

## 나선형 파일을 이용한 말뚝기초에 관한 연구

윤영환<sup>1</sup>, 강시온<sup>2</sup>, 조영동<sup>3</sup>, 김상환<sup>4\*</sup>  
<sup>1</sup>SK건설 HSE팀, <sup>2</sup>삼보기술단 지반사업본부,  
<sup>3</sup>(주)무진네오테크, <sup>4</sup>호서대학교 건축토목환경공학부

### Study of pile foundation using spiral pile

Young-Hwan Yoon<sup>1</sup>, Si-On Kang<sup>2</sup>, Young-Dong Cho<sup>3</sup>, Sang-Hwan Kim<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>HSE Team, SK Engineering & Construction CO., LTD.,

<sup>2</sup>Engineer, SAMBO ENGINEERING CO., LTD.

<sup>3</sup>Moojinneotech CO., LTD.

<sup>4</sup>Dept. of Civil Engineering, Hoseo University

**요약** 본 연구는 나선형 파일을 이용한 말뚝기초에 관한 연구이다. 구조물이 안전하게 유지되기 위해서는 지반과 지상구조물을 연결해주는 기초가 필요하다. 그러나 인접 구조물이나 도시 지역에 기초를 건설할 때, 소음 및 진동 등에 의해 문제가 발생한다. 이러한 단점을 보완하기 위해 저진동, 저소음의 새로운 형상인 스파이럴 기초에 대한 연구를 수행하였다. 스파이럴 기초에 관한 연구는 축소모형실험을 수행하였으며, Meyerhof의 지지력 이론식 결과와 비교하였다. 말뚝기초 모형의 나선형 말뚝은 각기 다른 피치각도 및 길이 별로 제작 되었으며, 하중재하실험을 통하여 지지력을 측정 하였다. 축소모형실험 결과 나선형 말뚝의 피치 각도 및 길이가 증가 할수록 지지력이 증가함을 알 수 있었다. 실험에서 측정된 결과를 검증하기 위해 이론적 결과를 도입하여 실제 나선형 말뚝과 축소 제작된 말뚝의 지지력을 비교 검토 하였다. 연구결과를 통해 스파이럴 기초의 극한 지지력을 증가시키기 위해서는 기초의 길이와 피치각도를 증가시키는 것이 타당하다고 판단된다. 본 연구를 수행함으로써 기존의 기초건설 문제를 보완하고, 기초건설에 대하여 우수한 효과와 안전성 확보에 기여하고자 한다.

**Abstract** This study examined a pile foundation using a spiral pile. To maintain the structural safely, a foundation for connecting the ground and the ground structure is needed. On the other hand, noise and vibration, etc. cause problems when constructing a foundation on adjacent structures or urban areas. A study of the spiral foundation of a new shape with low vibration and noise was carried out to solve these problems. A study of pile foundations was carried out on a scaled model test and compared with the results of Meyerhof's bearing capacity theory. The scaled model test results showed that the bearing capacity increases with increasing pitch angle and length of the spiral pile. To verify the measured bearing capacity in a test with theoretical results, the bearing capacity of the actual spiral pile and scaled model pile were examined and compared. The ultimate bearing capacity of the spiral pile can be increased by increasing the foundation length and pitch angle. This study complements existing foundation construction problems and contributes to a better effect and safety.

**Keywords** : Foundation, Load test, Pile foundation, Scaled model test, Spiral pile

본 논문은 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 연구과제로 수행되었음.

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 2018 건설기술연구사업의 '도심지 소단면(φ3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발(18CIP-B105148-04)' 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

\*Corresponding Author : Sang-Hwan Kim (Dept. of Civil Engineering, Hoseo Univ.)

Tel: +82-41-540-5793 email: kimsh@hoseo.edu

Received December 28, 2017

Revised March 7, 2018

Accepted March 9, 2018

Published March 31, 2018

### 1. 서론

인류가 생활하며 영위하는 모든 구조물에는 기본적으로 필요한 구성 요소가 있다. 일반적으로 지상에서 흔히 눈에 띄는 도심지 건축물 또는 대규모 토목구조물(교량 기초, 송전탑, 각종 전신용 타워, 각종 주탑 구조물 기초)이 전부라고 생각할 것이다. 하지만 구조물의 지지 메커니즘을 살펴보면 실제로 지상의 구조물이 안전하게 유지되기 위해서는 지반과 지상구조물을 연결해 주는 기초가 필요하다. 이와 같이 기초의 역할은 모든 구조물에 있어서 안전성 확보를 위한 중요한 부분이며, 모든 구조물에 반드시 필요한 요소이다.

기초의 종류는 직접기초, 말뚝기초, 케이슨 기초 등이 있다. 기초시공은 구조물에 미치는 영향과 수송, 소음 진동 등의 문제가 있으며 작업공간이 비교적 넓어야 하는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위한 저소음, 저진동 스파이럴 기초는 지반에 기초를 회전 압입시켜 지지층에 기초를 지지시키는 방법으로 소음과 진동의 발생이 적어 환경 친화적인 공법이며 지지력을 극대화 할 수 있다. 또한 다른 기초공법과 달리 공기 단축으로 경제적이고 선단 지지력과 주변 마찰력을 극대화 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

스파이럴 기초에 관한 국외 연구로는 효율적인 시공법을 확립하기 위해 나선형 강관파일이 지반에 회전 관입될 때의 메커니즘에 관한 연구 [1]와 스크류 기초의 인발실험에 관한 연구[2] 등 다수의 연구가 이루어졌다. 국내의 경우 강성승 등은 새롭게 개발된 스파이럴 바의 축 방향 저항력 예측법에 의하여 타당한 결과를 얻는 연구[3], 최용규 등은 스크류 PHC말뚝의 시험시공 시 소음 진동분석에 관한 연구와 스파이럴바의 특성과 지반사이의 연성거동 메커니즘을 규명하기 위한 연구[4]를 하였으며, 이민주 등은 나선형 강관 파일의 날개 유효면적 산정을 위한 지지력 실험[5]을 수행 하였다. 하지만 나선형 강관의 지지력에 대한 연구 및 나선형 강관의 피치의 각도와, 강관의 길이별 등 형상개발에 관한 연구는 미흡한 상황이다.

따라서, 본 연구는 새로운 기초형상을 개발하기 위하여 스파이럴 기초의 피치 각도와 길이에 변화를 주어 제작한 후 축소모형실험을 통해 하중 재하실험을 하였으며 이론적 검증은 실시하여 향후 기초 압입 시 소음, 진동 억제와 구조물의 안전성 확보에 적용하고자 한다.

### 2. Meyerhof의 지지력 이론

스파이럴 기초에 관한 연구는 Meyerhof의 지지력 이론(1951)[6]에 의하여 모형실험결과와의 적정성을 검증하였다. Meyerhof는 기초저면이 거친 얇은 기초와 깊은 기초에 대한 지지력이론을 발표 하였으며, Fig. 1은 극한 상태에서 연속기초 하부의 파괴면에 대한 가정을 나타내고 있다.

파괴 메커니즘은 Terzaghi의 가정과 비슷하지만 탄성영역인 흙 췌기에서 ac와 bc의 수평면과 이루는 각이  $45^\circ + \phi/2$ 로 Terzaghi와 다르며, Terzaghi는 기초저면 위쪽의 흙을 상재 하중으로 간주해 전단저항을 무시한 반면에 Meyerhof는 Fig. 1과 같이 파괴면이 대수나선과 직선으로 지표면까지 연장된다고 가정하여 전단저항을 고려하였다.

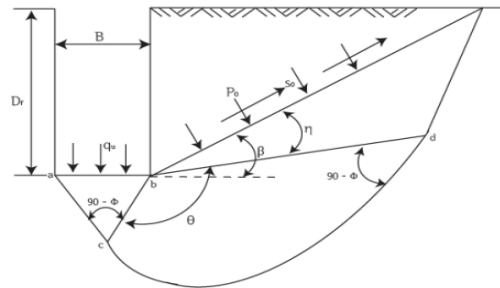


Fig. 1. Slip line fields for rough strip foundations. (Meyerhof, 1951)

Meyerhof(1963)는 Terzaghi와 달리 기초의 형상 및 근입과 하중경사를 고려하여 식 1과 같이 극한 지지력 산정식을 제안하였다.

$$\begin{aligned}
 q_u &= cN_c \zeta_{cs} \zeta_{ca} \zeta_{ci} + qN_q \zeta_{qs} \zeta_{qd} \zeta_{qi} \\
 &\quad + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \zeta_{\gamma s} \zeta_{\gamma d} \zeta_{\gamma i} \\
 N_q &= e^{\pi \tan \phi} \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \\
 N_c &= (N_q - 1) \cot \phi \\
 N_\gamma &= (N_q - 1) \tan(1.4\phi)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

- c : 흙의 점착력
- q : 기초 근입 심도에서의 상재하중
- γ : 흙의 단위중량
- B : 기초의 폭
- φ : 흙의 내부마찰각

Table 1. Modification factors of Meyerhof

	Surface load(q) $\zeta_q$	Soil cohesion(c) $\zeta_c$	Soil unit weight( $\gamma$ ) $\zeta_\gamma$
Shape factor(s)	$1 + 0.1 K_p \frac{B}{L} \varnothing > 10^\circ$ 1 $\varnothing = 0$	$1 + 0.2 K_p \frac{B}{L}$	$1 + 0.1 K_p \frac{B}{L} \varnothing > 10^\circ$ 1 $\varnothing = 0^\circ$
Depth factor(d)	$1 + 0.1 \sqrt{K_p} \frac{D}{B} \varnothing > 10^\circ$ 1 $\varnothing = 0$	$1 + 0.2 \sqrt{K_p} \frac{D}{B}$	$1 + 0.1 \sqrt{K_p} \frac{D}{B} \varnothing > 10^\circ$ 1 $\varnothing = 0^\circ$
Inclination factor(i)	$(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ})^2$	$(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ})^2$	$(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ})^2 \varnothing > 10^\circ$ 1 $\varnothing > 0^\circ$

$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$                        $D$  : depth of foundation                       $B$  : Withd of foundation  
 $\phi$  : internal friction angle                       $L$  : Length of foundation                       $\theta$  : Load slope

또한, 위의 지지력공식에 적용하는 Meyerhof의 수정 계수는 Table 1과 같다.

### 3. 축소모형 실험

#### 3.1 스파이럴 기초 실험개요

본 연구에서는 스파이럴 기초의 피치 각도 및 길이에 대한 극한 지지력을 분석하고자 실제크기의 1/3.9 스케일로 축소한 모형 기초를 이용하여 하중재하실험을 수행하였다. 또한 모형실험의 극한 지지력을 검증하기 위해 실제 기초에 적용되는 이론식을 도입하여 극한 지지력 및 허용지지력을 산정하고 비교 분석을 수행하였다.

#### 3.2 차원해석

원지반의 변형거동을 연구하기 위한 축소모형 실험은 현장조건을 충분히 구현하기 위하여 원지반과 축소모형 간의 차원해석을 실시하고, 이에 근거하여 적절한 축소율을 선정하는 것이 중요하다. 세 가지 기본 차원을 길이 [L], 질량[M], 시간[T]이라고 할 때 축소율을 산정하는 순서는 우선 길이에 대한 축소율을 결정한 후 이를 이용하여 시간, 밀도, 질량 등을 차례로 산정하게 된다[7]. 축소율은 작을수록 현실과 근사하며, 실제 스파이럴 기초의 길이(18cm, 27cm, 38cm, 54cm)에 대해 실내 작업환경을 고려하여 1/3.9로 결정하였다. 다음으로 시간 [T]에 대한 축소율을 결정하는데 여기에는 중력가속도 일정한 값이 사용된다. 즉, 중력 가속도[LT<sup>-2</sup>]는 현장과 실험실에서 모두 같으므로 시간 [T]의 축소율은 1/1.97 이 된다.

다. 모형재료(스파이럴 기초)밀도는 7.84g/cm<sup>3</sup>이고 실제대상인 스파이럴 기초의 밀도도 7.84g/cm<sup>3</sup>이므로 밀도[ML<sup>-3</sup>]에 관한 질량[M]의 축소율은 1/59.3이 된다. 기본 차원인 길이 [L], 시간[T], 질량[M]의 축소율 모두 결정되었으며 응력, 탄성계수, 강도 등의 축소율은 차원 해석을 통해 Table 2와 같이 나타낼 수 있다.

Table 2. The scale factors of the experimental models

Physical Property	Dimension	Scale
Length	[L]	1/3.9
Time	[T]	1/1.97
Mass	[M]	1/59.3
Density	[ML <sup>-3</sup> ]	1
Young's modulus	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]	1/0.255
strength	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]	1/0.255

#### 3.3 스파이럴 기초 축소모형 장비 및 방법

본 실험에서는 지반을 조성하기 위하여 주문진 표준사를 이용하였으며 표준사의 기본 물성치는 Table 3과 같다. 또한, 실험 토조내에 심도별 균질한 상대밀도(D<sub>r</sub>)의 지반을 형성시키기 위하여 높이조절이 가능한 강사장치를 이용하였다.

Table 3. Physical parameters of ground

relative density (%)	unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion (c)	internal friction angle (ϕ)
40	14.357	0	35.8
80	15.288	0	41.2

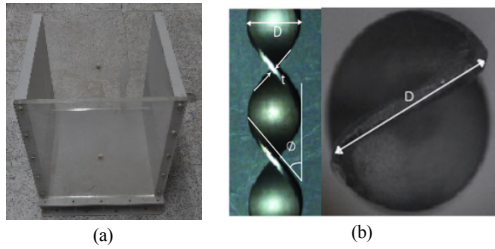


Fig. 2. Scaled model test of spiral pile  
(a) Soil tank (b) Spiral pile

축소모형 실험에서 사용된 토조는 Fig. 2(a)와 같이  $B \times H \times L = 600 \times 600 \times 600 \text{mm}$ 의 규모이며, 스파이럴 기초는 Fig. 2(b)와 같이 강판을 가공하여 제작하였다. 스파이럴 기초 제작은 얇고 긴 강판을 양 단면을 고정시킨 후 축 회전시켜 만든 나선형태의 기초로써 금속재료인 연강을 사용하여 쉽게 가공할 수 있으며 가공 특성상 강판의 축 방향에 압축력이 작용하므로 축 중심 부근의 두께가 두꺼워지는 반면, 축 중심에서 가장 멀리 떨어진 양쪽 가장자리 부분에서는 인장력의 작용으로 인하여 두께가 얇아지는 경향이 있다. 그러므로 동일한 단면 내에 함께 작용하는 압축력과 인장력을 완화시키기 위하여 축 방향에 일정한 인장력을 가하면서 비틀림 가공을 수행하였다. 또한 비틀림 가공중 가해지는 인장력을 조절하여 각각의 길이별 피치 각도를 변화시켜 스파이럴 기초를 제작하였다.

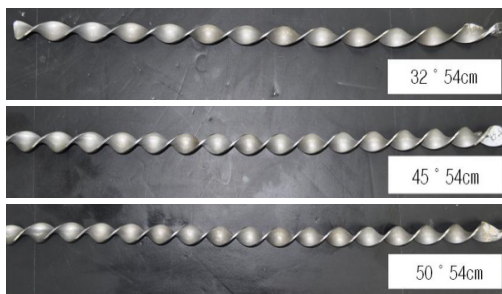


Fig. 3. Spiral pile model

스파이럴 기초 Case는 Fig.3과 같이  $D=1.6\text{cm}$ ,  $t=0.15\text{cm}$ 를 공통적으로 확보한 상태에서 길이 및 나선 각도를 변화시켰다. Fig.3.은  $L=54.0\text{cm}$  ( $\theta=32^\circ, 45^\circ, 50^\circ$ )이며, 동일 각도를 유지하여  $L=18\text{cm}$ ,  $L=27\text{cm}$ ,  $L=38\text{cm}$ 의 다양한 Case를 제작하여 하중재하실험을 수행하였다.

스파이럴 기초 하중재하 실험의 모식도는 Fig. 4(a)와 같다. 스파이럴 기초에 대한 하중재하는 일정한 무게의 추를 9.8N씩 단계별로 각 하중에 대한 침하가 일어나지 않는 범위시간인 15분 이상을 최소 시간으로 설정하여 재하실험을 실시하였다. 또한, 모형 기초의 설치위치는 토조의 중앙으로 하여 기초를 완전히 지반에 압입 한 후 기초 바로 위에 다이얼게이지(1/0.01)를 설치하고 Fig. 4(b)와 같이 기초의 재하실험을 실시하였다.

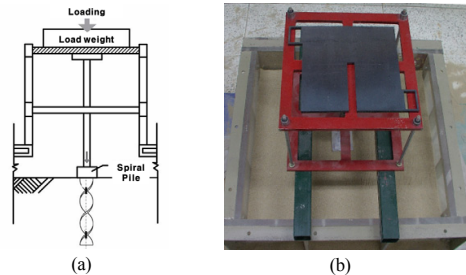


Fig. 4. Load testing for spiral pile  
(a) Modeling of load test (b) Load test

#### 4. 모형 실험 결과 및 분석

스파이럴 기초의 피치 각도  $32^\circ, 45^\circ, 50^\circ$ 와 길이 18.0cm, 27.0cm, 38.0cm, 54.0cm의 지지력 변화를 단계적으로 측정하기 위하여 재하하중을 일정하게 단계별로 주어 침하량을 측정하였다. 실험은 각 Case별로 3회씩 실시하였으며, 재하하중에 대하여 측정된 침하량을 평균하여 그래프로 나타내었다. 극한 지지력에 대한 분석은 기초 재하하중에 따라 나타나는 침하거동이 급격해 지는 부분을 선정하여 극한 지지력으로 측정하였다.

##### 4.1 길이 18.0cm 스파이럴 기초의 극한 지지력과 최대 침하량

Fig. 5는 길이 18.0cm 스파이럴 기초에 피치 각도를 변화시켜 하중 침하량을 분석해 본 결과이다. Fig. 5(a)의 피치각도  $32^\circ$ 에 경우 극한 지지력은 36.3N이며 극한 지지력 일 때 침하량은 0.4mm로 측정되었다. 피치 각도  $45^\circ$ 의 Fig. 5(b)는 극한 지지력이 57.8N으로 측정되었으며 극한 지지력 일 때 침하량은 1.0mm로 측정되었다. Fig. 5(c)는 피치 각도  $50^\circ$ 의 하중 침하량을 측정한 것으로 극한 지지력은 61.7N이며 극한 지지력 일 때 발생하

는 침하량은 0.9mm로 측정되었다.

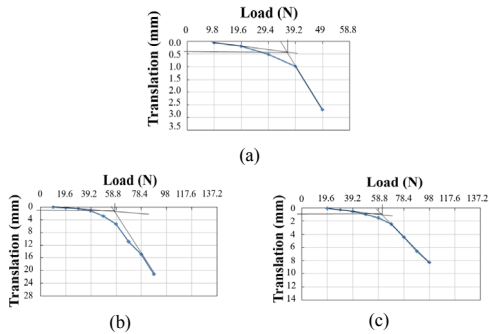


Fig. 5. Model test results of spiral foundation L=18.0cm  
 (a) L=18cm,  $\varnothing = 32^\circ$  (b) L=18cm,  $\varnothing = 45^\circ$   
 (c) L=18cm,  $\varnothing = 50^\circ$

#### 4.2 길이 27.0cm 스파이럴 기초의 극한 지지력과 최대 침하량

Fig. 6은 길이 27.0cm일 때 피치 각도별 하중 침하량을 측정된 결과이다. Fig. 6(a)의 피치 각도  $32^\circ$  경우 극한 지지력은 92.1N이며 극한 지지력일 때 발생한 침하량은 4.2mm로 측정되었다. Fig. 6(b)의 피치 각도  $45^\circ$ 는 극한 지지력이 123.5N이며 침하량은 2.0mm로 측정되었다. Fig. 6(c)의 피치 각도  $50^\circ$ 에 경우 극한 지지력 166.6N이며 극한 지지력일 때 발생한 침하량은 2.2mm로 측정되었다.

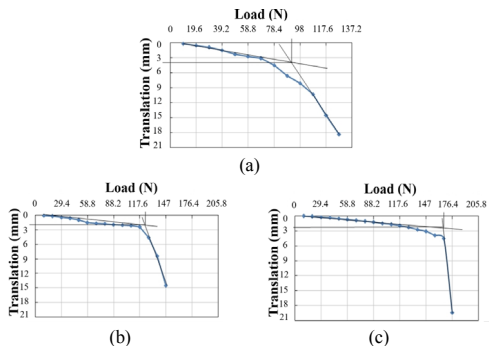


Fig. 6. Model test results of spiral foundation L=27.0cm  
 (a) L=27cm,  $\varnothing = 32^\circ$  (b) L=27cm,  $\varnothing = 45^\circ$   
 (c) L=27cm,  $\varnothing = 50^\circ$

#### 4.3 길이 38.0cm 스파이럴 기초의 극한 지지력과 최대 침하량

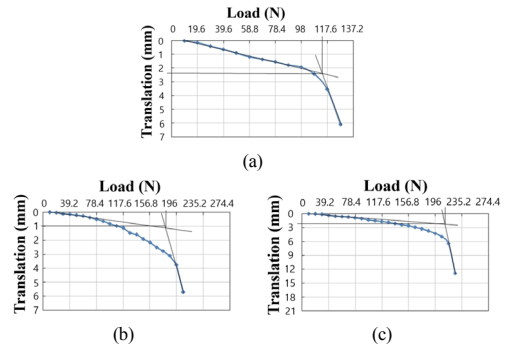


Fig. 7. Model test results of spiral foundation L=38.0cm  
 (a) L=38cm,  $\varnothing = 32^\circ$  (b) L=38cm,  $\varnothing = 45^\circ$   
 (c) L=38cm,  $\varnothing = 50^\circ$

Fig. 7은 길이 38.0cm의 하중과 침하량을 측정하여 피치 각도 별로 분석한 결과이다. Fig. 7(a)의 피치 각도  $32^\circ$ 에 경우 극한 지지력은 113.7N로 측정되었으며 극한 지지력을 때 발생한 침하량은 2.3mm로 나타났다. 또한 Fig. 7(b)의 피치 각도  $45^\circ$ 일 경우 극한 지지력은 181.3N로 측정되었으며 극한 지지력일 때 발생 침하량은 1.0mm로 측정되었다. Fig. 7(c)의 피치 각도  $50^\circ$ 의 극한 지지력은 210.7N이며 극한 지지력일 때 발생 침하량은 2.1mm로 측정되었다.

#### 4.4 길이 54.0cm 스파이럴 기초의 극한 지지력과 최대 침하량

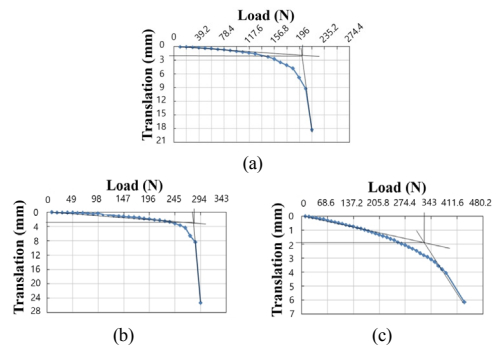


Fig. 8. Model test results of spiral foundation L=54.0cm  
 (a) L=38cm,  $\varnothing = 32^\circ$  (b) L=38cm,  $\varnothing = 45^\circ$   
 (c) L=38cm,  $\varnothing = 50^\circ$

Fig. 8은 길이 54.0cm의 하중 침하량을 피치 각도별로 측정하여 분석한 결과이다. Fig. 8(a)의 피치 각도 32° 경우 극한 지지력은 200.9N으로 나타났으며 극한 지지력일 때 발생한 침하량은 2.0mm로 측정되었다. Fig. 8(b)의 피치 각도 45° 경우 극한 지지력은 282.2N이며 극한 지지력일 때 발생하는 침하량은 2.8mm로 측정되어 나타났다. Fig. 8(c)의 피치 각도 50° 경우에는 극한 지지력 331.2N으로 측정되었으며 극한 지지력일 때 발생한 침하량은 1.8mm로 나타났다.

#### 4.5 피치 각도 및 길이에 대한 극한 지지력 비교 분석

Fig. 9는 피치 각도와 길이별로 극한 지지력을 비교 분석하기 위해 나타낸 것이다. 피치 각도 32°, 45°, 50°를 비교해 본 결과 각 길이마다 32°에서 가장 낮은 극한 지지력이 측정되었다. 가장 낮게 측정된 32°를 기준으로 45°와 비교 하였을 때 45°에서 최대 41% 높게 극한 지지력이 측정되었으며 50°와 비교하였을 때 50°에서 최대 67% 높게 측정되었다. 따라서 피치 각도 50°의 스파이럴 기초가 구조물을 가장 안전하게 지지할 수 있을 것으로 판단되어진다. 또한 길이별로 극한 지지력을 비교해 본 결과 길이 18.0cm에서 가장 낮은 지지력이 측정되었다. 길이별로 가장 높게 측정된 50°의 피치 각도를 길이별로 비교한 결과 길이 27cm에서 170%증가하였으며 길이 38cm에서는 241%증가하였다. 또한 길이 54cm에서는 437% 최대 증가율이 나타난 것으로 보아 기초의 길이에 따라 극한 지지력에 영향이 큰 것으로 판단되어진다.

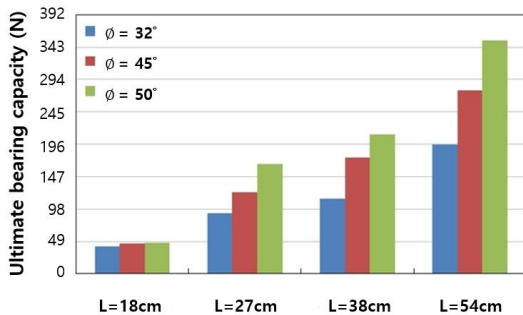


Fig. 9. Analysis of bearing capacity on spiral foundation model test

본 연구에서는 스파이럴 기초의 피치수가 50° 까지 증가할수록 마찰면적의 증가로 인해 기초 지지력이 증가하는 것으로 보여주고 있으나, 만약 피치수가 과다하다면 스파이럴 기초 주변의 전단저항력이 저하되어 기초 지지력이 증가되지 않거나, 감소할 것으로 예상된다. 따라서 향후 스파이럴 기초에 대한 최적의 피치 각도에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 5. 이론해 실험 결과 고찰

### 5.1 개요

본 연구에서는 실제 구조물의 기초로 사용되고 있는 스파이럴 기초의 폭(0.065m)과 길이(0.7m, 1.0m, 1.5m, 2.0m)를 1/3.9로 축소하여 폭 0.016m와 길이 0.18m, 0.27m, 0.38m, 0.54m로 축소제작하고 모형실험을 실시하여 극한 지지력을 측정하였다. 실험에서 측정된 극한 지지력을 검증하기 위해 이론적 해를 도입하여 실제 스파이럴 기초와 축소모형 기초의 극한 지지력을 산정하였으며, 허용지지력을 산정하여 비교 분석하였다.

### 5.2 지지력의 이론적 해석

스파이럴 기초에 사용되는 실제기초와 모형기초의 지지력을 비교하기 위하여 Meyerhof의 말뚝지지력공식[8]을 이용하였다. 이 공식은 표준관입시험(SPT)을 이용하여 산정한 공식이며, 말뚝지지력에 대한 다음과 같은 이론적 식 2를 적용하였다.

$$q_u = 30 N A_p + \frac{1}{5} N_s A_s + \frac{N_c}{2} A_c \quad (2)$$

$Q_u$ : 말뚝의 극한 지지력

$A_p$ : 말뚝의 선단지지면적( $m^2$ )

$N$ : 말뚝선단지반(모래지반)의 N값

$l_s$ : 점토층내에 말뚝길이( $m$ )

$A_s$ : 모래층내의 말뚝의 주변면적( $m^2$ )

$N_s$ : 말뚝주변 모래층의 평균 N값  $A_s = U l_s$

$U$ : 말뚝의 둘레길이( $m$ )

$l_s$ : 모래층 내에 말뚝길이( $m$ )

$A_c$ : 점토층내의 말뚝의 주변면적( $m^2$ )

$N_c$ : 말뚝주변 점토층의 평균 N값  $A_c = U l_c$



Meyerhof의 말뚝지지력공식인 식 2에서 제 1항은 말뚝선단의 지지력을, 제 2항은 사질토층의 주변마찰력을 제 3항은 점착력을 나타낸다. 여기서 제 3항 점착력은 말뚝 주변에 점성토층이 있는 경우에 적용하는 항이므로, 본 연구에서 사용한 지반조건은 사질토이기 때문에 제 3항에 사용되는 점성토에 대한 값  $A_c$  과  $N_c$  는 제외하였다.

### 5.3 스파이럴 기초의 지지력의 해

위에 이론적 해법을 적용하여 실제말뚝과 모형기초의 길이에 따른 지지력을 Meyerhof의 말뚝지지력공식으로 계산하면 Table. 4와 같다. 기초 지지력 안전율(F.S)은 3.0을 적용하였다.

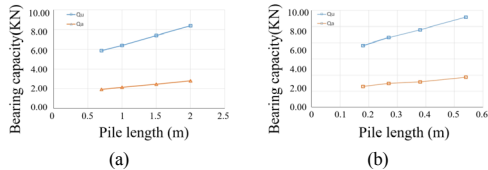


Fig. 10. Estimation of Bearing Capacity by Meyerhof's Theory  
 (a) Prototype foundation (B=0.065m)  
 (b) Scale model foundation (B=0.016m)

Fig. 10(a)는 실제기초의 지지력을 계산하여 나타낸 그래프이며, 실제기초의 길이가 최소 0.7m일 때,  $Q_u=5.85kN/ea$ ,  $Q_a=1.93kN/ea$ 이며, 최대 2.0m일 때,  $Q_u=8.41kN/ea$ ,  $Q_a=2.80kN/ea$ 로 약 1.5배의 지지력 증가율을 보였다. Fig. 10(b)는 모형기초의 지지력을 계산하여 나타낸 그래프로 길이가 최소 0.18m일 때,  $Q_u=0.38kN/ea$ ,  $Q_a=0.13kN/ea$ 이며, 최대 0.54m일 때,  $Q_u=0.56kN/ea$ ,  $Q_a=0.19kN/ea$ 으로 이 또한 약 1.5배의 지지력 증가율을 보이고 있다. 실제기초와 모형기초는 길

이가 증가함에 따라 지지력이 증가하였으며, 실제기초와 모형기초의 지지력의 증가율 또한 약 1.5배로 비슷한 양상을 나타내었다. 기초의 길이에 따른 지지력 증가 원인을 분석해보면 우선 제1항의 값인 실제기초 및 모형기초의  $N_{q0}$ 값과 기초폭은 변하지 않으므로 일정하며, 제 3항은 지반조건에 점토층이 존재하지 않으므로 0이 된다. 그러므로 기초의 지지력 변화의 요인은 제2항이라 할 수 있으며,  $A_s$ 를 계산 시 기초의 길이가 증가함에 따라 지지력 증가함으로 기초 지지력을 증가시키는 원인은 기초의 길이임을 알 수 있다.

그러나 Meyerhof의 지지력 이론식에 의한 결과와 축소모형실험의 결과에 대해 비교 분석을 하였을 때, 이론식에 의한 증가는 1.5배를 보여주고 있으나 스파이럴 기초 모형실험에 의한 동일 피치조건에서 말뚝길이 증가에 의한 지지력 증가는 약 6.5배 이상을 나타내고 있다. 지지력 증가에 대한 차이에 대해서는 이론적 해석에 적용된 지지력 공식이 일반 말뚝의 절대 길이에 대한 값을 나타내고 있으며, 스파이럴 피치가 고려된 실제 마찰 길이가 아니기 때문이라고 판단된다. 향후  $\theta = 32, 45, 50^\circ$ 가 고려된 스파이럴 말뚝의 실제 마찰 길이를 적용하여 Meyerhof 지지력 이론식에 의한 평가가 필요하다고 판단되며, 실제 마찰길이가 고려될 경우 지지력 증가분이 모형실험의 증가 비율인 6.5배에 근접될 것으로 판단된다.

## 6. 결론

본 연구에서는 인접 구조물이나 도심지에 기초공사를 할 경우 소음과 진동 등의 문제를 해결하기 위하여 새로운 기초형상의 스파이럴 기초에 관하여 연구를 진행 하였다. 스파이럴 기초의 지지력 평가를 위하여 피치 각도와 길이에 변화를 주어 실제 기초의 1/3.9로 축소제작 하였으며 평판재하실험을 실시하였다. 평판재하실험은 주문진 표준사를 이용하여 지반을 조성하였으며 기초를 완

Table 4. Calculation on Meyerhof's basic bearing capacity theory

Classification	Prototype foundation (B=0.065m)				Scale model foundation (B=0.016m)			
	0.7	1	1.5	2	0.18	0.27	0.38	0.54
$l(m)$								
$Q_u (kN/ea)$	5.85	6.39	7.41	8.41	0.38	0.43	0.48	0.56
$Q_a (kN/ea)$	1.93	2.14	2.47	2.80	0.13	0.15	0.16	0.19

전히 지반에 압입한 후 9.8kN의 하중을 단계적으로 적용하여 실험을 실시하였다. 또한 실험에서 측정된 극한 지지력을 검증하기 위해 실제 스파이럴 기초와 축소 제작한 스파이럴 기초를 이론 해에 적용하여 극한 지지력을 비교 분석하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 축소모형 실험결과 스파이럴 기초에 축 방향 하중을 가했을 때 기초는 점진적으로 하중을 견디면서 침하가 나타났으며 기초의 지지력이상 하중이 가해지면, 급작스런 파괴가 일어나는 것을 알 수 있었다. 또한 기초의 피치 각도를 비교한 결과 극한 지지력이 32° 비해 50°에서 최대 67% 높게 측정되는 것을 나타냈다.
- (2) 축소모형 실험 결과 스파이럴 기초의 길이 54.0cm에서 극한 지지력은 가장 높게 측정되었으며 이론 해를 적용하여 실제기초와 모형기초의 지지력을 비교해 본 결과 길이가 길수록 극한 지지력은 증가하는 것으로 나타났다. 이론 해를 통하여 길이 18.0cm에 비해 길이 54.0cm에서 최대 1.5배 높은 극한 지지력이 측정되었다.
- (3) 연구 결과를 통하여 스파이럴 기초의 극한 지지력을 증가시키기 위해서는 기초의 길이와 피치각도를 증가시키는 것이 타당하다고 판단된다.
- (4) 그러나 피치수가 과다하면 스파이럴 기초 주변의 전단저항력이 저하되어 기초 지지력이 증가되지 않거나, 감소할 것으로 예상된다. 따라서 향후 스파이럴 기초에 대한 최적의 피치 각도에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 스파이럴 기초의 극한 지지력 및 침하량을 측정하기 위한 이론해와 축소모형실험을 통하여 각도 50°, 길이 54.0cm가 다른 각도 및 길이의 형상(32°, 38°, 18.0cm, 38.0cm)보다 극한 지지력이 크고, 침하량이 작은 것으로 확인 하였다. 그러나 본 연구는 실내에서 축소 모형 실험을 통하여 진행된 연구이기 때문에 실제 스파이럴 기초와 다소 차이가 있을 것으로 예측 된다. 향후 스파이럴 기초에 관하여 최적의 피치 각도에 관한 연구, 실제 마찰길이에 대한 지지력 증가에 대한 연구 등이 진행 된다면 국내 기초 시공의 기술 발전에 유용한 연구가 될 수 있을 것이라고 판단된다.

## References

- [1] T. Tsuchiya, F. Nakazawa, M. Shimada, "Study on Penetration Mechanism of Screw Pile Based on Soil Movement around Helical Wing", *J. Technol. Des. All*, vol. 13, no. 25, pp. 73-76, 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.3130/ajit.13.73>
- [2] Y. S. N. Prasad, S. Narasimha Rao, "Pullout behaviour of model pile and helical pile anchors subjected to lateral cyclic loading", *Can. Geotech. J.*, vol. 31, no. 1, pp. 110-119, 1994.  
DOI: <https://doi.org/10.1139/t94-012>
- [3] S.S. Kang, A. Hirata, Y. Obara, "A method for estimating of axial resistance of spiral bar developed as a new earth support system", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 25, no. 6C, pp. 387-394, 2005.
- [4] Y. K. Choi, D. C. Kim, S. S. Kim, M. S. Nam, "A Study on the Determination of Construction Method of Screw Concrete Piles for Noise & Vibration-Free", *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, vol. 11, no. 7, pp. 15-24, 2010.
- [5] M. J. Lee, K. M. Kim, H. C. Im, G. B. Seo, "Experiment on the Effective Helix Area to Determine the Bearing Capacity of Helical Steel Piles", *The Korean Institute of Building Construction*, vol. 10, no. 1, pp. 25-27, 2010.
- [6] G. G. Mayerhof, "THE ULTIMATE IBARING CAPACITY OF FOUNDATIONS", *Geotechnique*, vol. 2, no. 4, pp. 301-332, 1951.  
DOI: <https://doi.org/10.1680/geot.1951.2.4.301>
- [7] D.W. Hobbs, "Scale model studies of strata movement around mine roadways-IV. Roadway shape and size", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 6, no. 4, pp. 365-370, 1969.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(69\)90041-2](https://doi.org/10.1016/0148-9062(69)90041-2)
- [8] G. G. Mayerhof, "Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations", *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 16-26, 1963.  
DOI: <https://doi.org/10.1139/t63-003>

## 윤영환(Young-Hwan Yoon)

[정회원]



- 2016년 2월 : 호서대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2016년 3월 : 명지대학교 재난 안전학과 박사과정 중
- 1991년 4월 ~ 현재 : SK건설 HSE 부장

<관심분야>  
토목



---

**강 시 온(SI-On Kang)**

[정회원]



- 2016년 2월 : 호서대학교 토목공학과 (공학사)
- 2018년 2월 : 호서대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2018년 2월 ~ 현재 : 삼보기술단지반사업본부 사원

<관심분야>  
토목, 지반공학

---

**조 영 동(Young-Dong Cho)**

[정회원]



- 1994년 8월 : 강원대학교 자원공학과 (공학석사)
- 2010년 8월 : 조선대학교 에너지자원공학 (공학박사)
- 2000년 5월 ~ 현재 : (주)무진네오테크 대표이사

<관심분야>  
토목, 토목설계

---

**김 상 환(Sang-Hwan Kim)**

[정회원]



- 1996년 2월 : Oxford University (토질 및 터널공학 공학박사)
- 1998년 10월 ~ 2002년 2월 : (주)대본엔지니어링, (주)바우컨설턴트 상무
- 2002년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 토목공학과 교수

<관심분야>  
토목, 터널공학