

## 연약지반 개량 시공의 실제와 문제점

### The Reality and Problem of Soft Ground Improvement Construction

최귀봉<sup>1)</sup>, Gwi-Bong Choi, 황성원<sup>2)</sup>, Soung-Won Hwang, 김종렬<sup>3)</sup>, Jong-Ryeol Kim

<sup>1)</sup> 전남대학교 토목공학과 박사수료, Ph.D. Candidate, Dept. of Civil Engrg., Chonnam National University

<sup>2)</sup> 전남대학교 토목공학과 박사, Ph.D, Dept. of Civil Engrg., Chonnam National University

<sup>3)</sup> 전남대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engrg., Chonnam National University

**SYNOPSIS** : During recent years, the large soft ground improvements very rapidly increase with industrial development and it is the types and scales of structure that is enlarged by degree. Then, we must enter construct equipment to improve soft ground and we fulfilled works by carrying out soft clay soil to gain trafficability for them. For improving the soft ground, we lay geotextile on soft clay ground and fill the filter sand that can drain the pore water. Then, we landfill cover soil for come by trafficability of construction tools. Ater that we penetrate vertical drain for dehydration through soft ground. there are very complicated works. For these reason we suggest the methods of soft ground improvement constructions.

**Key words** : soft ground improvement, filling soil, vertical drain, sand mat, trafficability

## 1. 개요

흙은 각각의 독립된 입자로 구성된 불연속체로서 강철, 콘크리트 등과 같은 연속체와는 구별된다. 흙의 특성은 비균질, 비등방성이며, 응력변형은 탄성거동을 하지 않고 응력, 시간, 환경에 영향을 받는 토립자, 물, 공기가 삼상구조를 이루고 있다. 흙이 함수비가 과다하거나 구조가 느슨하면 상부 구조물의 하중을 지지할 수 없거나 과도한 변형을 발생시키는 연약지반이 된다.

연약지반은 포화된 점성토, 느슨한 사질토, 유기질 성분이 다량 함유한 흙 등이 있다. 포화된 점성토는 함수비가 매우 크고 투수계수가 작아 지지력이 매우 약할 뿐만 아니라 침하가 크고 장기적으로 발생하고, 전단파괴로 인한 성토체 붕괴 등의 문제점이 있다. 연약지반의 변형은 외부압력의 작용에 의해 지중에 과잉간극수압이 발생하고 배수 및 탈수 작용으로 인해 지반의 체적변화, 즉 지반의 변형이 발생하게 된다. 이와 같은 변형을 억제하기 위해 지반개량공법은 치환공법, 고결공법, 탈수 공법 등이 있다. 그 중 탈수공법은 연약지반 내에 배수채를 삽입하여 수분을 탈수시켜 강도증진 및 변형의 억제하는 공법으로 샌드드레인, 팩드레인, PBD공법 등이 대표적이다. 연약지반 개량공사 중에 현장에서 발생하는 문제점과 그 대책을 제시하였다.

## 2. 지반개량 공법 시공의 문제점과 대책

탈수공법은 일반적으로 연약층 내에 배수채를 1.0~2.0m간격으로 타입하고 재하성토로 하중을 가하여 중의 물을 수평배수층에 집수시켜 물을 배수시키는 공법으로 배수량 만큼 침하가 발생한다.

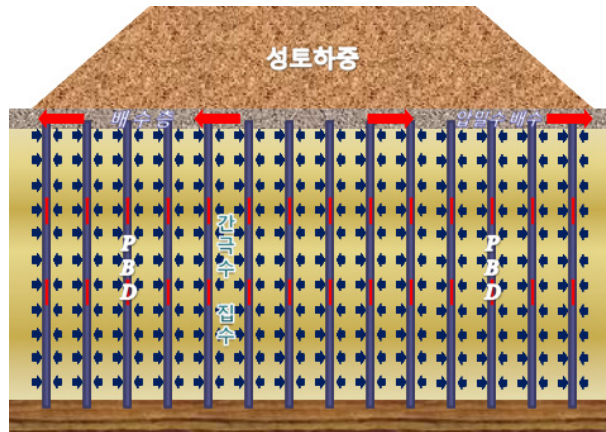


그림 1. PBD공법의 개략도

이와 같은 탈수공법의 시공순서는 저면 mat 포설, 배수층 및 복토, 수직배수재 타설, 재하성토, 압밀방치 및 배수, 성토제거 후 상부시설 설치 순으로 이루어진다. 이러한 공정에서 시공 중에 지반의 강도 부족으로 인해 트러블이 발생하는 사례가 종종 있다. 복토 시공 및 수평배수층 시공시 토목섬유 mat 파단과 복토층 파괴로 인한 준설토의 분출이 발생하고, 수직배수재 타입 중 토목섬유 파단과 배수층 파괴로 드레인 장비 전도 및 시공장비의 함몰 등이 발생한 예를 그림 2에 나타내었다.



그림 2. 연약지반 개량 시공 중 지반의 파괴 및 장비의 전도 예

연약지반 시공 중에 지반파괴 및 장비의 전도가 발생하는 원인과 대책은 토목섬유의 재질 불량과 편심 및 느슨한 포설에 따른 토목섬유의 재질 및 포설하자가 있다. 이는 토목섬유 관리시험 및 봉합을 철저히 하고 받침대를 이용한 간접포설 방법을 실시해야 한다. 복토 시공 시에는 도저를 이용한 직접포설 및 지반 함몰된 부분에 대한 중복포설로 인해 복토두께가 불균질하게 포설되어 발생한다. 이를 방지하기 위해서는 간접포설 및 주행방향 전방을 구속하는 방법이 필요하다. 또한 과도한 장비의 하중 및 진동으로 인한 지반의 교란이 발생할 수 있으므로 경량의 장비를 이용한 시공과 유압식 타입장비의 사용이 필요하다.

연약지반 시공중 관리가 철저히 이루어 지지 않는 경우 개량 후에 부등침하 등의 하자가 발생한 예를 그림 3에 나타내었다. 이러한 부등침하(하자)의 원인은 배수재 재질 및 타입불량에 따른 수직배수재 시공불량, 수평배수층 단절 및 수평배수재 재질의 불량에 의한 수평배수층 역할 부족, 재하하중의 불균등 시공 등이 있다. 이러한 원인을 방지하기 위한 대책으로 배수재의 관리시험을 철저히 하고 효율적인 타입관리가 필요하고 배수층이 단절되지 않도록 복토 시공시 유의해야 하며, 장비에 의한 수평배수층의 다짐이 발생하기 때문에 다짐상태에서 투수시험을 실시할 필요가 있다. 또한 성토두께 관리와 압밀수

배수관리를 철저히 실시하여야 한다.



그림 3. 연약지반 개량 후 부등침하 발생 사례

### 3. 지반개량 공종별 효율적인 시공사례

#### 3.1 표층처리

##### 3.1.1 토목섬유 mat 포설공법

토목섬유 mat 포설은 장비의 원활한 시공을 위한 주행성을 확보하고, 재료의 분리기능 및 지반의 국부적인 파괴, 유동, 용기, 함몰 등의 방지를 위한 목적이다. 이러한 기능을 확보하기 위해서는 인장력을 극대화 할 수 있도록 평탄한 포설을 실시하고 매트손상을 최소화하여 안전사고를 예방하기 위해 mat의 파손을 방지하고 현장봉합을 최소화하여 품질관리를 향상시켜야 한다.

##### 3.1.2 직접 포설방법

토목섬유 포설 시공의 기존 방법은 강제 포설로 인력 및 건설장비를 이용한 직접포설 방법이다. 이 방법은 현장 인력봉합이 과다하여 봉합부위의 강도저하가 발생하고, 그림 4에서 보는 바와 같이 직접 강제 포설로 인한 mat의 손상우려가 있고 불균등 포설로 인해 설계 인장력을 발휘하기 곤란하다.



그림 4. 기존 토목섬유 mat 포설 예

### 3.1.3 간접포설방법

간접포설방법은 직접포설방법에서 발생하는 문제점을 극복하기 위해 저면 mat와 연약층의 마찰 및 부착력을 최소화하기 위해 받침대를 이용한 포설방법으로 skid공법이다. 이 간접포설 방법은 적정 견인력에 의한 평탄, 균질포설을 실시하여 인장력 발휘를 극대화 할 수 있고 현장봉합을 최소화할 수 있는 방법으로 포설 광경을 그림 5에 나타내었다.



그림 5. 간접포설에 의한 시공 예

## 3.2 복토 포설

### 3.2.1 복토포설 공법

복토포설은 압밀수의 배수를 위한 배수층의 확보와 시공장비의 원활할 주행 및 시공을 위해 장비하중을 분산시켜 하부 연약지반에 전달시켜 연약지반의 파괴를 방지하기 위해 실시한다. 복토 포설은 기존에는 토목섬유를 포설하고 도져 등을 이용하여 전방으로 전진하면서 포설하였다. 이 방법은 그림 6에서 보는 바와 같이 복토두께의 불균등한 포설 및 배수층의 단절을 야기 시킬 수 있고 도져 전면의 토목섬유의 미 구속으로 인해 지반의 전단변형 및 측방유동이 발생한다. 또한 그림 7에서 보는바와 같이 복토 두께가 불균등하게 포설하고 지반을 평평하게 정지작업을 마친 경우 시간이 경과됨에 따라 복토 하중의 차이로 인해 복토두께가 두꺼운 구간에서 많은 침하가 발생하게 되어 지반의 파괴가 발생하게 된다.

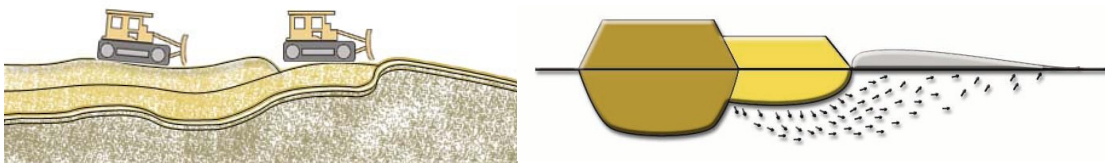


그림 6. 기존의 복토 포설방법 및 지반의 거동

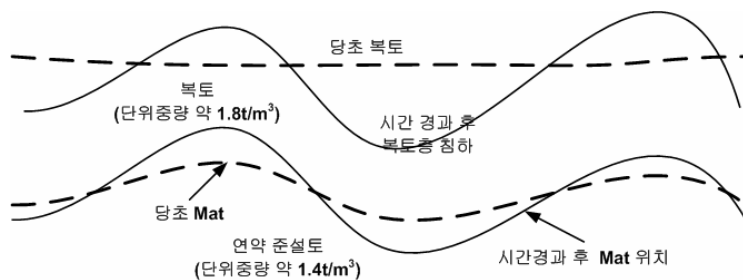


그림 7. 복토 두께의 불균등으로 인한 시간경과에 따른 침하 예



### 3.2.2 벨트컨베이어를 이용한 포설공법

기존의 복토 포설방법의 문제점을 개선하기 위한 공법의 하나로 전방에 복토재를 뿌려 토목섬유를 구속시켜 인장력을 발휘할 수 있도록 개선한 방법이다. 이 공법은 복토재를 전방 약 30m까지 분사하여 포설하여 전방을 구속하기 때문에 mat의 인장력 발휘를 극대화 할 수 있고 1~2회 주행만으로 포설이 가능하기 때문에 연약지반 교란을 최소화 시킨다. 또한 그림 8, 그림 9에서 보는 바와 같이 박층의 복토재의 포설로 주행과 병행하여 복토를 실시하고 일직선 전방포설로 중복포설을 방지할 수 있다.

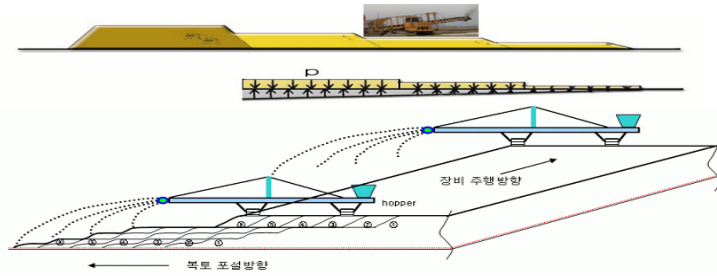


그림 8. 벨트 컨베이어를 이용한 포설공법 개요



그림 9. 벨트 컨베이어를 이용한 포설공법 예

### 3.3 연직배수재타입 공법

#### 3.3.1 탈수공법

탈수공법은 연약점토 지반에 연직으로 배수재(drain)을 타입하여 배수거리를 줄여 압밀기간을 단축시킨다. 일반적으로 연약층 내에 배수재를 1.0~2.0m간격으로 타입하고 재하성토로 하중을 가하여 층의 물을 수평배수층에 집수시켜 물을 배수시키는 공법이다. 탈수공법의 종류는 sand drain 공법, PBD(plastic board drain) 공법, Pack drain 공법 등이 있다.

#### 3.3.2 PBD 공법

PBD 공법은 연약지반 개량에 재료 구입이 쉽고 경제적이기 때문에 많이 사용되고 있지만 시공 시에 그림 11에 보인 바와 같이 여러 가지 문제점이 발생하고 있다. 이는 부직포 재질의 불량과 PBD 시공의 불량인 뿔 유입으로 인한 드레인의 절단, 공상 및 사선타입, 맨드렐 타입으로 교란영역의 발생 등이 있고 압밀수 배수 지연 등이 있다.

이러한 문제점 중 시공에 따른 문제점은 시공방법 및 장비의 개선을 실시하여 충분히 극복이 가능하다. 이를 위해 맨드렐의 관입력을 최소화하고 뿔의 유입을 방지하며 연직타입이 쉽도록 개선한 공법의

한 예로 V형 PBD 타입방법이 있다.

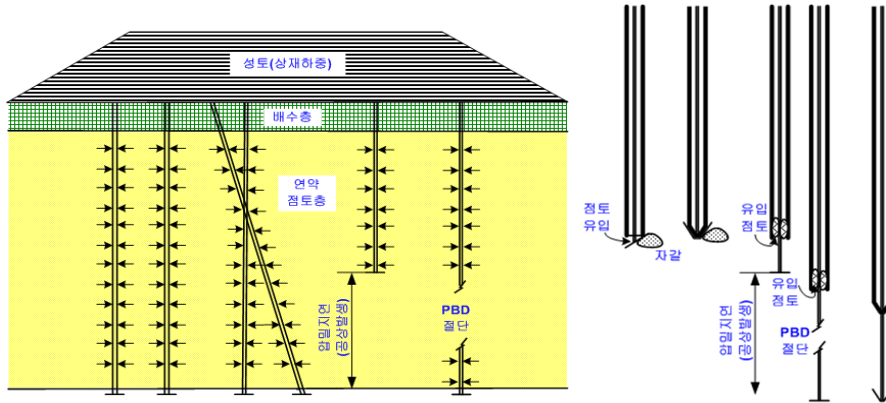


그림 11. 연약지반 PBD 시공 시에 발생 문제점

### 3.3.3 개선된 V형 PBD 공법

기존 PBD 시공 시에 발생하는 문제점을 최소화 하기 위해 멘들럴 하부와 양카 슈를 V형으로 변경하여 연직타입이 쉽고 관입에너지를 최소화 시켜 장비의 중량을 감소시키거나 기존 장비로 복수공 타입이 가능하도록 하고 포켓식 양카 슈로 점토의 유입을 방지하여 PBD 절단 및 공상을 방지하였다. 기존 PBD와 개선된 V형 PBD의 양카 슈의 비교를 그림 12에 나타내었고, 교란영역 비교는 그림 13에서 보는 바와 같이 약 30%이상 감소시키는 예를 볼 수 있고, 관입력 비교에서 약 50% 정도 감소시킬 수 있음을 보이고 있다.

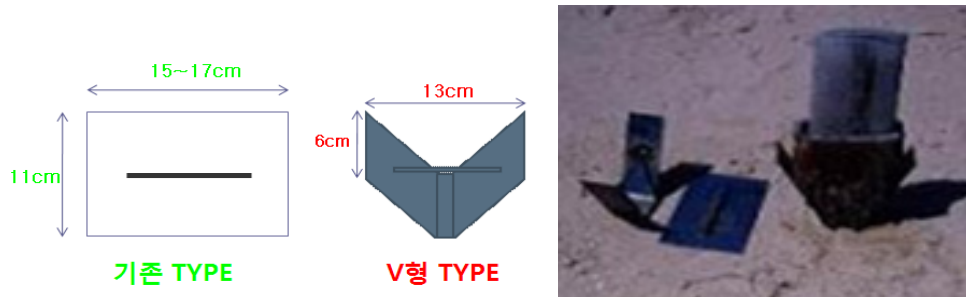
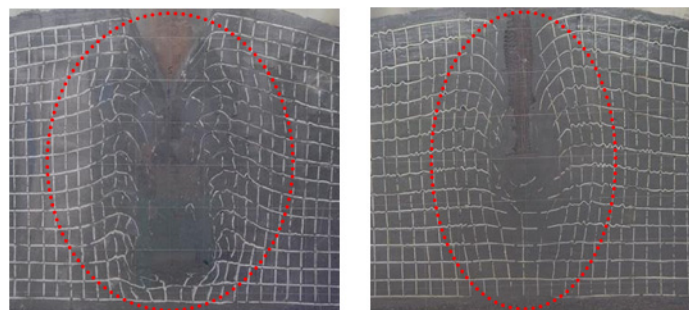


그림 12. 양카 슈의 비교



<기존 케이싱>

1

<V형 케이싱>

0.5~0.7

그림 13. 앵커 슈의 형태별 교란영역 비교

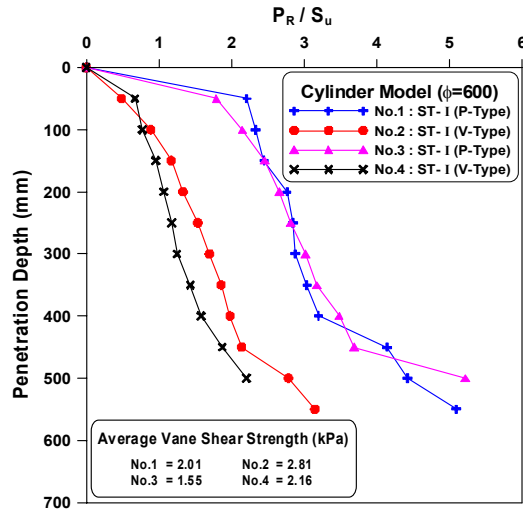


그림 14. 앵커 슈의 형태별 관입력 비교

### 3.4 압밀수 배수관리

연약지점토지반에서 탈수된 압밀수의 원활한 배수를 실시는 지반개량효과를 증대시키고 연약지반 상부의 빠른 탈수 효과로 지반강도의 증가를 기대할 수 있다. 이를 위해서는 배수층에 집수된 물을 신속하게 배출해야한다. 이를 위해서는 기존의 인력에 의해 관리했던 배수관리를 자동으로 측정 및 유량을 기록하여 관리하는 방법과 수중모터의 고장유무를 지속적으로 실시시간으로 관리할 수 있는 시스템의 도입이 필요하다.



집수정 광경



원격조정 시스템

그림 15. 연약지반 자동화 배수관리 시스템

### 4. 결론

이상에서 설명한 바와 같이 연약지반 개량 시공 시에 개량효과를 증대시키기 위해서는 토목섬유의 평탄한 포설로 mat의 인장력 발휘를 유도하고, 균질한 두께의 복토를 실시하여 지반의 변형 및 유동을 방지하고, 지반의 교란을 시키지 않도록 시공장비의 중량 및 진동을 최소화하고, PBD 타입 시에 관입단면을 감소시켜 개량지반의 압밀효과를 증대시키고, 신속하고 지속적인 배수관리를 통해 연약지반 개량을 실시하여야 한다.

## 참고문헌

1. 박병기, 이문수 (1994):“연약지반의 변형해석, 개량공법 및 시공관리에 관한 연구”, 한국과학재단, pp.87~136.
2. 박병기 (1997):“ 연약지반 처리공법의 문제점과 실제” 한국지반공학회 연약지반 세미나 초청강연.
3. 한국지반공학회(1997):“지반공학시리즈 6, 연약지반” ,구미서관
4. 松浦, 章(1982):“べーちカルトリーン工法の實題と問題點(4)”, 土質工學會誌, 「土と基礎」, vol.30, No.11, pp.85~88.
5. Hansbo, S. (1981) "Consolidation of fine-grained soils by prefabricated drains" X. ICSMFE, Vol 3, pp. 677~682
6. Indraratna B. and Redana I. W. (1998) "Laboratory Determination of Smear Zone Due to Vertical Drain Installation." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 2, pp. 180 ~ 184.
7. White, D. J., Bolton, M. D. (2004). "Displacement and strain paths during plane-strain model pile installation in sand" Geotechnique 54, No.6, pp. 375~397