 73mm, 114mm 두 가지로 시공하여 지지력을 측정, 비교하여 축의 직경이 헬리컬 파일의 지지력에 미치는 영향을 검토하였다. 같은 방법으로 원판의 개수가 1개, 3개로 제작된 헬리컬 파일 및 원판의 직경을 400mm에서 250mm으로 변화시키며 시공한 헬리컬 파일의 재하시험 결과를 바탕으로 원판의 형상이 지지력에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 헬리컬 파일의 관입 심도를 3m에서 6m까지 설정하여 관입 심도에 따른 지지력을 비교하였다. 현장 시험 결과 원판의 개수가 증가할수록, 원판과 축의 직경이 증가할수록 헬리컬 파일의 지지력이 증가하는 경향을 보이나, 축의 직경은 헬리컬 파일의 지지력에 상대적으로 적은 영향을 미치는 것을 확인할 수 있으며, 원판의 형상이 지지력에 미치는 영향이 상대적으로 큰 것으로 판단된다.

**Keywords** : Helical pile, helix plate, shaft, bearing capacity

Received 8 May. 2014, Revised 4 Jun. 2014, Accepted 7 Jun. 2014

\*Corresponding author

Tel: +82-2-3290-3326; Fax: +82-2-928-7656

E-mail address: hchoi2@korea.ac.kr (H. Choi)

# 1. 서론

헬리컬 파일(helical pile)은 한 개 이상의 나선형 원판(heilx plate)을 증공형 축(shaft)에 부착한 후 지반에 회전 관입시켜 지지력을 발현하게 하는 말뚝기초로서, 항타와 굴착의 공정이 필요하지 않아 무소음 시공이 가능한 말뚝이다. 헬리컬 파일의 사용이 처음 기록된 것은 1836년 아일랜드의 토목공학자 Alexander Mitchell에 의해 주택의 기초를 보강하는데 사용된 것이다. 이후 1853년 영국에 알려져 사용되기 시작하였고, 미국에서는 1850~1890년대에 경량 주택의 기초로 빈번하게 사용되었다. 이후 1920년대까지는 주로 울타리의 기초용으로, 1985년까지는 앵커와 유사한 기능으로 사용되었다. 현재에는 송전탑의 기초, 중소형 건물 및 도로의 기초, 사면 안정 등의 목적으로 널리 사용되고 있다(Perko, 2009; Merifield, 2011).

헬리컬 파일은 목표 심도까지 회전 관입이 가능하게 하는 회전 관입기(toque machine)로만 시공이 가능하므로 비교적 소형의 장비로도 말뚝 시공이 가능하며, 조작이 간단하고, 상업적으로 사용되고 있는 건물 또는 유적지 등의 시공부지가 한정된 곳에서 시공이 가능한 장점이 있다(Watson, 2011). 또한 헬리컬 파일은 증공형 축에 축보다 큰 직경을 갖는 나선형 원판이 부착되어 있으므로 각기의 나선형 원판이 선단지지력을 발휘할 수 있어(Livneh and Nagggar, 2008) 기존의 강관말뚝에 비해 재료비에 대한 지지력 측면에서 큰 이점을 갖는다. 이와 같은 다양한 장점으로 인하여 미국 및 유럽에서는 헬리컬 파일을 오래전부터 다양한 현장에서 이용해왔다. 하지만 국내에는 헬리컬 파일의 장점이 잘 소개되지 않았고, 헬리컬 파일과 형상이 유사한 스크류 앵커 파일에 관한 연구(Yoo, 2012), 현장 시공된 헬리컬 파일의 지지력에 관하여 기존의 지지력 예측 공식과 비교분석한 사례 등이 있다(Ha et al., 2013). 이러한 헬리컬 파일은 대부분 정형화된 형상을 가지고 있으며, 증공형 축의 직경이나 나선형 원판의 형상에 따른 지지력에 대한 연구가 부족한 실정이다.

헬리컬 파일의 지지력은 일반적으로 크기에 따라 점토 지반에서 20~50ton, 모래지반에서 50~100ton, 암반에서 최대 180ton까지 발휘할 수 있으며(Perko, 2009), 현재 헬리컬 파일의 지지력 예측은, 기존 Terzaghi(1943)의 제안식이나 Meyerhof(1951)의 제안식을 사용하고 있다. 하지만 헬리컬 파일은 기존 말뚝과는 상이한 형상이므로 기존의 예측식에 대하여 높은 신뢰도를 기대할 수 없으며, 기

존 예측식을 그대로 사용하기 위해서는 국내 지반에서 시공된 헬리컬 파일의 지지력에 대한 검토가 필요하다. 본 논문에서는 헬리컬 파일의 축의 직경과 원판의 형상, 관입 깊이가 지지력에 미치는 영향을 평가하기 위하여 경기도 김포 일대에 73mm와 114mm 두 가지 직경의 축에 400, 350, 300, 250mm 직경의 원판을 1개 또는 3개 부착한 중소구경 헬리컬 파일을 제작하여 현장 시공을 수행하였다. 또한 말뚝 정재하시험을 실시하여 헬리컬 파일의 형상 및 시공 깊이에 따른 지지력을 평가하고, 현장 시공에 사용된 유압모터의 최종토크를 측정, 지지력과의 상관관계를 분석하였다.

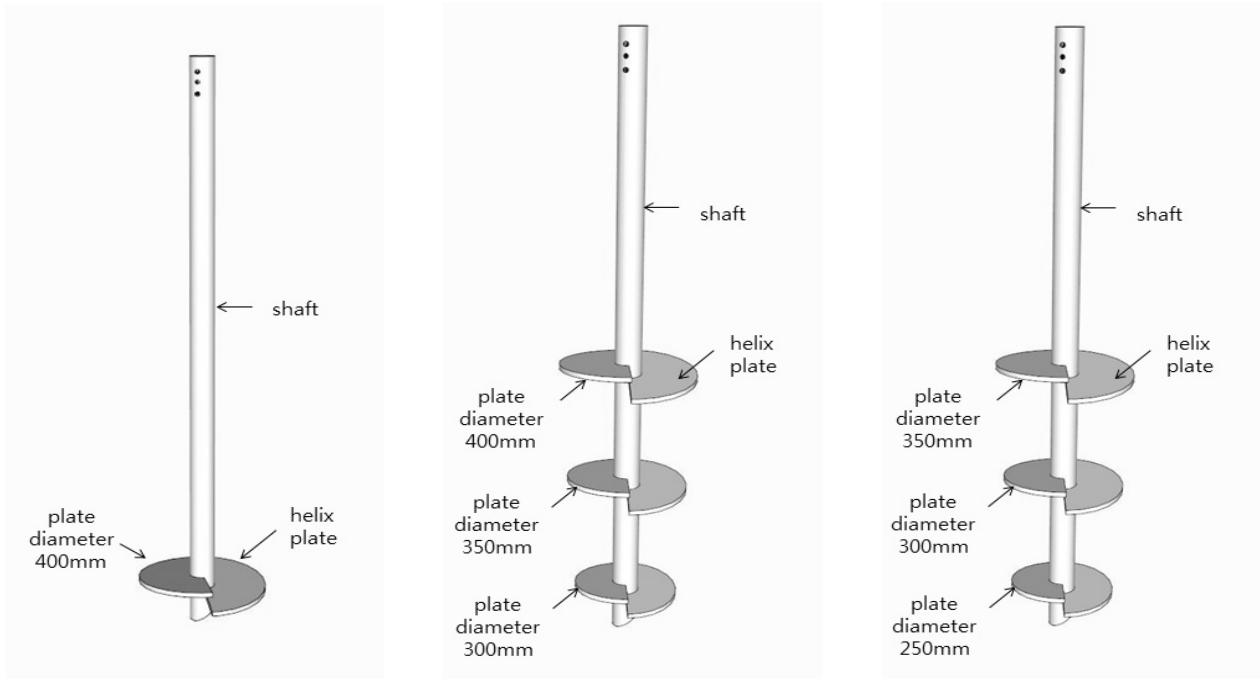
## 2. 중소구경 헬리컬 파일 현장 시험 시공

### 2.1 헬리컬 파일 제원

중소구경 헬리컬 파일의 현장 시험시공은 경기도 김포시 통진읍 일대에서 수행하였다. 국내에서 시공되는 헬리컬 파일은 정형화된 형상으로, 축 직경은 89mm, 원판의 직경은 300mm 내외가 대부분이다(Ha et al., 2013). 따라서 축 직경과 원판 형상이 지지력에 미치는 영향에 대한 연구가 미흡하여, 본 연구에서는 시공 현장에 적용되는 일반적인 헬리컬 파일의 축 직경을  $\pm 15\text{mm}$ , 원판의 직경을  $\pm 100\text{mm}$ 까지 바꾸어 현장 시험 시공을 수행하였다. 시공된 헬리컬 파일은 중소구경 범위인 73mm와 114mm 직경을 갖는 2종류의 축과 400, 350, 300, 250mm 직경의 원판 조합(1개 또는 3개)으로 구성하였으며, 3개의 원판으로 구성된 헬리컬 파일의 원판 간 간격은 1m로 고정하였다. 각 헬리컬 파일의 축 직경, 원판의 크기 및 개수를 Table 1에 정리하였으며, 원판의 개수 및 형상에 따라 3가지 구분된 헬리컬 파일을 종류별(Type I, II, III)로 Fig. 1에 나타냈다.

Table 1. Specification of shaft and helix plate of helical pile

Shaft diameter	Helix plate diameter (mm)	
	73mm	Type I
Type II		400,350,300
Type III		350,300,250
114mm	Type I	400
	Type II	400,350,300
	Type III	350,300,250



(a) Type I : helix plate diameter 400 mm

(b) Type II : helix plate diameter 400, 350, 300 mm

(c) Type III : helix plate diameter 350, 300, 250 mm

Fig. 1. Shape of helical piles

## 2.2 현장 시험 시공

헬리컬 파일의 현장시공은 원판이 1개 또는 3개 부착되어 있는 헬리컬 파일을 유압모터를 이용하여 회전 관입하였다. 시공 중 파일이 지반에 수직으로 관입되는지 확인하기 위하여 경사계(tiltmeter)를 설치하여 수직도를 관리하였으며, 지반의 구성 현황 파악과 강성 평가를 위해 표준관입시험(SPT)을 수행하고 교란시료를 채취하였다. 지반은 지표에서 0.7m까지 퇴적층, 0.7m에서 12m까지 풍화토, 그 이후로는 풍화암의 순으로 확인되었으며, 헬리컬 파일이 시공된 풍화토의 점착력은  $0.0(\text{tf}/\text{m}^2)$ , 내부마찰각은  $25^\circ$ , 표준관입시험 결과로부터 얻어진 N치는 지표에서 6m지점까지 5~10(회)/30(cm), 9m 지점에서 50/29(cm)으로 산정되었다. 현장시공 지반의 주상도는 Fig. 2에 나타내었으며, 헬리컬 파일의 시공과정은 Fig. 3에 나타내었다.

헬리컬 파일의 시공은 원판이 부착된 선단부를 관입한 후에 중공형 축을 커플링 또는 볼트로 연결하여 목표 심도까지 추가 관입하는 과정으로 진행되었다(Fig. 3(c) 참조). 또한 시공 시의 최종토크와 지지력을 비교하기 위하여 유압모터에서 측정된 압력을 이용하여 심도별 토크 값을 산출하였으며, 예로 직경 114mm 헬리컬 파일의 관입 깊이별 토크 값을 Fig. 4에 도시하였다.

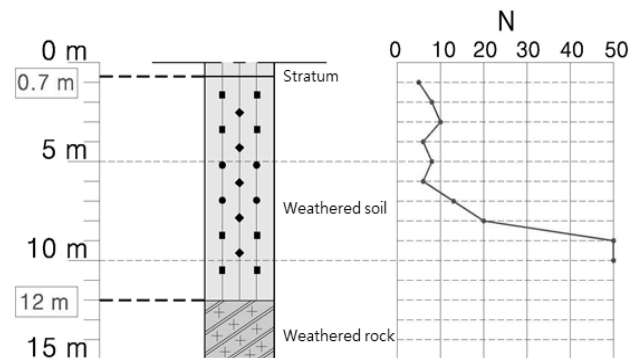


Fig. 2. Soil layer and N-value distribution with depth

## 3. 현장 재하 시험

현장 정재하시험은 삼각대를 이용하여 시험할 헬리컬 파일 주변에 4개의 반력말뚝을 시공하고 헬리컬 파일과 반력말뚝 사이에 유압실린더를 설치한 후에 헬리컬 파일 상부에 중심축을 추가로 연결(Fig. 5(a) 참조), 중심축 상단과 반력말뚝 상부를 고정하여 전체적인 형상이 피라미드를 이루게 하였다(Fig. 5(b) 참조). 유압실린더의 압력으로 반력말뚝에 하중이 가해지고, 각 반력말뚝에서 헬리컬 파일 바깥쪽으로 변위가 발생하면서 중심축 상단과 반력말뚝 상부가 연결된 철제축이 파일의 아랫방향으로 하중



(a) Construction equipment



(b) Penetration

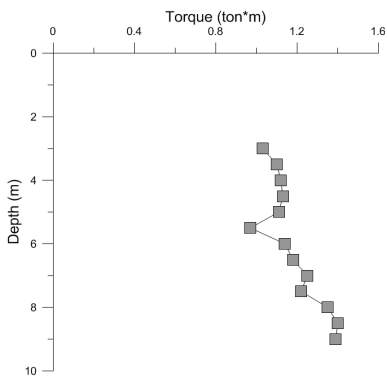


(c) Add extension sections

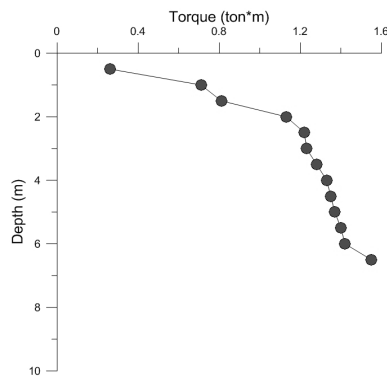


(d) Removal procedure

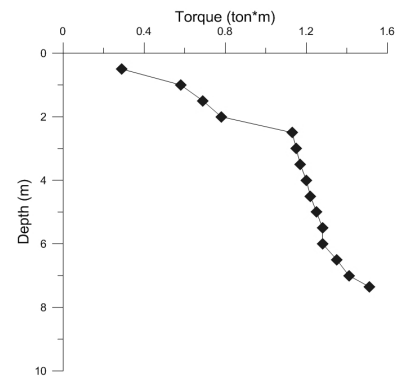
Fig. 3. Helical pile installation procedures



(a) Type I



(b) Type II



(c) Type III

Fig. 4. Comparison of installation torque with depth (Shaft diameter 114 mm)



(a) Installation of hydraulic cylinder and central shaft



(b) Additional shaft



(c) Load test

Fig. 5. Load test process

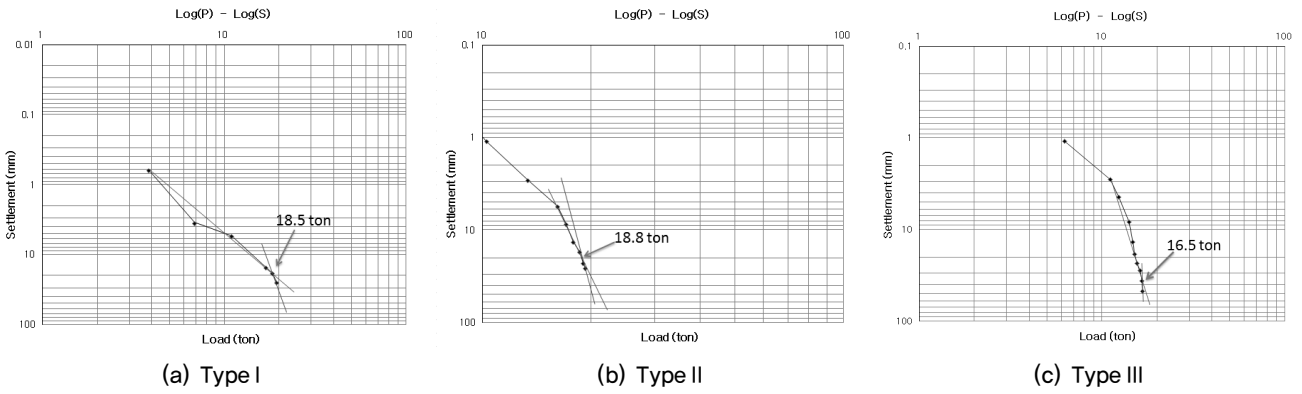


Fig. 6. load-settlement curve (Shaft diameter 73 mm, depth 3 m)

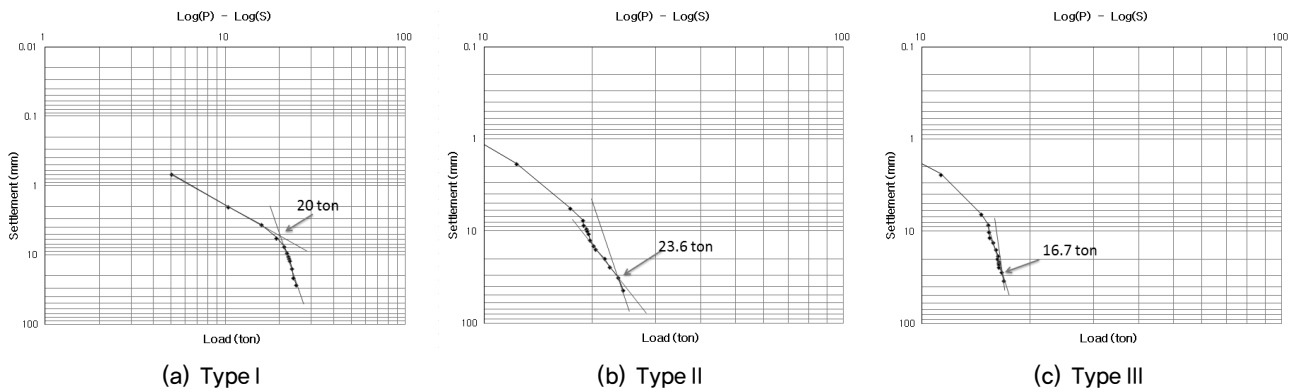


Fig. 7. load-settlement curve (Shaft diameter 73 mm, depth 4.5 m)

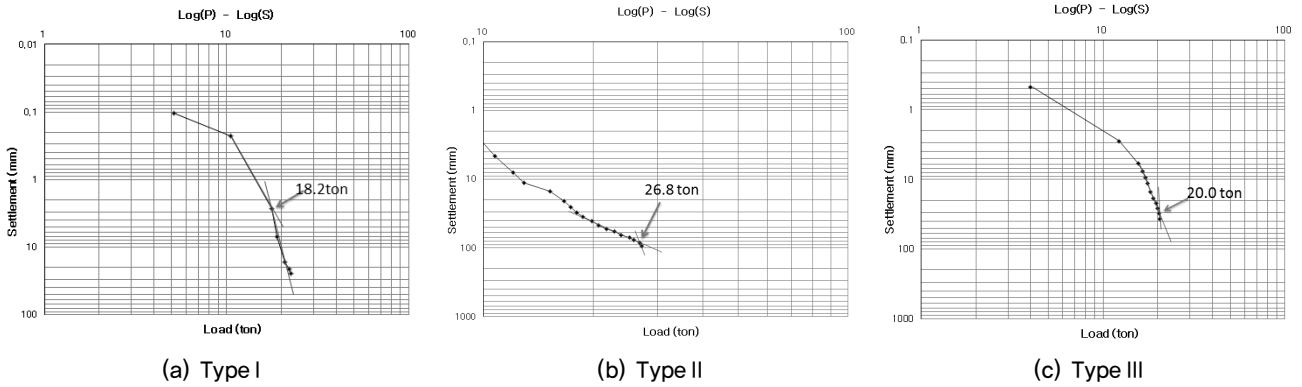


Fig. 8. load-settlement curve (Shaft diameter 73 mm, depth 6 m)

을 전달하여 헬리컬 파일에 침하를 유발하고, 이를 측정하는 과정으로 진행되었다. 현장 재하시험 과정을 Fig. 5에 나타내었다.

각 헬리컬 파일은 지표에서 3m, 4.5m, 6m 깊이 까지 관입하여 정재하시험을 수행하여 깊이별로 하중-침하곡선을 산정하였다. 산정한 하중-침하곡선에 대해  $\log(P)$ - $\log(S)$  방법을 적용하여 하중과 침하를 로그축에 도시, 동일한 기울기를 가지는 좌표들을 연결하여 기울기가 감소하는 지점을 지지력으로 산정하였으며, 3m까지 관입된 축 직경

73mm의 헬리컬 파일의 지지력 산정방법을 Fig. 6에 나타내었다. 또한 4.5m, 6m까지 관입된 축 직경 73mm의 헬리컬 파일을 각각 Fig. 7, Fig. 8에 나타내었으며, 축 직경 114mm 헬리컬 파일의 지지력 산정방법을 Fig. 9~Fig. 11에 도시하였다. 또한, 현장에서 측정된 헬리컬 파일의 형상과 깊이에 따라 측정된 헬리컬 파일의 지지력을 Table 2에 나타냈다.

일반적으로 헬리컬 파일 시공시 시공이 종료된 시점의 유압모터의 최종토크는 헬리컬 파일의 지지력과 일련의

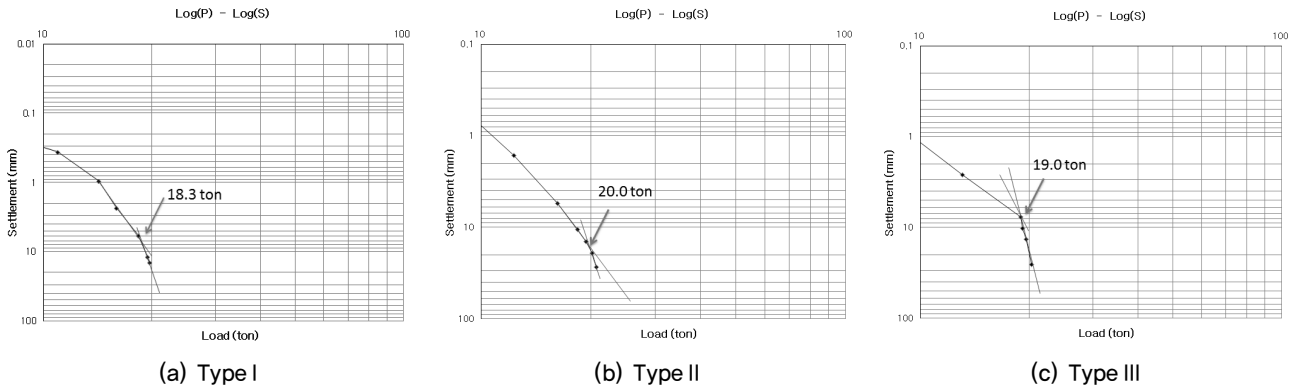


Fig. 9. load-settlement curve (Shaft diameter 114 mm, depth 3 m)

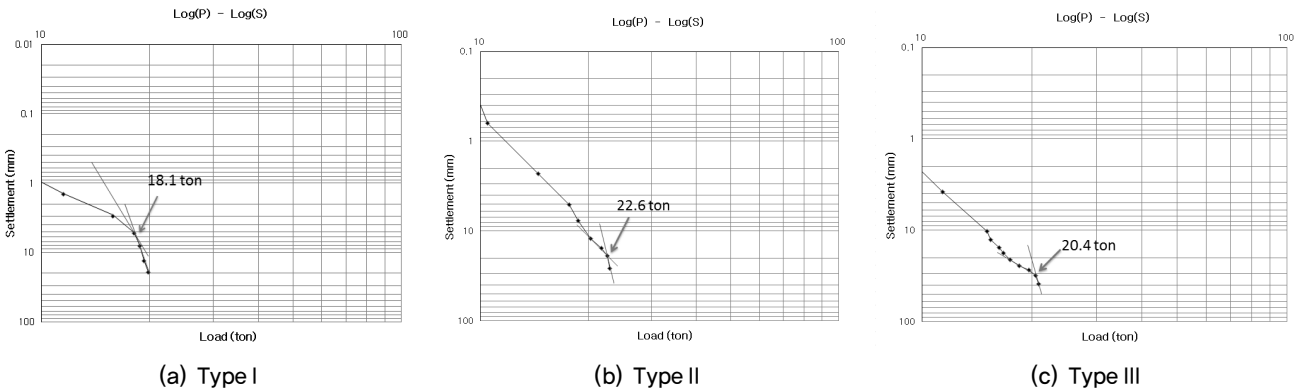


Fig. 10. load-settlement curve (Shaft diameter 114 mm, depth 4.5 m)

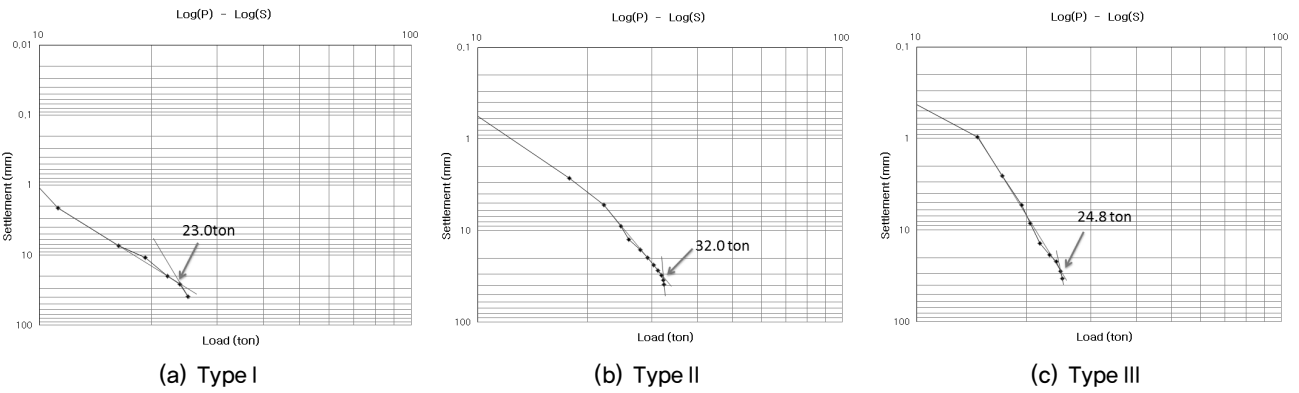


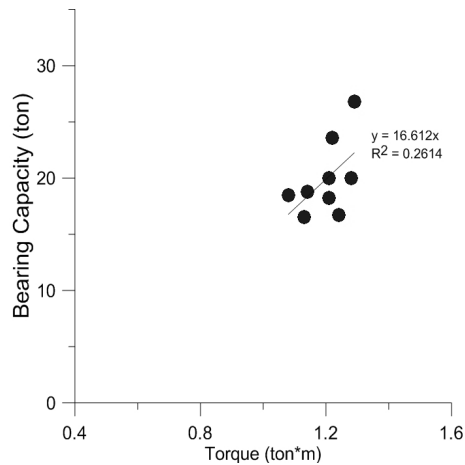
Fig. 11. load-settlement curve (Shaft diameter 114 mm, depth 6 m)

상관관계가 있으며, 헬리컬 파일 축의 직경에 따라 관입 최종토크로부터 지지력을 예측할 수 있다(Deardorff, 2007). 축의 직경에 따른 시공시 유압모터의 최종토크와 지지력의 상관관계를 평가하기 위해 헬리컬 파일 관입시 측정된 최종토크를 Table 2에 삽입하였다. 정재하시험을 통해 측정된 헬리컬 파일 형상별 지지력과 최종토크의 관계를 헬리컬 파일 축 직경 73mm와 114mm 경우에 대해 각각 Fig. 12에 도시하였다. 측정된 지지력과 최종토크의 관계는 다소 분산성을 보이나, 대체로 선형관계를 보임을 알 수 있

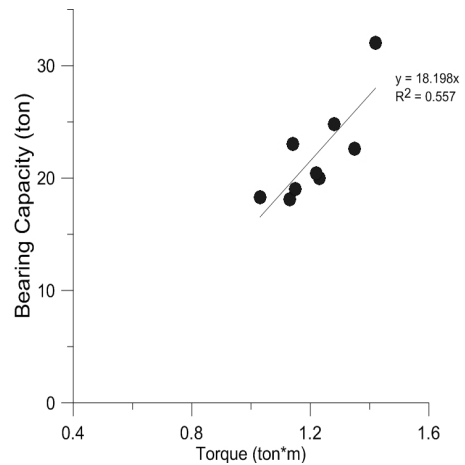
다. 최종토크에 대한 선형회귀분석을 통해 예측된 헬리컬 파일의 지지력은 연계논문인 Lee et al. (2014)에서 상세히 검토하였다.

#### 4. 헬리컬 파일 형상과 지지력과의 상관 관계

Table 2에 정리된 축 직경 73mm 헬리컬 파일의 관입깊이에 따른 지지력의 변화를 Fig. 13(a)에, 축 직경 114mm 헬리컬 파일의 관입깊이에 따른 지지력을 Fig. 13(b)에 나



(a) Shaft diameter 73 mm



(b) Shaft diameter 114 mm

Fig. 12. Correlation between bearing capacity and final installation torque

Table 2. Result of field load test and final installation torque

Shaft diameter (mm)	Helix plate diameter (mm)		Depth (m)	Bearing capacity (ton)	Final installation torque (ton·m)
73	Type I	400	3	18.5	1.08
			4.5	20	1.21
			6	18.2	1.21
	Type II	400,350,300	3	18.8	1.14
			4.5	23.6	1.22
			6	26.8	1.29
	Type III	350,300,250	3	16.5	1.13
			4.5	16.7	1.24
			6	20	1.28
114	Type I	400	3	18.3	1.03
			4.5	18.1	1.13
			6	23.9	1.14
	Type II	400,350,300	3	20	1.23
			4.5	22.6	1.35
			6	32	1.42
	Type III	350,300,250	3	19	1.15
			4.5	20.4	1.22
			6	24.8	1.28

타내었다. Fig. 13(a)에서 헬리컬 파일의 축 직경이 73mm로 동일할 때, 원판의 형상이 400, 350, 300mm인 경우 (Type II)의 지지력이 원판의 형상이 350, 300, 250mm인 경우(Type III)의 헬리컬 파일의 지지력보다 큰 것을 확인할 수 있다. Fig. 13(b)에서 축 직경이 114mm인 경우에도 동일하게 원판의 형상이 Type II인 경우가 Type III인 경우보다 지지력이 큰 경향을 보이므로 현장 정재하시험 결과가 원판의 직경 증가에 따른 헬리컬 파일의 지지력이 증가를 적절하게 평가함을 알 수 있다. 축 직경 73mm의 헬

리컬 파일은 직경이 400 mm 원판의 개수가 1개인 경우 (Type I)에는 3개의 원판이 부착된 Type II보다는 지지력이 적게 측정되었고, Type III와 비교하면 심도가 3m, 4.5m일 때에는 더 큰 지지력을 갖지만, 6m에서는 오히려 작은 지지력을 보이는 것으로 측정되었다. 일반적으로 헬리컬 파일의 지지력은 최하단 원판이 가장 큰 영향을 준다. 최하단 원판의 지지력은 Type I이 Type III보다 크지만, Type III의 경우 상부 2개 원판의 지지력이 추가되기 때문에, 이론적으로 상부 2개 원판이 위치한 지반의 N치

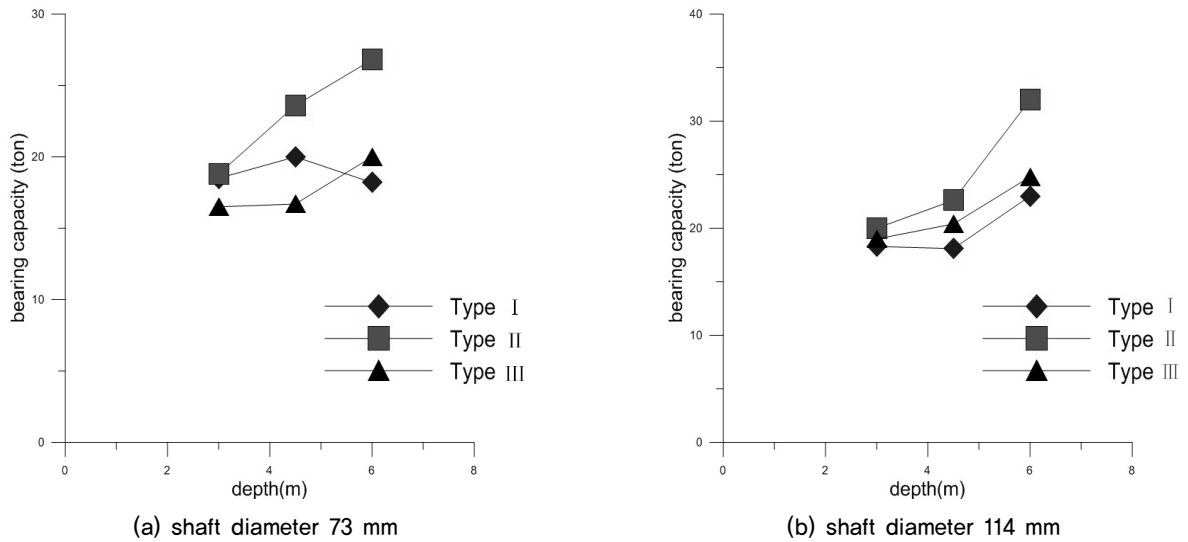


Fig. 13. Relation between helix plate configuration and bearing capacity

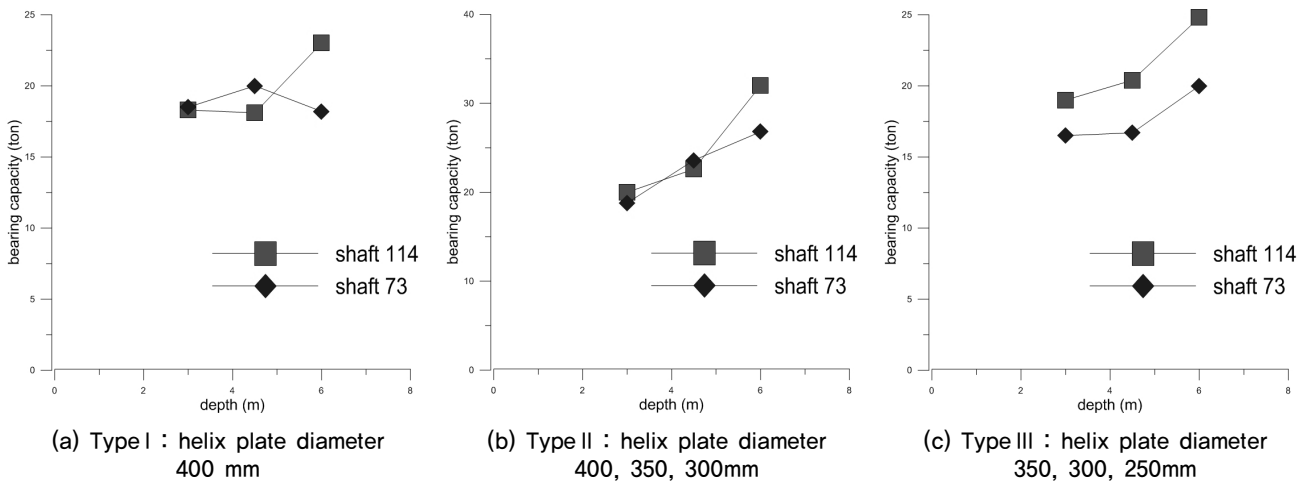


Fig. 14. Relation between helix plate configuration and bearing capacity

에 따라 Type I의 지지력이 Type III 큰 경우와 작은 경우가 모두 측정될 가능성이 있다. 이론식에 의한 분석은 연계논문인 Lee et al., (2014)에서 수행하였다. Fig. 13(b)에서 축 직경이 114mm인 경우에는 축 직경이 73mm인 경우와 유사한 결과를 보이지만, 3가지 심도에서 모두 직경 400 mm 원판 1개인 헬리컬 파일(Type I)의 지지력이 원판이 3개인 헬리컬 파일(Type II와 III)보다 적게 측정되었다. 직경이 400mm인 1개의 원판을 부착한 헬리컬 파일의 경우 최하단 원판의 직경이 300mm 또는 250mm인 경우보다 관입에 필요한 토크가 상대적으로 크다는 것을 고려하였을 때, 원판 1개를 부착한 헬리컬 파일보다 원판 3개를 부착한 헬리컬 파일이 지지력을 발현하는데 있어 상대적으로 효과적이라는 것을 판단할 수 있다.

헬리컬 파일의 중심축의 직경이 지지력에 미치는 영향

을 평가하기 위하여 동일한 원판 형상에 대해, 축의 직경에 따른 지지력의 관계를 Fig. 14에 나타내었다. 원판 형상 Type I(Fig. 14(a) 참조)과 Type II(Fig. 14(b) 참조)에서 축 직경이 73mm에서 114mm로 증가하였을 때 측정 깊이에 따라 지지력이 다소 증가한다. 또한, 원판 형상 Type III(Fig. 14(c) 참조)에서는 축 직경의 증가가 지지력의 증가에 미치는 영향이 모든 측정 깊이에서 명확히 보여준다. 동일한 축 직경에서 원판의 형상이 Type II인 경우와 Type III인 경우의 지지력의 차이는 축 직경 73mm의 경우 심도에 따라 약 2~7ton, 축 직경 114mm의 경우 약 1~7ton으로 측정되었다. 원판의 직경이 동일할 때 축 직경이 73mm에서 114mm로 증가함에 따른 지지력의 차이는 Type II가 0~5ton, Type III는 3~5ton으로, 상대적으로 원판의 직경이 축의 직경보다 헬리컬 파일의 지지력에 미치는 영향이



크다는 것을 확인할 수 있다.

## Acknowledgement

## 5. 결론

본 연구에서는 헬리컬 파일 축의 직경 및 원판의 형상, 그리고 관입 심도별 지지력을 측정하기 위하여 김포 일대에서 현장시공을 수행하였다. 각 요소가 헬리컬 파일의 지지력에 미치는 영향을 검토하기 위하여 동일한 조건에서 축의 직경, 원판의 형상, 관입 심도를 차례로 변화시키며 현장 재하시험을 수행, 지지력을 측정하였다.

- (1) 현장 정재하시험 결과 동일한 관입 심도에서 원판의 개수가 증가하면 지지력이 1~7ton까지 증가하였으며, 동일한 원판 형상에서 축의 직경이 증가하면 헬리컬 파일의 지지력이 2~5ton까지 증가하는 것을 확인하였다. 헬리컬 파일의 지지력은 상대적으로 축의 직경에 적은 영향을 받으며, 원판의 형상이 지지력에 미치는 영향이 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다.
- (2) 직경 400 mm 원판 1개인 헬리컬 파일(Type I)의 지지력이 원판이 3개인 헬리컬 파일(Type II와 III)보다 지지력이 작고, 관입에 필요한 토크가 비교적 크기 때문에, 큰 직경의 원판 1개를 부착한 헬리컬 파일보다 상대적으로 작은 원판 3개를 부착한 헬리컬 파일이 지지력을 발휘하는데 있어 효과적이라는 것을 판단할 수 있다.
- (3) 헬리컬 파일 시공시 시공이 종료된 시점의 유압모터의 최종토크는 헬리컬 파일의 지지력과 일련의 상관관계가 있으며, 본 논문에서 측정된 지지력과 최종토크의 관계는 다소 분산성을 보이나, 대체로 토크 값이 증가하면 지지력이 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술원(KAIA)의 건설교통기술촉진연구사업(과제번호 12CTAPE02)으로 수행한 “지지력 확인 시스템이 장착된 지반보강형 helical pile의 설계 및 시공법 개발” 연구의 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

## References

1. Deardorff, D. (2007), “Torque Correlation Factors for Round Shaft Helical Piles”. *In Proceedings of the 32nd Annual Conference of the Deep Foundation Institute*, Colorado Springs, CO, pp.439-450.
2. Ha, T. S., Moon, H. R. and Moon, H. M. (2013), “An analysis of correlation between predicted and measured bearing capacity in Rotary(Helical) pile method”, *Korean Geotechnical Society Conference*.
3. Lee, J., Lee, D., Na, K. and Choi, H. (2014), “Effect of configuration of shaft and helix plate on bearing capacity of moderate-size helical pile : II. Bearing capacity prediction”, *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, under review.
4. Livneh, B. and Naggar, M. H. (2008), “Axial testing and numerical modeling of square shaft helical piles under compressive and tensile loading”, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 45, Issue 8, pp.1142-1155.
5. Merifield, R. S. (2011), “Ultimate Uplift Capacity of Multiple Helical Type Anchors in Clay”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE*, July 2011, Vol. 137, No.7, pp.704-716.
6. Meyerhof, G. G. (1951), “The Ultimate Bearing Capacity of Foundations.” *Geotechnique*, Vol.2, No.4, pp.301-331.
7. Perko, H. A. (2009), *Helical Pile*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, p.5.
8. Terzaghi, K. (1943), *Theoretical Soil Mechanics*, New York: John Wiley and Sons.
9. Watson, T. B. (2011), *Fundamentals of helical anchors/piles*, pp.5-7.
10. Yoo, C. S. (2012), “Effect of Screw Geometries on Pull-out Characteristics of Screw Anchor Piles Using Reduced Scale Model Tests”, *Korean Geotechnical Society*, Vol. 28 No.1, pp.5-15.