시험시공을 통한 일방향 배수필터의 성능 평가

Evaluation of the Performance of One-way Drainage Filter by Field Test

서동욱* · 김현태*

Seo, Dong Uk · Kim, Hyeon Tae

ABSTRACT

It is needed to install a one-way drainage filter to prevent a seepage from lake or river outside of embankment and to promote a drainage from a flood inside of embankment when dikes such as lake dike, river dike, etc are constructed. However, the results of research for one-way drainage filter are insufficient. Therefore, through the field test of one-way drainage filter, this study checked a function of one-way drainage filter with a test of performance. As a result of field test, water flow in dike was blocked in the interception direction of the section that one-way drainage filter was installed, but water passed to the flow allowance direction of the section. Therefore we confirmed the function of one-way drainage filter. Seepage quantity in the flow allowance direction of the one-way drainage filter section was low as 74.6~80.5 % than that in the section without installation of filter because of a reduction effect of seepage with filter. And seepage quantity of field test was low as 64.3~90.0 % than that in results of seepage analysis because the coefficient of permeability of embankment in field is different from the results of laboratory test. In the future, more study will be needed to solve several problems which are related to fix the filter on slide, durability of filter, etc.

Keywords: One-way; drainage; filter; field test

1. 서 론

방수제, 하천 제방 등과 같은 제체를 조성할 경우 외측의 담수 호나 하천수의 수위를 차단하는 역할이 중요하다. 그러나, 입자가 굵은 준설토를 사용하여 제체를 성토할 경우 성토재료의 투수계수가 크게 되어 침투수에 의한 파이핑이 발생하는 등 침투에 불리해 지게 되고, 차수 효과를 위해 단면을 크게 확대하면 경제적이지 못하는 어려움이 있다 (Yu, 2002). 따라서, 침투로부터 제체를 안전하게 보호하기 위한 차수대책으로 토목섬유를 사용할 수 있다. 토목섬유는 보강, 분리, 배수, 필터 등 다양한 기능으로 사용하고 있으며, 간척지를 비롯한 연약지반의 보강재로써 토목섬유를 이용하기 위한 다양한 연구가 진행되었다 (Goh et al., 1991). 그러나 차수시트와 같은 토목섬유를 사용할 경우 방수제 내측으로부터 외측으로의 배수가 원활하지 않아 내측 부지가 침수될 우려가 있다 (Seo, 2008).

제체의 필터재료로 널리 사용되는 배수용 토목섬유 재료는 양 쪽 방향으로 물이 통과, 이동하는 역할을 하므로 토목섬유가 일 방향 흐름이 아닌 교번흐름이 작용할 경우 반복적인 변형과 응력 변화로 인하여 강도저하현상이 발생한다 (Oh et al., 2004). 그리고 배수용 토목섬유는 쓰레기 매립장과 같은 지역에서 침출수의 외부유출을 차단하기 위한 강도가 약한 차수막을 외부 충격과 하중으로부터 보호하는 용도로 사용하기 때문에 (Jeon et al., 2001), 방수제와 같은 차수 구조물의 차수대책으로는 적합하지 않다.

또한, 배수용 필터재료인 지오텍스타일 (geotextile)이나 유공 재료의 경우는 필터 내 구멍이 막혀 구멍이 막혀 통수능이 감소하고 배수능력이 저하되는 문제가 있어 (Jeon et al., 2007) 최소한의 배수능을 유지하기 위한 필터의 유효구멍 크기를 고민해야 하는 문제가 있다 (Kim et al., 2007).

따라서, 차수 목적을 살리면서 제방 내측의 홍수시 배수를 원활하게 할 수 있는 일방향 배수필터의 설치가 필요하다. 일방향 배수필터는 내·외측 수압에 따라 한쪽 방향으로만 배수가 차단이 되지만, 반대 방향으로의 수압에 의해 시트 사이로 틈이 벌어져 통수가 되는 원리이기 때문에 차수와 배수 두 가지 기능을 동시에 가질 수 있으며, 재료 내 배수구멍이 흙입자에 의해 막히는 경우가 없다고 볼 수 있다.

* 한국농어촌공사 농어촌연구원

† Corresponding author Tel.: +82-31-400-1786

Fax: +82-31-400-1794

E-mail: duseo@hanmail.net

2011년 9월 17일 투고

2012년 5월 7일 심사완료

2012년 6월 7일 게재확정

그러나, 일방향 배수필터는 아직 설계 및 시공사례가 없으므로, 이를 검증할 수 있는 시험시공이 필요하다. 그러므로, 본 연구에서 일방향 배수필터의 시험시공을 통하여 필터의 성능을 시험하여 일방향 배수필터의 기능을 확인하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 일방향 배수필터 원리와 개념

일방향 배수필터는 폭과 두께가 일정한 무공 합성수지 시트로써 시트의 하단부는 다른 시트의 상단부와 겹치게 놓여진다. 즉, Fig. 1 (a)와 같이 위쪽 시트의 하단부가 그 바로 아래 쪽 시트의 상단부에 소폭으로 겹쳐지도록 계단식으로 배치하고, 각 시트의 상단부에 배수필터를 부착하여 위에 겹쳐지는 시트의 하단부와 틈이 생기게 한다. 이와 같이 배수필터로 인해 생기는 틈이 일방향 배수 및 차단 역할을 하는 시트밸브이다. 토목섬유의 두께는 침투수량의 변화에 영향을 주지않는 것으로 평가되었으므로 (Lwon, 1993), 이 역할을 위한 배수필터의 두께는 클 필요가 없다. 그러나 시트 상단에 부착하여 그 위에 겹쳐지게 포설하는 시트의 하단부의 겹치는 길이는 배수필터를 덮어 가릴 정도로 충분히 여유를 두어야 한다. 이는 선포설 및 후포설된 시트 사이의 필터가 일방향 배수 밸브의 역할을 수행하기 위함이다.

Fig. 1 (b)에서 내부측 수압이 외부측 수압보다도 높아지면 시트 밸브가 들려서 배수필터의 시트밸브가 열리고, 외부측 수압이

내부측 수압보다도 높아지면 시트밸브가 닫혀 배수공을 막는 개념이다. Lee (1993)는 토목섬유 내부에서의 물의 흐름은 토목섬유의 투수성과 동수경사에 의하여 지배되는데, 이 동수경사는 토목섬유의 시공경사와 토목섬유의 내부와 바깥의 수압차에 의하여 결정된다고 하였다. 따라서, 일방향 배수필터의 경우 차수방향으로는 투수가 되지 않기 때문에 동수경사가 존재하여도 물이 흐르지 않지만, 반대로 통수방향으로는 토목섬유 내의 수압과 바깥의 수압차로 인한 동수경사에 의해 물이 흐르게 된다.

해수의 침투로 인한 피해가 우려되는 사면형 토목구조물의 경우에는 시트 밸브가 바다를 향하도록 비스듬히 일방향 배수필터를 포설하고 그 위에 토사, 자갈, 돌을 깔아 안정시킨 제체를 조성할 수 있다. 제체의 경우 해수의 수위가 낮아지면 그 수위 이상 높이의 제체 또는 해안에 남아있던 잉여수의 수압에 의하여 시트밸브가 열려서 배수가 되게 하여 잉여수의 자연 배수가 이뤄지게 된다. 그러나 해수의 수위가 상승할 시에는 해수압에 영향을 받은 시트밸브가 배수 공간을 닫게 하여 해수가 제체 또는 해안으로 침투할 수 없게 된다.

2. 시공 계획

일방향 배수필터의 시험시공은 Fig. 3과 같이 4개의 면을 조성하여 2개의 면에는 필터를 외측과 내측 각각 설치하고, 2개의 면은 비교를 위하여 필터를 설치하지 않았다.

일방향 배수필터의 성능을 평가하기 위하여 일방향 배수필터

Fig. 1 The concept of one-way drainage filter

Fig. 2 An example applied to embankment

Fig. 3 Plan of field test for one-way drainage filter

시공부와 미시공부를 각각의 시험조건별로 시험하여 두 단면에 대한 결과분석을 통하여 필터 성능 등을 검토하고자 한다.

실험 조건은 일방향 배수필터의 차수방향과 통수방향의 성능을 평가하기 위해 Fig. 3의 단면 A와 A'에 일방향 배수필터를 설치하였다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 단면 A'은 외측(강)이, 단면 A는 내측(육지)이 홍수로 인하여 수위가 높다고 가정을 하고, 물의 흐름은 외측으로부터 내측으로는 차단되어야 하지만, 내측으로부터 외측으로는 허용되어야 한다고 전제한다. 단면 A'는 일방향 배수필터를 제체의 외측부에 물의 흐름이 차단되는

Table 1 Cases of test

Case No.	Section	Materials	Direction of flow	Drainage
1	A	One-way drainage filter	Inside → Outside	Allowance
2	A'	One-way drainage filter	Outside → Inside	Interception
3	B	None	-	Normal
4	B'	Waterproof sheet	Outside → Inside	Interception

Fig. 4 Section of field test for one-way drainage filter

Fig. 5 The concept of filed test

Table 2 Soil characteristic

Grain size distribution				Plasticity		Unified Soil Classification	Specific Gravity, Gs	Triaxial compression test		Compaction		Coefficient of permeability, K (cm/s)
Gravel (4.75-80 mm) (%)	Sand (0.075-4.75 mm) (%)	Silt (0.005-0.075 mm) (%)	Clay (0.005-mm) (%)	Liquid Limit, LL (%)	Plastic Limit, PL (%)			Cohesion, C (MPa)	Friction Angle, Φ (°)	Max. dry density, γ_{dmax} (kN/m ³)	O.M.C (%)	
0.0	6.3	88.9	4.8	NP	NP	ML	2.67	0	32	15.8	17.0	7.6E-6

방향으로 설치하여 홍수시 단면 외측에서 내측으로의 침투가 차단되게 하였고, 반대로 단면 A는 제체의 내측부에 일방향 배수필터를 물의 흐름이 허용되는 방향으로 설치하여 내측의 홍수가 외측으로 배수가 되게 하였다. 일방향 배수필터의 성능실험 결과를 대조하기 위하여 단면 B'는 차수막을 설치하여 완전차수가 되게 하였고, 단면 B에는 아무것도 설치하지 않아 물의 정상침투가 이루어지게 하였다. 이와 같은 실험조건을 Table 1에 나타내었다.

네 개의 각 단면은 서로 침투에 의한 영향을 받지 않게 하기 위해 각 단면 접속부에 수직차수막을 설치하여 단면간의 침투는 발생하지 않게 하였다. 또한, 제체 바닥부로부터의 침투 영향을 제거하기 위하여 바닥은 차수막을 설치하여 바닥으로의 수직 침투를 차단하였다. 그리고, 제체 외곽의 배수로로 흘러나온 침출수가 배수로 바닥으로 침투되지 않게 차수막을 설치하였다. 제체를 이루고 있는 흙의 물리적 특성은 다음 Table 2와 같다.

III. 결과 및 고찰

제체 외측 또는 내측의 홍수위를 재연하기 위해, 깊이 1.5 m (제체 높이 2.0 m)까지 물을 채운 후 각 실험 단면들의 침투수에 의한 침출수를 관찰하였다. 그 결과, 일방향 배수필터를 설치한 구간의 차수방향으로의 침투는 차단되었고, 통수방향으로의 침출수가 발생하여 침투가 이루어졌다.

Table 3 Parameters of seepage analysis

Soil	γ_t (kN/m ³)	C (MPa)	Φ (°)	Coefficient of permeability (cm/sec)
Ground (Sandy silt)	17.0	0	27	1.0E-6
Fill	18.0	0	32	7.6E-6

이론적으로는 다음 Fig. 6의 침투해석 결과와 같이 일방향 배수필터를 시공한 구간의 통수방향 단면 (A)와 일방향 배수필터를 시공하지 않은 구간 중 통수단면 (B)의 단위폭당 침투유량은 똑같이 16.0 cm³/sec이나, 일방향 배수필터를 시공한 구간의 차수방향 단면 (A')의 침투유량은 0.33 cm³/sec (0.03 cm³/day)로 거의 0에 가깝다는 것을 알 수 있다. 침투해석에 사용된 프로그램은 GeoSlope사의 SEEP/W를 사용하였으며, 토질 정수는 다음 Table 3과 같다.

즉, 일방향 배수필터를 시공한 구간의 통수방향 단면 (A)의 단위폭당 침투유량은 1.38 m³/day이고 설치 사면의 길이가 11 m 이므로 하루에 약 15 m³의 침투수가 흘러나오게 되며, 반대쪽의 차수방향 단면 (A')는 하루에 총 0.3 m³의 침투수가 흘러나와 육안으로 확인이 어려운 미미한 양이라 볼 수 있다.

현장에서 약 1년간 모니터링을 실시한 결과는 Table 4, Table 5와 같다. 침투량 측정은 일정기간 동안 단면을 통과하여 사면 밖으로 흘러나온 침출수의 총량을 사면의 제체의 평균길이를 나누어 산정하였다. 우기시를 제외하고서는 일방향 배수필터를 시

Fig. 6 Seepage analysis of section with one-way drainage filter

Table 4 Results of field test in 9 months

Case No.	Section	Reinforced materials	Average seepage flux (m ³ /day) (a)	Average daily rainfall (m ³ /day) (b)	Average daily evaporation (m ³ /day) (c)	Theoretical seepage flux (m ³ /day) (a - b + c)
1	A	One-way drainage filter	10.30	0.0095	0.0034	10.29
2	A'	One-way drainage filter	0	"	"	≒ 0
3	B	None	13.80	"	"	13.79
4	B'	Waterproof sheet	0	"	"	≒ 0

(a) Water level, H=1.2 m

(b) Section A: Seepage occur

(c) Section A': None seepage

(d) Section B: Seepage occur

Photo 1 Results of field test in 9 months

공한 구간의 차수방향 단면 (A')에서는 침투수가 발견되지 않았다. 우기시 강우에 의해 빗물이 고여 있는 경우를 제외하면, 건기시에는 침출수가 흘러나오는 것이 관찰되지 않았다. 반면, 일방향 배수필터를 설치한 구간의 통수방향 단면 (A)와 일방향 배수필터와 차수막을 설치하지 않은 단면 (B)에서는 9개월 경과시에는 하루에 10.3~13.8 m³, 12개월 경과시에는 11.6~14.4 m³의 침출수가 외곽 배수로에 흘러나오는 것으로 관찰되었다. 일방향 배수필터의 통수방향 단면 (A)의 침출수량이 미설치 단면 (B)의 침출수량보다 74.6~80.5 %만큼 적은 것은 통수방향이라 하

더라도 배수필터에 의한 침투속도 저감에 따른 것으로 판단된다.

강우량과 대기 증발량을 고려하여 침출수량을 고려한 이론 침투량을 산정하였으며, 강우량과 대기 증발량은 인근 기상대의 측정 자료를 분석하였다. 이론 침투량은 9개월 경과시 하루에 10.29~13.79 m³, 12개월 경과시에는 11.60~14.40 m³으로 추정되었으며, 강우량과 증발량의 영향은 매우 미미한 것으로 나타났다. 이 결과는 Fig. 7과 같이 침투해석 결과와 비교하였을 때, 9개월 경과시에는 침투해석 결과에 비해 64.3~86.2 % 낮게, 12개월 경과시에는 침투해석 결과에 비해 72.5~90.0 % 낮게 측

Table 5 Results of field test in 12 months

Case No.	Section	Reinforced materials	Average seepage flux (m ³ /day) (a)	Average daily rainfall (m ³ /day) (b)	Average daily evaporation (m ³ /day) (c)	Theoretical seepage flux (m ³ /day) (a - b + c)
1	A	One-way drainage filter	11.60	0.0006	0.0029	11.60
2	A'	One-way drainage filter	0	"	"	≒ 0
3	B	None	14.40	"	"	14.40
4	B'	Waterproof sheet	0	"	"	≒ 0

(a) Water level, H = 1.0 m

(b) Section A: Seepage occur

(c) Section A': None seepage

(d) Section B: Seepage occur

Photo 2 Results of field test in 12 months

정되었다. 그 이유는 실제 다짐성토를 하여 시공한 제체의 투수 계수가 침투해석에 사용한 실내시험으로부터 구한 투수계수와 달라졌기 때문인 것으로 판단된다. 그러나, 일방향 배수필터 설치한 구간의 차수방향 단면 (A')은 차수효과를, 통수방향 단면 (A)

은 배수가 원활하게 이루어지고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 상기 결과에 따라 일방향 배수필터는 제방의 본 기능인 외측의 홍수로부터의 차수와 내측에서 발생하는 홍수의 원활한 배수를 동시에 만족하는 차수대책으로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 7 Comparison of test results with seepage analysis results

그러나, 배수필터를 설치할 때 필터를 사면에 고정하는 방법 등의 문제점과 필터의 내구성 등은 앞으로 더 많은 연구를 통해 보완되어야 할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구는 침투로부터 제체를 안전하게 보호하기 위한 차수대책으로 제방의 본 기능인 차수기능을 유지하면서 제방 내측의 배수를 원활하게 할 수 있는 일방향 배수필터의 성능 평가를 위한 것으로 그 결과는 다음과 같다.

1. 일방향 배수필터를 설치한 구간의 차수방향으로의 침투는 차단이 되었고, 통수방향으로는 침출수가 발생하여 배수가 원활하게 이루어짐을 확인하여, 일방향 배수필터의 차수기능과 배수기능을 검증할 수 있었다.

2. 일방향 배수필터를 설치한 구간의 통수방향 단면의 침투수량이 필터를 설치하지 않은 일반 단면에 비해 74.6~80.5% 만큼 낮게 측정되었는데, 이는 설치된 배수필터에 의해 침투속도가 저감된 것에 따른 것으로 판단된다.

3. 현장에서 측정된 침투수량은 침투해석에 의한 이론적인 침투수량에 비해 64.3~90.0% 만큼 낮았는데, 이는 현장에서 시공한 제체의 투수계수가 해석에 사용한 토질정수와 달라졌기 때문인 것으로 판단된다.

4. 배수필터를 설치할 때 필터를 사면에 고정하는 방법 등의 문제점과 필터의 내구성 등은 향후 추가 연구를 통해 보완되어야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Goh, H. S., N. Y. Goh, and S. Y. Hong, 1991. A Study on the Characteristics of the Soil-Geotextile Interface.

- Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 33(2): 82-93 (in Korean).
- Lwon, M. N., 1993. Studies on Long-Term Performance Evaluation of Geotextiles-for Filter and Drainage-. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 35(3): 130-139 (in Korean).
- Lee, S. H., 1993. Design of geosynthetics drainage and filter, *The proceedings of Korean Geotechnical Society* 2: 91-111 (in Korean).
- Jeon, H. Y., M. S. Mok, Y. S. Joo and J. J. Yuu, 2001. Assessment of transmissivity of blended geotextiles for drainage. *The proceedings of Korean Fiber Society* 34(2): 428-431 (in Korean).
- Oh, Y. I., J. Y. Yoo, B. Y. Kang, and H. T. Kim, 2004. Behavior of Geosynthetics Filter Layer to Cyclic Wave Loading. *Proceedings of the 2004 Annual Conference The Korean Society of Agricultural Engineers* 1: 67-67 (in Korean).
- Jeon, H. Y., C. N. Choi and Z. Shen, 2007. Interpretation of hydraulic property of modified geotextile filter. *The Proceedings of Korean Fiber Society* 40(2): 289-290 (in Korean).
- Kim, J. H. and S. D. Cho, 2007. Opening size determination of geotextiles using dry and wet methods. *Journal of Korean Geotechnical Society* 23(2): 19-27 (in Korean).
- Korean Geotechnical Society, 1999. Dredged reclamation and Environmental reclamation. Kumiseogwan (in Korean).
- Mistry of Agriculture and Forestry, 2002. Design criteria of the plan for construction and maintenance project of agricultural infrastructure: Fill-dam. Gwacheon, Gyeonggi, Korea (in Korean).
- Yu, J. Y., 2006. Development of construction technique for seadike using filter & dredged soil. Ansan, Gyeonggi: Rural Research Institute (in Korean).
- Choi I. G and Y. M. Park, 2007. *Geotechnical engineering for field work*. Seoul: Kumiseogwan (in Korean).
- Seo, D. U., 2008. Research on construction of lake dike using dredged soil. Ansan, Gyeonggi: Rural Research Institute (in Korean).