

국내 연약지반특성을 고려한 연직배수재 필터 시방기준에 대한 기초연구 Study on the Specification for the Filter of the PBD

고영희¹⁾, Young-Hi Ko, 권수영²⁾, Soo-Young Kwon, 이종성³⁾, Jong-Sung Lee
현승훈⁴⁾, Seung-Hoon Hyun, 이주공⁵⁾, Joo-Gong Lee

¹⁾ 세광종합기술단 상무, Senior Director, Soil and Foundation Dept., Sekwang Engineering Consultants Co., Ltd.

²⁾ (주)대림산업 과장, Section Chief, Civil Projects Dept. Daelim Industrial Co.. Ltd.

³⁾ (주)대림산업 부장, General Manager, Civil Projects Dept. Daelim Industrial Co.. Ltd.

⁴⁾ 나우이엔지(주) 대리, Manager, Soil and Foundation Dept., Now Engineering Consultants Co.. Ltd

⁵⁾ (주)도담 이앤씨 이사, Director, Dodam Engineering and Consultants Co.. Ltd.

개요(SYNOPSIS) : In this study, a specification for the filter system of plastic board drain using in Korea. When PBDs were installed in the soft ground, bridging, blocking, blinding and clogging phenomena could be appeared near the PBD. Especially, clogging phenomena near the filter of PBD is very important factor to determine the life span of the vertical drainage system. Therefore, in this study, we proposed the specification on the filter of PBD considering the size of soil particle.

To verify the proposed specification, model tests were conducted by using filter seepage tester. From the model test, newly proposed specification which considered the size of soil particle maintained the ability of seepage of the filter system of PBD.

주요어(Key words) : 연직배수재, 필터재, 유효입경, 유효구멍크기, 클로킹현상

1. 서론

연직배수재는 연약지반 개량공사에 있어서 매우 중요한 구성요소로 매우 널리 활용되고 있다. 그러나 이러한 연직배수재의 구성요소 가운데 중심부에 위치하는 코아(plastic core)에 대한 성능개선이나 활용도에 대한 기능 개선안이 많이 시도 되고 있는 것이 현실이다. 그러나 본 연구에서 언급하고자 하는 연직배수재 필터의 경우 연약지반 개량공사시 매우 중요한 역할을 수행하는 부재임에도 불구하고 그 성능의 개선 또는 기능에 대한 명확한 규명없이 사용되고 있는 실정이다. 연약지반 개량을 위하여 지반내에 연직배수재가 타설 되었을 때 필터는 간극수의 흐름으로 인하여 발생 할 수 있는 흡입자의 유동을 방지하여 배수재가 일정정도 이상의 투수능을 확보하게 하는데 그 기능이 있다 할 수 있다. 그러나 상대적으로 투수능이 작은 지반의 미세입자가 필터에 막힘을 유발하게 되면, 필터의 막힘은 점진적으로 증가되고 간극수의 원활한 배출이 저하되어 압밀지연을 초래한다. 따라서, 본 연구에서는 최근 국내에서 사용되는 연직배수재의 필터에 대하여 해외에서 많은 연구자들이 제시하고 있는 기준에 대한 분석과 이를 바탕으로 수행한 실내실험결과를 바탕으로 기준에 국내에서 사용되고 있는 필터재의 유효구멍크기에 배수 필터재들을 대상으로 해외기준분석을 통한 개선된 시방기준을 적용하여 선정된 필터재의 배수성능 확인을 위한 실내시험을 수행하여 개선된 시방기준 적용성에 대한 기초적 연구를 수행하였다.

2. 필터재의 거동특성

2.1 개요

지반에서의 필터거동은 장기적인 간극수 흐름에 의한 흡입자 이동에 따라 필터와 지반의 경계부분에 Bridging 구조형성, Blocking 현상, Blinding 및 Clogging 현상 등 다양하고 복잡한 거동 양상을 보이는 것으로 알려져 있으며(John, 1987), 이러한 현상에 대한 개략적인 개념도를 다음의 그림 1.에 나타내었다.

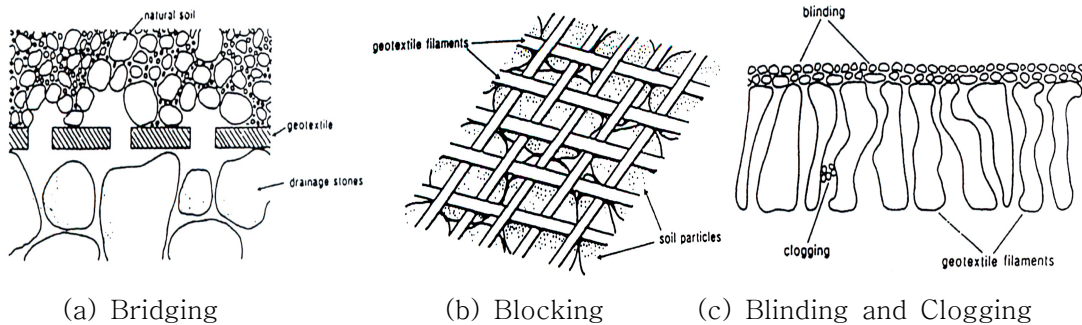


그림 1. 지반에서 필터재의 거동특성

- Bridging : 필터와 인접한 흡입자들이 필터재 직물속에 끼이거나 필터를 통하여 유실되고 난후 잔류한 조립토들이 필터상부에서 아치형의 구조를 형성하는 과정을 의미한다.
- Blocking : 흡입자들이 필터재의 표면에 쌓여 전체적으로나 부분적으로 필터재 구멍을 막고있는 상태이며, 그 정도가 흡내부의 입도 조정이 불가능한 상태까지 되면 Blocking의 정도가 심각한 것이며 필터재의 투수성은 크게 저하된다.
- Blinding : 심한 Blocking의 특별한 형태이며 큰 입경의 세립토가 필터재 표면을 뒤덮고 있는 상태에서 필터재 표면위에 투수성이 낮은 얇은 층을 형성하여 구멍의 많은 부분을 막아 투수성을 저하시킨다.
- Clogging : 흡입자가 필터재 속으로 이동되어 배수재내 드레인 코어를 막는 현상으로 압밀지연이 되는 주요 원인이 된다.

이와 같은 현상들이 조합되어 지반과 필터재 사이의 상호작용에 의해 간극수가 배출되며 필터재 품질저하시 압밀지연이 발생한다. 따라서, 필터재로서의 역할을 수행하기 위해서는 흡 보유능(Retention), 투수성(Permeability) 및 클로깅(clogging)을 방지할 수 있는 여러기준을 만족하여야만 필터로써의 기능을 발휘할 수 있다. 따라서, 주변지반의 점토 입경을 고려하여 필터재의 적정한 유효구멍크기(AOS)에 대한 기준을 정립하여야 할 것이다.

2.1 국내 · 외 기준분석

일반적으로 연직배수재 필터의 역할은 드레인 코어내로 과도한 흡입자의 유입을 방지하므로써 배수재의 투수성을 일정 기준 이상으로 확보하는 데 그 목적이 있다. 그러나 이러한 기능은 과도한 흡입자가 배수재 내부 및 필터재 내부로 과도하게 유입될 경우 그 원래의 기능을 상실할 수 있다. 이러한 현상은 궁극적으로 연직배수재의 투수기능의 저하로 귀결되며, 간극수의 배출 지연으로 인해 압밀지연현상이 발생할 수 있을 것이다.

그러나, 국내 연약지반개량 설계시 적용되는 필터재의 시방기준은 주변지반의 입경을 고려하지 않고, 필터재의 유효입경(AOS)을 일률적($O_{90} \leq 80\mu\text{m} \sim 90\mu\text{m}$ 이하)으로 적용하고 있어, 연직배수재의 성능유지 여부에 대한 많은 논란을 불러일으키는 계기가 되었다.

2.2 해외 기준분석

해외의 여러 연구자들이 수행한 연구결과를 살펴보면 대부분의 연구결과가 필터재의 시방기준에 대하여 상한치와 하한치를 두고 있음을 알 수 있다. 이러한 연구결과는 앞에서 언급한 바와 같이 필터재의 성능을 장기간 유지할 수 있도록 하기 위한 것으로 사료된다. 이러한 해외 여러 연구자들의 필터에 대한 기준을 살펴보면 다음의 표 1.에 나타난 바와 같으며, 이는 국내 적용되고 있는 연직배수재의 필터 시방기준에서 제시하고 있는 것보다 합리적인 기준이라 사료된다.

1) 투수성(Permeability) 기준

필터의 투수성은 필터입경이 균등할 경우 입경의 제곱이며, 균등하지 않을 경우 D_{10} , D_{15} 의 제곱에 비례하며, 일반적으로 사용되는 필터재의 투수계수는 $K_{\text{filter}} > 2K_{\text{soil}}$ 이므로 일반적인 필터재 적용시 필터재의 투수성으로 인한 문제는 발생되지 않을 것으로 판단되며, 문제시 되는 것은 드레인 코어내로 흡입자 유입에 따른 막힘(Clogging)현상 발생시 투수성 저하라고 판단된다.

2) 막힘(Clogging)현상 기준

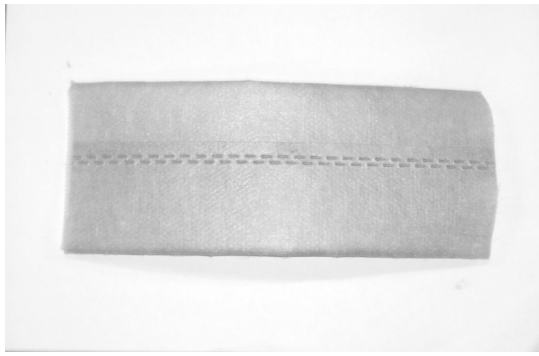
Hansbo는 필터재의 막힘(Clogging)현상을 방지하기 위한 필터의 입경 및 투수계수에 대한 기준을 $O_{15}/D_{15} > 1.5$, $K_{\text{filter}}/K_{\text{soil}} > 2$ 로 제안하였다.

표 1. 필터재 해외기준 분석

제안자	시방기준	비고
Bergado et al. (1992)	· $O_{90}/D_{85} \leq 2\sim3$ · $O_{90}/D_{50} \leq 18\sim24$	· 국내시방기준과 비슷하며 하한치의 경우 시방기준 개선
Ogink (1975)	· $O_{90}/D_{90} \leq 1.8$	· 국내시방기준과 비슷함
Carrol (1983)	· $O_{95}/D_{85} \leq 2\sim3$	· 국내시방기준 $O_{95} \leq 0.09$ 와 비슷함
Christopher and Holtz (1985)	· $O_{95}/D_{85} \leq 1.8$	· 국내시방기준과 비슷하며 하한치의 경우 시방기준 개선
Holtz and Christopher (1987)	· $O_{50}/D_{85} \leq 0.5$	· 국내시방기준에 비해 시방기준 매우 개선
Calhoun (1972)	· $O_{95}/D_{85} \leq 1$	· 국내시방기준에 비해 시방기준 매우 개선
Chen and Chen (1986)	· $O_{90}/D_{85} \leq 1.2\sim1.8$	· 국내시방기준에 비해 시방기준 매우 개선
	· $O_{50}/D_{50} \leq 10\sim12$	· 국내시방기준에 비해 시방기준 조금 개선
Sweetland (1977)	· $O_{15}/D_{85} \leq 1$	· 국내시방기준에 비해 시방기준 매우 개선
Rankilor (1981)	· $O_{50}/D_{85} \leq 1$	· 국내시방기준에 비해 시방기준 매우 개선
	· $O_{50}/D_{50} \leq 25\sim37$	

3. 필터의 유효구멍크기(AOS)

앞의 3절에서 살펴본 바와 같이 필터의 성능을 장기간 유지하기 위하여 필터의 유효입경이 매우 중요한 요소임을 여러 연구자들의 연구결과를 통하여 확인하였다. 대부분의 연구자들이 제시하는 필터의 시방기준은 필터의 유효입경과 주변지반의 흡입자의 직경을 이용하여 필터의 시방기준을 제시하고 있으므로, 본 연구에서도 먼저 그림 2.에서 나타난 바와 같이 국내에서 사용되고 있는 필터재에 대하여 ASTM D4701방식을 적용하여 필터재의 유효입경을 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 이러한 시험결과는 다음의 표 2.에 나타난 바와 같다.



(a) Sample #1



(b) Sample #2

그림 2. 실험에 사용된 지오텍스타일 필터

표 2. 시험에 사용된 필터재의 특성실험 결과

시험항목		Sample #1	Sample #2
인장강도 KS K 0520-2003C.R.E 그레브법	길이(kgf)	95.4	70.9
	폭(kgf)	74.8	65.6
유효구멍크기(μm) ASTM D 4751	O ₉₅	79.0	56.0
	O ₉₀	71.0	50.0
	O ₈₅	65.0	45.0

4. 시험방법 및 시료

4.1 실험 장치

본 시험에 사용된 시험장치는 그림 2와 같다. 수두가 일정하게 유지될 수 있도록 수조를 구성하였고, 네개의 Cell을 제작함으로써 동시에 시험이 수행될 수 있도록 하였다. 수조는 강봉을 이용하여 Cell로부터 일정 높이에 설치할 수 있도록 하였으며, 내부에는 월류부를 설치하여 항상 일정한 수두가 유지되도록 구성하였다. 각각의 Cell은 토립자의 유동 및 유로형성 등의 내부상황을 관측할 수 있도록 직경 15cm, 높이 5cm의 아크릴을 이용하여 제작하였으며, 밀판 및 덮개에는 누수를 방지하기 위하여 고무 O-Ring을 설치하였다. 덮개에는 유입밸브와 공기밸브를 설치하여 덮개 장착시 공기의 유입이 되더라도 제거할 수 있도록 하였으며, 셀의 하부에는 흡시료와 필터재를 통과한 물의 양을 계량하기 위해 유출밸브를 설치하였다. 또한, 필터재를 통과한 세립분의 유출을 방지하기 위하여 필터재 하부에는 다공판을 설치하였다.

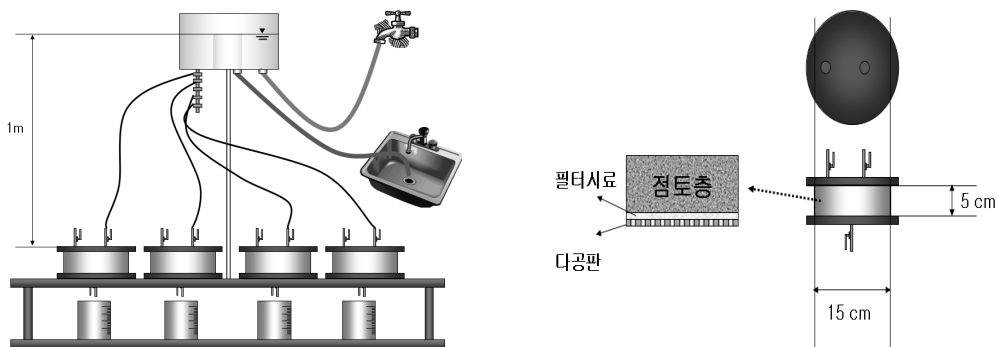


그림 3. 필터의 투수능 확인을 위한 실험장치

4.2 시료의 성형

본 실험에 사용된 시료는 부산의 ○○지역의 지반개량공사를 위해 채취된 점토시료를 재성형하여 사용하였다. 이러한 시료의 물리적인 특성은 다음의 표 3.에 나타낸 바와 같다. 또한, 입도분포를 보다 상세하게 파악하기 위해 장기간에 걸쳐 비중계분석을 수행하였으며, 이러한 결과로부터 얻은 점토시료의 입도분포곡선은 다음의 그림 4.에 나타낸 바와 같다.

표 3. 흙시료의 물리적 성질

함수비(%)	비중	세립분함량(%)	LL(%)	PL(%)	USCS
29.07	2.74	86.5	28.7	18.6	CL

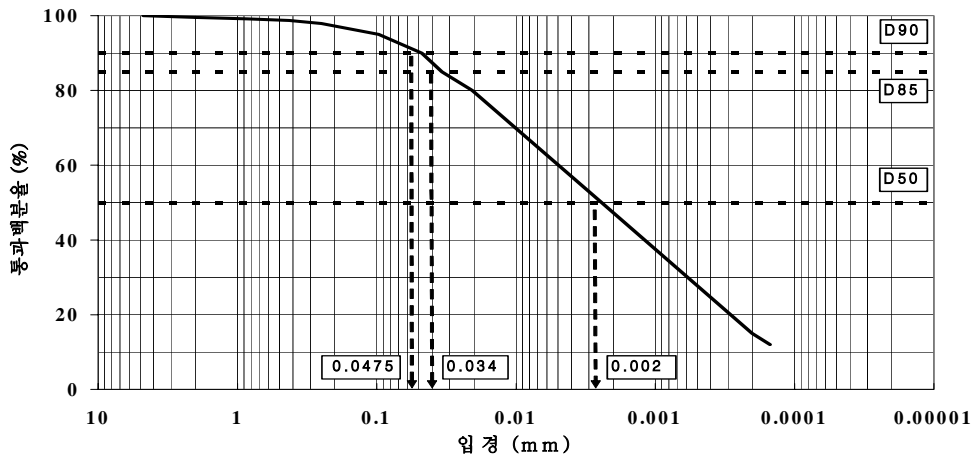


그림 4. 교란시료의 입도분포곡선

5. 실내시험 결과

실내실험은 한 시간 간격으로 유량이 일정값으로 수렴할 때 까지 실시되었으며, 그 결과를 다음 그림 5.에 나타내었다. 또한, 실내실험을 통하여 결정된 흙시료와 필터재의 특성치를 토대로 여러 연구자들이 제안한 필터재 AOS 및 점토시료의 입경과의 비율을 이용하여 각각의 기준에 대한 필터재의 적합성 여부를 살펴보았다. 이러한 분석결과는 다음의 표 5.에 나타내었다.

표 5. 유효입경비에 의한 필터재의 적용성 검토

제안자	기준	Sample #1	Sample #2
Bergado et. al.(1992)	$O_{90}/D_{85} \leq 2 \sim 3$	2.08	1.47
	$O_{90}/D_{50} \leq 18 \sim 24$	29.2	20.55
Ogink(1975)	$O_{90}/D_{90} \leq 1.8$	1.49	1.05
Carrol(1983)	$O_{95}/D_{85} \leq 2 \sim 3$	2.32	1.64
Calhoun(1972)	$O_{95}/D_{85} \leq 1$	2.32	1.64

주) $O_{95,90,50,15}$ 는 각각 95%,90%,50%,15%에서의 통과되는 필터재의 입경

$D_{85,50,15}$ 는 각각 85%,50%,15%에서의 통과되는 흙입자의 입경

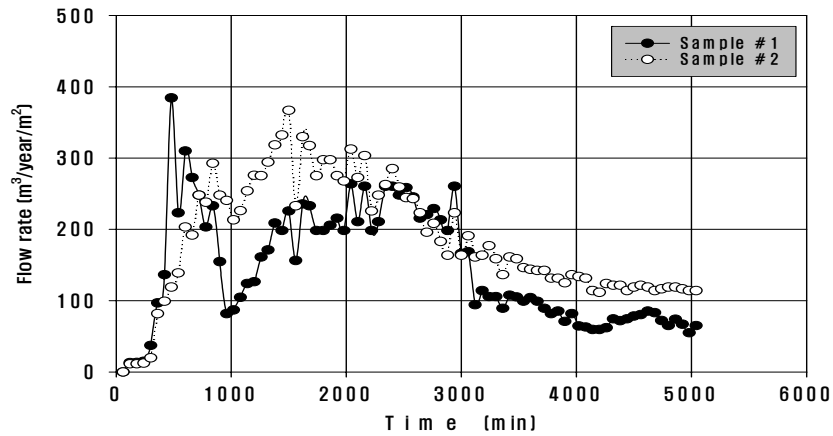


그림 5. 클로깅(clogging)시험 결과

표 5에 정리된 여러 학자들에 의해 기 연구된 기준에 의거하여 각각의 필터재의 적용성을 분석한 결과, 두 종류의 필터재 모두 제안된 기준을 대부분 상회하는 결과를 보이고 있으나, 이러한 연구결과와 제안 사항들은 국내 해성점토를 대상으로 한 연구결과가 아니기 때문에, 이를 직접적으로 국내 해성점토를 대상으로 적용하기에는 다소 무리가 따를 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 클로깅시험 결과를 토대로 얻은 시간경과에 따른 유량의 변화를 살펴보면, 두가지 필터재 시료 모두 초기 토립자의 유동이 발생한 이후 입자의 재구성 또는 안정화가 이루어지는 과정까지는 100~400m³/year/m²의 범위에서 다소 유동적인 값을 보이고 있으나, 시간이 경과함에 따라 일정한 값으로 점차 감소하면서 수렴하는 동일한 경향을 보이고 있으며, sample #1의 경우 약 70m³/year/m², sample #2의 경우 약 140m³/year/m² 정도의 수준에서 수렴하는 경향을 보이고 있다. 따라서, 연직배수재를 선정하는 과정에서 배수재 필터의 AOS에 대한 기준을 정하고자 할 때에는 본 시험결과의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

6. 결론

지금까지 살펴본 바와 같이 국내에서 적용되고 있는 필터재의 시방기준에 대하여 주변점토의 입경을 고려하여 제시한 해외 연구자들의 연구성과를 살펴보았으며, 이를 바탕으로 국내에서 상용화되어 있는 필터재에 대하여 필터재의 장기투수시험을 수행하여 그 합리성을 파악하고자 하였다. 문헌조사결과 대부분의 해외 연구사례는 필터재의 유효구멍크기에 대한 시방기준을 주변지반의 흙입자에 대한 입경을 고려하여 제시하고 있음을 알 수 있다. 이러한 연구결과로부터 국내 연직배수재의 유효구멍크기(AOS)에 대한 시방기준은 주변점토 입경을 고려하여 제시되어야 할 것으로 사료된다. 국내에서 상용되고 있는 연직배수재의 필터에 대한 장기투수 실험결과 두가지 경우 모두 일반적인 소요통수능을 확보하는 것으로 나타났으나, 보다 작은 AOS를 갖는 필터의 장기 투수능이 약간 양호한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. D.T. Bergado, R. Manivannan and A.S. Balasubramaniam.(1996), "Filtration Criteria For Prefabricated Vertical Drain Geotextile Filter Jackets In Soft Bangkok Clay", Geosynthetics International.
2. 김수삼(1998), “수직배수재의 적정단면 산출 및 개발에 관한 연구 보고서“, 삼성중공업 건설기술연구소
3. 해양수산부(2004), “부산신항 남컨테이너부두 축조공사 보고서”