

## 근입조건에 따른 마이크로파일의 거동특성

### Behavior Characteristics of Micropile Following the Embedded Condition

방 성 택<sup>†</sup>

Seongtaek Bang

Received: April 15<sup>th</sup>, 2020; Revised: April 23<sup>rd</sup>, 2020; Accepted: May 28<sup>th</sup>, 2020

**ABSTRACT** : In the recent downtown works, there are frequent cases where the work on existing piles is impossible due to the influence from lack of space and surrounding environment. In such cases, there has been growing cases of using the micropile method that is available to work with the small equipment and asserts the bearing capacity of the existing piles. The micropile method is a type of drilled shaft with the diameter of a pile to be around 75 mm~300 mm that, even for a case where it has certain surrounding structure, foundation and spatial obstacle, there is almost no work difficulty and the work is feasible under all types of soil conditions. In addition, the work can be done in places where the ceiling of the building is low with less vibration and noise in the work process that such method is significantly used for foundation reinforcement of existing buildings. With respect to the motion characteristics that are changed depending on the foundational characteristics or when the micropile is applied with compression or tensile force, there is very few studies conducted. Therefore, under this study, through the data analysis of the field loading test regarding the micropile worked in the fields, it clarifies the settlement and characteristics of bearing capacity following the embedded condition of the ingredients and piles that consist the foundation if the compression and tensile force are applied to the micropile, and by facilitating the statistical analysis program, SAS, to carry out the analysis on the main elements influencing on settlement of the micropile and bearing capacity.

**Keywords** : Micropile, Drilled shaft, Pile loading test, Embedded condition

**요 지** : 최근 도심지 공사에 있어서는 공간부족 및 주변환경의 영향으로 기성파일의 시공이 불가능한 경우가 많다. 이러한 경우에 소형 장비로 시공이 가능하고 기존 파일의 지지능력을 발휘할 수 있는 소구경 파일 공법이 많이 사용되고 있다. 소구경 파일공법은 현장타설말뚝의 한 종류로서 파일의 직경이 75mm~300mm인 정도로 주변 구조물이나 지반 그리고 공간적인 장애물이 있는 경우에도 시공의 어려움이 거의 없으며 모든 종류의 토질조건에서 시공이 가능하다. 또한 시공과정에서 진동과 소음이 적고 건물 천장이 낮은 곳에서도 시공이 가능하므로 기존 건물의 기초보강에도 많이 이용된다. 이러한 마이크로파일이 압축력이나 인장력을 받았을 때 혹은 시공된 지반특성에 따라 변화되는 거동 특성에 대해서는 연구가 많지 않은 실정이다. 따라서 이 연구에서는 현장에 시공된 마이크로파일에 대한 현장재하시험 자료 분석을 통하여 마이크로 파일에 압축력 및 인장력을 가했을 경우 지반을 구성하는 성분과 파일의 근입조건에 따른 침하 및 지지력 특성을 규명하고 통계분석프로그램인 SAS를 활용하여 마이크로파일의 침하와 지지력에 영향을 미치는 주요한 인자에 대한 분석을 수행하였다.

**주요어** : 마이크로파일, 현장타설말뚝, 파일재하시험, 근입조건

## 1. 서 론

도심지 공사에 있어서는 좁은 공간의 효율적인 이용을 필요로 하기 때문에 대심도의 깊은 굴착과 근접시공이 불가피한 실정에 있고 도심지의 협소한 공간과 굴착을 위해 설치한 가설구조물로 인하여 기존의 기성파일의 시공이 불가능한 경우가 종종 있다. 이때 소구경 장비로 시공이 가능하고 기존의 파일의 지지능력을 발휘할 수 있는 마이크로파일 공법이 많이 사용되고 있다(Jang & Han, 2016).

일반적으로 파일공법은 항타를 전제로 하는 것이 통상적이나 소음 및 진동의 규제로 인하여 항타파일 보다는 선굴착파일타입공법과 현장타설공법의 시공이 점차 증대되고 있다. 그러나 선굴착파일타입공법과 현장타설공법 적용시 파일 설치용 장비가 대형 장비이므로 넓은 공간을 필요로 한다. 특히, 협소한 기존 구조물 내부 및 굴토공사 중 가설적으로 설치하는 버팀대와 같은 지장물이 있는 공간 등에서 파일 설치를 필요로 하는 경우에는 이들 공법들은 시공이 불가능하며, 도심지에서의 시공 경우에는 밀집되어 있는 인

<sup>†</sup> Lecture, Department of Construction & Disaster Prevention Engineering, Kyungpook National University (Corresponding Author : bst91@knu.ac.kr)

접 구조물로 인하여 대형 자재 및 장비를 이용하는 공법의 적용이 어려워지고 있다. 이와 같은 여건 속에서 적용성이 뛰어난 마이크로파일 공법의 사용이 증대되고 있다. 마이크로파일 공법은 현장타설파일의 한 종류로서 파일의 직경이 300mm 이하로 파일의 직경이 작기 때문에 수평력에 대한 저항력이 대구경 파일에 비해 취약하다는 단점이 있다. 그러나 소형 장비로 버팀대 등과 같은 공간적 장애물이 있는 경우에도 시공의 어려움이 거의 없으며, 진동 및 소음 등의 민원 문제가 발생치 않고 대구경 파일을 능가하는 지지력을 확보할 수 있다는 장점이 있다(Prakash, 1990). 그러나 이러한 마이크로파일이 압축력이나 인장력을 받았을 때 혹은 시공된 지반특성에 따라 변화되는 거동 특성에 대해서는 연구가 많지 않은 실정이다.

마이크로파일 공법은 1950년대에 이탈리아에서 처음 시작되었으며 그로부터 20여년 뒤에 미국에 소개되었다(Lee, et al., 2009). 특히 1980년대 중반 구조물의 기초보강과 지진 시 구조물의 안정 그리고 사면보강이나 굴착시의 안정에 마이크로파일이 사용되면서부터 급격한 발전을 이루었다. 초기에 사용된 마이크로파일 공법은 Jorge(1969) 등에 의해 발전되어 왔으며 공법적용 시 극한하중과 주변마찰력은 토질특성이나 현장시험 결과에 따라 산정되었다. Lizzi(1978)는 모형실험을 통해 지반-파일 상호작용에 대해서 파일 간격과 배열 형식에 따른 지지력 증감을 보여 주었고, Lizzi(1978), Plumelle(1984), Korfiatis(1984)는 매듭효과(knot effect)를 현장실험과 모델에 의해 확인하였다. 파일의 지지력에 영향을 미치는 요인에 대해서는 Guilloux(1984)가 지반과 보강재 사이에 작용하는 마찰력을 해석하였다. Plumelle(1984)는 파일의 배열상태가 루트파일(Root pile)로 보강된 지반의 지지력에 미치는 영향을 실제크기 시험으로 조사 연구하였고, Abbs(1984)는 파일로 보강한 연약지반의 탱크 기초를 수치해석적 방법으로 해석하였다. Lizzi(1983)는 사면안정 용도의 그물모양 루트파일에 대한 설계과정과 중력식 옹벽의 기초용으로 설치한 그물모양 루트파일의 설계방법을 수치해석 방법에 따라 제시하였다. 국내에서 Lee & Kim(1996)은 미연방도로국에서 추진하고 있는 마이크로파일의 연구동향을 소개하였고 Park et al.(2014)은 마이크로파일의 종류와 설계현황에 대한 연구를 수행하였다. 근래에는 마이크로파일을 이용한 산사태 역지공에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 이 연구에서는 마이크로파일의 침하특성 및 지지력 특성을 규명하기 위하여 현장에서 실시한 파일정재 하시험 자료를 이용하여 지반을 구성하는 성분에 따른 마이크로파일의 침하거동을 비교 분석하였으며, 잔류토층의 공벽 붕괴를 방지하기 위하여 삽입한 케이싱이 파일의 침하와

지지력에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 분석을 수행하였다. 또한 통계분석 프로그램인 SAS를 활용하여 마이크로파일의 침하 및 지지력에 영향을 미치는 인자에 대한 분석을 수행하였다.

## 2. 마이크로파일 이론

### 2.1 마이크로파일

과거에는 파일이 전하중을 지지하도록 설계하였고, 파일 캡(Cap)과 파일 사이에 낀 지반이 기여하는 지지력은 무시하였다. 그러나 최근에는 파일을 상부하중 전달기능 외에 사면 안정이나 침하 방지를 위한 지반보강의 용도로 파일의 기능을 확대시키고 있다. 이러한 개념을 도입할 경우 파일의 수를 종전보다 줄일 수 있으며, 지반 보강 용도의 파일은 자연스럽게 소구경화 된다. 마이크로파일은 상기에 언급한 지반 보강 용도에 사용하는 파일을 의미한다. Weltman(1981)은 구경 150~300mm를 “미니파일(Mini pile)”, 구경 150mm 이하의 “마이크로말뚝(Micro pile)”으로 지칭하였다. 그러나 보통 구경 75~300mm까지를 소구경 파일이라 하고 구경 75~250mm까지를 루트파일이라 지칭하며 또한, 소구경 파일이라는 테두리 안에 루트파일, 미니파일, 마이크로 파일을 모두 포함시키고 있다.

### 2.2 지반과 마이크로파일의 상호작용

파일 간격이 넓고 연직 하중이 작용할 때 마이크로파일도 일반 파일처럼 거동한다. 선단 지지면적이 작아 파일의 선단 지지력은 무시할 정도이고 하중은 주로 주변 마찰저항에 의해 지지된다. 마이크로파일은 단면적이 작기 때문에 파일 재질의 지지능력이 설계를 지배하는 요인이 될 수 있다. 이 내부 재질의 지지능력은 철근과 콘크리트의 강도, 철근이음 시공상태, 콘크리트와 철근의 부착 상태와 관련된다. 주변 마찰저항은 콘크리트나 시멘트 그라우팅을 주입시키므로 일반 파일보다 크다. 이렇게 마찰저항을 증진시키므로 압축과 인발하중을 동시에 감당할 수 있다. 그러나 휨 모멘트에 대한 저항은 그리 크지 않으므로 마이크로파일이 매우 연약한 점성토지반이나 수중에 시공되거나, 보강재(철근, 철망, 강관 등)가 벤토나이트 용액에 둘러 싸일 때는 파일의 좌굴이 문제가 될 수 있다. 또한, 마이크로파일을 현장 보강 용도로 사용할 때, 파일 간격은 좁아지고 하중은 철근 콘크리트처럼 지반-파일 복합체에 의해 지지된다. 파일-지반 구조체의 지지력은 파일의 종류, 배열상태, 시공방법은

물론 지반의 토성, 조밀한 정도, 강도, 포화도 그리고 그라우트 방법에 의해 영향을 받는다. 여러 가지 보강재와 지반에 대한 현장 실험결과로부터, 지반 토성치와 횡방향 마찰력 측정치의 상관관계가 설명되었다. 마이크로파일의 지지력에 미치는 요인은 너무 많기 때문에 지반 앵커와 비슷한 인발시험을 통해서만 정확한 지지력 예측이 가능하다.

### 3. 시험파일의 시공

#### 3.1 지반조건

이 연구를 위하여 시험파일 설치 지점 부근에 시추조사를 시행한 결과 상부는 모암이 풍화되어 황갈색을 나타내는 잔류토이며 표준관입시험에 의한 N치는 상부 잔류토가 존재하는 1~4m 구간에서는 10~30 정도를 나타내고 있으며 중간조밀 내지는 매우 조밀한 잔류토와 풍화암의 풍화대가 형성되어 있고 점점 하부로 내려갈수록 매우 조밀한 화강편마암의 풍화암이 존재한다. 지표면 하부 7m 이상지점에서는 절리 및 균열이 발달한 연암과 경풍화 또는 신선한 경암이 존재하는 것으로 나타났다. 또한 파일 시공시 잔류토층의 공벽붕괴를 방지하기 위하여 길이 1.10~7.5m의 영구 케이싱을 삽입하였다.

#### 3.2 시험파일 시공

이 연구에서는 마이크로파일에 압축과 인장이 동시에 작용 시 거동특성을 분석하고자 하였다. 시험에 적용된 이론적 근거는 마찰파일 이론이며 ASTM D3966에 의거하여 재하시험을 수행하기 위하여 시험파일 시공조건을 결정하였다. 시험에 사용된 마이크로파일의 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. The specification of micropile

|               |                       |                      |
|---------------|-----------------------|----------------------|
| Species       | $\phi = 200\text{mm}$ |                      |
| Length        | 6.9 ~ 17.5m           |                      |
| Specification | GEWI Bar              | 3 × $\phi$ 50mm      |
|               | Grade                 | 500/550              |
|               | Cross sectional area  | 58.90cm <sup>2</sup> |

### 4. 시험결과 및 분석

#### 4.1 압축시험에 의한 침하 특성

##### (1) 압층의 백분율에 따른 침하량

파일을 지지하는 지반의 구성성분 중 풍화암층 및 전체

암층이 차지하는 백분율의 변화에 따라 마이크로파일의 전침하량이 어떻게 변화하는가를 알아보기 위하여 Fig. 1에 압층의 백분율과 전침하량과의 관계를 비교하여 나타내었다. 압축시험 시 재하하중은 설계하중의 2.0배인 195ton을 재하하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 풍화암층이 10~20%일 경우에는 전침하량이 7.0~8.5mm 정도로 나타났으나 풍화암층이 40% 이상으로 증가했을 경우에는 4.8~5.2mm 정도로 감소했음을 알 수 있었고 전체 암층의 백분율이 30% 이하일 경우에는 6.2mm 이상의 침하가 발생했으나 암층이 55% 이상으로 증가했을 경우에는 전침하량이 3.7mm 이하로 감소했음을 알 수 있었다. 따라서 파일이 근입된 지반중에서 풍화암층 및 전체암층이 차지하는 백분율이 증가할수록 전침하량이 최대 40%정도 감소하는 것을 알 수 있었다.

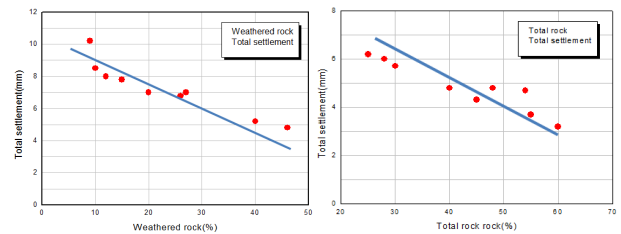


Fig. 1. The relationship between total settlement and rock content

풍화암층 및 전체암층의 백분율의 변화에 따라 마이크로파일의 잔류침하량이 어떻게 변화하는가를 알아보기 위하여 Fig. 2에 압층의 백분율과 잔류침하량과의 관계를 비교하여 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 풍화암층 백분율의 변화에 따라 잔류침하량의 일정한 증감을 찾아볼 수 없었다. 따라서 파일이 근입된 지반중에서 잔류침하량은 압층 백분율의 변화에 거의 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었는데 이는 전침하량중 탄성침하량을 제외한 잔류침하량이 0.2~0.8mm 정도로 아주 작게 발생했기 때문인 것으로 판단된다.

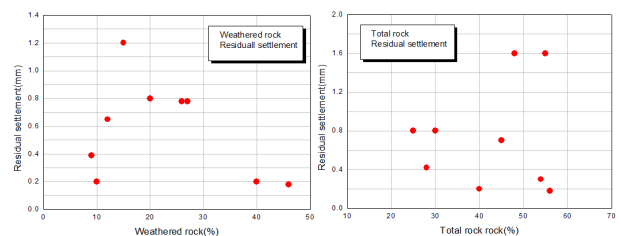


Fig. 2. The relationship between residual settlement and rock content

##### (2) 파일의 근입조건에 따른 침하량

근입조건에 따라 마이크로파일의 전침하량이 어떻게 변화하는 가를 알아보기 위하여 Fig. 3에 케이싱을 포함한 파

일의 총길이 및 케이싱을 제외한 파일의 순길이를 전침하량과의 관계를 비교하여 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 파일의 총길이가 11.0m 이하일 경우에는 전침하량이 6.5mm 이하로 나타났으나 파일의 총길이가 점차 증가함에 따라 10.0mm 이상의 침하가 발생하는 것을 알 수 있었으며, 케이싱을 제외한 파일의 순길이를 전침하량은 파일의 순길이가 3.9m에서 7.3m로 증가할수록 전침하량이 4.8~10.2mm 까지 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 파일의 총길이 및 순길이가 증가할수록 전침하량이 최대 2.1배 증가하는 것을 알 수 있었다.

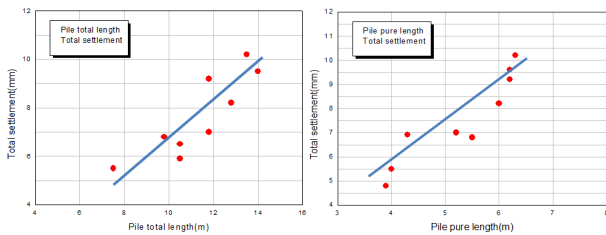


Fig. 3. The relationship between total settlement and pile length

파일의 근입조건에 따른 마이크로파일의 잔류침하량의 변화를 알아보기 위하여 Fig. 4에 케이싱을 포함한 파일의 총길이 및 케이싱을 제외한 파일의 순길이를 전침하량과의 관계를 비교하여 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 파일의 총길이 및 순길이가 증가할수록 잔류침하량이 증가하는 경향을 보이고는 있으나 파일의 총길이에 따른 전침하량과의 관계보다는 그 양상이 둔화된 것을 알 수 있었다.

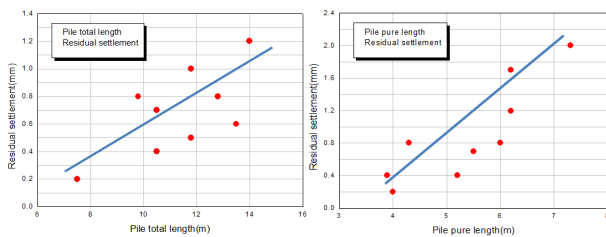


Fig. 4. The relationship between residual settlement and pile length

## 4.2 인발시험에 의한 인발변위 특성

### (1) 암층의 백분율에 따른 인발변위량

마이크로파일의 인발시험 시 풍화암층 및 전체암층의 백분율의 변화에 따라 파일의 인발변위량을 알아보기 위하여 Fig. 5에 암층의 백분율과 전침하량과의 관계를 비교하여 나타내었다. 인발시험 시 재하하중은 설계하중의 2.0배인 195 ton을 재하하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 풍화암층이 차지하는 백분율이 20% 이하일 경우에는 인발변위량이 9.0~

13.5mm 정도로 나타났으나 풍화암층이 30% 이상으로 증가했을 경우에는 4.0~5.5mm 정도로 감소했음을 알 수 있었고 전체암층이 차지하는 백분율이 40% 이하일 경우에는 9.0mm 이상의 인발변위가 발생하였으나 암층이 50% 이상으로 증가했을 경우에는 4.0mm 정도로 감소했음을 알 수 있었다. 따라서 파일이 근입된 지반중에서 풍화암층 및 전체암층이 차지하는 백분율이 증가할수록 인발변위량이 최대 35% 감소하는 것을 알 수 있었다.

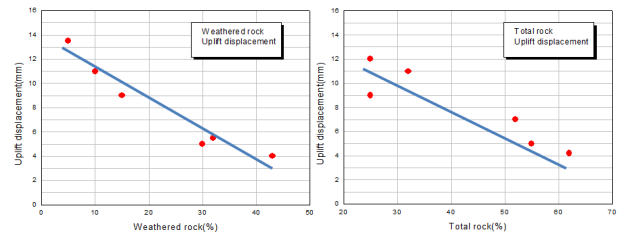


Fig. 5. The relationship between uplift displacement and rock content

### (2) 파일의 근입조건 따른 인발변위량

인발시험 시 파일의 근입조건에 따라 마이크로파일의 인발변위량이 어떻게 변화하는가를 알아보기 위하여 Fig. 6에 케이싱을 포함한 파일의 총길이 및 케이싱을 제외한 파일의 순길이를 인발변위량과의 관계를 비교하여 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 파일의 총길이가 11.0m 이하일 경우에는 인발변위가 9.0mm 이하로 나타났으나 파일의 길이가 17.5m까지 증가함에 따라 13.5mm의 변위가 발생하였으며 파일의 순길이가 4.5m에서 11.0m로 증가할수록 전침하량이 2.6배 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 파일의 총길이 및 순길이가 증가할수록 파일의 인발변위량이 증가하는 것을 알 수 있었다.

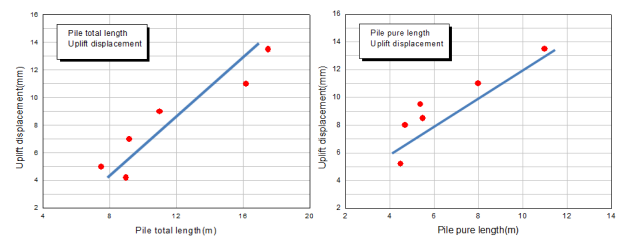


Fig. 6. The relationship between uplift displacement and pile length

## 4.3 압축시험에 의한 지지력 특성

### (1) 암층의 백분율에 따른 지지력

마이크로파일에 압축하중을 가했을 경우 지반을 구성하는 성분 중 풍화암층과 전체암층이 차지하는 백분율에 따른

지지력의 변화를 알아보기 위하여 Fig. 7에 풍화암층 및 전체암층의 백분율과 지지력과의 관계를 비교하여 나타내었다. 극한지지력은 하중-침하곡선을 이용하여 산정하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 풍화암층이 차지하는 백분율이 10%에서 50%까지 증가할수록 파일의 극한지지력도 160~190ton 까지 증가하는 것을 알 수 있었고 마찬가지로 전체암층이 차지하는 백분율이 증가할수록 극한지지력이 최대 1.17배 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 전체 지지층 중에서 암층의 백분율이 증가할수록 극한지지력도 일정한 경향을 나타내며 증가하는 것을 알 수 있었다.

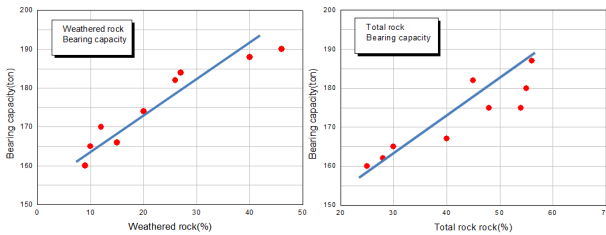


Fig. 7. The relationship between bearing capacity and rock content

## (2) 파일의 근입조건에 따른 지지력

파일의 압축재하시험 시 지반에 근입된 파일의 길이가 변화하면 이에 따라 파일의 지지력도 변화할 것이다. 따라서 파일의 길이변화에 따른 지지력의 변화를 알아보기 위하여 파일을 시공할 때 잔류토층의 공벽 붕괴를 방지하기 위하여 삽입한 케이싱의 길이를 고려한 파일의 총길기와 케이싱 삽입깊이를 제외한 파일의 순길기의 변화에 따른 지지력의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 파일의 총길이 및 순길기가 증가할수록 극한지지력이 160~190ton 까지 변화함을 알 수 있다. 따라서 파일의 총길기와 순길기가 길어질수록 극한지지력이 최대 1.2배 증가하는 것을 알 수 있었으며 암층의 백분율 변화에 따른 지지력과의 관계보다 그 양상이 뚜렷한 것을 알 수 있었다.

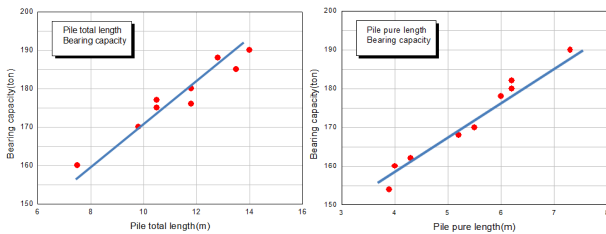


Fig. 8. The relationship between bearing capacity and pile length

## 4.4 인발시험에 의한 지지력 특성

### (1) 암층의 백분율에 따른 인발하중

마이크로파일에 인발하중을 가하였을 경우 지반을 구성

하는 성분에 따른 지지력 변화를 알아보기 위하여 인발시험 결과 자료로부터 P-S 곡선분석법, LogP-Log S 곡선분석법, S-Log T 곡선분석법 등을 이용하여 항복하중을 산정한 다음 그 값의 1.5배를 극한인발하중으로 결정하여 지반조건 변화 및 파일의 근입조건에 따른 지지력 변화를 분석하였다. Fig. 9는 파일에 인발하중을 가했을 경우 지반을 구성하는 성분 중 풍화암층과 전체암층이 차지하는 백분율에 따른 인발하중과의 관계이다. 그림에서 볼 수 있듯이 풍화암층이 차지하는 백분율이 10%에서 50%까지 증가할수록 파일의 인발하중도 100~120ton 까지 증가하는 것을 알 수 있었고 마찬가지로 전체암층이 차지하는 백분율이 증가할수록 인발하중이 최대 1.14배 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 전체 지반에서 풍암층 및 암층의 백분율이 증가할수록 인발지지력도 일정한 경향을 나타내며 증가하는 것을 알 수 있었다.

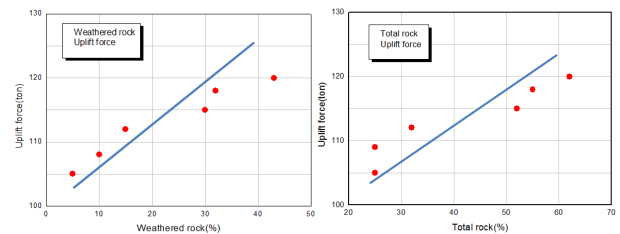


Fig. 9. The relationship between uplift force and rock content

### (2) 근입조건에 따른 인발하중

파일의 인발시험시 지반에 근입된 파일의 길이에 따른 인발하중의 변화를 알아보기 위하여 파일을 시공할 때 잔류토층의 공벽 붕괴를 방지하기 위하여 삽입한 케이싱의 길이를 고려한 파일의 총길기와 케이싱 삽입깊이를 제외한 파일의 순길기의 변화에 따른 지지력의 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 파일의 총길이 및 순길기가 증가할수록 인발하중이 100~120ton 까지 변화함을 알 수 있다. 따라서 파일의 총길기와 순길기가 길어질수록 극한인발하중이 최대 1.2배 증가하는 것을 알 수 있었다.

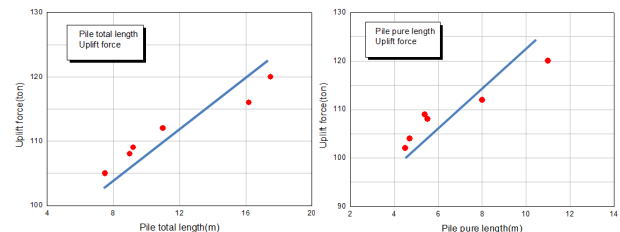


Fig. 10. The relationship between uplift force and pile length

## 4.5 통계분석에 의한 침하 및 지지력 특성

이 연구에서는 통계 분석 프로그램인 SAS(Statistical

Analysis System)을 활용하여 마이크로파일의 침하 및 지지력 특성에 대하여 분석하였다. SAS는 의 미국 North Carolina 에 있는 SAS Institute에 의해 개발된 통계분석 소프트웨어로 자료의 통계 처리를 위한 데이터 접근, 관리, 분석, 표현 등의 작업을 용이하게 하는 특징과 함께 다양한 환경 및 운영 체제에서도 동일한 운영환경을 제공한다. 또한 다양한 데이터베이스 시스템 접근 및 이용절차가 편리하고 데이터 파일의 효율적 관리가 가능하며 다른 시스템 파일을 직접 이용하는 것이 가능하고 대용량 자료의 처리가 매우 효율적이라는 장점을 가지고 있다(Lee et al., 2011).

### (1) 암층의 백분율에 침하 특성

풍화암이 차지하는 비율과 전침하량과의 관계를 알아보기 위하여 풍화암의 비율을 독립변수, 전침하량을 종속변수로 하여 단순선형회귀모형을 구축하여 분석한 결과는 Table 2와 같으며 추정된 회귀식은 Eq. (1)과 같다.

Table 2. Result of analysis (Weathered rock content)

| Parameter estimates (R-Square 0.8750) |    |                    |                |         |         |
|---------------------------------------|----|--------------------|----------------|---------|---------|
| Variable                              | DF | Parameter estimate | Standard error | t value | Pr >  t |
| Intercept                             | 1  | 9.90442            | 0.43150        | 22.95   | <.0001  |
| W.R                                   | 1  | -0.11629           | 0.01661        | -7.00   | 0.0002  |

$$TS = 9.9044 - 0.1163 \times \text{Weatherd rock}(\%) \quad (1)$$

여기서, TS : 전침하량(mm)

Eq. (1)에서 풍화암의 비율이 1% 증가할수록 파일의 전침하량은 0.1163mm만큼 통계적으로 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. Table 3과 Eq. (2)는 전체암층의 비율과 전침하량의 관계를 분석한 결과를 나타내고 있다. 분석 결과 전체암층의 비율이 1% 증가할수록 파일의 전침하량은 0.07662mm만큼 감소하는 것으로 나타났다.

Table 3. Result of analysis (Total rock content)

| Parameter estimates (R-Square 0.8453) |    |                    |                |         |         |
|---------------------------------------|----|--------------------|----------------|---------|---------|
| Variable                              | DF | Parameter estimate | Standard error | t value | Pr >  t |
| Intercept                             | 1  | 8.06564            | 0.54329        | 14.85   | <0.0001 |
| T.R                                   | 1  | -0.07662           | 0.01239        | -6.19   | 0.0005  |

$$TS = 8.06564 - 0.07662 \times \text{Total rock}(\%) \quad (2)$$

여기서, TS : 전침하량(mm)

### (2) 파일의 길이에 따른 침하 특성

Table 4와 Eq. (3)은 파일의 총길이와 전침하량의 관계를 분석한 결과를 나타내고 있다. 분석 결과 파일의 총길이가 1m 증가할수록 파일의 전침하량은 0.72048mm 만큼 증가하는 것으로 나타났다.

Table 4. Result of analysis (Total pile length)

| Parameter estimates (R-Square 0.7479) |    |                    |                |         |         |
|---------------------------------------|----|--------------------|----------------|---------|---------|
| Variable                              | DF | Parameter estimate | Standard error | t value | Pr >  t |
| Intercept                             | 1  | -0.53701           | 1.82077        | -0.29   | 0.7766  |
| P.L                                   | 1  | 0.72048            | 0.15812        | 4.56    | 0.0026  |

$$TS = - 0.53701 + 0.72048 \times \text{Pile length}(\%) \quad (3)$$

여기서, TS : 전침하량(mm)

### (3) 암층의 백분율 및 파일의 길이 따른 지지력 특성

Table 5와 Eq. (4)는 풍화암층의 비율과 지지력과의 관계를 분석한 결과를 나타내고 있다. 분석 결과 풍화암층의 비율이 1% 증가할수록 파일의 지지력은 0.78048ton 만큼 증가하는 것을 알 수 있었다.

Table 5. Result of analysis (Weathered rock content)

| Parameter estimates (R-Square 0.88947) |    |                    |                |         |         |
|--|----|--------------------|----------------|---------|---------|
| Variable                               | DF | Parameter estimate | Standard error | t value | Pr >  t |
| Intercept                              | 1  | 157.66680          | 2.62818        | 59.99   | <0.0001 |
| W.R                                    | 1  | 0.78048            | 0.10119        | 7.71    | 0.0001  |

$$BC = 157.66680 + 0.78048 \times \text{Weathered rock}(\%) \quad (4)$$

여기서, BC : 지지력(tonf)

Table 6과 Eq. (5)는 전체암층의 비율과 지지력과의 관계를 분석한 결과를 나타내고 있다. 분석 결과 전체암층의 비율이 1% 증가할수록 파일의 지지력은 0.70349ton 만큼 증가하는 것으로 나타났다.

Table 6. Result of analysis (Total rock content)

| Parameter estimates (R-Square 0.8127) |    |                    |                |         |         |
|---------------------------------------|----|--------------------|----------------|---------|---------|
| Variable                              | DF | Parameter estimate | Standard error | t value | Pr >  t |
| Intercept                             | 1  | 142.77469          | 5.59909        | 25.50   | <0.0001 |
| T.R                                   | 1  | 0.70349            | 0.12765        | 5.51    | 0.0009  |

$$BC = 142.77469 + 0.70349 \times \text{Total rock}(\%) \quad (5)$$

여기서, BC : 지지력(tonf)

## 5. 결 론

이 연구에서는 근입조건에 따른 마이크로파일의 거동특성을 파악하기 위하여 다양한 조건에서의 재하시험 결과를 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 마이크로파일의 압축시험 시 풍화암층과 전체암층이 차지하는 백분율이 증가할수록 파일의 전침하량은 최대 47% 감소하는 것을 알 수 있었고 압축 지지력은 최대 1.2배 증가하는 것을 알 수 있었다.
- (2) 인발시험 시 파일의 길이에 따른 인발변위량은 파일의 길이가 증가할수록 최대 2.7배 증가하였으며 인발하중은 최대 1.14배 증가하는 것을 알 수 있었다.
- (3) 잔류토층의 붕괴를 방지하기 위하여 삽입한 케이싱이 마이크로파일의 침하 및 지지력에 미치는 영향을 분석한 결과 케이싱 길이 변화에 따른 지지력과 침하량의 일정한 증감을 찾아 볼 수 없었다. 따라서 케이싱의 길이가 마이크로파일의 지지력과 침하에 미치는 영향보다는 케이싱을 제외한 파일의 순길이 즉, 지반과 부착되는 파일의 길이가 마이크로파일의 침하 및 지지력의 변화에 더 많은 영향을 미침을 알 수 있었다.
- (4) 암층의 비율, 파일의 길이 변화에 따른 마이크로파일의 거동특성을 알아보기 위하여 단순선형회귀모형 분석을 수행한 결과 암층의 비율이 1% 증가할수록 침하량은 0.07~0.12mm의 범위내에서 감소하고 파일의 길이가 1m 증가할수록 지지력은 0.70~0.78ton의 범위내에서 증가하는 것을 알 수 있었다(단, 지지력은 지반의 구성, 지반강도, 시공조건 등의 다양한 요인에 의해서 영향을 받을 수 있다).

## References

1. Abbs, A. F. (1984), A pile reinforced earth foundation for an oil storage tank, In-Situ Soil and Rock R einforcement, Paris, pp. 13~18.
2. Gilloux, A. (1984), Evaluation de frottement lateral soil, In-Situ Soil and Rock R einforcement Conference, Paris, pp. 66~70.
3. Jang, Y. E. and Han, J. T. (2016), A field study on the constructability and performance evaluation of waveform micropile, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 32, No. 10, pp. 67~79 (In Korean).
4. Jorge, G. R. (1969), The regROUTABLE IRP anchorage for soft soil, low capacity or karstic rocks, Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Specialty Session No. 14 and 15, pp. 159~163.
5. Korfiatis, G. P. (1984), Field testing of short pile system for floor support, In- Situ Soil and Rock Reinforcement Conference, Paris, pp. 71~75.
6. Lee, M. S., Kim, M. I., Baek, J. N. and Han, B. G. (2011), Calculating the uniaxial compressive strength of granite from Gangwon province using linear regression analysis, The Journal of Engineering Geology, Vol. 21, No. 4, pp. 361~367 (In Korean).
7. Lee, S. H. and Kim, Y. Y. (1996), Understanding small diameter pile micro pile, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 44, No. 7, pp. 48~54 (In Korean).
8. Lee, S. M. and Baek, S. C. (2009), Estimation of the behavior of a micropile due to horizontal load, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 10, No. 6, pp. 117~123 (In Korean).
9. Lizzi, F. (1978), Reticulated root piles to correct landslides, ASCE Convention, Chicago, pp. 23~31.
10. Lizzi, F. (1983), The reticolodo Di Pali Radice (Reticulated Toot Piles) for the improvement of soil resitance, Physical Aspects and Design Approaches, Eighth E uropean Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, A. A. Balkema, Helsinki, pp. 521~524.
11. Park, H. S., Baek, D. H., Do, J. U. and Lee, J. H. (2014), Examination of type and present state design on domestic small diameter piles”, Krean Society of Civil Engineers, pp. 1621~1622 (In Korean).
12. Plumelle, C. (1984), Amelioration de la portante d' un sol par inclusions de groupe et reseaux de micropieux, In-Situ Soil and Rock Reinforcement Conference, Paris, pp. 83~98.
13. Prakash, S. (1990), Pile foundations in engineering practice, Printed by John Wiley and Sons, Inc., pp. 218~318.
14. Weltman, A. (1981), A review of micro pile types, Ground Engineering, Vol. 14, No. 4, pp. 43~49.