

천연마섬유배수재의 통수능력 향상에 관한 연구

A Study on the Improvement of Discharge Capacity of Natural Fiber Drain

김지용¹⁾, Ji-Yong Kim, 한상재²⁾, Sang-Jae Han, 강민수³⁾, Min-Soo Kang, 김수삼⁴⁾, Soo-Sam Kim

¹⁾ 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Eng. Chung-Ang Univ.

²⁾ 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Eng. Chung-Ang Univ.

³⁾ 일본 항만기술연구소 연구원, Researcher in Port and Harbour Institute, Yokosuka, Japan

⁴⁾ 중앙대학교 건설환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Eng. Chung-Ang Univ.

SYNOPSIS : Fiber drain(FD), which is made of organic fibers from jute and coir, has recently been used in several construction projects in the Southeast and East Asia region involving the soil improvement of reclamation fills overlying marine clay. FD is an environmentally friendly product that will naturally be biodegraded into soil after the completion of performance duration as a vertical drain. However, the conventional FD has limited and low-ranged discharge capacity compared to PVD. For this, in this study, the improvement of FD was attempted and new shaped FDs were evaluated by laboratory tests. A series of discharge capacity test was performed to investigate the functional applicability for several types of FDs.

Key words : Fiber drain(FD), discharge capacity, vertical drain, soil improvement

1. 서 론

천연마섬유배수재(natural fiber drain, FD)는 싱가포르에서 최초로 개발되었으며 동남아시아와 동아시아에서 연약지반을 개량하기 위한 연직배수재로써 사용된적이 있다. FD는 황마섬유(jute)의 직포(woven)제품인 필터와 야자열매(coir)껍질로 만들어진 코어로 구성되어있기 때문에 지반에 타입된 후 배수재의 역할이 끝난다음 소정의 시간이 경과하면 자연분해되어 흙과 동화되는 환경친화적인 장점이 있다. 이러한 FD의 환경친화적인 특성 때문에 PVD(Prefabricated Vertical Drain)와 같은 석유화학제품의 사용으로 인하여 발생하는 환경적 문제를 해결할 수 있을것이라 판단된다.

국내에서도 이러한 천연섬유배수재를 개발 활용함으로써 기존 배수재의 문제점에 적극적으로 대처하는 방안을 도모해야 할 것으로 판단되며, 이러한 FD의 국내지반에 대한 적용가능성을 검토해 보는 것이 지반기술의 발달 및 환경보전 차원에서 필요할 것으로 판단된다.

그러나, 기존에 사용되는 FD는 일반 PVD와 비교하여 재료의 구성에 따른 구조적인 요인에 의해 배수 성능의 기본조건인 연속적인 유로가 형성되어 있지 않고, 그에 따라 일반 PVD에 비하여 통수능력이나 투수계수가 현저히 작아 그 적용성에 의문점이 잔존하는 것은 사실이다. 다시말해서, FD는 인공적인 유로가 형성되어 있는 PVD제품과는 달리 천연섬유 내부의 미소간극을 통하여 집수된 물이 빠져나가는 특성을 가지고 있기 때문에 통수능력이 $0.01 \sim 1 \text{cm}^3/\text{sec}$ 정도로 PVD제품에 비해서 아주 작은 값을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 천연마섬유배수재의 환경친화적인 성질을 보유하면서 기존의 PVD를 대체할 수 있는 재료성능을 가진 새로운 천연마섬유배수재를 고안하고 국내 여건에 적합한 지반개량재로 개발하는 것을 목적으로 하고 있다.

이를 위하여, 우선 대표적인 단면형태의 FD를 선택하여 통수능력시험을 실시하고 유리한 단면을 선택하였으며, 코어의 형상을 여러 가지 형태로 변형시켜 FD의 통수능력을 향상시켰다.

2. FD의 통수능력시험

2.1 시험방법 및 조건

FD의 통수능력을 측정하기 위하여 그림 1과 같은 시험장치를 이용하였다. 시험기는 직경 20cm, 높이 65cm인 원통형 아크릴관내에 배수재의 양단을 시험기 상·하부 클립퍼에 고정시키고, 그 외부를 고무멤브레인으로 피복함으로써 중방향만의 흐름으로 제안하고 셀내부에 액압을 가하여 배수재가 지반내에서 측압을 받는 상태를 모식화하였다.

측압은 50, 100, 200, 300kPa을 사용하였으며, 이에 따른 통수능력을 측정하였다.

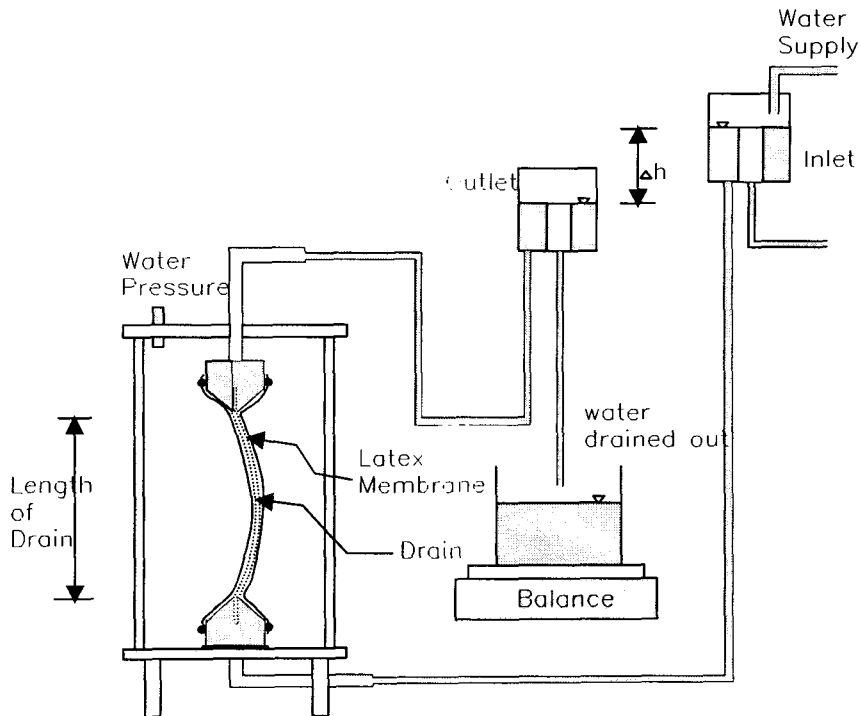


그림 1. 통수능력 시험기 모식도

2.2 단면형상에 따른 FD의 통수능력

적절한 FD의 단면을 선택하기 위하여 그림 2와 같이 원형, 8자형, 밴드형의 단면을 가진 몇가지의 FD 단면을 고안하였다. 이들 배수재는 편의상 코어의 수에 따라서 FD1계열, FD2계열, FD3계열로 분류하였다. 밴드형 단면의 FD3계열은 기존에 싱가포르에서 개발된 것으로 이미 현장에 적용된 바 있다.

이들 FD의 단면적은 약 8.15~8.5cm정도로써 서로 큰 차이는 없다. 통수능력에 유리한 단면을 선정하기 위하여 그림 2에 제시된 배수재들은 모두 같은 재료로 만들어 졌다.

그림 3은 각 단면별 배수재의 통수능력을 비교한 것이다. FD2는 원형단면인 FD1과 큰 차이가 있는 것은 아니지만, 다소 작은 수준을 보여주고 있으며, FD3의 경우 FD1에 비하여 매우 작아 약 1/2~1/4이하의 통수능력을 보여주고 있다. 따라서, 형태에 대해서는 원형 FD가 다른 형태의 FD에 비해 유리한 것으로 판단되었다.

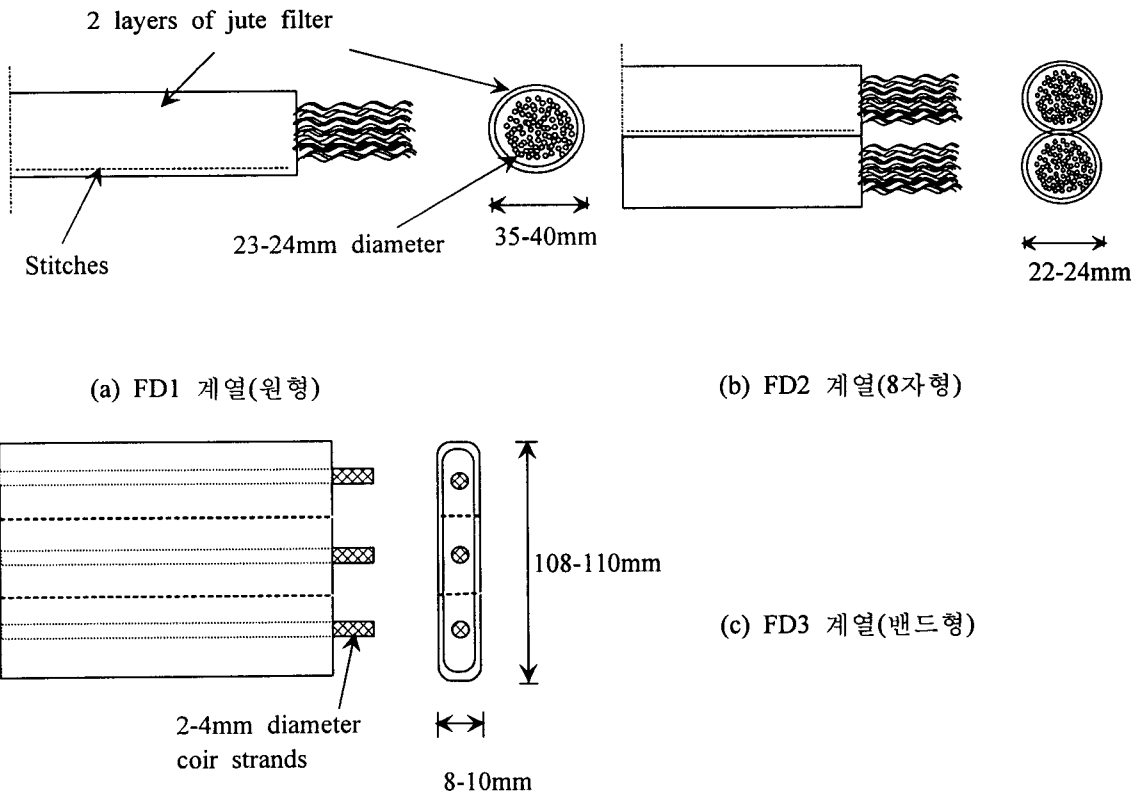


그림 2. 시험에 사용된 FD의 단면형상

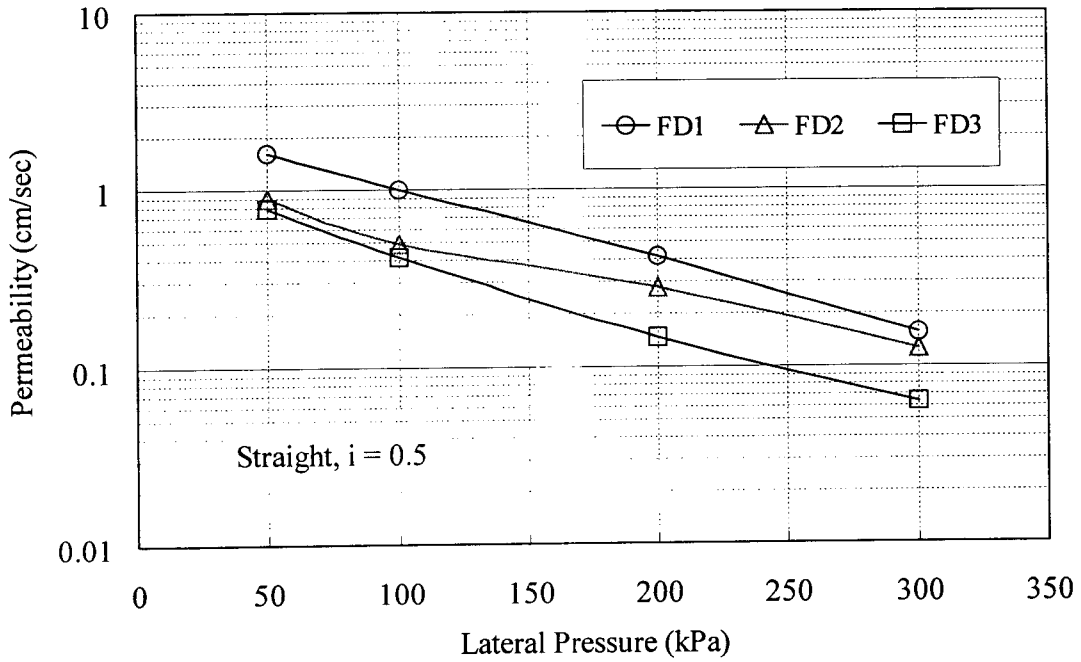


그림 3. 단면형상에 따른 FD의 통수능력 비교

3. 새로운 단면의 FD개발

3.1 개발된 FD의 단면형상

시험결과로부터 원형단면의 FD가 통수능력에 가장 유리한 단면이라고 말할 수 있지만, 그림 3에서 제시된 바와 같이 원형 FD의 통수능력은 아직 일반적으로 상품화 되어있는 PVD에 비하면 크게 낮은 수준이다. 앞서 언급한 바와 같이 FD는 단면 구성상 PVD와 같이 인위적으로 사전에 만들어진 유로가 없이 코어로 쓰여지는 야자껍질섬유 내부의 미소한 공극을 통하여 배수가 이루어지며, 특히, 이러한 코어에서는 유로가 연속적으로 형성되기가 어렵기 때문에 일반 PVD와 비교하면 단면통수량이 매우 작은 값을 나타낼 수밖에 없을 것으로 사료된다.

그러므로, FD의 통수능력을 향상시키기 위해서는 적절한 코어의 배치를 통하여 물이 연속적으로 흐를 수 있는 유로를 형성해 주어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 앞서 제시된 실험결과를 바탕으로 FD내부의 코어의 배치를 변화시켜 새로운 형태의 FD를 개발하였으며 이들 종류는 그림 5에 제시된 바와 같이 코어의 배치형태에 따라서 FD1-D, FD1-E, FD1-F으로 분류하였다.

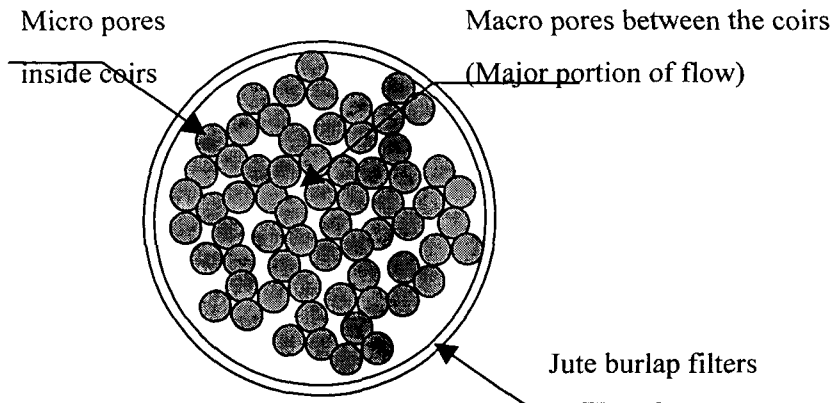


그림 4. 원형 FD 내부의 배수흐름 메카니즘

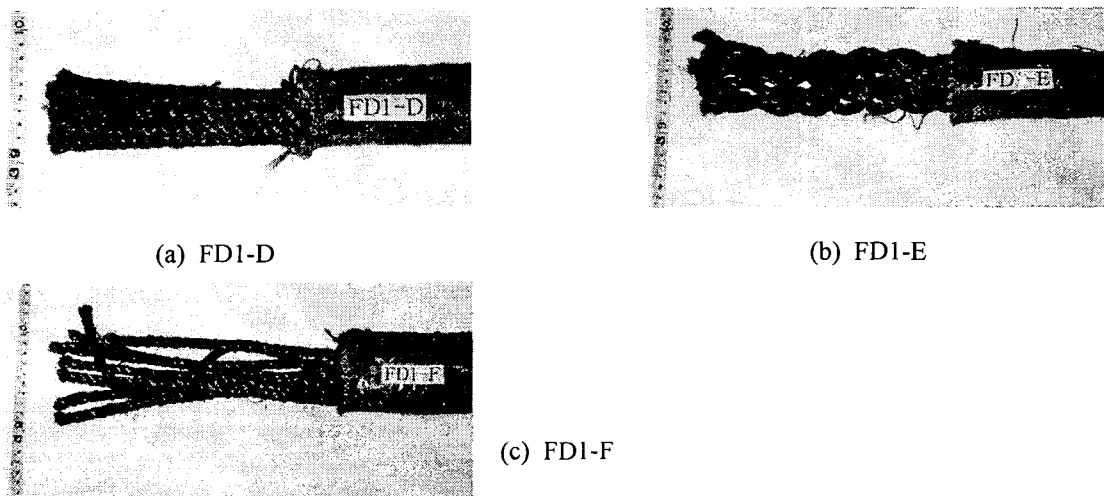


그림 5. 개선된 FD의 형상과 종류

FD1-D는 단단하게 꼬인 약 9~10mm의 가닥을 직선적으로 여러개 배치함으로써 이들 코어 사이사이에 공간이 이루어 지도록 제작한 것이다. FD1-E의 경우는 이러한 코어가닥 3개를 1차적으로 꼬은 상태에서 2차적으로 이들 코어 3개를 재차 꼬아놓은 것으로 울퉁불퉁하게 이루어진 코어의 틈사이로 공간이 크게 이루어 질 수 있도록 하였다. 이와 동일한 목적으로 FD1-F는 직선적으로 배치된 코어사이를 또다른 코어가닥으로 S자 모양으로 배치한 것이다.

3.2 개발된 FD의 통수능력 특성

그림 6은 새롭게 개발된 FD와 기존에 제품화 되어있는 PVD의 통수능력을 비교한 것이다. 그림에서 제시된 바와 같이, 새로운 형태의 FD는 개선되기 이전의 FD중 가장 통수능력이 컸던 원형의 FD와 비교할 때, FD1-D 및 FD1-F의 경우 약 3~13배 이상, FD1-E의 경우 약 7~25배 이상 크게 증가되어 PVD 제품과 거의 유사함을 알 수 있다. FD1-E의 경우 축압에 의한 영향이 가장 크게 받는 것으로 나타났지만, 축압이 작은 수준에서는 M3와, 축압이 높은 수준에서는 G와 비슷한 통수능력을 보여줌으로써 개선된 FD중 가장 큰 통수능력을 나타내었다.

FD1-E가 가장 우수한 통수능력을 보유한 배수재 인 것으로 나타났으나, 제작과정이 복잡하고 재료의 물량이 다른 형태의 FD에 비하여 많이 소요되기 때문에 제작비용이 많이 들것으로 판단된다. 이에 비하여 FD1-D는 통수능력은 FD1-E에 비하여 작으나 충분한 통수능력을 보유하고 있고, 축압의 영향도 크게 받지 않고, 또한 제작과정이 비교적 간단하여 경제적으로 유리할 것으로 판단된다.

따라서, 실제 현장적용시 가장 적절한 단면의 FD는 FD1-D를 기본형태로 하고, 필요에 따라서 FD1-D의 단면을 본 논문에서 제시한 단면보다 20~30%정도 증대시킴으로써 통수능력을 크게하는 것이 적절하다고 판단된다.

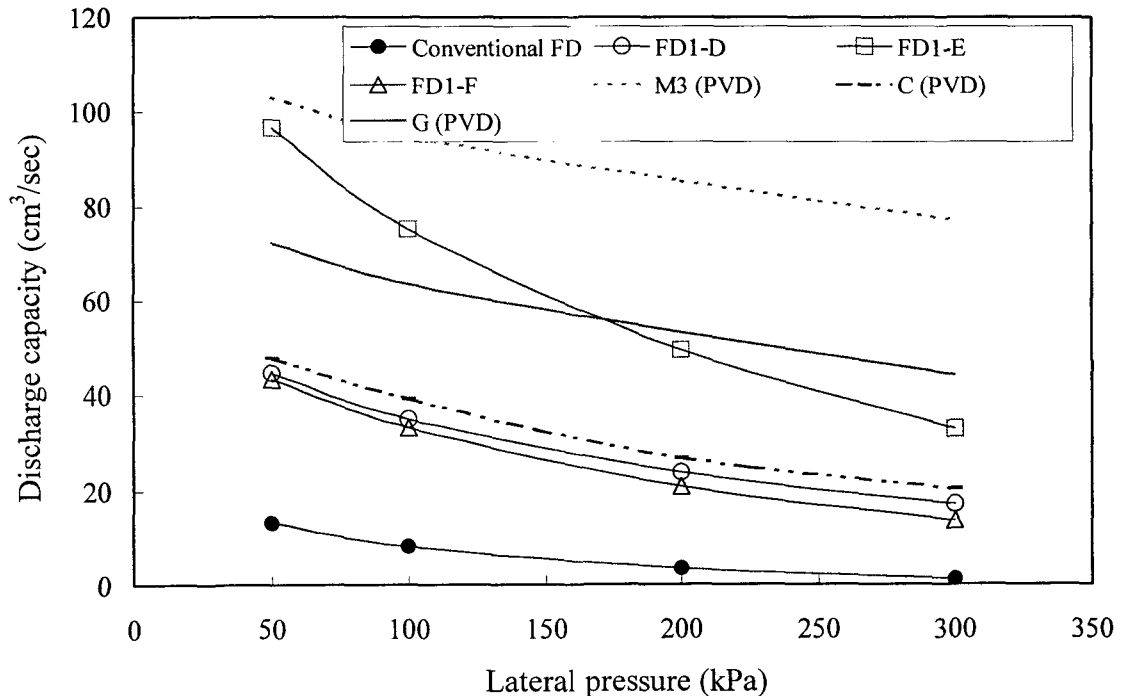


그림 6. 개발된 FD와 PVD의 통수능력 비교

그러나, FD1-D의 형태로 배수재를 제작함에 있어서도 기존의 판형 FD에 비하여 소요되는 재료의 물량이 증대되고, 형태가 다소 복잡하게 됨으로서 제작이 까다로와 제작비가 증대될 우려가 있으나, 이러한 문제점은 제작공정시 다른 요소의 비용절감 또는 시공시 장비의 개선을 통하여 제작단가를 낮추는 방안을 모색함으로써 해결해야 될 것으로 판단된다.

4. 결 론

1. 원형, 8자형, 밴드형 등의 단면형태를 가진 FD재를 제작하여 통수능력을 조사하여 형태상 원형의 FD가 유리한 것을 알 수 있었으며, 이에 따라 형태 및 구성재료의 종류를 달리한 개선된 형태의 FD를 고안하였다. 또한 개선형 FD의 통수능력은 기존의 FD가 매우 낮은 통수능력을 보여준 데 반하여, 일반 PVD와 거의 유사한 통수능력을 보유하고 있는 것으로 나타났다.
2. 개선된 FD중 경제성을 고려할 때 FD1-D이 적절한 단면이라고 판단되며 실제 현장적용시 필요에 따라서 본 논문에서 제시된 FD1-D의 단면보다 20~30%정도 증대시킴으로써 통수능력을 크게하는 것이 적절하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 삼성중공업(주) 기술연구소의 연구비지원으로 수행되었으며 삼성중공업(주)과 기술연구소 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 강민수(1998), "영향인자를 고려한 연직배수기술의 개발에 관한 연구", 중앙대학교 64회 박사학위논문
2. 김수삼, 이진태, 김지용, 강민수(1998), "Plastic Drain Board의 통수능력에 관한 실험적 연구(II)", 대한토목학회 가을학술발표회 논문집 2권, pp. 339-342
3. 삼성중공업(1998), "수직배수재의 적정단면 산출 및 개발에 관한 연구", 중앙대학교 생산공학연구소 연구용역보고서
4. Aboshi Research Institute Co. Ltd, Amano Co. Ltd, Penda Ocean Construction Co. Ltd.(1996) "Fiber-Drain Method", Technical Examination Research Report by Sen-Dan Construction Technology Center
5. Lee, S. L., Karunaratne, G. P., Das Gupta, N. C., Ramaswamy S. D. and Aziz, M. A.(1989), "Laboratory testing and field behavior of fiberdrain", Symposium on the Application of Geosynthetic and Geofibre in Southeast Asia, pp. 1.17~1.25
6. Lee, S. L., Karunaratne, G. P. and Aziz, M. A.(1995), "An environmentally friendly prefabricated vertical drain for soil improvement", Bengt B. Broms Symposium on Geotechnical Engineering Singapore, pp. 243~261