

SIP 말뚝의 주면마찰 특성에 관한 연구

A Study on the Skin Friction Characteristics of SIP(Soil-cement Injected Precast Pile)

천병식¹⁾, Byung-Sik Chun, 임혜식²⁾, Hae-Sig Lim,
강재모³⁾, Jae-Mo Kang, 김도형³⁾, Do-Hyeong Kim, 지원백³⁾, Won-Baek Ji

¹⁾ 한양대학교 공과대학 교수, Professor, College of Engineering, Hanyang University

²⁾ 대한주택공사 주택연구소 과장, Deputy Manager, Housing Research Institute, KNHC

³⁾ 한양대학교 대학원 석사과정, Graduate student, Hanyang University

SYNOPSIS : As environmental problem in course of construction has been a matter of interest, noise and vibration in the process of piling are considered as a serious problem. For this reason, the use of SIP method inserting pile as soon as boring and cement grouting is rapidly increasing for preventing vibration and noise. But a reasonable bearing capacity formula for SIP method does not exist and even the standard specification for domestic condition isn't formed, though the lateral friction between cement paste and the ground does an important role and boring depth largely influences to the design bearing capacity, applying the SIP method. Therefore, the lateral friction was analyzed after the direct shear test worked with the lateral face of SIP and the soil.

Key words : SIP, direct shear test, lateral friction

1. 서론

우리나라의 말뚝기초는 최근 수년간 말뚝재료, 공법 및 설계기술 측면에서 상당한 발전이 있었으며, 구조물의 대규모화에 따른 말뚝재료의 고품위화 및 최적공법에 대한 연구가 보다 활발하게 진행되고 있으나 아직은 설계 및 시공에 있어서 최적공법의 적용에는 미흡한 부분이 많은 실정이다(천, 2000). 또한 최근 환경문제에 대한 사회적 관심이 고조됨에 따라 말뚝항타로 인한 지반진동, 소음 등이 각종 건설현장에서 심각한 문제점으로 대두되고 있으며 기존 건축물주변에서의 말뚝공사는 시공이 거의 불가능할 정도로 공사 여건이 악화되었고 이런 상황은 앞으로 도 계속될 것으로 전망된다. 지반을 굴착하고 cement paste를 주입한 후 기성말뚝을 삽입하는 SIP공법(Soil cement Injected Precast pile)은 이러한 최적공법의 적용에 대한 연구와 건설환경 여건의 변화에 부응하여 그 적용이 급속히 증대되고 있다(대한주택공사, 2001). 그러나, 지금까지는 설계단계에서 SIP공법의 지지력 예측에 Meyerhof 식을 주로 사용하고 있을 뿐, 아직까지 객관적인 근거를 토대로한 SIP공법에 관한 합리적인 지지력 산정식이 제시되어있지 못한 실정이다. 특히 SIP공법은 타입말뚝과 달리 시멘트 페이스트와 지반사이에서의 주면마찰력이 중요한 역할을 하고 적절한 천공심도가 설계지지력에 큰 영향을 미치고 있으나 국내에서는 이것에 대한 특별한 기준이 없는 실정이므로 시공, 양생, 시멘트 페이스트 배합 등 여러 요인에 의한 많은 시험자료의 분석을 통

한 정확한 지지력 산정이 요구된다.

이와 같은 문제 해결에 기여하기 위해 SIP말뚝 주변과 지반사이의 저항력을 실내 직접전단시험으로 측정하여 경향을 분석 하였다.

2. 실내 직접전단 시험

2.1 시험시료

본 연구의 실내시험에 사용된 흙 시료는 국내에서 광범위하게 분포되어 있는 화강풍화토를 대상으로 하였다. 공시체 제작에 사용된 시료의 입자크기는 입자크기에 따른 영향을 최소화 하고자 현장토를 6번체로 체가름하여 최대 3.35mm를 넘지 않게 하였다(Head K. H., 1982).

주요 물성치는 표 1과 같으며 입도 분석을 통한 입도분포곡선은 그림 1, 그림 2와 같다.

표 1. 시료의 물성치

토질분류	자연함수비	비중	액성한계	소성한계
SM	16 %	2.70	NP	NP
SC	27 %	2.69	38.13 %	20.06 %

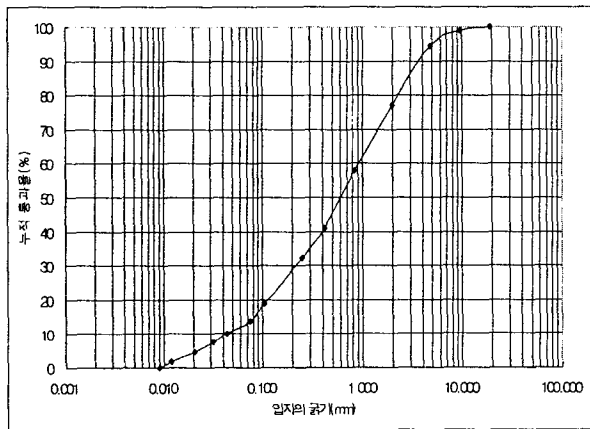


그림 1. SM시료 입도분포곡선

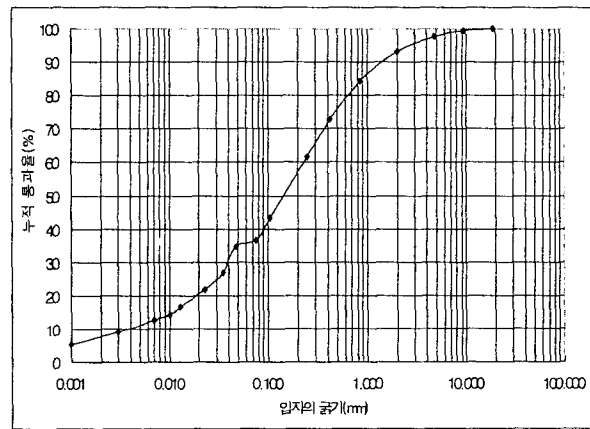


그림 2. SC시료 입도분포곡선

2.2 시험개요

직접전단시험의 전단상자 크기는 10cm×10cm를 사용하였고 하부층 상자에는 물/시멘트비 83%의 몰탈로 성형된 조도판(그림 3, 그림 4)과 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 최대강도값이 나타나지 않을 때에는 변위 약 10mm 전단상태에서의 값을 최대값으로 채택하였다.(김용필 등, 2000)

표 2. 실내 직접전단시험 개요

구분	내용	비고
시험 종류	· soil-soil · soil-조도판 · soil-비조도판	· 파괴면의 경계를 3종류로 대비
함수비	· 16%(SM 시료) · 27%(SC 시료)	· 현장 자연함수비
수직 응력	· 50kPa, 100kPa, 150kPa 순서를 1set로.	· 시료의 채취심도 고려 (SM 4m, SC 5.5m)
습윤 단위중량	· 1.5t/m ³ ~ 1.9t/m ³	· 단위중량 변화에 따른 강도정수 비교 목적.

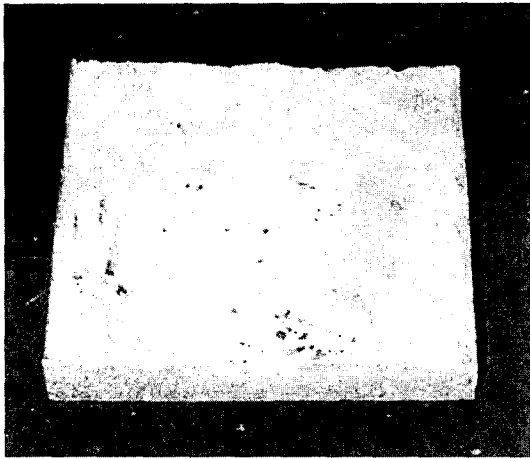


그림 3. 시험전의 조도판

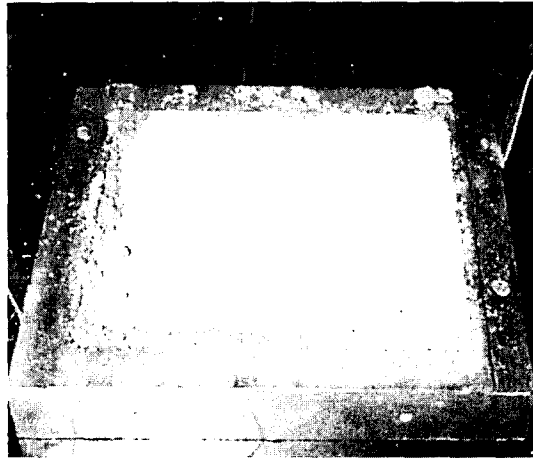


그림 4. 시험후 조도판

3. 실내시험 결과

그림 5~그림 10은 두 종류 시료에 대한 부착력, 마찰각, 마찰저항력 값의 흙의 단위무게에 대한 변화를 나타내 본 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 축압(σ_h)은 깊이 Z인 상태에서의 정지토압을 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, $\sigma_h : K_o(\gamma Z)$

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

Z : 시료 채취심도(m)

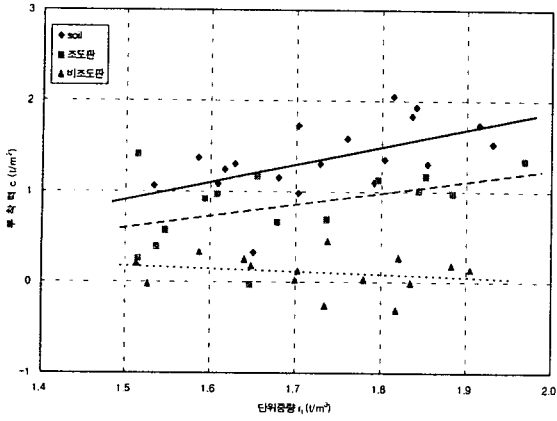


그림 5. SM 시료의 부착력 경향

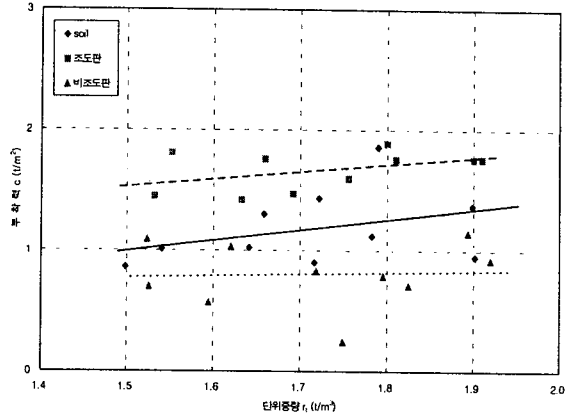


그림 6. SC 시료의 부착력 경향

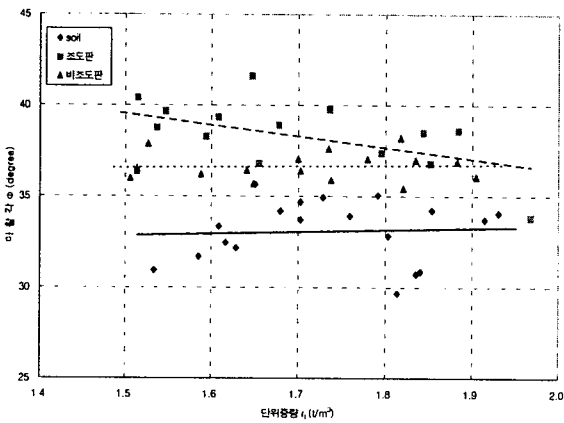


그림 7. SM 시료의 마찰각 경향

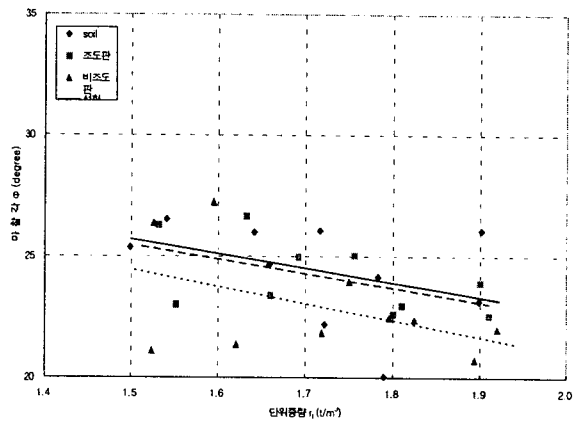


그림 8. SC 시료의 마찰각 경향

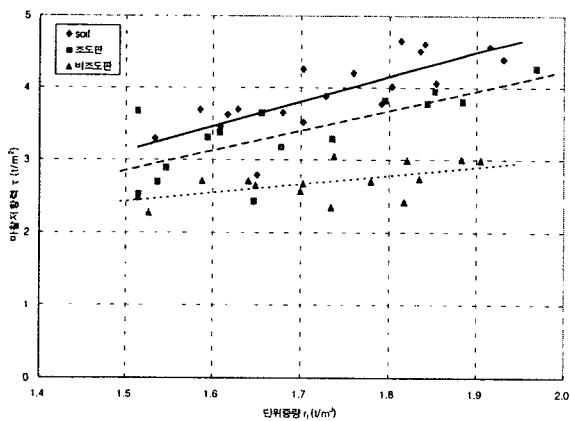


그림 9. SM 시료의 마찰저항력 경향

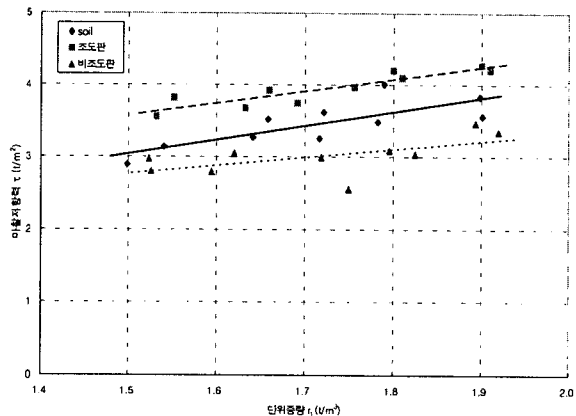


그림 10. SC 시료의 마찰저항력 경향

3.1 실내시험결과 분석

실내 전단시험 결과를 분석해보면 다음과 같다. 말뚝 주면 경계부에서의 전단 저항력을 부착력과 마찰각으로 나타낸 경우를 살펴보면 부착력 성분은 SM 토질이나 SC 토질에서 흙의 단위중량이 클수록 부착력 값이 증가한다. 또한 흙과 접한 경계면의 거칠기에 따라서도 차이를 나타내는데 그 순서는 조도판과 흙, 흙과 흙, 비조도판과 흙

순으로 나타났다. 즉, SIP 말뚝과 같이 거친 말뚝 표면에서의 주면마찰력 값이 매끈한 말뚝 표면보다 큰 부착력 성분을 가진다는 것을 알 수 있다.

마찰각 성분에서는 SM 토질의 경우 흙의 단위중량에 따른 변화는 거의 나타나지 않고, SC 토질에서는 모든 표면 상태에서 흙의 단위중량 증가에 따라 마찰각 성분이 감소하는 경향으로 분석되었다. 마찰각 성분의 크기도 토질에 따라 면저칠기에 의한 영향이 다르게 나타나는데 SC 토질에서는 흙과 흙, 조도판과 흙, 비조도판과 흙 순이며, SM 토질의 경우는 조도판과 흙, 비조도판과 흙, 흙과 흙 순으로 나타났다.

전단 경계면에서의 저항력을 나타내는 전단 저항력을 산정하여 경향을 분석해보면 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 흙의 단위중량이 클수록 전단면에서의 저항력은 커지고 같은 단위중량에서의 크기는 면의 거칠기에 따라 조도판과 흙, 흙과 흙, 비조도판과 흙사이에서의 저항력 순이다.

여기서 중요한 사항을 알 수 있는데 말뚝과 흙이 접하는 면에서의 전단저항력의 측정은 일반적인 국내지반 토사의 경우 마찰각 성분이나 부착력 성분만을 가지고 산정하는 것은 오류를 포함할 우려가 많으므로 두 가지 성분을 포함한 전단저항력을 측정하거나 예측하는 방안을 모색하는 것이 바람직한 것으로 보여진다.

3.2 최대주면저항력 추정식

전단저항력의 특성을 살펴보기 위하여 경계면에서의 최대전단저항력과 수직하중, 흙의 단위중량과의 관계를 살펴보면 그림 11~그림 12와 같다. 이 그림들을 잘 살펴보면 아주 중요한 정보를 제공하고 있는데 전단면에 작용하는 수직하중이 최대전단 저항력에 미치는 영향이 월등히 크다는 것이다. 즉, 깊이별로 지중응력이 차이가 나는 것은 명확한 사실이며 그에 따라 말뚝 표면에 작용하는 수직하중이 차이가 나는 것이 주면 저항력에 가장 큰 영향을 주는 인자이므로 이런 특성을 고려한 주면 설계 지지력 산정이 반드시 필요하다고 사료된다.

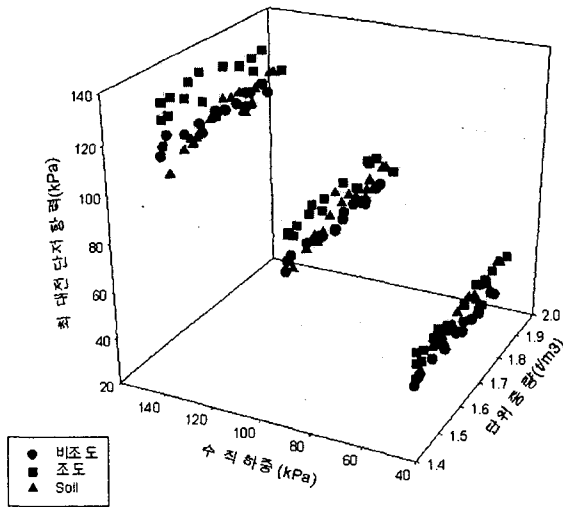


그림 11. 최대 주면전단 저항력(SM 시료)

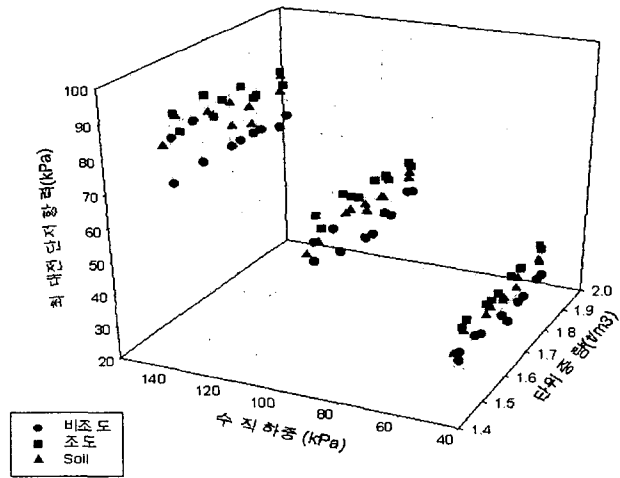


그림 12. 최대 주면전단 저항력(SC 시료)

실험 결과를 토대로 SM 과 SC 토질에서의 SIP말뚝에 대한 주면 전단저항력 추정식을 제시해보면 다음과 같다.
SM 토질에서의 SIP말뚝 주면 전단저항력

$$\tau_s = 16.5 - 4.8\gamma + 0.8\sigma_n \quad (2)$$

SC 토질에서의 SIP말뚝 주면 전단저항력

$$\tau_s = 27.6 - 6.5\gamma + 0.4\sigma_n \quad (3)$$

여기서, τ_s : 단위 주면 전단저항력(kPa)

γ : 흙의 단위무게(t/m³)

σ_n : 수직응력(kPa)

4. 결론

SIP말뚝의 주면 마찰특성을 살펴보기 위해 실내 전단시험을 실시하고 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 최대 주면저항력은 경계면의 특성과 경계면에 접한 흙의 밀도에 관련이 있다. SM 토질의 경우 그 크기가 흙과 흙, 조도판과 흙, 비조도판과 흙 사이에서의 산정값 순으로 나타났으며 SC 토질의 경우에는 조도판과 흙, 흙과 흙, 비조도판과 흙 사이에서의 값 순으로 나타났다. 흙의 밀도에 따른 마찰저항력 값의 변화는 모든 경우에 밀도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.
- (2) 경계면에서의 저항력을 부착력과 마찰계수로 분리하는 경우 부착력의 경우 경계면 흙의 밀도에 따라 증가하는 경향을 보이나 마찰계수의 경우 전체적으로 변화가 없는 것으로 측정되었다. 부착력의 경우에도 표면이 매끈한 비조도판의 경우 흙의 밀도에 따른 부착력의 변화가 없는 것으로 나타났다.
- (3) 말뚝 주면 저항력의 산정에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 인자는 전단면에 작용하는 수직응력이며 SM, SC 토질에서 흙의 밀도와 전단면의 수직응력을 고려한 최대 주면 저항력 산정식을 제안하였다.

5. 참고문헌

1. 김용필 등(2000), "지반공학 시험법 및 응용", 세진사. pp.381~389.
2. 대한주택공사(2001), "SIP공법의 품질개선방안과 지지력 산정법 제안에 관한 연구", pp.1~13.
3. 박종배, 박대순(2000) "비배토 현장타설 콘크리트 말뚝의 지지력 산정에 관한 연구", 말뚝기초위원회 학술 발표 논문집, 한국지반공학회, pp.67~84.
4. 천병식 외(2000) "지반공학 -이론과 실제-", 구미서관. pp.27, pp.312~314
5. Head K. H.(1982) "manual of soil laboratory testing Vol. 2", ELE Internation Limited, London. pp.542~562.
6. Lambe, T.W. and Whitman, R.V.(1979), "Soil mechainics", Wiley, New York, N.Y., pp.127~139.