

# 조립질 지반에서의 수평배수재 종류에 따른 배수성능 비교

## Comparisons of Drainage Performance on Coarse Grained Soils with Regard to Horizontal Drainage Type

방 태 완<sup>1)</sup> · 조 완 제<sup>†</sup> · 설 승 환<sup>2)</sup>  
Teawan Bang · Wanjei Cho · Seunghwan Seol

Received: September 15<sup>th</sup>, 2023; Revised: September 16<sup>th</sup>, 2023; Accepted: October 23<sup>rd</sup>, 2023

**ABSTRACT** : Horizontal drainage, which are representative dewatering method of domestic and foreign slope, are applied to reducing pore water pressure. Accordingly, several previous studies have been conducted, but horizontal drainage are standardized which is an unclear standard for a quantity calculation in filed. Therefore, this study presents field soil and laboratory model box to identify a drainage performance and influencing factors of various horizontal drainage. Furthermore, this study verifies the performance comparison of drainage shape or size according to different particle size distributions. In the outflow results for steady state, the study found that all samples are drained at a constant rate after a minimum of 3 minutes to maximum of 15 minutes. In the case of comparing the outflow per hour (Unit flux) in coarse grained soils, it found that drainage shape and size affect drainage performance. In the result, the future expected to be used basic data that experiment of drainage performance on fine grained soils and determine the quantity.

**Keywords** : Horizontal drainage, Drainage of slope, Coarse grained soils, Laboratory model box

**요 지** : 대표적인 비탈면 배수공법인 수평배수공은 비탈면 내 간극수압을 감소시키기 위해 국내외에서 다수 활용하고 있다. 이에 따라 다양한 연구들이 선행되어 왔으나, 수평배수공의 수량을 산정하기 위한 명확한 설계기준이 없어 획일적으로 시공되고 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 수평배수공의 배수성능과 영향인자에 대한 메커니즘을 규명하고자 현장토를 이용하여 모형토조실험을 수행하였다. 또한, 배수재 형상이나 크기에 따른 배수성능을 비교하고자 입도분포가 다른 시료에서의 유출량 결과를 비교 및 검토하였다. 정상류 상태에서 배수실험을 확인하기 위해 유출량을 측정된 결과, 모든 시료에서 최소 3분에서 최대 15분 뒤 일정한 속도로 배수되는 것을 확인하였다. 조립질 지반에서 단일 시간당 유출되는 양(단위 유출량)으로 비교한 경우, 배수재 형상과 크기에 따른 배수효과가 상이하어 배수성능에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 향후 세립질 지반에서의 배수 성능실험과 수량을 결정하기 위한 기초자료로 충분히 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**주요어** : 수평배수공, 비탈면 배수공법, 조립질 지반, 모형토조실험

## 1. 서 론

대부분 산지로 이루어진 우리나라에는 대규모 건설공사로 인해 절·성토 비탈면이 증가하고 있으며, 최근 이상기후의 영향으로 사면 붕괴빈도가 급증하고 있다. 일반적으로 강우(강우강도, 선행강우 등)로 인한 표면유실이나 지하수위 상승으로 비탈면 파괴가 발생하는 것으로 알려져 있다 (Noh et al., 2006; Lee et al., 2007; Han et al., 2009; You et al., 2010). 비탈면 안정화를 위한 보강공법 중 배수공법은 지표수 침투를 방지하거나 지하수를 배수하는 것이 목적이며, Fig. 1은 배수 방법에 따른 배수공법의 종류를 나타내고 있다. 지표수 침투 방지 목적으로는 산마루 측구, 도수로,

소단배수구 등이 있고, 지중배수공법으로는 암거, 수평배수공, 수평배수층 등이 있다.

지중배수공법인 수평배수공은 비탈면 내 존재하는 물을 중력 배수시켜 지하수위를 영구적으로 낮출 수 있는 자연유하식 공법이며, 시공속도가 빠르기 때문에 경제적·실용적인 배수공법으로 알려져 있다(Nicholson, 2014).

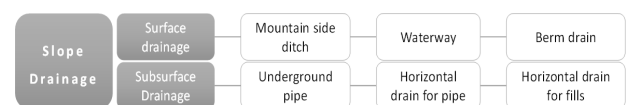


Fig. 1. Slope drainage system in accordance with purpose of dewatering

1) Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University

† Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University (Corresponding Author : jei0421@dankook.ac.kr)

2) Ph.D. Student, Department of Urban Disaster Management Engineering, Kyonggi University

수평배수공의 설계 및 시공을 위해 각국에서는 배수시설 기준을 제시하고 있으며, 국내에서는 고속도로 비탈면 관리 기관인 한국도로공사에서 제시한 기준을 활용하고 있다. 수평배수공의 시공성과 자연유하를 위한 설치각도는 5~10°이며, 예상되는 활동면에서부터 5~10m로 상향 굴착하도록 제시되어 있다. 미국의 경우, 추가적으로 1~3m의 간격마다 도로·철도 비탈면에 수평배수공을 설치하고 있다(Cornforth, 2005). 그 외 일본, 라오스와 네팔의 경우는 국내 설치기준과 큰 차이없는 설치 길이, 각도 등을 제시하고 있다. Table 1 및 Fig. 2는 국내외 기관의 수평배수공의 설계기준과 모식도를 나타

Table 1. Guidelines for Horizontal drainage in different countries

Nation	Length	Angle	Spacing	Pipe	Reference
Korea	5~10 m Through the Slip surface	5~10°	-	50~75 mm	Korea Expressway Corp. (2011)
USA	15~900 Feet	2~10°	3~10 Feet	0.01/0.02/ 0.05 inch (Slot)	Cornforth (2005)
Japan	5~10 m Through the Slip surface	5~10°	-	40 mm or more (ID)	JICA (2009)
Nepal	with in 20~50 m	5~10°	-	50~100 mm (ID)	Ministry of Physical Infrastructure and Transport (2003)
Laos	Maximum 40 m	5~10°	-	Minimum 55 mm	Ministry Of Public Works and Transport (2008)

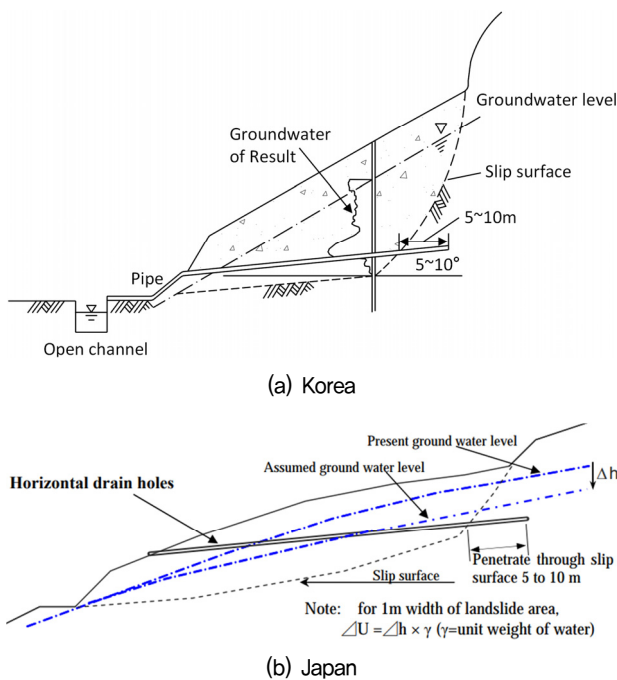


Fig. 2. Schematic diagram of horizontal drainage

냈다. 각국에서 제시된 기준의 경우 지반 종류에 따른 배수재 종류나 형식, 간격을 제시하고 있지 않아 선정 및 수량 산정에 어려움이 있다.

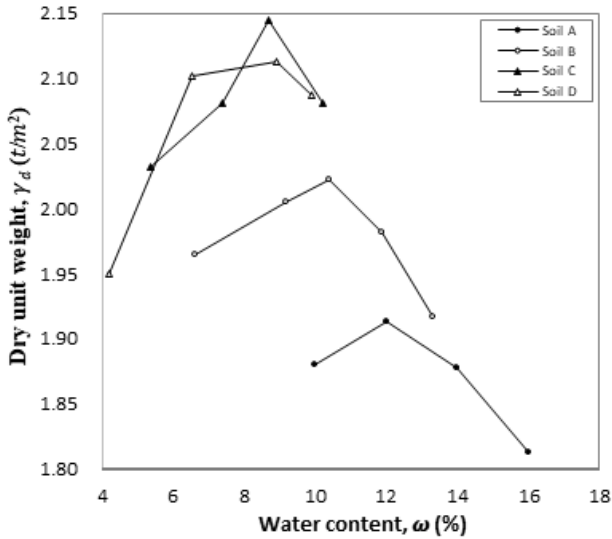
수평배수재와 관련하여, 수치해석을 통해 수평배수공의 설치로 인한 보강효과를 평가하거나 대상 지반에서의 최적화된 설치간격을 제시하기 위한 연구가 주로 수행되었다(Noh et al., 2006; Han et al., 2007; Seo, 2012). 하지만, 지반의 투수계수와 배수재 간격에 대한 연구로 배수공의 종류와 직경에 따른 배수영향은 고려되지 않았다. 이와 더불어 You et al.(2010)은 설계 시 침윤선 또는 배수를 고려하지 않는 안정성 해석으로 수평배수공의 수량을 산정하여 과대보강 발생가능성에 대해 언급하였으며, Lee et al.(2007)와 You et al.(2010)은 미흡한 설계기준으로 인해 수평배수공을 부대시설 측면으로만 고려하고, 지반조건이나 용수상태와 상관없이 획일적으로 설계하고 있어 정량적인 설계기준이 필요하다고 하였다. 선행 연구에서 파악할 수 있듯이, 수평배수재의 배수성능은 투수계수로 대표되는 지반의 특성과 배수재의 간격, 종류, 내경 등에 영향을 받게 되는데 최근 빈번히 수행되는 강우를 고려한 불포화 사면안정해석에서 설치된 수평배수재의 물성을 정확히 특정할 수 없어 해석의 신뢰성 확보에 어려움이 있다.

따라서, 본 연구에서는 배수재의 종류 및 관 내경과 지반 특성이 수평배수재의 배수성능에 미치는 영향을 실내실험을 통해 규명하고자 한다. 실험조건은 입도분포가 다른 현장토와 국내에서 보편적으로 사용하는 배수재 세 종류를 내경(Inside Diameter, ID) 크기로 구분하여 적용하였다. 수평배수재의 배수성능은 유출량 변화를 각 배수재와 비교하여 분석하였다.

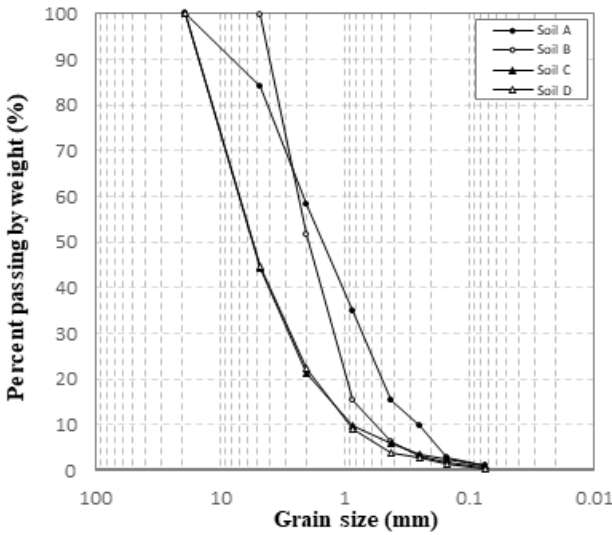
## 2. 실험 내용 및 배수성능 비교방법

### 2.1 시료

본 연구는 다양한 수평배수공의 배수성능과 영향인자에 대한 메커니즘을 규명하고자 실시하는 것으로, 지반 특성(입도분포, 투수계수 등)에 의한 영향을 파악하기 위해 조립질인 현장토로 선정하였다. 모형 조성과 수치해석을 수행하기 위한 지반물성을 확보하기 위해 입도분포와 다짐시험을 수행하였고, 그 결과는 Fig. 3과 같다. 각 시료의 최대 건조단위중량은 18~21kN/m<sup>3</sup>, 최적 함수비는 8~12%로 모두 단일 정점곡선형으로 나타났다(Fig. 3(a)). 시료 A에서 D로 갈수록 건조단위중량은 증가하고 최적 함수비는 작아지는 경향으로 조립토의 성질이 더욱 띄는 것으로 확인되었다. 하지만,



(a) Compaction curve



(b) Grain size distribution curve

Fig. 3. Physical properties of test soils

교란상태로 채취한 현장토를 지반 조성하기 위해서는 국내 현장의 다짐 시공기준인 노체의 경우 90% 이상, 노상 또는 뒤채움 재료는 95% 이상 수준으로 다짐을 수행해야 하나 실내시험의 다짐 효율을 위해 상대 다짐도 80% 조건에서 수행하였다.

$$R_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_{dmax}} \times 100 \quad (1)$$

Fig. 3(b)은 체가름 시험에서 획득한 입도분포곡선이며, 굵은 입자가 많은 시료일수록 아래로 블록하게 분포하고 있다. 하지만 C와 D의 입도분포곡선의 경향이 유사하여 흙 입자의 유효입경( $D_{10}$ ) 크기순으로 시료 A~D를 결정하였다.

Table 2는 실험결과를 통해 현장토의 공학적 특성을 요약한

Table 2. Summary of physical properties of test soils

Category	Soil A	Soil B	Soil C	Soil D
Maximum dry unit weight, $\gamma_{dmax}$ ( $kN/m^3$ )	18.8	19.8	21.0	20.8
Optimum Moisture Content, OMC (%)	11.6	10.5	8.9	8.0
$D_{10}$ (mm)	0.254	0.604	0.865	0.944
$D_{30}$ (mm)	0.744	1.316	3.048	2.961
$D_{60}$ (mm)	2.174	2.470	8.809	8.754
Uniformity coefficient, $C_u$	8.6	4.1	10.2	9.3
Coefficient of curvature, $C_g$	1.0	1.2	1.2	1.1
Unified Soil Classification System, USCS	SW	SW	GW	GW



(a) Soil A

(b) Soil B



(c) Soil C

(d) Soil D

Fig. 4. Prepared soils for testing

표이다. 시료 A~D의 유효입경은 각각 0.25, 0.6, 0.87, 0.94 mm이며, 통일분류법상 균등계수 및 곡률계수에 따라 흙을 분류하였다(ASTM D2487). 모형실험으로 수행한 시료의 종류는 크게 두 가지로 구분되는데, Fig. 4(a)와 (b)는 입도분포가 좋은 모래(Well-graded sand)로 분류하였고, Fig. 4(c)와 (d)는 입도분포가 좋은 자갈(Well-graded gravel)로 모든 시료의 200번 체 통과량은 50% 미만인 조립토로 확인하였다.

## 2.2 모형토조 및 수평배수재

본 연구에서는 영향 인자(지반특성과 배수재의 종류, 크기)에 따른 영향을 분석하기 위해 직육면체 모형토조를 이용하여 실내모형실험을 수행하였다. 모형토조의 크기는 Fig. 5와 같이 가로 500mm, 세로 1,000mm, 높이 500mm이며 투명한 아크릴판을 사용하여 적절한 다짐 여부와 배수 여부

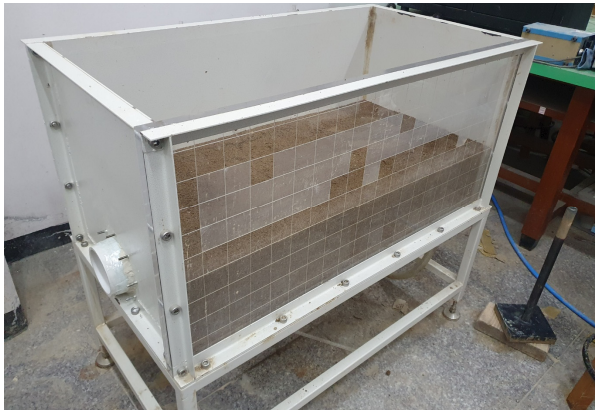
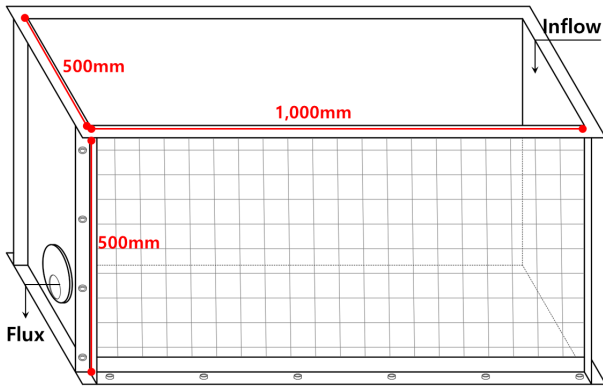


Fig. 5. Laboratory model box for testing

를 시각적으로 확인할 수 있다. 또한, 지하수의 침투영향을 고려하여 관의 좌우 범위를 최소 2.0D, 최대 4.5D로 설정하였다. 현장에서 수평배수공을 시공하기 위해서 비탈면 방향으로 천공하는 방식이지만, 원활한 실험을 위해 먼저 관을 넣고 다짐하는 방식으로 제작된 모형토조이다.

배수재는 국내에서 보편적으로 사용하는 수평배수재로 원형과 사각형 구멍의 형태를 가진 유공관과 S형 다발관으로 적용하였다. Fig. 6(a)은 9mm의 원형 구멍이 44개를 가진 원형 유공관이며, 천공률이 각각 0.8%, 1.5%에 해당하는 내경 50, 100mm를 사용했다. Fig. 6(b)은 2mm×80mm의 사각형 구멍이 24개이며 천공률이 내경 50, 100mm일 때 각각 1.2%, 2.5%인 사각형 유공관이다. Fig. 6(c)은 S형 다발관이며, 다른 배수재의 내경 50, 100mm일 때 동일한 조건을 만족하기 위해 다발관의 개수를 각각 6, 21개로 선정하였다.

### 2.3 실험 방법

본 연구에서는 수평배수재의 배수성능 비교로 매개변수의 조건에 따른 영향을 파악하기 위해 모형토조실험을 진행하였다. 수평배수재의 실험 방법은 국내 고속도로 구간의 비탈면의 수평배수공의 시공지침을 바탕으로 수행하였다(Korea Expressway Corp., 2011). Fig. 7은 각 배수재의 배수성능 평가를 위한 실험 과정을 나타낸 개요도이다.

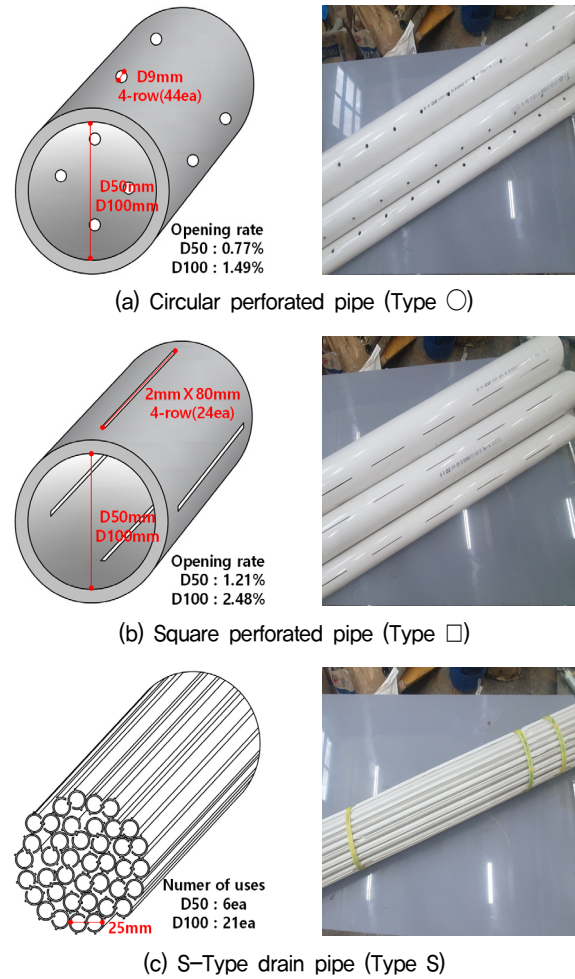
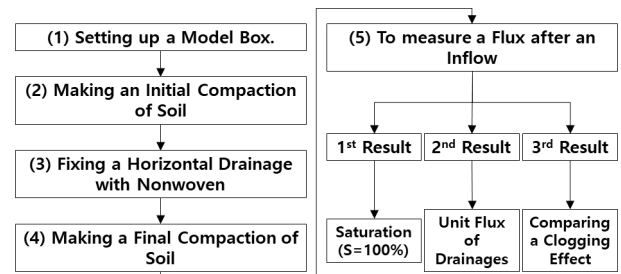
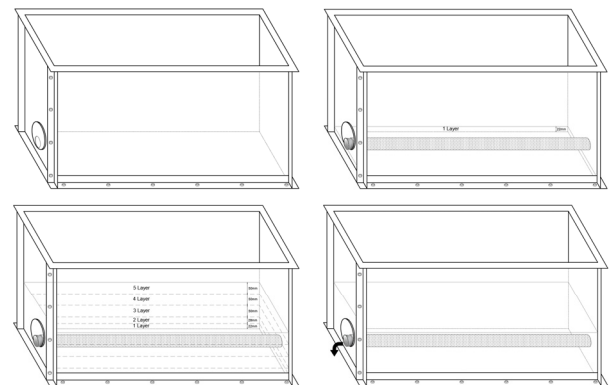


Fig. 6. Type of horizontal drainage for testing



(a) Mimetic diagram



(b) Flow chart

Fig. 7. Procedure of Drainage Performance Evaluation



실험 과정은 Fig. 7(a)의 순서로 크게 실험 전 준비, 지반 조성, 그리고 배수성능 평가로 구분하였다. 실험 전 준비단계는 토조의 수평을 조정하고, 관을 넣을 수 있는 높이(22mm)까지 자연 건조된 시료를 다짐하여 조성하였다. 또한, 배수재의 손상 및 이물질의 유입이 없게 부직포를 두 바퀴 이상 감아 결속하였다.

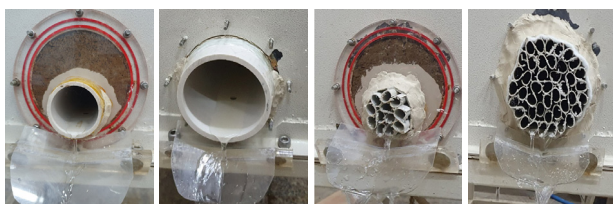
지반 조성단계는 배수재를 고정하고 목표 높이(200mm)까지 80%의 상대 다짐도로 층 다짐하였다(Fig. 7(b)). 또한, 표층에 세굴방지 목적으로 필터페이퍼를 이용하여 상부에서 물을 유입시켜 유출량을 확인하였다.

배수성능 평가를 위해 실험은 배수구 입구를 마개로 막고 최소 15분 ~ 1시간 동안 안정화시켜 지층 내 포화상태를 조성하여 1차 배수실험을 수행하였고, 이후 일정 높이까지 물(88.8g/sec)을 유입 및 정상류 조건으로 배수시켰다. 또한, 수밀성을 위해 배수구 주변 틈을 Kaolinite로 처리하고, 하단에는 20,000g의 용량의 전자저울로 유출량을 측정하여 최대 용량에 도달될 경우 실험을 종료하였다. Table 3은 관의 종류 및 크기, 흙 시료의 종류로 구분하여 실험조건을 정리한 표이다.

각 시험 조건마다 총 3번의 배수실험을 수행하였다. 첫 번째 배수실험은 조성된 지반을 포화시키기 위해 배수실험을 수행하였다. 두 번째 실험결과는 각 수평배수재의 유출량을 비교 및 분석하였다. 세 번째 배수실험 수행 완료 후 부직포 막힘 현상(Clogging)을 확인하고자 실험 전 후 부직포 무게를 비교하였다. Fig. 8은 배수구에서 유출되고 있는 모습을 나타낸 그림이다.

Table 3. Case conditions of testing

Soil	Horizontal drainage (Type/size)					
	○ 50	○ 100	□ 50	□ 100	S 50	S 100
A	Case 1	Case 5	Case 9	Case 13	Case 17	Case 21
B	Case 2	Case 6	Case 10	Case 14	Case 18	Case 22
C	Case 3	Case 7	Case 11	Case 15	Case 19	Case 23
D	Case 4	Case 8	Case 12	Case 16	Case 20	Case 24



(a) Circular perforated pipe (Type ○) (b) S-Type drain pipe (Type S)

Fig. 8. Appearance of outlet by testing

### 3. 실험결과

#### 3.1 시간-유출량

본 연구에서는 배수성능을 비교하기 위해, 수평배수재 종류에 따라 조립토 지반으로 조성한 모형토조에서 정상류 상태의 배수실험을 수행하였다. 수평배수재의 유출량을 비교하기 위해서는 배수구 하단에 전자저울을 설치하여 시간에 따른 유출량을 측정하고 그 결과를 분석하였다. 2차 배수실험의 시료 B~D는 목표 유출량에 도달할 때까지 걸리는 시간은 최소 3분에서 최대 15분 정도로 나타났다. 하지만, 시료 A는 다른 시료에 비해 유출량이 적어서 유출수 발생 15분 후에 일정하게 물이 배수된 것으로 판단되어 실험을 종료하였다.

Fig. 9는 수평배수재의 두 번째 배수실험 결과로, 시간과 유출량의 관계를 시료 종류로 구분한 것이다. 시료 A에서 실험을 수행한 결과, 대부분 수평배수재는 약 5분 동안 누적 유출량이 2,000g 이내 발생하였고 다른 시료의 유출량보다 약 67~90% 적은 것으로 나타났다(Fig. 9(a)). 또한, 시료 B와 C에서는 동일 시간 대비 수평배수재의 유출량의 차이가 약 10,000g 정도 발생하여 배수재 종류에 의한 영향인 것으로 파악되었다(Fig. 9(b), (c)). 하지만 시료 D에서 유출량의 차이는 급격히 줄어들어 대부분 배수재의 유출량 경향은 비슷한 것으로 판단된다(Fig. 9(d)).

수평배수재의 종류 및 내경 크기 변화에 따른 유출량 영향을 알아보기 위하여 Fig. 10과 같이 구분하였다. 기울기의

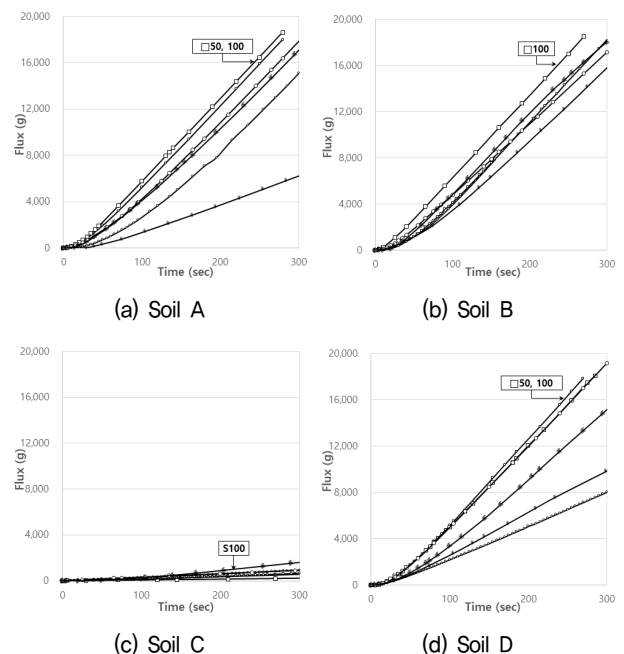


Fig. 9. Time-Flux curves of soil type

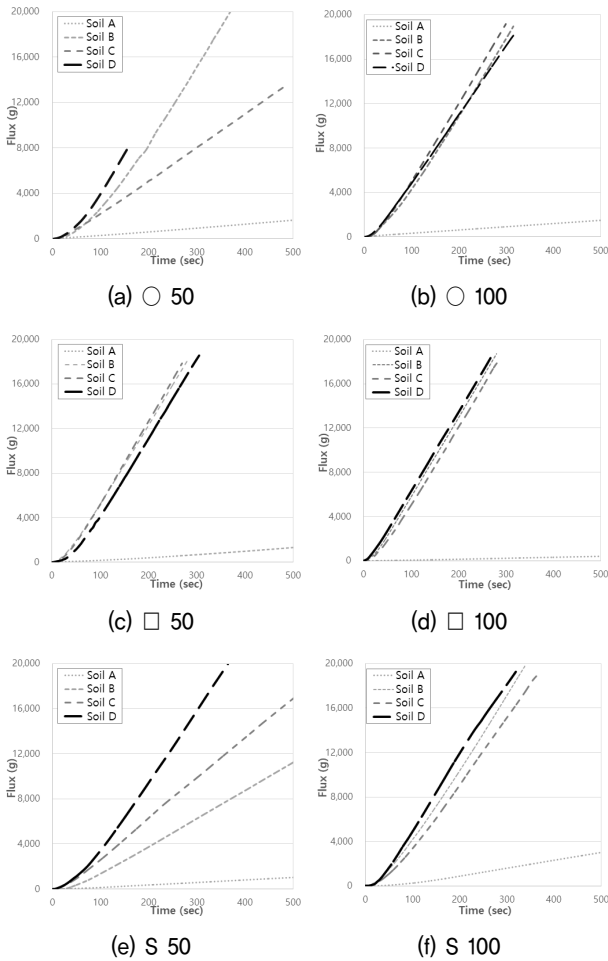


Fig. 10. Time-Flux curves of drainage type

정도에 따라 배수성능을 비교한 결과, 시료 A에서는 비교적 완만한 기울기를 보이지만, 시료 B~D는 배수재 종류에 따라 차이가 나타났다. 특히 원형 유공관(Fig. 10(a), (d))과 S형 다발관(Fig. 10(c), (f))일 경우, 내경 50mm일 때 100mm에 비해 유출량 변화량이 크게 나타났다. 그러나 사각형 유공관의 경우, 유출량의 기울기에 내경 크기가 미치는 영향은 거의 없는 것으로 보인다(Fig. 10(b), (e)).

### 3.2 단위 유출량

본 연구에서는 각 수평배수재의 종류 및 흙의 특성에 따라 실측한 유출량을 단위 시간당 유출되는 질량 유량인 유출량으로 산출하였다. 그리고 일정한 값으로 수렴할 때의 유출량을 수평배수재의 단위 유출량으로 정의하였다.

$$Unit\ Flux\ (g/sec) = \frac{Flux\ (g)}{Time\ (sec)} \quad (2)$$

Table 4는 시료의 종류에 따라 배수재 종류와 관 내경으로 구분하여 단위 유출량을 정리한 표이다. 표에서 알 수

Table 4. Summary of the tested unit flux of drainage at soil types

Soil	Unit flux (g/sec)			
	Soil A	Soil B	Soil C	Soil D
○ 50	3.43	54.00	27.94	53.62
□ 50	3.17	64.43	66.15	60.81
S 50	2.10	23.22	33.78	54.68
○ 100	2.98	60.18	63.84	57.48
□ 100	1.06	66.76	63.51	68.74
S 100	6.39	58.50	52.11	60.44

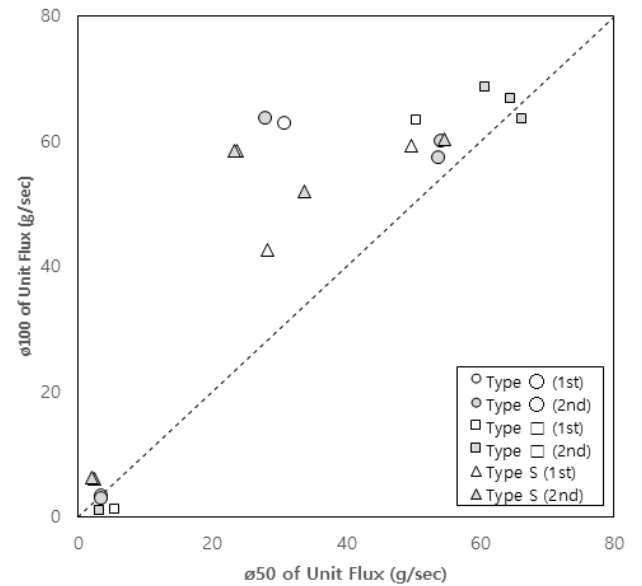


Fig. 11. Unit flux of drainage type

있는 것처럼 원형 및 사각형 유공관은 시료 A의 경우 50mm일 때 100mm 대비 유출효과가 각각 약 1.2, 3.0배 우수하며, 시료 B~D의 경우 비교적 큰 차이가 없는 것으로 보인다. 반면, S형 다발관은 시료 A의 경우 유출효과는 100mm일 때 약 3배 뛰어난 것으로 보인다. 또한, 시료 D로 갈수록 50, 100mm의 S형 다발관의 유출량의 차이는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 수평배수재의 형상과 내경이 배수성능에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

## 4. 결론 및 고찰

조립질 지반에서의 수평배수재 종류가 배수성능에 미치는 영향을 확인하기 위해 배수재의 형상 및 내경 크기를 변화시켜 모형토조실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 입도분포가 다른 현장토로 조성한 모형토조에서 정상류 상태에서 배수실험을 수행하였고, 배수재를 통해 나오는

유출량 변화를 전자저울을 사용하여 배수성능을 측정할 수 있었다.

- (2) 정상류 상태에서 유출량을 확인하기 위한 첫 번째 실험 이후, 시료 A~D로 조성된 배수재의 초기 시점에는 낮은 양의 물이 측정되었다. 이는 지반과 접해있는 부직포가 포화되어 관의 slot으로 이동하면서 낮은 양의 물이 유출되기 때문인 것으로 보인다. 그 후 측정되는 유출량은 최소 3분에서 최대 15분 뒤 목표에 도달하였다.
- (3) 시료의 종류에 따른 수평배수재의 유출량을 비교한 결과, 동일시간(5분)에 측정된 시료 A의 유출량은 다른 시료 대비 약 67~90% 적은 것으로 나타난 것으로 보인다. 시료 B의 경우 A와 동일한 모래질 흙(SW)으로 구분하였지만, 자갈질 흙(GW)인 시료 C와 D의 단위유출량과 유사한 결과를 보인다. 이는 조립토의 특성(유효입경 등)이 수평배수재의 배수성능에 영향을 미치는 것으로 판단되었다.
- (4) 배수재의 내경 크기에 따라 단위 유출량을 비교한 결과, 시료 A에서 모든 Type의 내경에 따른 유출 효과는 약 1.2~3배 정도이며 시료 B~D의 경우 다소 감소하는 것으로 보인다. 이는 평균 입자 크기가 큰 시료에서 배수재 내경 크기의 영향은 미미한 것으로 보인다.
- (5) 입도분포에 따라 현장토를 구분하여 모형 토조 내 수평 배수재의 시간에 따른 단위 유출량을 측정하였다. 국내 다수 사용하고 있는 배수재의 형상과 내경 크기가 배수성능에 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 실제 현장은 조립질뿐만 아니라 세립질 지반으로도 구성되어 있어 향후 추가적인 배수성능실험과 배수재의 수량 산출을 위한 수치해석의 매개변수를 특정화하기 위한 연구가 필요할 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단 이공분야 대학중점연구소지원 사업의 연구비 지원 (NRF-2018R1A6A1A07025819) “ICT 융복합 기존건축물 내진리모델링 기술 개발”과 한국도로공사 도로교통연구원의 연구비 지원 “비탈면 붕괴원인 분석 및 관리방안”에 의해 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

## References

1. ASTM (2020), Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), D18.07. ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI:10.1520/D24787-17.
2. Cornforth, D. (2005), Landslides in Practice, Wiley, pp. 316~322.
3. Han, S. S., Baek, Y., Kwon, O. I., Lee, K. I., Chae, Y. S. and Kim, Y. N. (2007), A model test of upward soil nailing technique combined with horizontal drainage system by limit equilibrium analysis, Korean Geo-Environmental Society, Vol. 2007, pp. 125~130 (In Korean).
4. Han, J. G., Shin, J. O., Hong, K. K., Jung, S. K., Lee, Y. K. and Kim, B. S. (2009), A case study on application of dewatering method for slope stability, Korean Geosynthetics Society, Vol. 8, No. 1, pp. 61~66 (In Korean).
5. His Majesty's Government of Nepal Ministry of Physical Planning and Works Department of Roads (2003), Guide to road slope protection works, pp. 1~14.
6. Japan International Cooperation Agency (2009), The Study on Disaster Risk Management for Narayangharh-Mugling Highway Technical Guide, pp. 1~12.
7. Korea Expressway Corporation research Institute (2011), 깎기 비탈면 수평배수공 설계 및 시공지침 (In Korean).
8. Lee, S. H., Chun, S. R. and Jeong, S. J. (2007), A study on problem and improvement of drainage material for current slope horizontality drainage existence, Korean Geo-Environmental Society, Vol. 2007, pp. 341~345 (In Korean).
9. Ministry Of Public Works and Transport (2008), Slope Maintenance Manual, pp. 36~40.
10. Nicholson P. (2014), Soil Improvement and Ground Modification Methods, Elsevier Science, pp. 172~180.
11. Noh, H. J., Lee, S. H., Hwang, Y. C. and Chun, S. R. (2006), A study on variation of slope stability ratio by slope horizontality drainage existence, Korean Geo-Environmental Society, Vol. 2006, pp. 395~400 (In Korean).
12. Seo, W. M. (2012), Engineering Analysis of Penetration and Ground Condition according to Horizontal Drainage System Construction, Master of Science in Civil Engineering, Hanyang University, pp. 1~62 (In Korean).
13. Transport for NSW (2022), Horizontal drains, pp. 1~8.
14. You, B. O., Shim, J. W., Han, W. J. and Park, H. G. (2010), The actual construction conditions of horizontal drainage hole in cut slopes, Korean Geo-Environmental Society, Vol. 2010, No. 5, pp. 288~302 (In Korean).