

Fiber Mat 의 Sand Mat 대체가능성평가를 위한 실험적 연구 A Study on the experimental estimation of substitutability of Fiber Mat for Sand Mat

이 송¹⁾, Song Lee, 정용은²⁾, Yong-Eun Jeong

¹⁾ 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, University of Seoul

²⁾ 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering,
University of Seoul

SYNOPSIS : At present, there are several problems related with sand mat which is used as a way to accelerate consolidation settlement, act like an underground drainage layer and increase trafficability simultaneously. First of all, the unbalance of the demand and supply of sand is the one of the biggest problems, which makes not only price advance of sand but also delays a term of total construction work. Secondly, the damage of ecosystem and scenery is triggered by thoughtless sand dredging or mining. So, the need that the sand for sand mat should be replaced with a new environmental friendly material has been increased. Fiber mat may be one of the proper materials that suits the need. Therefore, we intended to compare the drainage properties of sand mat with those of fiber mat by experimental model tests. On the basis of the test results, fiber mat took shorter period of consolidation than sand mat and it's amount of settlement showed a little bit bigger than the other. In conclusion, the substitutability of fiber mat for sand mat could be placed highly in view of drainage efficiency. Furthermore, when Fiber mat is used, it has an advantage that spoil soil of the construction site or nearby site can be used for the purpose of increasing trafficability in addition to a role of drainage layer.

Key words : sand mat, fiber mat, drainage layer, trafficability

1. 서론

성토 시 특히 연약지반 상에 시공한 Sand Mat의 역할은 크게 세 가지로 지반의 상부 배수층으로서 압밀의 진행을 촉진하며, 성토아래의 지하 배수층으로서 성토내의 지하수면을 저하하고 성토의 강도 혹은 트래피커빌리티를 양호하게 만드는 점이라 할 수 있다. 이외에도 모관현상에 의한 동결융해로 발생할 수 있는 피해를 미연에 방지할 수 있는 역할을 하게 된다.

통상적으로 Sand Mat로 사용되는 모래는 지반개량대상면적의 전역에 걸쳐 50cm부터 100cm 정도의 두께로 고르게 깔리기 때문에 그 사용량은 방대한 양이다. 따라서 대규모 단지개발이나 지반 개량 시 모래채취원의 원근과 채취량이 Sand Mat 시공에 이어 전체공정에 있어서의 중요인자라 할 수 있다.

우리나라의 경우 최근 들어 수많은 건설현장에서 모래 및 골재의 수급에 비상이 걸렸다 해도 과언이 아니다.

심지어는 재생골재의 이용조차도 공급이 수요를 따라가지 못하는 경우도 빈번하게 발생함을 볼 수 있다. 어떠한 경우에는 수급이 가능하다 할지라도 업자들 간의 담합이나 원거리의 채취원 으로부터 현장으로 반입해야 하는 문제로 수년전에 비하여 공사비증대 및 공기지연으로 총 공사에 지대한 영향을 미치고 있는 실정이다. 뿐만 아니라 모래 및 골재의 무분별한 채취로 인하여 생태환경의 파괴 및 천연적인 자연경관의 손상도 큰 고민거리 중의 하나이다.

근래 환경적인 관심이 고조되는 가운데 건설분야에서도 별반 관심을 기울이지 않고 사용하던 환경에 악영향을 미치는 건설재료들을 환경친화적인 재료로 대체하고자 하는 움직임이 대세이다.

지반공학적인 측면에서 이러한 변화의 일례를 들자면, 천연배수재의 경우가 그것이라 할 수 있다. 연약지반 개량 시 연직배수재로서 일반적인 PDB나 모래 등을 사용하는 것이 현재까지는 일반적이나 PDB의 경우 타입 후 영구적으로 지중에 남아있게 되어 환경적인 문제뿐만 아니라 지하굴착이나 Shield 작업과 같은 사후 공정진행시 작업의 난점을 불러일으키는 문제점이 있으며 모래의 경우에는 전술한 문제점을 안고 있다. 따라서 압밀진행시 충분한 통수능력을 갖추며, 개량 후 시간경과에 따라 박테리아에 의한 분해로 토양화 됨으로써 지반오염방지와 동시에 지반개량 후 추진하게 될 작업의 난점을 미연에 방지할 수 있는 천연배수재로서 대체하고자 하는 것이다.

그러므로 본 연구는 위와 같이 여러 가지 문제점을 안고 있는 Sand Mat의 대체 재료로 이미 국내의 몇 군데 현장에서 채택하여 실제시공에 적용하고 있는 Fiber mat의 효용성을 평가하는데 주안점을 두었다. 실제 설계 및 시공시 천연섬유매트는 모래에 비하여 투수성이 수배이상 크기 때문에 기성제품인 Fiber mat와 Fiber drain을 조합하여 격자형으로 포설하고 이음부를 접합하는 방식으로 시공이 이루어지고 Sand Mat 에 비하여 시공성이 우수하고 시공이 빠르므로 공기를 대폭 감축할 수 있으며 주행성의 확보는 산토나 사토를 포설하는 방법으로 이루어지므로 모래수급으로 인한 문제점을 일거에 해결할 수 있다.

이러한 Fiber Mat와 Fiber Drain을 이용한 지반개량의 실제적용사례는 동남아지역과 일본의 경우에는 수건의 적용실적이 보고되고 있으나 아직까지 국내에서는 연구 및 현장적용에 있어서 초기단계라 할 수 있다. 특히 천연섬유매트에 대한 경우는 현장적용으로부터 얻은 자료뿐 만아니라 현장시험시공이나 실내시험을 통한 자료도 전무하다시피 한 실정이다.

따라서 본 연구는 Fiber Mat의 배수효과를 판정하기 위하여 실내모형토조시험을 통하여 Sand Mat의 배수효과와의 직접적인 비교를 실시하였다.

2. 실내시험

2.1 모형연약지반

Sand Mat와 Fiber Mat 의 배수효과를 직접적으로 비교하기 위해서 토조 내에 인위적인 연약지반을 형성하였고 이때에 사용된 흙의 물리적 성질과 형성된 모형지반의 건조밀도, 간극비등은 표 1과 같다.

표 1. 사용된 흙의 물리적 성질

구 분	w(%)	Gs	e	γ_d (t/m ³)	LL (%)	PI (%)	USCS
값	55.0	2.7	1.524	1.070	52.0	23.5	CH

연약지반을 형성한 후 표층부에서 시료를 채취하여 표준압밀시험을 실시하였고 시험결과는 그림 1과 같으며 얻어진 압축지수와 선행압밀하중은 각각 0.17 과 0.18kg/cm² 이었다.

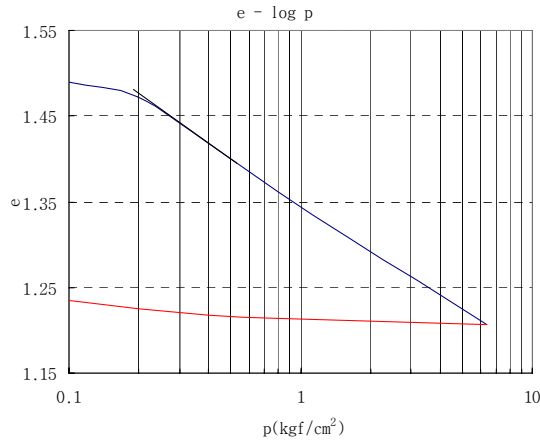


그림 1. 모형지반의 e-log P 곡선

2.2 Fiber Mat

본 연구에서 사용한 Fiber Mat 제품은 야자섬유를 복잡하게 엮은 선상의 것을 프레스해서 판상으로 다져 필터재로서 사용하고 그 주위에 황마섬유를 2중으로 감은 상태의 선상으로 한 장의 크기는 폭은 35cm, 길이는 1000cm, 두께는 5.0cm, 연결용 황마의 길이는 30.0cm이다. 그림 2는 Fiber Mat 의 개요도와 횡단면도이며 그림 3은 Fiber Mat의 단면을 절개하여 내부를 보인 것으로 그림에서 보이는 바와 같이 총 5겹으로 구성되어있다. Fiber Mat의 품질시험결과를 표 2에 나타내었다.

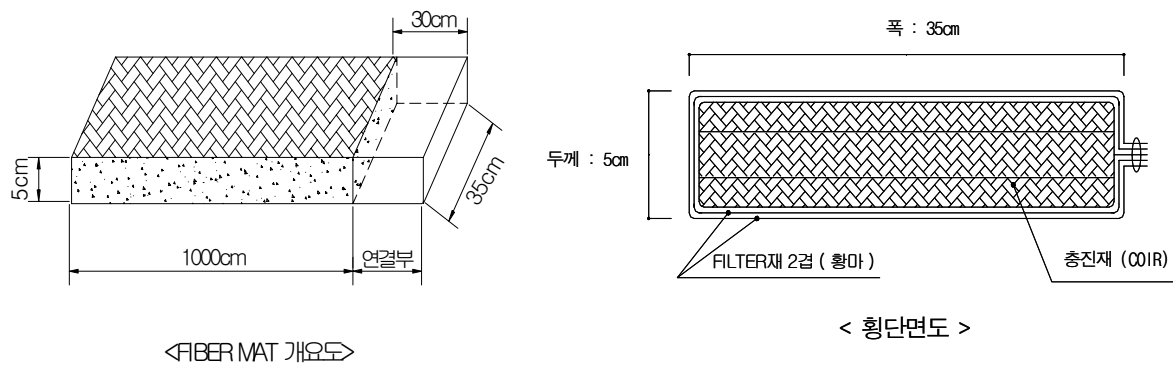


그림 2. Fiber Mat 의 개요도 및 횡단면도



그림 3. Fiber Mat 의 단면구성

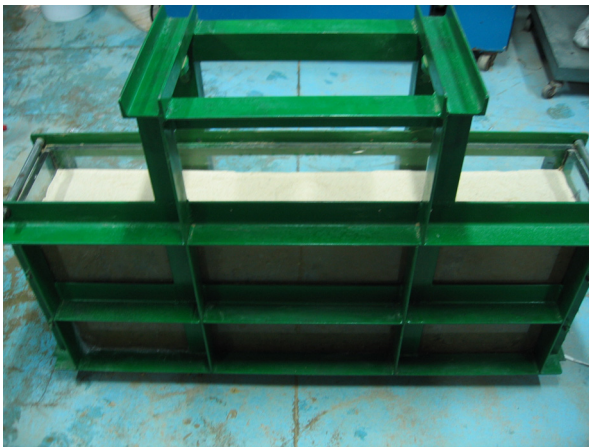
표 2. Fiber Mat의 품질시험결과

구 분	재 질	인장강도	인장신도	투수계수
허용범위	황마 + 야자수의피	1400N/폭 (143kg/폭)	9.0%	0.5 ~ 1.0 cm/sec

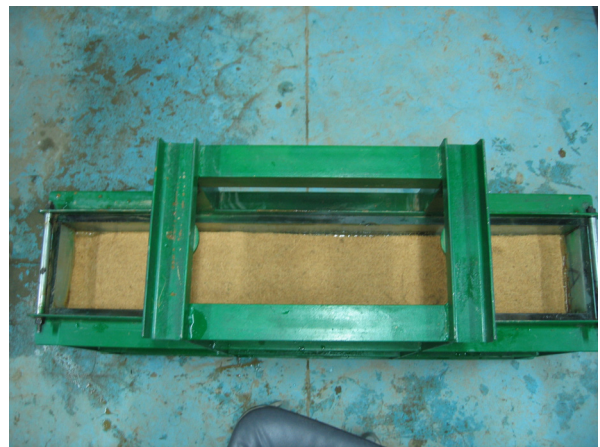
2.3 시험순서 및 방법

천연섬유매트의 배수 특성을 파악하기 위하여 강철프레임과 측면 아크릴판으로 특수 제작된 토조에 준비된 시료를 충분히 교반하여 토조내 투기하였고 층다짐으로 인위적인 지반을 형성한 후 시료의 포화목적으로 투기 후 일주일동안 토조 상부까지 물을 채운상태로 방치하였다. 일주일경과 후 모형지반상부의 물을 배제시키고 나서 형성된 지반상부에 주문진 표준사와 천연섬유매트를 각기 포설하여 상부배수만을 허용하면서 각 단계별재하시 시간에 따른 침하량을 실측하여 배수특성을 파악하였다.

사용한 토조의 치수는 20cm × 120cm × 60cm (B×L×H)이며 토조내 모형지반의 높이는 40cm였다. 그림 4는 토조에 모형지반을 형성한 후 Sand Mat 와 Fiber Mat를 각기 포설한 그림이다. 이때 Sand Mat는 일반적인 현장적용두께가 50cm 나 그 이상이므로 1/5의 두께인 10cm로 결정하였고 20cm 의 높이에서 자유낙하 시키는 방법으로 포설하고 나서 상부면을 고르게 정리하였다. Fiber Mat 는 총 5겹으로 구성되어 있으므로 한 겹이 Sand Mat 두께 10cm에 해당한다고 가정하고 모형지반 상부에 한 겹을 포설하였다.



(a) Sand Mat 포설



(b) Fiber Mat 포설

그림 4. Sand Mat 와 Fiber Mat의 포설모습

Mat의 상부에 다공질의 강성 재하판을 설치하여 재하함으로써 실제 현장의 단지성토에 해당하는 1차원 압밀을 발생하도록 하였으며 압밀배수된 물을 Mat를 통해 상부로 흐르도록 유도하였다.

각 단계별 재하중은 0.05, 0.1, 0.2, 0.4kg/cm²의 4단계로 구분하였고 유압잭을 이용하여 각 단계별 소정의 압력을 24시간씩 유지하였다. 그리고 각 하중단계에서의 침하량을 측정하기 위하여 게이지를 좌우양단과 중앙부 총 3군데에 설치하였고 표준압밀시험 수행 시와 동일한 시간간격으로 재하시의 시간에 따른 침하량을 측정하였다.

그림 5는 설치후의 재하 시 모습과 침하량측정용 게이지를 설치한 모습이다.

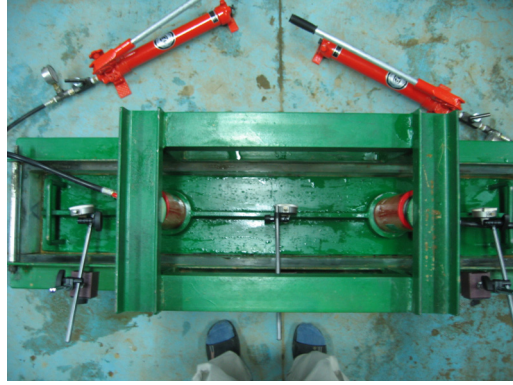
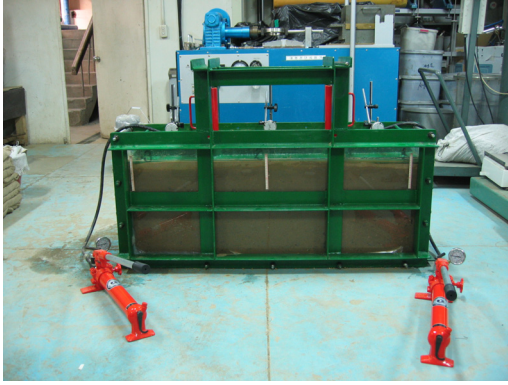


그림 5. 재하모습과 침하게이지 설치

3. 시험결과비교

모형지반에 실시한 Sand Mat 와 Fiber Mat 의 하중단계별 시간에 따른 침하량을 그림 6에 나타내었다.

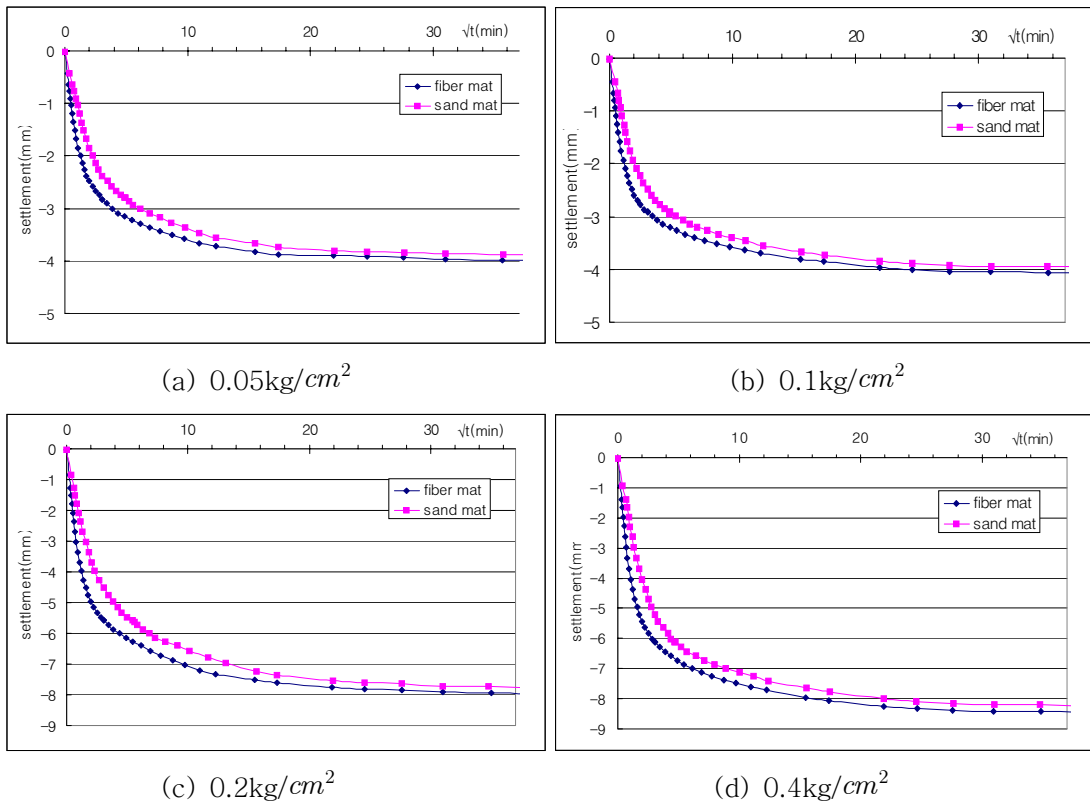


그림 6. 각 하중단계별 시간에 따른 침하량

그림에서와 같이 모든 하중단계에서 Fiber Mat가 Sand Mat에 비하여 다소나마 빨리 침하가 발생함을 알 수 있으며 최종적인 침하량은 거의 두 Mat가 모두 수렴하는 양상을 보인다. 이는 Fiber Mat의 투수성이 Sand Mat에 비하여 우수함에 따라 압밀배수가 원활하게 이루어짐으로써 나타나는 결과라 판단되며 두 실험의 모형지반을 거의 동일한 초기상태로 형성하였으므로 각 하중 단계에서의 최종침하량은 Fiber Mat 가 조금 크기는 하나 거의 유사함을 알 수 있다. 각 하중 단계별로 최종침하량을 비교하여 보면 표 3같다.

표 3. 각 하중단계별 최종침하량

구 분		재 하 하 중 (kg/cm^2)			
		0.05	0.1	0.2	0.4
최종침하량 (mm)	Sand Mat	3.88	3.94	7.73	8.19
	Fiber Mat	3.99	4.06	7.94	8.42

이때 재하하중이 0.05 와 $0.1kg/cm^2$ 에서보다 0.2 와 $0.4kg/cm^2$ 에서 거의 두 배에 가까운 침하량을 보였다. 이는 표준압밀시험결과에서 얻어진 선행압밀하중이 $0.18kg/cm^2$ 로서 모형지반의 선행압밀하중보다 큰 0.2 와 $0.4 kgf/cm^2$ 같은 재하중하에서 정규압밀거동을 보임으로서 발생한 현상이라 판단된다.

그러나 $10^{-3} \sim 10^{-4} cm/sec$ 에 달하는 Sand Mat의 투수계수에 비하여 Fiber Mat의 투수계수가 $0.5 \sim 1.0 cm/sec$ 로 수배이상 큰데도 불구하고 침하시간이 크게 단축되지 않은 점은 지반의 투수계수가 낮아 상부로의 배수에 시간이 소요되는 이유를 첫 번째로 들 수 있고 두 번째로는 Fiber Mat가 구속압하에서는 통수능이 감소하는 영향을 꼽을 수 있다.

4. 결론

여러 건설현장에서 발생되고 있는 모래의 수급불균형과 크게 나아가 환경적인 문제로 인하여 Sand Mat의 대용재료에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데 최근 부각되고 있는 Fiber Mat의 현장 적용성을 평가하기 위한 목적으로 실내에서 토조내에 모형지반을 설치하고 동일한 조건하에서 Sand Mat와 Fiber Mat를 설치하여 두 Mat간의 배수특성을 평가하는 실험적 연구를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 각 하중단계별($0.05, 0.1, 0.2, 0.4kg/cm^2$) 시간에 따른 압밀침하는 Fiber Mat가 Sand Mat에 비하여 최종 침하량이 다소 컸으며 압밀침하에 소요되는 시간 또한 동일 침하량일 때 더 빠른 것으로 나타났다.
- (2) 이와 같은 결과는 일반적으로 투수계수가 $10^{-3} \sim 10^{-4} cm/sec$ 에 달하는 Sand Mat의 투수계수에 비하여 Fiber Mat의 투수계수가 $0.5 \sim 1.0 cm/sec$ 로 수배이상 크기 때문에 나타나는 결과로 판단된다.
- (3) Fiber Mat의 현장적용성은 배수효율에 있어서는 문제될 바가 없을 것으로 판단되고 주행성확보는 산토나 사토를 이용할 수 있으므로 경제적이며 환경친화적인 Sand Mat 대용 재료라 할 수 있을 것이다.

다만 실제 현장적용시의 거동 평가를 위하여 계측을 병행하여 해석하는 추가적인 연구와 Fiber Drain과 접목하여 환경친화적인 수평과 수직 병행공법에 대한 연구도 계속되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이 송, 정상국, 전제성, 김원영,(1999), “연약점토 지반의 수평배수 압밀 특성에 관한 연구”, 대한토목학회 학술발표 논문집(II), pp.431~434
2. 한국건설기술연구원(2004), “자연친화형 도로건설을 위한 친환경 배수재 활용 연약지반개량기술 연구(I)”, '03 건설기술기반구축사업 1차년도 연구보고서, pp.47~98
3. 박병기,장용채,이장일(1995),“연약지반에서의 토질공학”,도서출판 새론, pp.204~230
4. Asaoka, A.(1984), "Observational Procedure of Settlement Prediction", Soil and Foundations, Vol. 18, No.4, pp.87~101