

論 文

# 해안상의 토목섬유 수평배수재의 적용

장 용 채\*

Application of Prefabricated Horizontal Drains to Marine Clayey Soils

Y.C. Chang

**Key Words** : 토목섬유 수평배수재(Prefabricated Horizontal Drain), 연약지반(Soft clay), 모래(Sand), 샌드매트(Sand mat), 압밀도(Degree of consolidation)

## Abstract

Sandmats are used to dissipate trapped water rapidly from the embankment built on marine soft ground. At present, however, it becomes difficult to obtain qualified sands since natural resources such as river sand are to be exhausted. Also, low permeability of sand may cause low degree of consolidation and instability of embankment.

In this study, design and construction methods was discussed. Drainage capacities of prefabricated horizontal drains which were installed in highway construction site are investigated in order to find possible substitution for river sands as drainage materials. On the basis of measurement data at the construction site, it was concluded that use of the prefabricated horizontal drains shows satisfactory drainage capacity without instability of embankment.

## 1. 서 론

3면이 바다인 우리나라에서의 국토개발은 연안으로의 확장이 계속해서 증대되고 있다. 이러한 국토개발에 대한 노력은 외국 어디에서도 생각지도 못한 폐유조선을 이용한 간척지 개발과 같은 다양한 해안 기술개발을 탄생시키고 있다. 일반적으로 해안상에 토공구조물을 조성하기 위해서는 하부 원지반을 개량하는데, 이때 모래를

이용한 연직배수공법이 주로 이용되며, 최근들어 약액을 주입시켜 하부지반을 고결시키거나 상부지반에 경량재(EPS(Expanded Polystyrene)블록 등..)를 이용해 하부지반의 하중증가를 최소화하는 방법등이 이용되기도 한다. 현재까지 해안상에 존재하는 연약지반의 처리공법은 하천의 천연모래를이용해 지반을 개량하는 샌드드레인공법, 샌드팩드레인공법이나 토목섬유를 이용한 플라스틱 드레인공법등의 연직배수공법이

\* 정회원, 한국도로공사 도로연구소 지반연구실장 수석연구원

주를 이루었다. 이러한 연직배수공법을 원활히 수행하기 위해서 원지반의 상부에 수평방향으로 포설하는 샌드매트의 기능은 연직드레인으로부터의 압밀수를 신속히 제체밖으로 배출시키고 장비의 주행성을 확보하는 것이다. 그러나 천연재료인 모래는 점점 고갈되어 가고 있으며 양질의 모래를 구하기 위해 원거리에서 수송해야하는등 공비증가의 원인이 되고 있으며 특히 세립분이 많은 모래 등을 사용하는 경우 투수성이 극단적으로 저하될 뿐만아니라 성토체의 악영향을 미치는 것은 물론 배수효과저하에 따른 압밀지연 등이 발생할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 샌드매트를 대체할 목적으로 토목섬유 수평배수재를 도입하고 현장적용성을 검토하기 위해 현장조사, 설계 및 시공계획을 수립하여 현재 건설중인 국내 고속도로에 시험 시공하고 계측분석을 실시하였다. 시험시공구간에 대한 추적조사를 통해 수평배수재의 배수능력과 안정성을 검토하였으며 이 결과를 토대로 수평배수재의 설계 및 시공방안을 제시하였다.

## 2. 토목섬유 수평배수공법

### 2.1 토목섬유 수평배수재(이하 수평배수재)

수평배수재는 연약지반상의 원활한 배수를 위하여 토목섬유제품인 코어(경질폴리염화비닐 또는 기타 유사재료)와 이를 조합한 필터(폴리에스터장섬유부직포 등)로 이루어진 배수재이다. 본체는 성토나 시공시의 하중에 완전히 견딜 수 있도록 내압력, 내충격력에 뛰어난 높은 배수능력을 갖는 특수형상의 유공형 일체성형 플라스틱 계통을 사용하고 있다. 구조물 배수를 위한 특수한 배수재에서는 필라멘트 형상의 얇은 코어를 사용하기도 하며 높이가 서로 다른 두중 이상의 코어를 사용하기도 한다. 또한, 필터는 습윤상태에서도 강도저하가 거의 없고 지중에서 내구성이 우수한 고강도 부직포를 사용하고 있으며 본체와 필터의 접

착은 열융합방식을 많이 사용하며 사용목적에 따라 느슨하게 결합해 놓은 경우도 있다.

그 단면치수는 두께가 5mm~25mm이며, 폭 30cm~100cm로서 코어의 형상과 크기 및 부직포와의 결합방식 등에 따라 다양하다. 수평배수재 주변의 지반수는 필터를 통하여 배수재 내부로 유입되고, 코어의 배수부를 통과하여 수평배수재의 단부로부터 집수관이나 성토외부로 배출된다. 수평배수재는 큰 상재하중을 받아도 통수단면의 감소가 미미하며, 또 배수재 내부는 토립자에 의한 눈막힘(Clogging)이 생기지 않기 때문에 지반수를 원활히 배수하게 된다. 이와같은 특성을 활용하여 공사현장에서 점차적으로 구하기가 어려워지고 있는 양질의 모래나 쇄석 등 천연골재인 모래를 이용한 매트의 대체용으로 사용할 수 있다. 외국의 경우, 이러한 형태의 제품은 주로 구조물의 배수공이나, 각 공중에서 평면배수재로 이용되어 왔으며, 이미 상당량의 사용실적을 보유하고 있는 형편이며 가까운 일본의 경우에는 제품에 대한 정밀한 시험 및 검증을 실시하고 연약지반 처리공에서 배수재로의 활용한 예가 있다.

### 2.2 수평배수재의 장점

수평배수재는 기존의 샌드매트공법이나 샌드필터공법에 비해 다음과 같은 장점이 있다.

- 1) 시 공 성 : 특별한 재료, 기술, 기능 및 기계를 필요없고 간단히 설치 및 시공할 수 있다.
- 2) 시공관리 : 취급과 시공이 용이하며 확실히 설치할 수 있다.
- 3) 품질관리 : 균질한 재료를 사용함으로써 품질을 보장할 수 있으며 별도의 품질관리가 필요없다.
- 4) 경 제 성 : 시공비 및 재료비의 절감을 기할 수 있다.
- 5) 공기단축 : 모래등의 반입이나 설치시간이 불필요하기 때문에 공기단축이 가능하다.

- 6) 재료반입 : 경량이기 때문에 반입시 도로주변지역에 진동, 소음 등의 영향이 없다.

2.3 수평배수재의 단점

수평배수재는 석유화학제품으로부터 생산된 섬유고분자 재료이기 때문에 다음과 같은 단점이 있다.

- 1) 열화성 : 장시간 자외선에 노출시 필터 및 코아부분의 강도가 저하될 수 있다.
- 2) 화학성 : 토목섬유 재질에 따라 폴리 에스터계통은 산, 알카리에 약할 수 있다.
- 3) 환경성 : 통상적으로 내구성, 화학성 등이 강하여 지중에서 쉽게 썩지 않는다.
- 4) 작업성 : 섬유의 현장 설치시 정착부나 연결부로 부터 미립분의 유입우려가 있다. 또한, 일차적으로 배수재위 성토시에 장비 및 전석등으로부터 배수재가 찢길 수 있다.
- 5) 자연성 : 석유화학 제품으로 화기에 유의하여야 하며, 보관 및 시공시 바람과 물로부터 보호해야한다.

2.4 수평배수재의 적용범위

Table. 1은 일반적인 수평배수재의 적용범위를 열거한 것이고 특별한 경우에는 해당구조물과 상호작용, 배수능력을 검토하고 중요한 구조물에서는 장기적인 안정성까지 고려하여야 한다.

3. 수평배수공법의 설계

3.1 설계개념과 등가배수능력

수평배수공법은 양질의 천연재료를 사용하는 경우의 배수층이 갖는 배수능력과 동등이상의 배수능력을 갖도록 수평배수재의 설치간격을 결정해야 한다. 수평배수공의 설계는 흙에서 배수재로 유입되는 유입량과 출구로 운반되는 유출량이 같다는 가정하에서 이루어지며 이들 흐름은 Darcy 법칙에 준하여 투수성과 동수경사에 지배를 받는다(Fig. 1 참조).

본 연구에서는 일반적인 연약지반구간에 대한 샌드매트용 모래와의 등가배수능력을 다음과 같

Table. 1 Application of prefabricated horizontal drains

목적	기능	적용예	비고
수평배수	원지반 토중수의 배수	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연약지반상의 성토</li> <li>○ 성토와 원지반과의 접촉부분</li> <li>○ 노상하부</li> <li>○ 점성토를 사용한 성토</li> </ul>	
	성토내의 간극수, 사면표면에서의 침투수(우수등)의 배수	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고탍수비재료를 사용한 성토</li> <li>○ 물의 침투에 의해 강도가 크게 저하하는 재료를 사용한 성토</li> </ul>	
	지표의 우수 등의 배수 원지반부터의 용수의 배수	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 성토법면부</li> <li>○ 골프장, 운동장 등</li> <li>○ 성토와 원지반과의 경계부</li> </ul>	
구조물 배수공	구조물 뒤채움 배수	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 옹벽 뒤채움 배수</li> <li>○ 교대 뒤채움 배수</li> </ul>	
	터널 배수	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 박스컬버트의 주위</li> <li>○ 터널 라이닝 내부 배수</li> </ul>	
기타	습윤화 방지	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 폐기물 Landfills 등</li> </ul>	

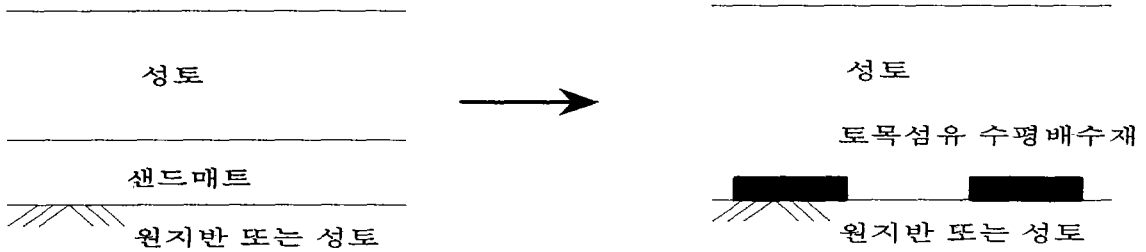


Fig. 1 Basic design concept for prefabricated horizontal drains

이 비교 검토하였다. 양질의 모래를 사용한 배수공과 동등이상의 수평방향 배수능력(배수재 내부에 유입한 후의 배수량)을 확보할 수 있는 토목섬유 수평배수재의 단면을 다음과 같이 계산할 수 있다. Fig. 2는 등가배수 능력비교를 위한 모식도이다.

모래에 의한 단위 폭당의 배수량( $q_s$ )은 다음 식(1)과 같이 산정할 수 있다.

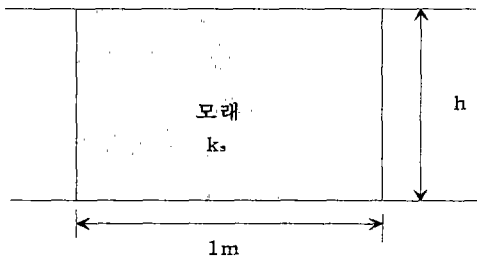


Fig. 2 Sectional area used for calculation of equivalent discharge capacity

$$q_s = (100 \times h) \times i \times k_s \dots\dots\dots (1)$$

여기서,  $i$  : 동수경사,  $k_s$  : 모래의 투수계수

수평배수재를 사용할 경우의 배수량( $q_d$ )은

$$q_d = (B \times t) \times i \times k_d \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $B$  : 배수재 폭,  
 $t$  : 배수재 두께,  
 $k_d$  : 배수재의 투수계수

윗식에 의해서 모래층 두께  $h$ , 투수계수  $k_s$ 를

설정하면 양질의 모래를 사용한 배수층의 단위폭당 배수능력과 같아지기 위한 1.0m당에 필요한 수평배수재의 폭은 다음 식(3)과 같다.

$$B = \frac{(100 \times h \times k_s / k_d)}{t} \dots\dots\dots (3)$$

### 3.2 수평배수재의 설치간격

수평배수재의 포설간격은 적용공종, 현장조건 및 유입수량 등을 고려하여 적절하게 결정해야 한다. 설치간격을 결정하는 방법은 다음과 같다. 수평배수재 및 샌드매트의 배수재의 배수량은 Darcy의 법칙에 따라 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = k \cdot i \cdot A \dots\dots\dots (4)$$

여기서,  $k$ 는 수평배수재의 투수계수,  $i$ 는 동수경사,  $A$ 는 수평배수재의 통수단면적이다. 위의 식으로부터 연장 10m, 두께 50cm의 샌드매트의 배수능력은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} Q_s &= k \cdot i \cdot A \\ &= k_s(\text{cm/s}) \times i \times 1000(\text{cm}) \times 50(\text{cm}) \dots\dots (5) \\ &= 50,000k_s i \text{ cm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

수평배수재의 1본당 배수능력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_p &= k_p(\text{cm/s}) \times i \times t(\text{cm}) \times b(\text{cm}) \dots\dots\dots (6) \\ &= k_p t b i \text{ cm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

각각의 배수능력에 의거하여 샌드매트 50cm의

Table. 2 Field conditions

구 간	위 치	연약지반 처 리 공	계획성토고(m)	연약층심도(m)	배수조건	배수재설치 간 격
○○고속도로 ○○공구	STA. 0+619~0+720	샌드드레인	4.97~5.56m	15.7~16.2	양면배수	1.1m

Table. 3 Geotechnical properties

시 공 구 간	전 단 특 성		압 밀 특 성		비 고
	구 분	설 계 값	구 분	설 계 값	
○○고속도로 ○○공구	습윤단위중량 $\gamma_t(t/m^3)$	1.70	초기간극비 $e_0$	1.2	
	수중단위중량 $\gamma_{sub}(t/m^3)$	0.70	압축지수 $C_c$	0.53	
	점착력 $C(kg/cm^2)$	0.08	압밀계수 $C_v(cm^2/sec)$	$4.0 \times 10^{-4}$	
	내부마찰각 $\phi(^{\circ})$	0.5	투수계수 $k_v(cm/sec)$	$4.0 \times 10^{-8}$	

배수능력과 동등한 수준의 배수능력을 확보하기 위한 수평배수재의 설치간격은, 성토연장 10m당 수평배수재 소요개수 = (샌드매트의 배수량)/(수평배수재 1본당 배수량)으로 계산할 수 있다.

$$\frac{Q_s}{Q_p} = \frac{k_s}{k_p} \frac{50,000}{(t \times b)} = N(EA) \dots\dots\dots (7)$$

### 4. 시험시공

본 연구에서는 국내에서 처음으로 토목섬유 수평배수재의 적용성을 검토하기 위하여 ○○ 고속도로 ○○ 구간을 선정하여 토목섬유 수평배수재를 시공하였다. 시험시공구간은 약 100m 구간으로 샌드드레인으로 처리하였으며 약 20m 간격으로 서로다른 2종의 수평배수재를 25cm 모래와 함께 시공하였고 표준구로서 샌드매트만을 시공한 구간을 두었다. Table. 2는 시험시공구간의 현장조건을 정리한 것이다.

#### 4.1 시험시공구간의 지반조건

본 구간은 연약층 심도가 약 16m로 구간에 따

라 차이가 있으나 대체로 상당히 두꺼운 연약층을 형성하고 있다. N치는 0~3정도이며 약 8m정도까지는 다소 과압밀된 지반이다. 시험시공구간의 지반물성치를 나타내면 다음 Table. 3과 같다.

수평배수재의 배수능력을 확인하기 위해 15본의 침하판과 3본의 경사계, 9본의 간극수압계를 매설하고 1회/7~10일의 주기로 계측을 실시하였다. 다음의 Fig. 3은 계측기 매설현황과 시험시공구간의 단면도 및 평면도를 나타낸 것이다.

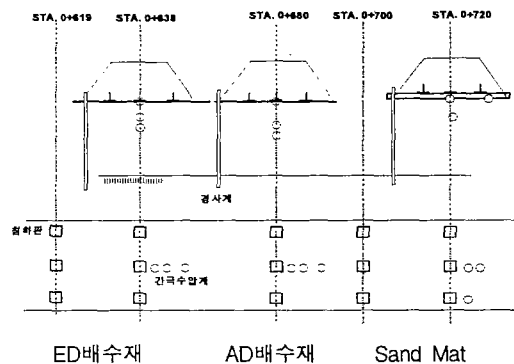


Fig. 3 Instrumentations

4.2 계측 및 분석

본 구간에 설치한 계측기로부터 측정된 결과에 의하면, 측방으로 과도한 변위가 발생하지 않았으며 따라서 성토체의 안정에 문제가 없는 것으로 보인다. Fig. 4와 Fig. 5는 본 구간에서 측정한 압밀침하량과 압밀도의 변화를 나타낸 것이다.

계측결과에 의하면 압밀침하량은 약 4m의 성토고가 완료된 현재, 약 20~26cm 정도로 나타나고

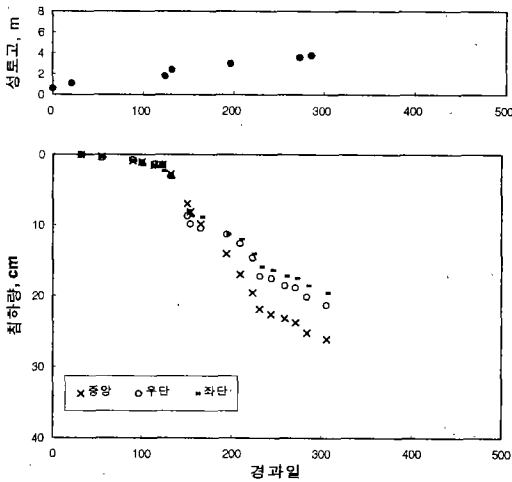


Fig. 4 Measured settlements at Sta. 0+680

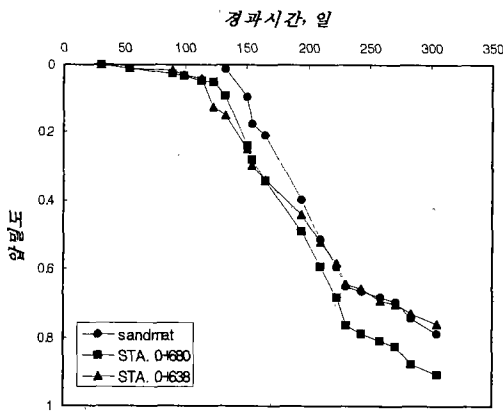


Fig. 5 Degree of consolidation based on measured data

Table. 4 Predicted settlements (long-term)

구간	Asaoka 법	현재침하량 cm	추정압밀도%	비고
STA. 0+619	23.4	19.5	83	배수재구간
STA. 0+638	31.4	22.9	73	배수재구간
STA. 0+680	28.7	25.2	88	배수재구간
STA. 0+700	24.4	23.9	97	배수재구간
STA. 0+720	33.3	24.8	74	샌드매트구간

있으며 구간별로 침하량의 차이는 있으나 토목섬유 수평배수재는 샌드매트와 동등 이상의 배수능력을 발휘하고 있는 것으로 판단된다. 현재까지의 ('97. 11) 침하자료로부터 장기침하량 분석을 실시한 결과는 다음의 Table. 4와 같다. 장기침하량 추정결과 샌드매트구간과 STA. 0+638 구간에서 침하가 진행중인 것을 알 수 있으며 나머지 구간에서는 거의 침하가 완료된 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 각 지점에서의 간극수압의 소산을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 각 지점에서 간극수압은 원활히 소산되고 있으며 60~80%의 간극수압이 소산된 것을 알 수 있다. 그러나 샌드매트 구간에서는 성토직후 발생한 침두 간극수압을 알 수 없으므로 계측에서 나타난 최대치를 이용하였으며 침두 간극수압은 이보다 큰 값일 것으로 사료된다.

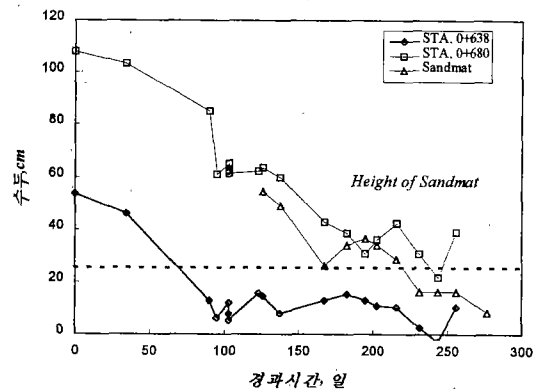


Fig. 6 Variation of pore water pressure

## 5. 결 론

## 참고문헌

- 1) 토목섬유 수평배수재는 품질관리가 용이하며 시공성 및 경제성이 우수한 인공재료로서 지반과의 역학적 거동이 검증되면 향후 연약지반상의 샌드매트를 대체할 수 있는 좋은 재료인 것으로 판단된다.
- 2) 토목섬유 수평배수재의 설계는 Darcy법칙에 의거 모래와 등가의 배수능력을 가지는 배수재의 폭을 결정하는 것으로 하며, 시험시공을 통해 이러한 설계법이 실용상 무리가 없는 것으로 밝혀졌다.
- 3) 시험시공결과에 의하면, 수평배수재를 적용한 현장은 성토체가 안정을 이루어 정상적인 압밀 침하 양상을 보이며, 간극수압도 원활히 소산되고 있다. 특히 배수재 부근에 매설한 간극수압은 초기 침투수두의 약 60~80%가 소산되어 수평배수재가 원활한 배수능력을 발휘하고 있음을 보여주고 있다.
- 4) 이상의 결과에 의해 토목섬유 수평배수재는 연약지반 처리공의 샌드매트 대체용으로서 동등 이상의 역할을 할 수 있을 것으로 판단되며, 구조물 뒷채움부나 성토체 압밀축진등 다양한 용도로 활용이 가능할 것으로 판단된다.
- 1) 장용채외 1인(1996), "연약지반상의 토질역학", 세론
- 2) 서해안고속도로(서천-군산)간 북군산분기점건설공사 지반조사보고서(1994), 한국도로공사
- 3) 이상호외 1인(1996), "Geotextile의 평면투수 성능 분석", 한국지반공학회지, 8권 3호, pp.61~73.
- 4) 장용채, 김홍종(1996), "연약지반 수평배수재 연구(I)", 도로연구소, 한국도로공사
- 5) 장용채, 정종홍(1997), "연약지반 수평배수재 연구(II)", 도로연구소, 한국도로공사
- 6) 재단법인토목연구센터, 1990, "수평배수재 퍼블릭드레인", 토목계재료기술·기술조사증명서
- 7) NHI(1989), "Geotextile Engineering Manual", Federal Highway Administration, U.S Department of Transportation
- 8) Yoshikuni H., H. Nakanodo, 1975, "Consolidation of Clay Cylinder with External Radial Drainage", Soils and Foundation, Vol. 15, No. 1, p17~25.