

Fiber Mat공법 소개

최성욱*1, 박태영*2, 최진욱*3

1. 서론

연약지반 개량공법 적용시 장비주행성 확보 및 간극수 배출을 위한 샌드매트공법은 양질의 모래를 구하기가 곤란하고 가격상승 또는 모래채취에 의한 자원의 고갈화 등의 문제를 발생시키고 있으며, 특히 최근 환경문제로 모래채취가 어려운 실정이다.

이에반해 Fiber Mat는 야자섬유를 얽히게 하여 압축시켜 판 모양으로 만든 필터재로 그 바깥둘레를 황마섬유로 감싼 형태의 배수재이며 샌드 매트의 대체재로써 개발되었으며, 수직드레인을 타설하지 않고 샌드매트 역할로만 적용할 경우 Fiber Drain(황마섬유의 섬유물질과 야자열매의 외피로 만들어진 로프)과 조합시켜 시공한다.

또한 천연섬유로 구성되어 배수의 기능을 다한 후에는 땅 속에서 분해 되어 최종적으로는 흙으로 돌아가는 친환경적인 특성이 있다.

본 기사에서는 설계적용 사례를 통한 기존 샌드매트와 비교 분석하여 Fiber Mat의 적용성, 개량효과 및 경제성 등을 다루고자 하며 차후 유사한 특성을

지닌 지역의 연약지반 설계에 참고자료로 활용되기를 기대해 본다.

2. 공법 소개

2.1 재료의 개요

2.1.1 Fiber Mat

Fiber Mat는 야자열매의 외피 섬유를 압착시켜 매트형태로 형성한 충전재와 필터효과를 가지는 황마 섬유 물질을 감싼 구조이다.

Mat의 규격은 폭 35cm, 길이 1000cm, 두께 5cm이며, 연결용 황마필터의 길이는 30cm이며, 수직드레인과의 연결은 그림 1의 "Fiber Mat 설치입체도"와 같다.

또한 연약지반처리 면적이 클 경우 "집수정 설치입체도"와 같이 수직드레인과 집수정을 연결하여 간극수를 원활히 배출할 수 있도록 한다.

2.1.2 Fiber Drain

기본적으로 수직배수재(Vertical Drain)로 개발된 것이며, 이종의 황마섬유물질을 두 겹으로 접어

*1 (주)한국해외기술공사 차장(swchoi@kcieng.com)

*2 (주)한국해외기술공사 대리

*3 (주)한국해외기술공사 사원

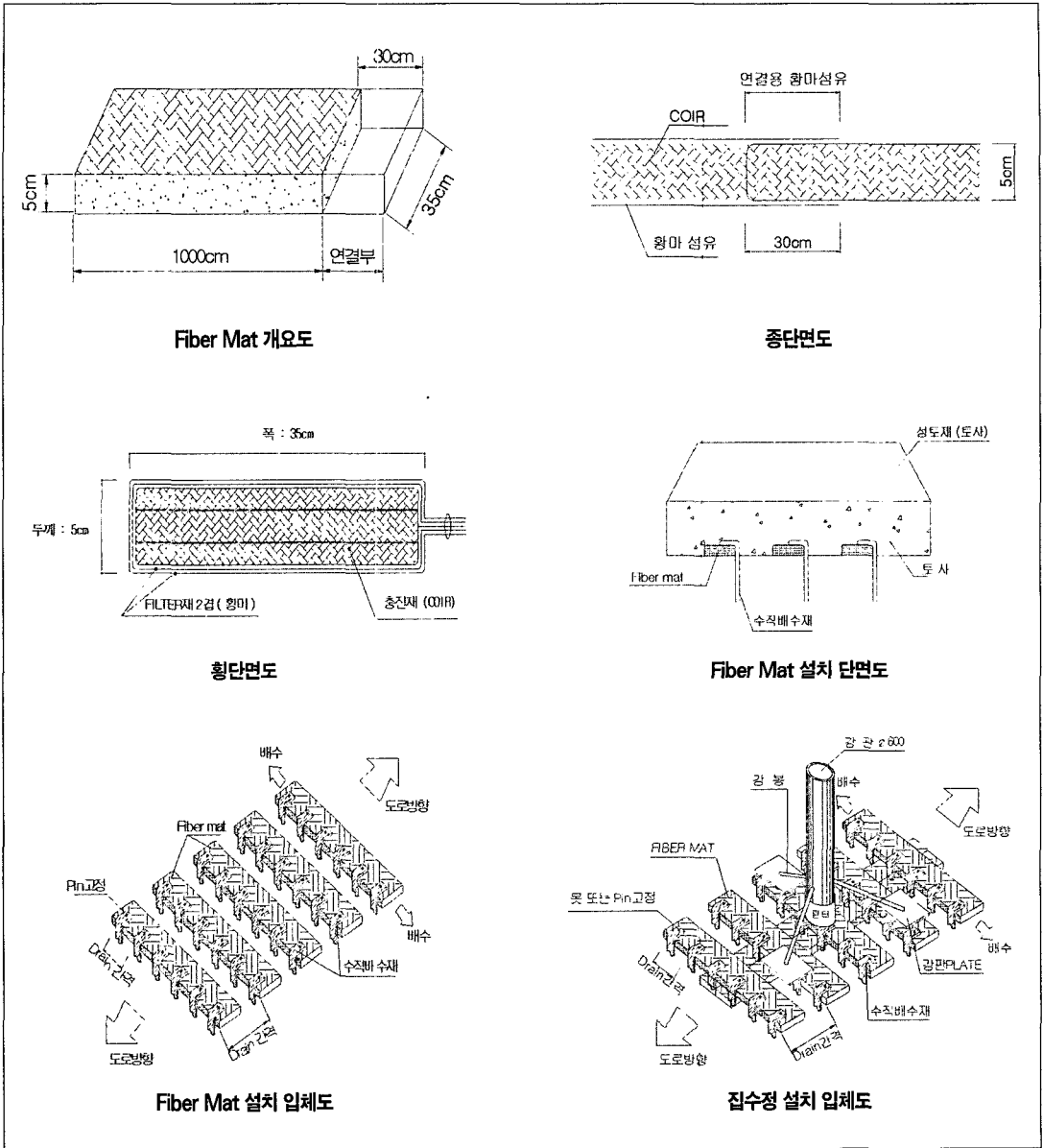


그림 1. Fiber Mat 개요도

평평하게 한 내부에 4개의 아자로프를 일정 간격으로 배분시켜 각 로프 사이를 재봉하여 연속적으로 세로로 꿰매어 구성된 것이다. Fiber Drain의 단면

은 그림 2와 같고 폭은 약 10cm, 두께는 약 0.9cm 이고 1 roll의 연장은 약 500m이다.

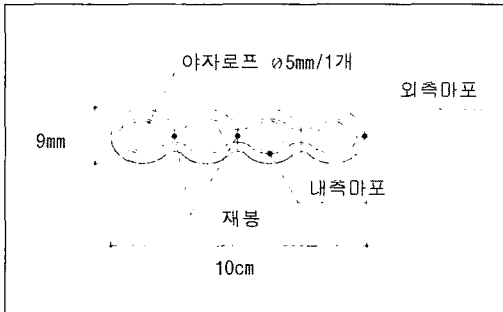


그림 2. Fiber Drain의 단면

2.2 재료의 특성 및 장점

- ① 샌드매트와 비교하여 공사가격이 저렴하다.
- ② Fiber Mat 는 수평배수재로서 투수능력, 필터 효과가 충분하다.
- ③ 배수재는 천연섬유로 만들어져 기능이 종료된 후에는 분해 되어 흙으로 돌아가는 환경친화적인 재료이다.
- ④ 수평배수재는 부설 후 성토재를 기계로 다질 경우에 있어서도 인장강도가 충분하고 유연성이 있어 절단되거나 접히는 경우가 적다.
- ⑤ 모래채취의 문제로 인한 대체 재료가 가능하다.
- ⑥ 투수계수가 모래의 투수계수보다 더 크다.
- ⑦ 취급이 쉽고 시공 관리가 간단하다.
- ⑧ 충분한 인장강도 발현
 - 건조시 : 73.2kN/m ~ 94.4kN/m
 - 습윤시 : 64.4kN/m ~ 86.4kN/m
 (건설교통부, 한국건설교통기술평가원, 2004.8 자연친화형 도로건설을 위한 친환경배수재활용, 연약지반개량 연구기술(1))

2.3 Fiber Mat 시험 결과

2.3.1 실내투수시험

Fiber Mat 실내투수시험(한국원사직물시험연구원)을 동수구배와 구속압을 변경하면서 실시한 결과는 그림 3과 같고, 통상 샌드매트의 기능을 발휘할 수 있는 투수계수인 약 $1.0 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 보다 약 500배 이상의 투수능력을 나타내고 있다.

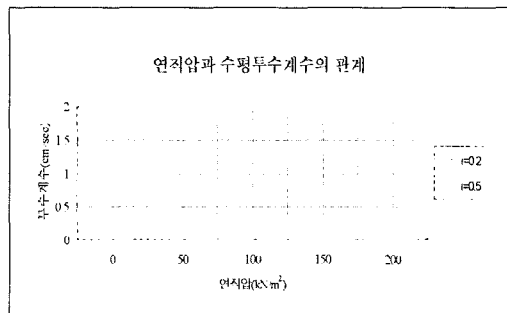
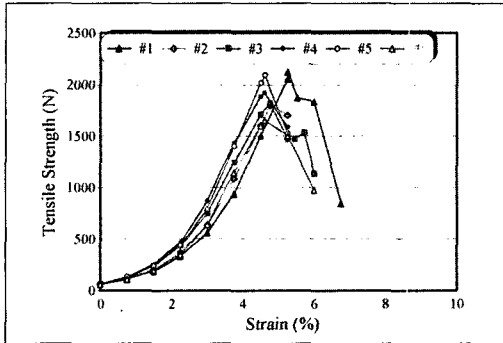


그림 3. 연직압과 수평투수계수와의 관계

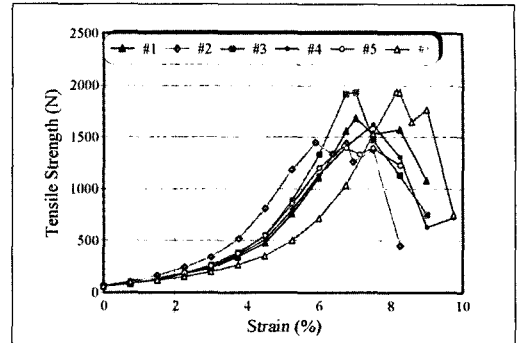
2.3.2 인장강도시험

① 수평배수재 필터의 인장강도

수평배수재 필터의 인장강도는 연직배수재 필터의 인장강도와의 비교를 위해 동일한 시험방법인 ASTM D5035를 이용해 시험을 수행하였으며, 추가로 KS KISO 10319를 이용한 광폭인장시험도 수행하였다. 그림 4에 나타난 것과 같이 ASTM D5035를 이용한 수평배수재 필터의 인장강도시험 결과, 자연건조시 인장강도는 1650~2120N/전폭(18.3~23.6kN/m)이며, 습윤시 인장강도는 1450~1940N/전폭(16.1~21.6kN/m)으로 평가되었다. 수평배수재에 사용하고 있는 필터가 연직배수재에 사용하고 있는 필터보다 좀 더 큰 인장강도를 갖으며 인장변형률도 큰 것으로 평가되었다(표 1 참조). 그림 5에서는 KS KISO 10319를 이용한

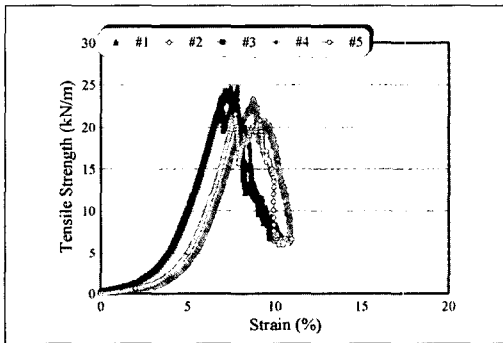


(a) 자연건조상태

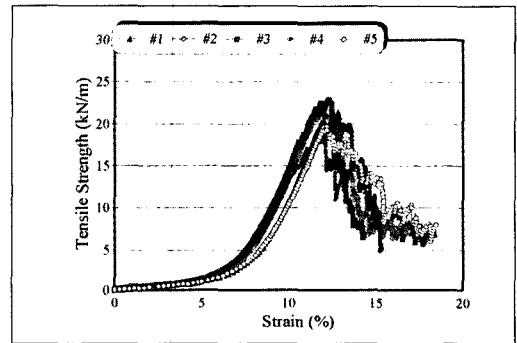


(b) 습윤상태

그림 4. 수평 천연섬유배수재 필터의 스트립 인장강도시험 결과 (ASTM D5035)



(a) 자연건조상태



(b) 습윤상태

그림 5. 수평 천연섬유배수재 필터의 광폭인장강도시험 결과 (KS KISO 10319)

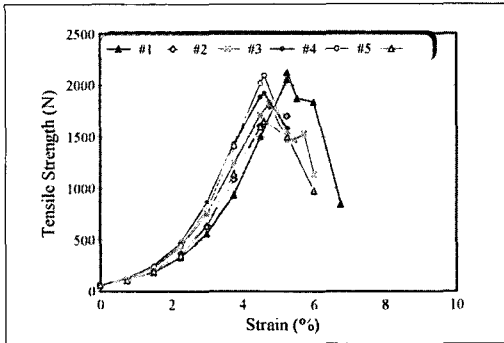
표 1. 연직/수평배수재 필터의 인장강도시험 결과

필터종류	시험방법	최대인장강도		최대인장강도 발현시 인장변형률	
		자연건조시	습윤시	자연건조시	습윤시
연직배수재 필터	ASTM D5035	1410~1650N/전폭	900~1380N/전폭	3.2~4.6%	5.4~6.7%
수평배수재 필터	ASTM D5035	1650~2120N/전폭 (18.3~23.6kN/m)	1450~1940N/전폭 (16.1~21.6kN/m)	4.6~5.3%	5.9~8.2%
	KSKISO10319	21.5~24.8kN/m	19.3~22.9kN/m	7.6~8.7%	11.8~12.8%

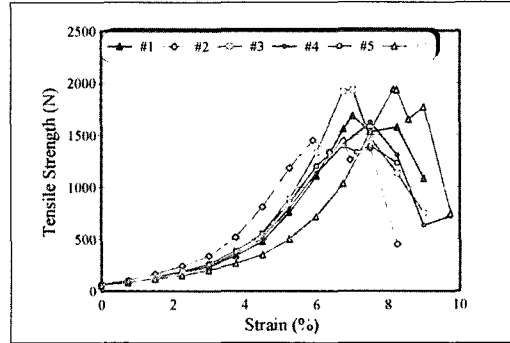
전폭길이 : 9.0cm

폭 20cm, 길이 20cm의 수평배수재 필터의 광폭인장시험을 수행한 결과를 보여주는데, 자연건조상태의 단위폭당 강도는 21.5~24.8kN/m이며 습윤상태는 19.3~22.9kN/m로 평가되었으며, 자연건조상태의 최대인장강도 발현시 인장변형률은 7.6~

8.7%이며, 습윤상태의 최대인장강도 발현시 인장변형률은 11.8~12.8%로 나타났다. 결론적으로 ASTM D5035와 KS KISO 10319로 시험한 연직배수재 및 수평배수재에 사용되는 황마 필터의 인장강도시험 결과, 황마필터는 매우 우수한 인장강도



(a) 자연건조상태



(b) 습윤상태

그림 6. 수평 천연섬유배수재 매트와 광폭인장강도시험 결과 (시료길이 20cm)

(건설교통부, 한국건설교통기술연구원, 2004.8, 자연친화형 도로건설을 위한 친환경배수재활용, 연약지반개량 연구기술(1))

표 2. Fiber Mat와 Sand Mat의 공법비교

공법구분	Fiber Mat	Sand Mat
개 요	· 연약지반 처리 시 수직 배수재를 통해 유입된 간극수를 밖으로 배출할 때 수평방향으로 원활히 배수하기 위한 공법	· 좌동
시 공 순 서	1. 연약지반상 수직배수 타설 또는 무처리 2. Fiber Mat 부설(인력) (PP Mat부설 필요 없음) 3. 재하성토	1. 연약지반상 수직배수 타설 또는 무처리 2. PP Mat 부설 3. 샌드매트 부설(장비) 4. 재하성토
장 점	· 샌드매트에 비해 공사비 저렴 · 천연소재의 사용 · 자재의 무한정 공급 · 시공이 간단함 · 환경친화적 재료임 · PP Mat시공이 필요 없음(황마가 Filter역할을 함) · 모래보다 투수계수가 약 500배 이상 큼	· 시공실적이 많음
단 점	· 국외시공실적은 있으나 국내시공 실적이 적음	· Fiber Mat에 비해 고가임 · 최근 모래수급의 문제로 인해 자재조달에 문제가 있음 · 모래수급이 어려우면 시공공정에 차질이 우려됨 · 시공이 Fiber Mat에 비해 복잡
공사비	수직드레인 간격 : 2.0m×2.0m 샌드매트 두께 : 50.0cm (부피 = 2.0m×2.0m×0.5m = 2.0m³)	
	① Fiber Mat 공사비	자재비 9,000원/m × 2.0m = 18,000원 인력부설비 470원/m × 2.0m = 940원 토사재료비 및 부설비 4,000원/m³ × 2.0m³ = 8,000원 계 26,940원
	② 샌드매트 공사비	자재비 15,000원/m³ × 2.0m³ = 30,000원 포설비 1,500원/m³ × 2.0m³ = 3,000원 P.P MAT 재료비 및 부설비 2,000원/m² × 4.0m² = 8,000원 계 41,000원

성능을 가진 것으로 평가되었다.

② 수평배수재 매트(코어)의 인장강도

수평배수재 매트를 대상으로 KS KISO 10319를 이용한 광폭인장시험(20cm×20cm)을 수행하였다. 자연건조상태의 수평배수재 매트의 최대인장강도는 그림 6의 (a)에 나타낸 것처럼 143.3~230.5 N/m이며, 최대 인장강도 발현시 인장변형률은 13.7~19.9%으로 평가되었다. 또한, 습윤상태의 수평배수재 매트의 최대인장강도는 57.1~119.9 N/m로 자연건조상태의 수평배수재 매트 최대인장강도의 0.25~0.84배 정도 값을 나타내었다. 자연건조상태의 야자껍질 매트의 경우에는 최대인장강도가 뚜렷이 나타나는 반면, 습윤상태의 경우에는 최대인장강도가 뚜렷이 나타나지 않고 변형이 진행됨에 따라 강도가 서서히 감소하는 연화현상이 관측되었는데, 이는 야자껍질로부터 추출한 매우 가는 실들을 영커 만든 매트가 물속에 들어가면 결합력이 저하되어 급격히 인장강도가 감소하기 때문으로 판단된다. 그렇지만, 수평 천연섬유 배수재의 경우에도 연직 천연섬유 배수재와 마찬가지로 대부분의 인장강도는 필터가 감당하므로 수평배수재 매트의 작은 인장강도는 전체 수평배수재의 인장강도에 미치는 영향이 크지 않을 것으로 판단된다.

2.4 Fiber Mat와 Sand Mat의 비교

2.4.1 공법 비교

공법비교는 표 2와 같다.

2.4.2 계산예를 통한 환산 투수계수 산출

샌드매트용 모래의 투수계수를 Fiber Mat로 사용할 경우 그 효과를 산정하면 다음과 같다. 즉, 모래의 투수능을 이보다 두께가 얇은 Fiber Mat로 대

체했을때 모래의 투수능과 비교하기 위하여 Fiber Mat의 투수계수값이 그기능이 동일하다고 하여 환산 샌드매트의 투수계수를 산정한다.

$$L \times H \times I \times k_s = A_m \times P_m \times I \times k_m$$

도로폭 50m 간에서의 부설개수(총본수 50m/1.50m ≃ 33개) , Drain 간격 : 1.50m

여기서 L : 샌드매트의 부설연장(l=50m)

H : 샌드매트의 두께(30cm, 50cm, 70cm, 100cm)

i : 동수구배(모래: 0.012, 0.02, 0.028, 0.04 Fiber Mat : 0.002)

k_s : 샌드매트의 투수계수(0.001cm/s)

A_m : Fiber Mat의 단면적(175.0cm²)

k_m : Fiber Mat의 투수계수(cm/s)

P_m : Fiber Mat의 개수(33개)

표 3. 환산 투수 계수

구 분(H)	30cm	50cm	70cm	100cm
투수계수 k _m (cm/sec)	4.14×10 ⁻²	2.48×10 ⁻²	1.78×10 ⁻²	1.24×10 ⁻²

이상의 검토에 의하여 Fiber Mat를 단독으로 부설할 경우 상기 투수계수를 확보 하면 샌드매트와 동일한 투수능력을 발휘할 수 있다.

또한, 2.3.1절에서의 투수시험결과에 따르면 Fiber Mat를 모래대신 사용할 경우 투수계수 능력에 있어 모래보다 좋은 효과를 기대할 수 있다고 판단된다.

2.5 Fiber Mat의 적용성

Fiber Mat를 샌드매트대신 시공할 경우 수직드



표 4. 연약지반 개요

구 분	지 반개 요
평 면도	
지층개요	연약한 실트 섞인 점토로 구성되어 있으며 통일분류상 CL인 지층
압축지수 (C _α)	0.32
압밀계수 (cm ² /sec)	2.33 × 10 ⁻³
비배수 전단강도 (C _u)	2.6 t/m ²

레인은 일반적으로 보편화된 Plastic Board drain 또는 천연배수섬유재인 Fiber Drain 등의 자재와 각각 조합으로 사용이 가능하다.

또한 수직드레인과 Fiber Mat의 연결은 못(4in 이상)으로 고정(Fiber Mat 설치입체도 참조)을 하면 장비로 성토다짐시 수직드레인과 이탈을 방지 할 수 있으며, 단지와 같이 부지가 넓은 면적에서 연약 지반 처리를 할 경우 배수거리가 길어지면 동수경사가 확보되지 않으므로 샌드매트에서와 같이 일정간격으로 집수정을 설치하여 간극수배출을 계획하여야 한다.

3. 건설공사 적용 사례

3.1 00건설공사 설계 적용 사례

3.1.1 연약지반 개요

연약지반 개요는 표 4와 같다.

3.1.2 설계적용

그림 7과 같이 도로 횡방향으로는 Fiber Mat를 2.0m 간격으로 종방향으로는 Fiber Drain을 0.5m 간격으로 배치하여 연약지반의 장비주행성과 간극수 배출을 원활하게 계획하였다.

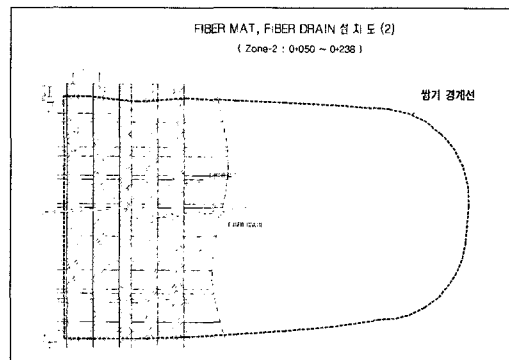


그림 7. Fiber Mat와 Fiber Drain의 배치 평면도

3.2 해외건설공사 적용 사례

- ① 일본 Kanagawa현 도로공사
일본 Kanagawa현 도로공사는 그림 8과 같다.

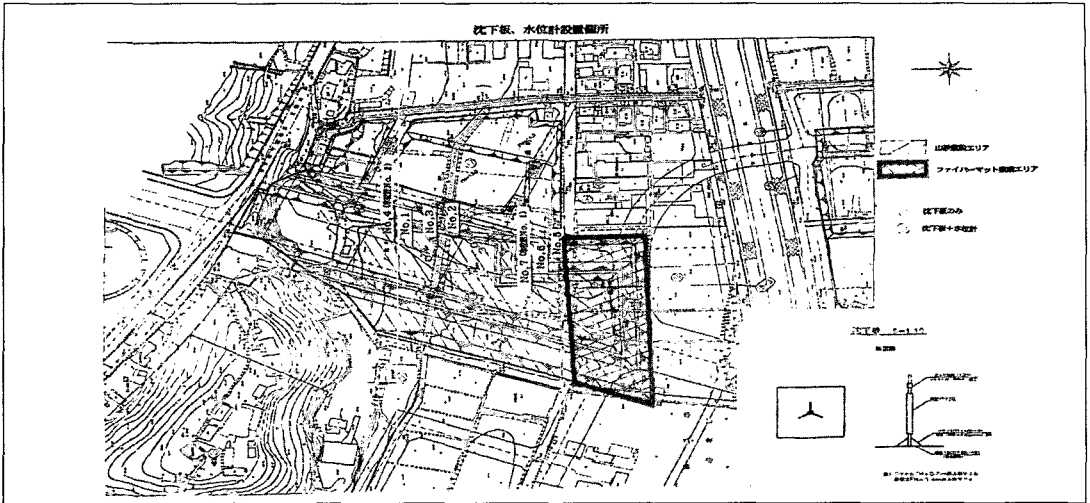


그림 8. Experience of Fiber Mat (Kanagawa in 1998)

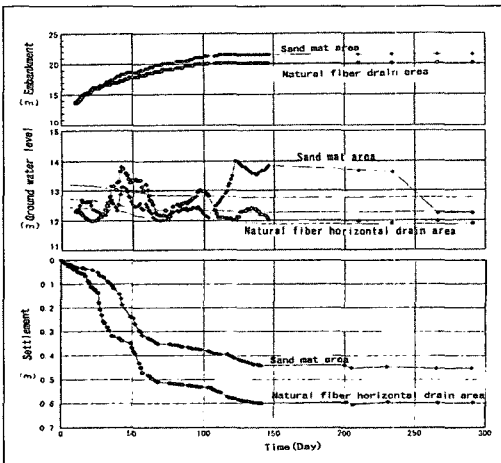


그림 9. Monitoring Result (Kanagawa in April 1998)

상기 계측결과에 의하면 시간에 따라 지반내 간극수 수위와 침하의 효과가 Fiber Mat 공법이 샌드매트 공법보다 뛰어난 것을 알수 있다.

이는 Fiber Mat 시공시 모래보다 통수단면은 작으나 충분한 투수계수와 황마의 우수한 필터역활에 기인한 것으로 판단된다.

② 인도네시아의 Sidoarjo East Ring Road 공사

4. 맺음말

본 기사에서는 Fiber Mat 공법의 적용사례를 통한 연약지반 개량 설계를 소개하였다. 현재 연약지반의 간극수 배출방법으로 샌드매트를 주로 사용하고 있으나 자원의 고갈, 환경문제로 인한 모래의 수급문제, 공사비의 증가 등 이유로 모래사용에 상당한 제약을 받고 있는 실정이다.

따라서 이에 대한 대안으로 환경 친화적 천연소재인 Fiber Mat를 모래 대체재로 연약지반 공사에 적용시 공사비, 환경적인 측면(모래 채취시 환경문제 발생되나 Fiber Mat는 무한정 생산되는 황마 및 코코넛 껍질이 재질로 환경과피와 무관함)에서 샌드매트와 비교해 우수한 점이 있는 것으로 검토되었다.

다만 본 공법은 해외시공은 있으나 국내 시공 실적 없음에 따라 향후 국내 시공후 개량효과, 시공시 문제점 등을 개선사항으로 보완 되어야 할 것이다. 그리고, 설계 내용만 소개 되었으나, 시공후 결과에 대해서도 추가 발표해 보다 적극적으로 대응할



수 있는 공법을 소개할 계획이다.

참고 문헌

1. 건설교통부, 한국건설교통기술평가원, 2004.8
자연친화형 도로건설을 위한 친환경배수재활용, 연
약지반개량 연구기술(1)
2. 김명모, 김병일, 이승원, 조성민, 2004, 지반개량공
법 설계
3. 한국지반공학회, 지반공학 시리즈6, 1997, 연약지반
4. Aboshi, H. et al 2001: Kinking deformation of
PVD under consolidation settlement of
surrounding clay.
5. Sudoh, Y, et al(1997), Fiber drain method
environmentally friendly vertical drain, Soil
and Foundations, vol.45, No.11, pp9-12.
6. Sudoh, Y, et al(1999), Development of drains
made of natural fibers in Japan and their
performance, Soil and Foundations.

광고 게재 모집 안내

월간 “地盤”에 게재할 광고를 다음과 같이 연중 수시로 모집하오니 지면을 통하여 회사를 홍보하고
자 하는 업체 및 회원은 신청하여 주시기 바랍니다.

- 다 음 -

(단위: 만원 / 회)

	표지 2, 4	표지 3	내 지
칼 라	60	50	45
흑 백	40	30	25

※ 1년 단위 계약 10% DC, 특별회원사 15% DC (1년 단위 계약 10% DC 추가)