

# 직접전단 시험에 의한 SIP 말뚝의 주면마찰 특성 고찰

## Skin Friction Properties of SIP Pile through Direct Shear Test

천병식\*  
Chun, Byung Sik

임해식\*\*  
Lim, Hae Sig

김도형\*\*\*  
Kim, Do Hyeong

---

### ABSTRACT

SIP(Soil cement Injected Precast pile) that inserts a precast pile after injecting a cement paste into a boring has been applied rapidly through the change of construction circumstances. But there isnt any logical equation of a bearing capacity fitted to SIP yet. So Meyerhof equation has mainly been used to predict a bearing capacity in a design stage instead. But it has shortcomings such as lack of confidence because it has derived not from a theory but from an experience obtained from the result of SPT (Standard Penetration Test) and because a penetration depth tends to be deeper by an excessive design that depends on an end bearing capacity of a pile more than a skin frictional resistance.

In this study, thereupon, a direct shear test in the laboratory was performed to both SM and SC soils in variable conditions to verify skin friction properties for the purpose of presenting some reasons capable of reducing penetration depths. Through the tests, soil to soil of SM in cohesion, rough panel to soil of SM in friction angle and soil to soil of SM in shear strength tended to be high. And a shear strength increased as its total unit weight increased in all cases.

---

### 1. 서 론

최근 환경문제에 대한 사회적 관심이 고조됨에 따라 말뚝향타로 인한 지반진동, 소음 등이 각종 건설현장에서 심각한 문제점으로 대두되고 있다. 지반을 굴착하고 cement paste를 주입한 후 기성 말뚝을 삽입하는 SIP공법(Soil cement Injected Precast pile)은 이러한 건설환경 여건의 변화에 부응하여 그 적용이 급속히 증대되고 있다(이명환, 1999).

국내에서도 이러한 추세에 따라 말뚝기초 적용시 향타공해가 문제시되는 현장에서 가장 빈번하게 대안공법으로 SIP 방식을 채택하는 경우가 점차 늘고있는 추세이지만 아직까지 SIP 공법에 관한 합리적인 지지력 산정식이 제시되어있지 못한 실정이다. 지금까지는 설계단계에서 SIP공법의 지지력 예측에 Meyerhof 식을 주로 사용하고 있다. 하지만 Meyerhof 식은 SPT 시험결과를 활용한 경험적 방법으로 신뢰성이 크게 떨어질 뿐만 아니라, 주면 마찰력 보다는 선단 지지력에 훨씬 더 의존하는 등 과다 설계로 인해 말뚝 관입 깊이가 깊어지는 경향이 있다(한국지반공학회, 2000).

이에 대해 본 연구에서는 SIP 말뚝의 마찰력 특성을 검증하여 이러한 문제점들을 개선, 보완하기 위하여 다양한 조건에서 SIP말뚝 주면과 흙의 경계면에 대하여 직접전단시험을 실시하였다.

---

\* 정희원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사, 정희원

\*\* 정희원 · 대한주택공사 연구개발실 과장 · 공학박사, 비희원

\*\*\* 정희원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, 비희원

## 2. 실내 직접전단 시험

### 2.1 실내 직접전단시험 개요

직접전단시험의 전단상자 크기는 10cm×10cm를 사용하였고 하부층 상자에는 물/시멘트비 83%의 몰탈로 성형된 조도판과 비조도판, 그리고 현장에서 채취해 온 시료가 채워지고 상부층 상자에는 현장에서 채취해 온 시료를 채워 넣어 3종류의 전단시험을 실시하였다.

총 79회의 시험을 실시하였고, 조도판은 현장에서 오거로 천공하여 시공된 SIP말뚝의 실제 요철면에 본을 떠 시멘트 밀크로 성형시켜 제작하였고 비조도판은 요철이 없는 시멘트 몰탈로 성형 제작하였다. 시험은 변형 제어 방식으로 전단속도는  $\epsilon h = 2\%$  인 약 2mm/분으로 하였으며 전단시험중 공시체의 항복강도가 나타나지 않을 때에는 약 10mm의 전단상태를 항복강도로 채택하였다.

도표 1. 실내 직접전단시험 개요

구 분	내 용	비 고
시험 종류 및 시험 횟수	<ul style="list-style-type: none"> <li>soil-soil (29회)</li> <li>soil-조도판 (25회)</li> <li>soil-비조도판 (25회)</li> </ul>	· 파괴면의 경계를 3종류로 가정
함수비	<ul style="list-style-type: none"> <li>16%(의정부 급호 시료)</li> <li>27%(인천 도림 시료)</li> </ul>	· 현장 상태
수직 응력	· 50kPa, 100kPa, 150kPa 순서를 1set로.	· 시료의 채취심도 고려 (의정부 4m, 인천 5.5m)
습윤 단위중량	· 1.5t/m <sup>3</sup> ~1.9t/m <sup>3</sup>	· 단위중량 변화에 따른 강도정수 비교 목적

### 2.2 시료토

본 시험에 사용된 흙 시료는 국내에서 광범위하게 분포되어 있는 화강풍화토를 대상으로 하였으며 주요 물성치는 도표 2와 같다. 체가름 분석을 통한 입도분포곡선은 그림 1과 그림 2와 같다.

도표 2. 시료의 물성치

구 분	자연함수비(%)	비중	액성한계(%)	소성한계(%)	토질분류
의정부	16	2.70	NP	NP	SM
인 천	27	2.69	38.13	20.06	SC

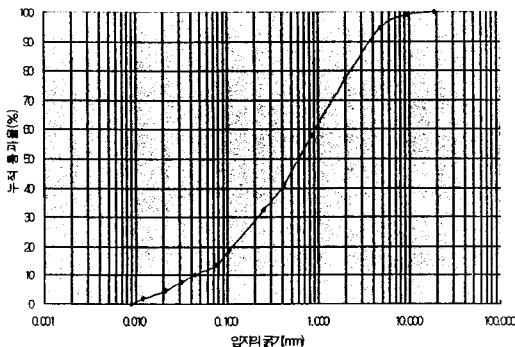


그림 1. 의정부시료 입도분포곡선

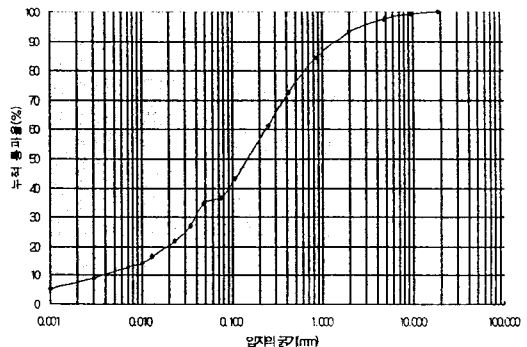


그림 2. 인천시료 입도분포곡선

### 3. 시험 결과 및 고찰

그림 3~그림 8은 두 종류 시료에 대한 부착력, 마찰각, 마찰저항력 값의 흙의 단위무게에 대한 변화를 나타내본 것이다. 그림의 범례에서 Soil은 전단상자 상·하면에 모두 흙이 채워진 상태인 경우의 시험결과를 말하며, 조도판은 전단상자 한쪽은 거친 SIP 몰탈면을 재현한 면과 한쪽에는 흙을 채운 경우의 시험결과값을, 비조도판은 매끈한 말뚝면을 시멘트 몰탈로 재현한 면과 한쪽에는 흙을 채운 경우의 시험 결과 값을 의미한다. 시료의 측압( $\sigma_h$ )은 깊이 Z인 상태에서의 정지토 압을 나타내고 깊이는 시료의 채취심도를 고려하여 5m로 고정하고 단위중량은 각 시험에 사용된 공시체의 단위중량을 사용하였다.

마찰저항력 계산에 사용된 식은

$$\tau = C + \sigma_h \tan \phi \quad (\text{Coulomb, 1776}) \quad (1)$$

여기서,  $\sigma_h : K_o(\gamma Z)$

$K_o : 1 - \sin \phi$  (사결토에서 정지 토압 계수)

$Z$  : 시료 채취심도(m)

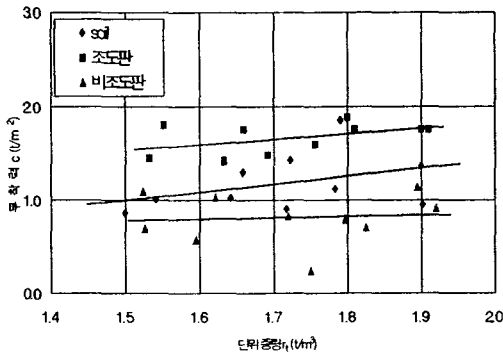


그림 3. 인천시료의 부착력 경향

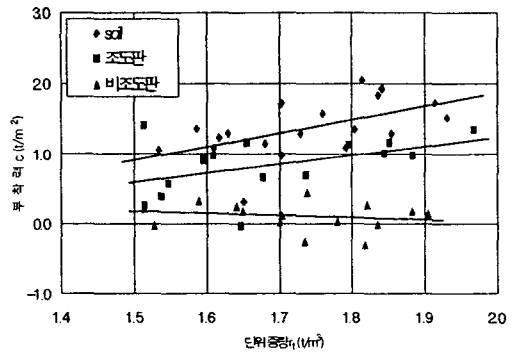


그림 4. 의정부시료의 부착력 경향

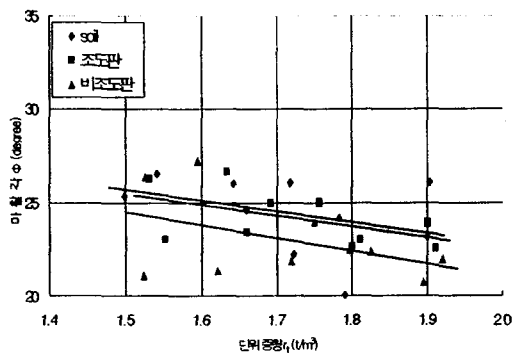


그림 5. 인천시료의 마찰각 경향

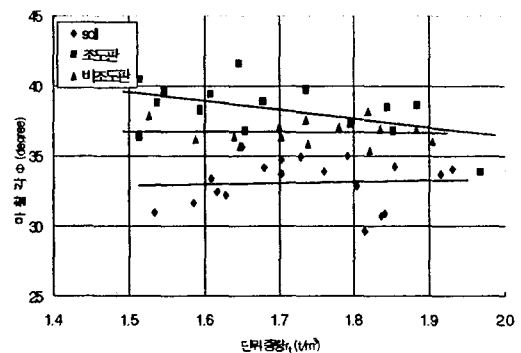


그림 6. 의정부시료의 마찰각 경향

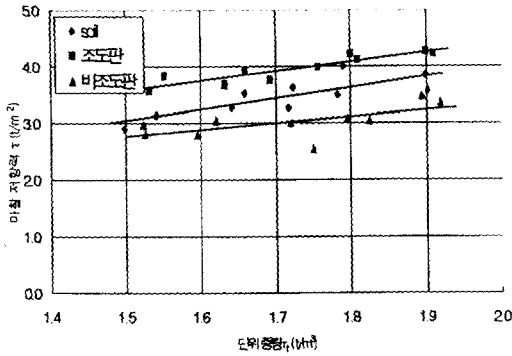


그림 7. 인천시료의 마찰저항력 경향

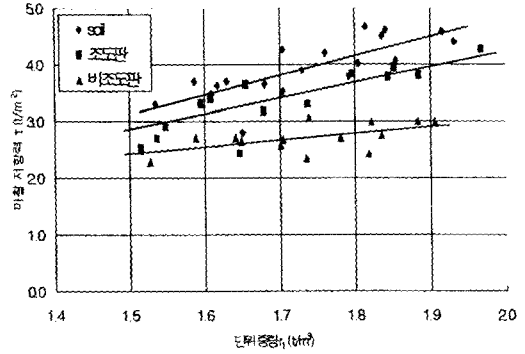


그림 8. 의정부시료의 마찰저항력 경향

#### 4. 결론

SIP말뚝의 주변마찰력 특성을 살펴보기 위해 직접전단시험을 실시한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 부착력 값의 크기만을 살펴볼 때 SC 토질의 경우 조도판과 흙, 흙과 흙, 비조도판과 흙 순으로 작아지고 SM 토질의 경우 흙과 흙, 조도판과 흙, 비조도판과 흙 순으로 작아지는 경향이다.
- 2) SM, SC 토질 모두 조도판과 흙, 흙과 흙 사이에서의 부착력은 흙의 밀도가 커질수록 증가하는 경향을 보였으나 비조도판과 흙 사이의 부착력은 흙의 밀도에 따른 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.
- 3) 마찰각의 크기는 SM 토질의 경우 조도판과 흙, 비조도판과 흙, 흙과 흙에서의 측정값 순으로 작아지고 SC 토질의 경우 흙과 흙, 조도판과 흙, 비조도판과 흙에서의 측정값 순으로 작아짐을 알 수 있었다.
- 4) 흙의 밀도에 따른 마찰각의 변화는 SM 토질의 경우 조도판과 흙 사이에서는 밀도가 증가함에 따라 마찰각이 감소하고 비조도판과 흙, 흙과 흙 사이에서는 밀도에 따라 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. SC 토질의 경우 흙과 흙, 조도판과 흙, 비조도판과 흙 사이에서의 마찰각이 밀도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.
- 5) 실험에 사용된 SM, SC 흙의 부착력과 마찰각으로 산정된 전단저항력 즉, 마찰저항력 값은 SM 토질의 경우 그 크기가 흙과 흙, 조도판과 흙, 비조도판과 흙 사이에서의 산정값 순으로 작아졌고, SC 토질의 경우에는 조도판과 흙, 흙과 흙, 비조도판과 흙 사이에서의 값 순으로 작아졌다. 흙의 밀도에 따른 마찰저항력 값의 변화는 모든 경우에 밀도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다.

#### 참고문헌

1. 박종배, 박태순(2000) 비배토 현장타설 콘크리트 말뚝의 지지력 산정에 관한 연구, 말뚝기초위원회 학술 발표 논문집, 한국지반공학회, pp.67~84.
2. 이명환(1999) SIP 시공말뚝의 지지력 특성, <http://www.piletech.co.kr/doc/SIP.html>