수평배수관망을 이용한 연약지반 처리공법의 적용성 평가
Application on Soft Ground Improvement Method using Horizontal Drainge Pipe System

유찬호[1], Chan-Ho Yoo, 강수용[2], Soo-Yong Kang, 홍순용[3], Soon-Yong Hong, 김홍택[4], Hong-Taek Kim

[1] 홍익대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hongik University
[2] 우암이앤씨 대표, President, Wooan E&C
[3] 우암이앤씨 회장, President, Wooan E&C
[4] 홍익대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hongik University

SYNOPSIS : In this study, PSD system to improve the soft ground was developed by using a horizontal drainage pipe. PSD system is direct drain method for the disappearance of excess pore-water pressure which is caused by fill on soft ground. To conduct the field test construction in order to evaluate application of the PSD system. To estimate the behavior characteristics on settlement in which constructed by PSD system and compared the behavior characteristics with the conventional soft ground improvement method result.

Keywords : field test construction, horizontal drainage pipe, settlement, soft ground improvement

1. 서 론

국토의 제한성과 산지가 많은 지형적인 특성으로 인하여 국내의 건설 산업은 지반조건이 불량한 연약지반까지 도로, 철도 및 산업단지와 같은 건설공사가 진행되고 있으며, 이때의 가장 큰 문제가 되는 것은 장기간의 압밀침하로 인한 건설공사 공기 단축이다. 연약지반에서의 건설 산업은 연직배수공법과 같이 공사기간 중에 압밀에 의한 침하량을 빠르게 상당부분 일어날 수 있도록 하여, 압밀시간을 단축시키는 압밀촉진공법이 적용되고 있다.

연직배수공법의 시공성확보 경로는 성토 시공시 지중에서 발생된 과잉간극수압을 신속히 배출시키는 공법으로, 이때 지중에서 발생된 과잉간극수가 연직드레인을 통과한 후, 동수경사에 의해 수평배수층인 Sand Mat로 이동, 외부로 배출시키는 공법이다.

일반적으로 연직드레인 공법은 수평배수층을 모래를 사용하고 있고, 일부지역에서는 성토로 인한 하중으로 연약지반의 침하거동시 성토하중 중심부에서 최대침하가 발생하게 되어, 모래로 이루어진 수평배수층의 위치가 지하수위 하부인 지중으로 함몰되면서 변형, 절단, 이물질의 혼입 등에 의해 배수기능이 매우 저하 되는 문제점이 발생되고 있다. 또한, 대규모로 연약지반처리가 필요로 하는 산업단지, 택지, 도로, 철도, 및 항만 배후 지원시설 등의 조성공사에서는 매우 많은 양의 모래가 필요로 하게 되나 재료수급도 용이치 않은 실정이다.

이에 본 연구에서는 연약지반개량공법의 기존 문제점을 개선하기 위하여 모래를 사용치 않는 연약지반 처리 수평배수층인 수평 배수관망 System 조성방법 및 이를 이용한 연약지반처리 선재하 배수공법(이하 PSD 공법)을 개발하고자 하였다. 본 연구에서는 현장시험 시공을 통해 PSD 공법과 기존 연약지반개량 공법의 거동차이를 비교함으로써 PSD 공법의 적용성을 알아보고자 하였다.

2. PSD 공법의 원리

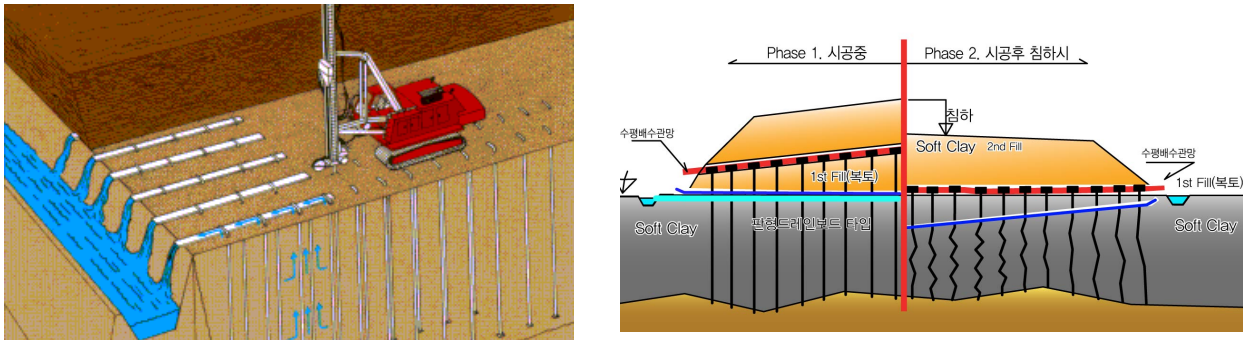
2.1 PSD 공법의 기본적 원리

2.1.1 공법개요

PSD 공법은 연약지반처리 공법에서 수평배수층을 모래를 사용한 Sand Mat 대신 수평 배수관망 System을 개발함으로써 모래가 필요치 않게 되어, 모래자원의 보존 및 공사비 절감에 따른 매우 많은 건설비용 절약이 가능한 공법이다. 시공방법은 연약지반상에 사전에 복토를 부설하고 그 상부에서 연직 드레인을 타입, 설치하면서 판형 연직 드레인을 수평원형배수관에 감쌓은 다음 Cross Fitter로 결합시킨 수평배수관망 System으로 수평배수층을 조성한 후 재하 성토, 시공하게 된다.

본 PSD 공법은 수평 배수관망 System 위치가 지하수위 상부에 위치함으로 인해, 기존의 연직배수공법에서 Sand Mat 수평배수층이 지중에 함몰, 변형되어 발생되는 문제를 개선하여 잔류간극수압 거동을 최소화 시킬 수 있는 진보된 기술이다.

본 PSD 공법의 수평배수관망 System 및 선재하 배수공법의 대표 설명 모식도는 다음 그림 1과 같다.



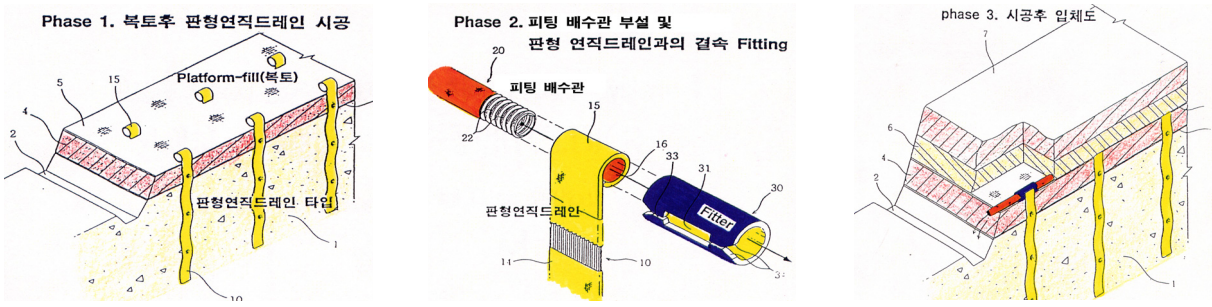
(a) 전체 시공 모식도 (b) PSD 공법의 대표 시공단면도

그림 1. PSD 공법의 대표 설명 모식도

2.1.2 시공단계

PSD 공법은 기존 연약지반처리 공법의 시공상 간편함은 그대로 유지하면서도 기존의 공법이 가지는 공법상의 문제점을 개선하기 위하여 기존 공법에 특별한 추가공정이 없도록 개선하였다.

PSD 공법의 단계별 시공과정은 그림 2에 개략적으로 나타내었다.



(a) 복토 및 연직배수재 타설 (b) 수평배수관망의 연결 (c) 성토

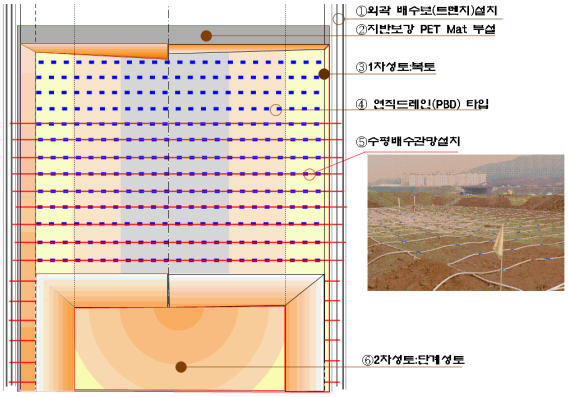
그림 2. PSD 공법의 단계별 시공과정

3. 현장시험시공

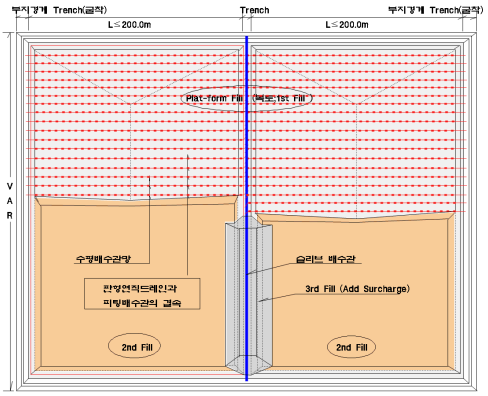
3.1 개요

본 연구에서는 PSD 공법의 실제 연약지반상의 거동을 알아보기 위하여 현장시험시공을 통해 전체 지반의 침하거동을 중점적으로 알아보고자 하였다. 현장시험시공은 영종도 및 인천지역의 연약지반에서 지반개량을 시행중인 택지개발 현장에서 시행하였으며, PSD 공법 외에 일반적으로 적용되고 있는 연직배수공법과의 결과와 비교하여 연약지반 개량효과를 비교해 보았다.

현장시험시공은 총 2개소에서 도로구간과 단지구간에 대해 적용되었으며, 현장시험시공에 적용된 계획 단면은 그림 3에 나타내었다.



(a) 도로구간 현장시험시공 계획



(b) 단지구간 현장시험시공 계획

그림 3. PSD 공법 현장시험시공 계획 모식도

3.2 현장시험시공 전경

PSD 공법은 기존 연약지반처리 공법의 시공상 간편함은 그대로 유지하기 때문에, 별도의 추가공정이 필요 없는 개선된 공법으로 본 연구에서 수행된 현장시험시공 전경 및 단계별 시공과정 전체를 그림 4에 나타내었다.

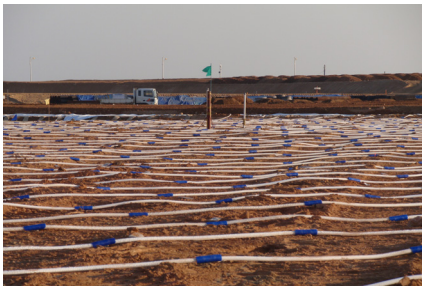
(a) 부직포 및 산토 성토

(b) 연직배수재 설치

(c) 수평배수관망 설치

(d) 연직배수재 절단

(e) 연결재 설치



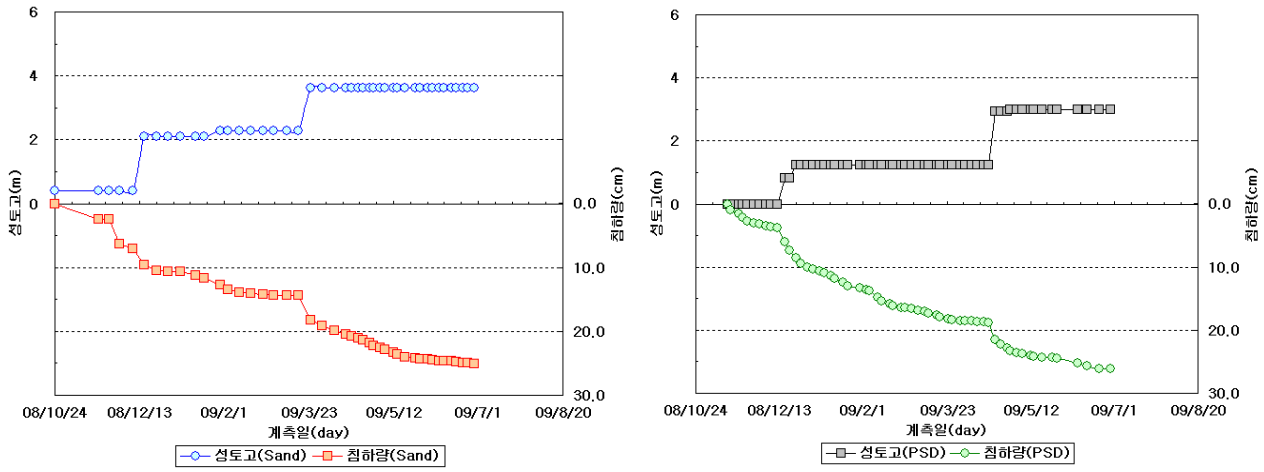
(f) 설치완료

그림 4. PSD 공법 현장시험시공 단계별시공과정

4. 결과 및 분석

4.1 현장시험시공 결과분석

PSD 공법과 기존 연약지반 개량공법(sand mat)을 이용한 경우 지반의 침하거동을 중점적으로 분석하였으며, 성토후부터 약 8개월 동안의 침하량 평가결과는 그림 5에 나타내었다.

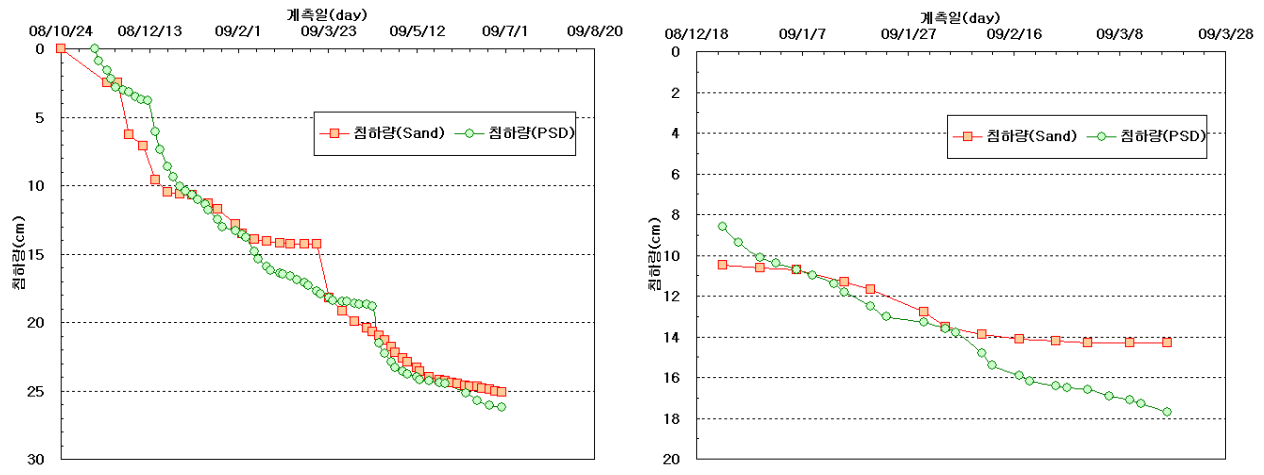


(a) 일반공법의 침하거동 결과 (b) PSD 공법의 침하거동 결과

그림 5. PSD 공법 및 일반 공법의 침하거동 결과

그림 5의 결과를 살펴보면, 일반공법의 경우 3.62m 성토시 25.1cm의 침하량이 발생한 것으로 평가되었으며, PSD 공법의 경우 2.92m 성토시 26.2cm의 침하가 발생하는 것으로 평가되었다. 즉, 동일 구간에 더 적은 성토고에도 PSD 공법을 이용하는 경우가 지반의 침하가 더 크게 평가되는 것으로 나타나 PSD 공법을 이용하는 것이 일반공법을 이용하는 경우보다 원지반의 압밀침하를 더욱 빨리 유도하는 것으로 나타났다.

PSD 공법을 이용하는 경우가 일반공법을 이용하는 경우보다 압밀침하를 더욱 효과적으로 발생시키는 것은 성토후 잔류침하가 발생하는 경우에 나타나며, 이 결과는 그림 6에 나타내었다.



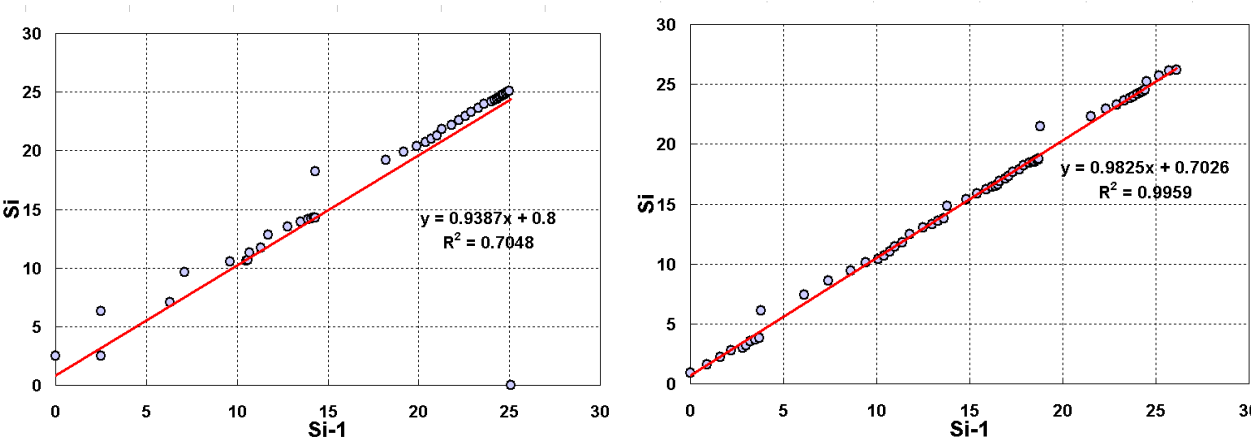
(a) 일반공법 및 PSD의 전체 침하 (b) 방치기간의 잔류침하

그림 6. PSD 공법, 일반공법의 전체침하 및 잔류침하

그림 6의 결과를 살펴보면, 일반공법과 PSD 공법의 차이는 잔류침하 발생시에 명확히 나타나는데 일반공법의 경우 방치기간시에 약 4cm 정도의 잔류침하가 발생하는데 비해 PSD 공법의 경우, 방치기간에 약 9.5cm 정도의 침하가 발생하여 과잉간극수의 배출에 더욱 효과가 있음을 확인하였다.

4.2 잔류침하량 예측

PSD 공법과 기존 연약지반 개량공법(sand mat)을 이용한 경우의 향후 잔류침하를 예측하여 두 공법의 효과를 비교하고자 하였다. 잔류침하량의 예측은 실제 계측결과를 이용하여 잔류침하량을 예측하는 Asaoka 방법을 이용하여 잔류침하량을 평가하였으며, 평가결과는 그림 7과 표 1에 나타내었다.



(a) 일반공법의 Asaoka 평가결과 (b) PSD 공법의 Asaoka 평가결과

그림 7. PSD 공법 및 일반공법의 잔류침하 예측결과

표 1. 각 case에 대한 잔류침하 예측결과

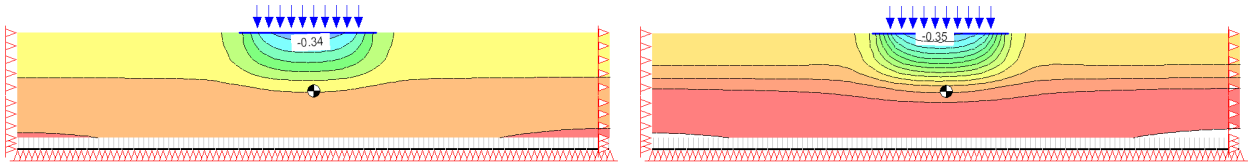
구분	수평배수층	α	β	잔류침하량
PSD 공법	배수관망	0.7026	0.9825	0.65cm
일반공법	Sand mat	0.80	0.9387	1.92cm

그림 7 및 표 1의 결과를 살펴보면, PSD 공법은 잔류침하량이 0.65cm 정도로 평가된데 비해 일반공법은 잔류침하량이 1.92cm 정도로 나타나 PSD 공법이 50%이상 잔류침하가 저하되어 있는 것으로 평가되었다. 따라서 PSD 공법은 연약지반의 압밀침하를 보다 빨리 발생시킬 수 있는 효과적인 공법임을 확인하였다.

4.3 수치해석을 통한 PSD 공법의 효과확인

PSD 공법을 이용하는 경우와 일반공법을 이용하는 경우에 대해 압밀침하 발생 차이를 알아보기 위하여 Sigma/w 수치해석을 이용하여 압밀침하 발생여부를 확인하였다. 수치해석에서 원지반의 지하수위는 현장시험 시공조건과 동일하게 가정하였으며, 현장시험 시공은 두 공법의 성토고가 달라 직접적인 비교가 어려운 점을 감안하여 최종 성토고를 5m로 가정하여 압밀침하량을 비교하였다. 두 공법의 압밀침하량 비교결과는 그림 8에 나타내었다.

그림 8의 결과를 살펴보면, PSD 공법을 이용하는 경우에는 압밀침하량이 약 35cm정도로 평가된 반면 수평배수층 모래를 이용하는 경우에는 압밀침하량이 약 34cm 정도로 평가되어 미소하나마 PSD 공법을 이용하는 경우가 압밀침하를 유도하는데 더욱 효과적인 것을 확인하였다.



(a) 일반공법의 수치해석결과 (b) PSD 공법의 수치해석결과

그림 8. PSD 공법 및 일반공법의 수치해석결과

5. 결 론

본 연구에서는 연약지반개량공법의 기존 문제점을 개선하기 위하여 모래를 사용치 않는 연약지반 처리 수평배수층인 수평 배수관망 System 조성방법 및 이를 이용한 연약지반처리 선재하 배수공법 (이하 PSD 공법)의 적용성을 알아보고자 하였으며, 본 연구를 통해 얻어진 주요 내용을 요약, 정리하면 다음과 같다.

(1) 현장시험시공 결과, 일반공법의 경우 3.62m 성토시 25.1cm의 침하량이 발생한 것으로 평가되었으며, PSD 공법의 경우 2.92m 성토시 26.2cm의 침하가 발생하는 것으로 평가되어 PSD 공법을 이용하는 것이 일반공법을 이용하는 경우보다 원지반의 압밀침하를 더욱 빨리 유도하는 것으로 나타났다.

(2) 일반공법과 PSD 공법의 차이는 잔류침하 발생시에 명확히 나타나는데 일반공법의 경우 방치기간시에 약 4cm 정도의 잔류침하가 발생하는데 비해 PSD 공법의 경우, 방치기간에 약 9.5cm 정도의 침하가 발생하여 과잉간극수의 배출에 더욱 효과가 있음을 확인하였다.

(3) PSD 공법은 잔류침하량이 0.65cm 정도로 평가된데 비해 일반공법은 잔류침하량이 1.92cm 정도로 나타나 PSD 공법이 50%이상 잔류침하가 저하되어 있는 것으로 평가되었다. 따라서 PSD 공법은 연약지반의 압밀침하를 보다 빨리 발생시킬 수 있는 효과적인 공법임을 확인하였다.

(4) 수치해석결과, PSD 공법을 이용하는 경우에는 압밀침하량이 약 35cm정도로 평가된 반면 수평배수층 모래를 이용하는 경우에는 압밀침하량이 약 34cm 정도로 평가되어 미소하나마 PSD 공법을 이용하는 경우가 압밀침하를 유도하는데 더욱 효과적인 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국토지공사에서 지원하는 중소기업 기술사업지원으로 수행된 연구의 성과중 일부이며, 원활한 연구에 지원해주신 한국토지공사 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 우암이앤씨(2009), 모래를 사용치 않은 연약 처리 수평배수 관망 System 선재하 (先載荷) 배수공법 (P.S.D) 기술도서
2. 한연진, 강수용, 홍순용, 진규남, 김홍택(2009), “선재하 배수공법에 관한 현장시험 연구” 한국지반환경공학회, 2009 봄 학술발표회 논문집, pp.232~238.