

## 준설패립지반의 안정처리를 위한 수평배수재의 공학적 특성 Engineering Characteristics of Horizontal Drainage for Stabilization of Dredged Fill

이상호<sup>1)</sup>, Sang-Ho Lee, 박정용<sup>2)</sup>, Jung-Yong Park, 장연수<sup>3)</sup>, Yeon-Soo Jang,  
박정순<sup>4)</sup>, Chung-Soon Park, 김수삼<sup>5)</sup>, Soo-Sam Kim

- 1) 동국대학교 토목공학과 석사, Master, Dept. of Civil Engineering, Dongguk University
- 2) 동국대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dongguk University
- 3) 동국대학교 토목환경공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Dongguk University
- 4) 동국대학교 토목환경공학과 BK계약교수, Research Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Dongguk University
- 5) 중앙대학교 건설환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Chung-Ang University

**SYNOPSIS** : In this study, the characteristics of horizontal drains used to stabilize the dredged fill are investigated experimentally by doing tensile strength test, discharge capacity test, and filter clogging test. The types of the drains selected for the study are filament type (Type-E), embossed type (Type-P) and heat bonded cubic type with the thickness 10mm (Type-O10) and 5mm (Type-O5).

The results of tensile strength and discharge capacity test show that the performance of drain Type-O10 was better than the other drains. This is caused by the fact that the lattice shape core of drain Type-O10 has strong rigidity and minimizes the loss of the sectional area of discharge with increased confining pressure. Analyzing the compatibility of filters by the results of the strength characteristics test and clogging test, the filter of filament type drain produced with polyester clothed polyamide performed well.

**Key words** : horizontal drain, dredged fill, tensile force-strain, discharge capacity, clogging

### 1. 서 론





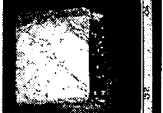



최근 해안매립공사시 주위 환경보전 및 공사비절감 등의 목적으로 해저준설공사를 수행하는 경우가 많은데, 고함수비인 초연약준설토 표층부의 지내력확보를 위한 대책공법으로서 수평배수공법이 적용되고 있다. 이 공법은 고함수비의 준설토를 매립지에 투입기간 중 또는 투입완료시점에서 토목섬유로 제작된 배수재를 수평으로 타설하고 배수재의 단부에서 진공압을 작용시키거나 중력배수에 의해 지반내의 간극수를 강제적으로 유출시켜 압밀을 촉진시키게 된다. 현재까지 토목섬유를 이용한 연약지반의 개량은 주로 연직배수재에 국한되어 왔으며, 수평배수재를 이용한 연약지반 처리시공 사례는 국내에서는 연구단계이다.

본 연구에서는 준설패립지반의 표층안정처리를 위해 수평배수 압밀공법에 사용되는 4종류의 수평배수재 (Type-E, Type-P, Type-O10, Type-O5)를 선정하여 강도특성 시험 및 통수능력 시험, 필터특성시험을 실시하여 수평배수재 성능에 유리한 코어 및 필터의 종류를 알아보았다.

## 2. 시험대상 수평배수재의 선정

본 연구에서는 현장에서 수평배수재로서 사용할 수 있는 제품 4종류를 선정하여 각 시험 특성에 따라 필터 및 필터+코어에 대한 실내시험을 수행하였다. 수평배수재는 일반적으로 필터와 코어로 구성된 형상으로 이루어져 있으며 제조방법에 따라 일체형과 분리형으로 구분된다. 일체형은 필터와 코어가 열융합으로 부착되어 있으며 분리형은 떨어져 있는 것을 말한다. 본 시험에서 사용한 배수재의 특성 및 단면형상은 표 1과 같다.

표 1. 선정된 수평배수재의 특성 및 단면형상

배수재명	Type-E	Type-P	Type-O10	Type-O5
두께(mm)	20	10	10	5
폭(mm)	1000	300	100	100
단위중량(g/m)	1020	250	200	170
재질	필터	폴리아미드로 피복한 폴리에스터	-	-
	코어	폴리아미드	경질폴리염화비닐	-
구조적분류	일체형	분리형	일체형	일체형
단면형상				
				

## 3. 수평배수재의 강도특성 시험

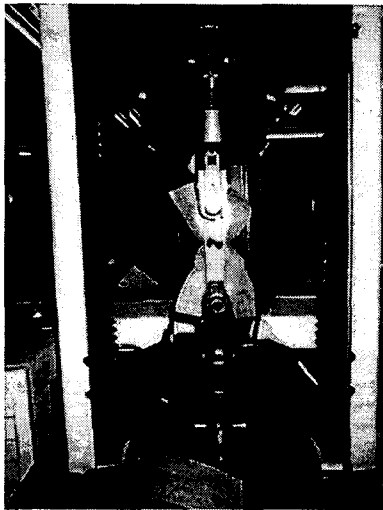
### 3.1 시험장치 및 조건

토목섬유의 물리적인 성능 중에서 인장강도는 가장 중요하고 기본적인 성능으로 분류되며 아울러 여러 가지의 역학적인 꿰뚫림강도, 파열강도, 인열강도 등의 특성치와 직접 또는 간접적으로 연관성이 있다. 본 논문에서는 정부지정 공인시험연구기관인 한국원사직물연구원(FITI GSI-KOREA)에 의뢰하여 얻은 시험결과를 토대로 수평배수재의 인장강신도 특성을 알아보았다.

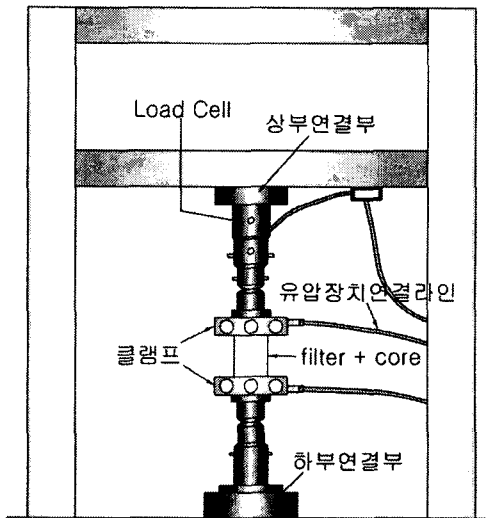
시험에 사용한 각각의 수평배수재는 필터와 배수재에 대해 건식과 습식의 조건아래 배수재의 길이방향, 폭방향에 대해 구분해서 시험을 실시하였다. 본 시험에 사용된 재료에 있어 비균질성으로 인한 국부적인 강도차이를 최소화하기 위하여 끝에서부터 일정한 간격을 두고 샘플링을 시행하여 보편적인 결과를 얻고자 하였으며 필터는 배수재를 감싸고 있는 그대로의 것을 해체하여 사용하였다. 또한 실제 준설 매립지반은 초기에 완전 포화상태이므로 이에 대한 영향을 고려한 습윤상태의 시험을 실시하기 위해 일정시간 필터와 배수재를 물속에 수침시켜 포화시킨 후 인장강신도 시험을 실시하였다. 시험에 사용한 인장강신도 시험조건 및 장치는 표 2 및 그림 1과 같다.

표 2. Strip법과 Grab법의 시험조건의 비교

시험방법	시험규격	시험편크기 (mm)	Clamp 간격 (mm)	Clamp 크기 (mm)	인장속도 (mm/min)
Strip법	ASTM D 4595	폭 200 길이 200	100±3	시험편폭 이상	100±3
	KS K 0520	폭 25(50) 길이 150	76		300±10
	JIS L 1096	폭 25(50) 길이 300 (200)	200		100(200)
Grab법	ASTM D 4632	폭 101.6 길이 203.2	75±1	25.4×50.8	300±10
	KS K 0520	폭 100 길이 150	76	고정조우 25.4×38 가동조우 25.4×25.4	300±10
	JIS L 1096	폭 100 길이 150	76.2	25.4×51	300±20



(a) Grab법



(b) 광폭 Strip법

그림 1. 인장강신도 시험장치

### 3.2 시험결과 및 분석

배수재전체에 대한 인장강신도 시험결과는 필터와 코어의 복합적인 작용에 의한 것으로서 그림 2에 나타내었다. 단위는 'kgf/전폭'으로 하였으며 각 배수재마다 변형을 10~60%의 범위에서 변형이 있는 후 파단에 이르는 다양한 분포양상을 나타내고 있다. 전반적으로 습식상태가 건식상태에 비해 상호간에 인장력은 비슷하나 변위는 커짐을 나타내고 있으며 Type-O의 경우 타제품에 비해 상당히 큰 강성을 나타내고 있다. 그림 3은 수평배수재 필터의 인장강도를 하중 적용방향(길이방향, 폭방향)에 따라 건식과 습식의 시험조건에 대해 나타내었다. 필터의 인장특성은 건조시와 습윤시에 차이를 나타내는데 전반적으로 습윤시의 강도가 건조시에 비해 작게 나타나는 경향을 보였다. 길이방향과 폭방향에서 샘플링한 시험편에 인장력을 가했을 경우 건·습식 모두 대체적으로 길이방향의 인장강도가 크게 나타났다. 일반적으로 필터의 인장강도와 신장율은 가능한 한 크게 나올수록 유리한데 Type-E 필터가 가장 좋은 성능을 보였다.

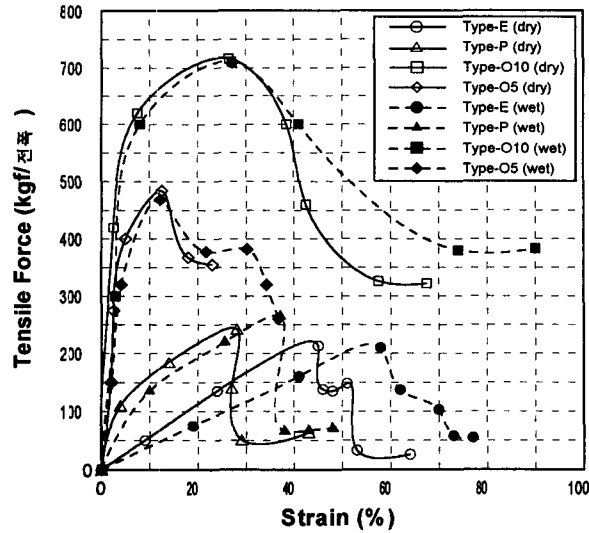
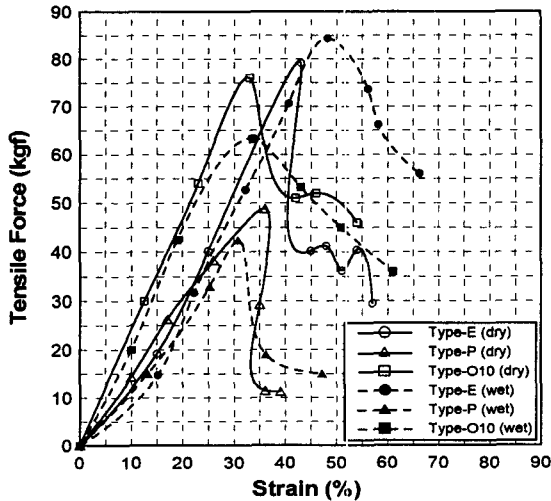
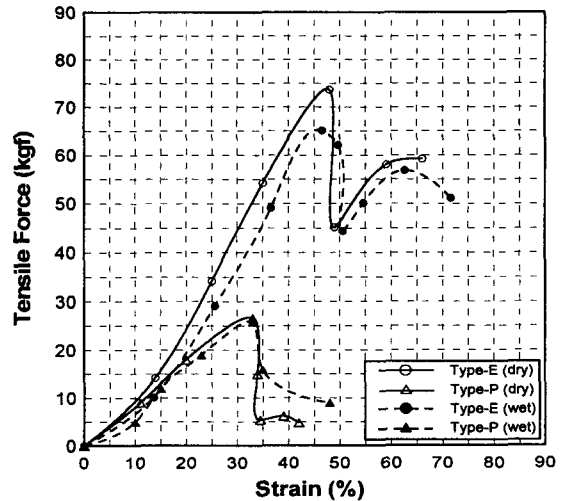


그림 2. 배수재의 인장력-변형률 곡선



(a) 길이방향



(b) 폭방향

그림 3. 필터의 인장력-변형률 곡선

## 4. 수평배수재의 통수능력 시험

### 4.1 시험장치 및 조건

수평배수재의 설계 및 시공시 재료의 품질과 배수성능에 관한 검증이 없이 시공이 이루어진다면 지반 개량효과를 기대하기 어렵게 될 수도 있다. 본 시험에서는 배수재 내부가 물로 포화된 상태에서 통수능 시험을 실시하여 그 값들을 비교해 보았다. 통수능시험에 사용한 시험장치 및 조건은 그림 4 및 표 3과 같다.

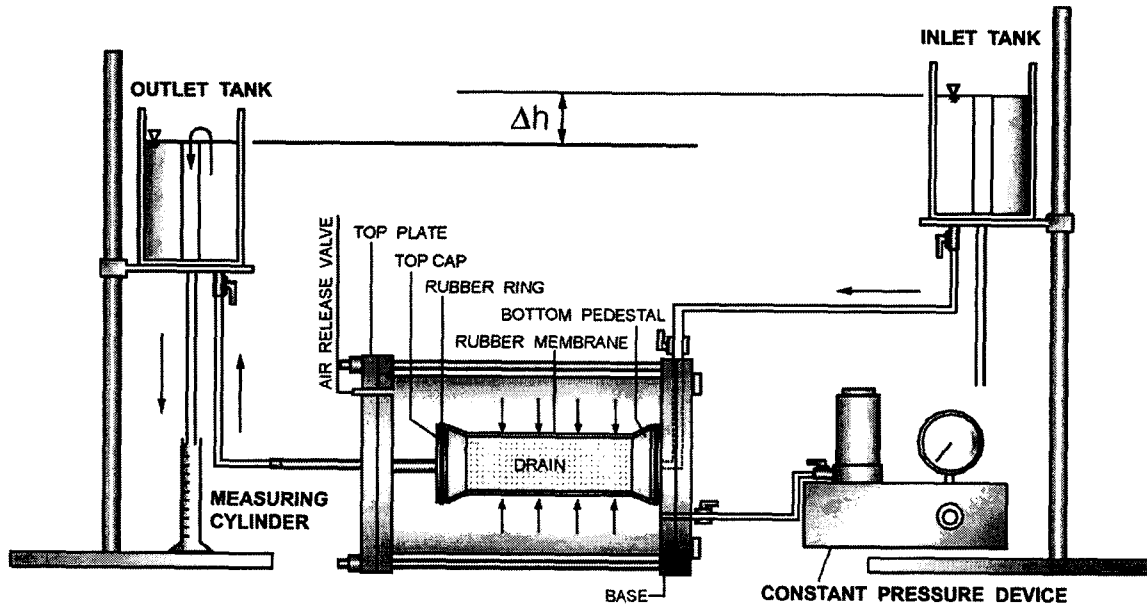


그림 4. 수평배수재의 포화 통수능력 시험기구

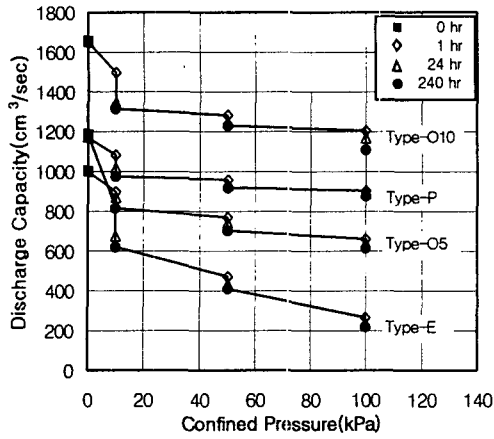
표 3. 포화 통수능력 시험의 항목 및 조건

구 속 조 건	시 험 항 목	시 험 조 건
배수재를 고무멤브레인으로 감싼 후 구속압을 가함	구 속 압	10, 50, 100 kPa
	동수경사	0.01, 0.05
	시험기간	단기, 장기
	배수재의 형태	직선상태

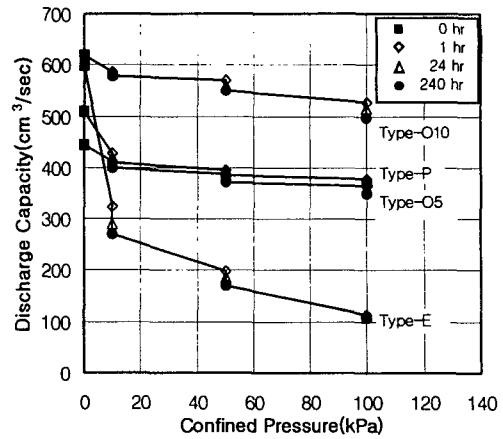
## 4.2 시험결과 및 분석

포화 통수능시험 결과를 분석해 볼 때(그림 5) 낮은 동수경사에서 시간경과에 따른 통수량 감소현상이 두드러졌으며 동수경사가 커질수록 시간에 대한 영향성이 적었다. 또한 시험대상이 된 배수재 모두 구속압이 증가함에 따라 필터가 코어속으로 말려들어가 통수능이 감소하는 경향을 보였다. 구속압 및 동수경사의 영향을 비교한 결과 큰 동수경사에서는 구속압이 증가해도 통수량 변화의 폭이 적은 반면 낮은 동수경사에서는 구속압이 커짐에 따라 통수량의 감소현상이 두드러졌다.

필터와 코어의 형상 및 부착여부에 따라서 구속압의 증가에 따른 통수능을 비교해 보면 필터와 코어가 일체형이면서 격자모양으로 이루어져 있는 Type-O10의 통수능이 가장 큰것으로 나타났다. 일체형으로 이루어져 있는 또 하나의 배수재인 Type-E는 포켓형의 Type-P보다 낮은 통수능을 나타내었고 대상 배수재중 구속압의 영향으로 인한 통수능의 저하가 가장 큰 것으로 나타났다. 배수재의 필터는 Type-E의 인장강도가 가장 컸음에도 불구하고 배수재의 구속압에 대한 통수능의 감소가 큰 이유는 코어의 형상이 필라멘트형이라 통수단면적의 감소현상이 크게 발생하는데서 기인하는 것으로 판단된다. 배수재에 대한 인장강도를 살펴보면 Type-E의 인장강도 값이 가장 낮은 것을 알 수 있는데 이는 필터의 강도가 높더라도 배수재의 통수단면적이 어느 정도 유지될 수 있도록 코어 강성이 확보되어야 함을 보여주고 있다.



(a) 동수경사  $i=0.01$



(b) 동수경사  $i=0.05$

그림 5. 구속압의 증가에 따른 통수능의 변화량(장기시험)

## 5. 필터의 막힘가능성을 분석하기 위한 동수경사비 시험

### 5.1 시험장치 및 조건

배수재의 시간에 따른 통수능력의 감소요인 중의 하나로 세립토에 의한 필터의 구멍막힘(clogging)현상을 들 수 있다. 배수재에서 코어를 감싸고 있는 필터재는 흙의 미세입자가 통과되지 않아야 하는 동시에 흙으로부터 유출되는 간극수의 유입이 원활해야 하는 상반된 두가지 기능이 수행되어야 한다. 이러한 기능을 검증하기 위하여 필터를 현장에 적용하는 데에는 막힘시험을 통하여 대상지반의 흙의 종류와 흙입자 크기, 함수비에 따라 그에 알맞은 필터재를 선택해야 한다. 본 시험에서 사용한 시험장치 및 동수경사비의 정의는 그림 6~7 및 식(1), (2)에 나타내었다.

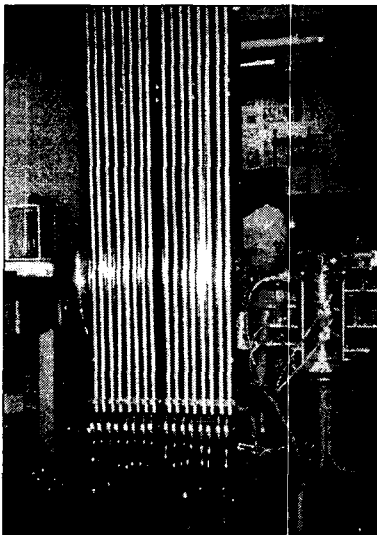


그림 6. 필터의 Clogging시험기구

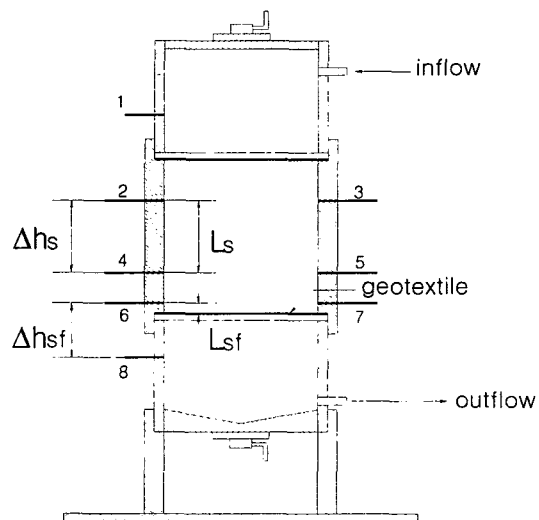


그림 7. 동수경사비(GR)시험의 원리

$$GR = \frac{\Delta h_{sf}/L_{sf}}{\Delta h_s/L_s} \quad (1)$$

$$\Delta h_s = \frac{(M_3 - M_5) + (M_2 - M_4)}{2} \quad \Delta h_{sf} = \frac{(M_7 - M_8) + (M_6 - M_8)}{2} \quad (2)$$

$L_s$  : 3과 5포트 또는 2와 4포트의 길이

$L_{sf}$  : 7과 시료하부 또는 6과 시료하부까지의 길이

$M_n$  : manometer의 읽음값, n은 manometer의 번호

## 5.2 시험결과 및 분석

본 시험에 사용한 시료는 경남 진해앞바다의 매립점토로서 각 필터에 대한 동수경사비 시험의 결과는 그림 8과 같았다. 각 동수경사별로 시험 초기에는 아주 큰 GR값을 나타내는데 이는 시료내부에 불포화영역이 존재하거나  $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{cm/sec}$  범위의 낮은 투수계수 값으로 인해 발생하는 것으로 판단된다. Haliburton과 Wood(1982)는 GR값이 3이하의 값을 나타낼 때 흙-필터 시스템이 안정화 될 수 있다고 기술하였는 바 시간이 경과함에 따라 대상 필터 모두가 clogging에 대해 안정화 되는 것으로 나타났다.

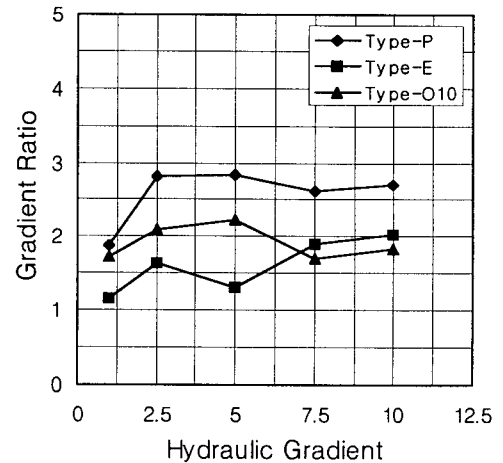


그림 8. 각 동수경사별 GR최종값 (6일간 시험시)

## 6. 수평배수재 재료특성의 종합비교분석

본 절에서는 선정된 4종류 배수재의 강도특성시험, 통수능시험, clogging시험의 종합적인 분석결과를 표 4에 수록하였으며 표에서 확인할 수 있는 바와 같이 배수재(필터+코어)의 인장강도 값은 Type-O10, 필터의 인장강도 값은 Type-E, 포화통수능력 값은 Type-O10이 우수한 것으로 나타났다.

표 4. 실험대상 수평배수재의 재료특성

배수재명 재료특성			제안기준		단위	Type-E		Type-P		Type-O10		Type-O5	
						비교치	비교결과	비교치	비교결과	비교치	비교결과	비교치	비교결과
강도특성	인장	배수재	한국영종도 신공항 > 101.97	건조	kgf/전폭	213.4	○	242.5	○	715.8	○	484.0	○
				습윤		209.8	○	264.7	○	710.4	○	468.7	○
	필터	Christopher (1985) > 35.6 미국시방서 > 54.04	건조	kgf	79.2	○	48.8	△	76.1	○	-	-	
			습윤		84.4	○	42.4	△	63.2	○	-	-	
통수능	동수경사 0.01 (장기)	Onoue(1988) 설계요구통수능력(타 설길이 200m, 투수계 수 $10^{-6} \text{cm/sec}$ ) 300~1100		cm <sup>3</sup> /sec	220	×	875	○	1110	○	615	○	
	동수경사 0.05 (장기)				108	×	371	○	497	○	350	○	
GR시험 (동수경사 1)			Haliburton (1982) ≤ 3			1.16		1.88		1.73			

※ ○(만족) ×(불만족) △(보통)

## 7. 결론

본 연구에서는 경제성 시공성이 뛰어나며 우수한 성능을 지닌 수평배수재를 파악하기 위해 기존의 4가지 제품을 선정하여 재료특성 시험을 실시하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 배수재(필터+코어)의 인장강도는 Type-O10의 경우가 가장 좋은 것으로 나타났다. 배수재 전체에 대한 인장강신도 시험결과는 필터와 코어의 복합적인 작용에 의한 것으로서 각 배수재마다 변형을 10~60%의 범위에서 변형이 있는 후 파단에 이르는 다양한 분포양상을 나타내었으며 전반적으로 습식상태가 건식상태에 비해 변위가 크게 나타났다.
- 2) 필터의 강도특성에 있어 건조 및 습윤 조건을 비교해 볼 때 건조시 크게 나오는 경향을 보였으며, 길이방향과 폭방향에 대한 값을 비교한 결과 길이 방향이 큰 것으로 나타났다.
- 3) 포화 통수능시험 결과를 분석해 볼 때 낮은 동수경사에서 시간경과에 따른 통수량 감소현상이 두드러졌으며 동수경사가 커질수록 시간에 대한 영향이 적었다. 동수경사의 영향을 비교한 결과 큰 동수경사에서는 구속압이 증가해도 통수량 변화의 폭이 적은 반면 낮은 동수경사에서는 구속압이 커짐에 따라 통수량의 감소현상이 두드러졌다.
- 4) 인장강도 및 통수능 시험결과를 분석해 볼 때 Type-O10과 같은 큰 강성을 지닌 격자모양의 코어형상 배수재가 구속압에 의한 통수단면적의 감소를 최소화하고 이로 인해 배수재 내부를 통과해 유과 되는 물이 저항을 덜 받아 수두손실을 최소화시켜 우수한 통수능을 나타내었다.
- 5) 강도특성시험과 clogging시험에서의 동수경사비(GR) 값을 통해 필터사용의 적합성을 판정한 결과 폴리amide 피복 폴리에스터 재료로 생산된 Type-E의 필터가 우수한 것으로 나타났다.

## 참고문헌

- 이상호(2000), 준설매립지반의 표층안정처리를 위한 수평배수재의 공학적 특성에 관한 연구, 동국대학교 석사학위논문.
- 한국공업규격(1988), KS K 0351, 0520, 0537, (사)한국공업표준협회.
- 日本規格協會, "JIS L 1096", 日本工業規格.
- ASTM(1992), "Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method" Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08., Designation : D 4595-86.
- ASTM(1992), "Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles" Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08., Designation : D 4632-91.
- Christopher, B.R. and Holtz, R.D.(1985), Geotextile Engineering Manual, U.S. Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Kamon, M., Pradhan, T.B.S.(1992), "Laboratory Evaluation of the Discharge Capacity of Prefabricated Band- Shaped Drains", The Society of Materials Science, Japan.
- Onoue, A.(1988), "Consolidation by Vertical Drains taking Well Resistance and Smear into Consolidation", Soils and Foundations, Vol. 28, No.4, pp. 165-174.
- Haliburton, T.A., and Wood, P.D.(1982), "Evaluation of the U. S. Army Corps of Engineer Gradient Ratio Test for Geotextile Performance", Second International Conference on Geotextile, pp. 97~101.
- Holtz, R.D., Jamiolkowski, M., Lancellota, R., and Pedroni, S.(1989), "Behavior of Bent Prefabricated Vertical Drains", Proceedings of the 12th ICSMFE, Vol. 3, Rio de Janeiro, pp. 1657~1660.