

## 조립 Filter내에서 세사의 이동현상에 대한 비교분석

金顯起 · 權武男

경북대학교 농과대학 농업토목공학과

### Comparison & Analysis for Fine Sand Migration in Filter

Hyun-Ki KIM · Moo-Nam KWON

*Dept. of Agricultural Civil Engineering, College of Agriculture,  
Kyungpook National University, Taegu KOREA*

#### Abstract

This experiment did comparison and analysis that protected soil particle migration have affect on function of the filter and therefore fall function of the filter. Results obtained are as follows: 1. High water head makes to be much movement of fine sand and out flow of particle to the outside. The filter have large opening size that reached stability an early stage, but much fine sand is washed away. If the velocity turns fast and becomes small, blocking phenomenon is remarkable nearby the filter-sand interface. 2. The movement of fine sand that effect on function of filter depend on opening size and change of water head. Under the same condition, USCE filter and USSPL filter is reached earlier than other filter that is stability of stage, because it's opening size is large. 3. Residual quantity of fine sand migration was largely come out in order of USSPL, USCE, USBR, Newton & Hurley, Bertram filter. 4. The time required to stability of flow was taken less in order of Bertram, Newton & Hurley, USBR, USSPL, USCE filter and coefficient of permeability was highly come out in order of USBR, Bertram, Newton & Hurley, USSPL, USCE filter. 5. It proved that USCE and USSPL is suitable for the filter criteria.

---

Key words : Filter, Migration, Protected Soil, Blocking, Clogging

## I. 서 론

필터재료는 투수성이 크게 다른 두가지의 재료(불투수성zone과 투수성 또는 반투수성 zone)의 중간에 설치하여 침투수에 의한 불투수성 재료의 유실을 방지하고 침투수를 완전히 배출 유하시켜 관공작용등에 의한 침투파괴를 방지하기 위하여 필터로서 사용하는 사례재료이다.

일반적으로 침투수는 토공구조물내의 불투수성 중심점토를 통과하여 필터를 통해 구조물의 외부로 배출된다. 이때 필터는 구조물내를 흐르는 침투수를 가급적 빨리 구조물 외부로 배출시키고 침투수로 인한 미세한 토립자의 이동을 막는 기능을 가지고 있다.

이러한 필터에 관한 연구는 여러학자에 의하여 다양적으로 수행되어 왔다. Terzaghi (1922)<sup>8), 16), 19), 21)</sup>는 이론과 경험을 바탕으로  $D_{15F}/D_{85B} \leq 4$ ,  $D_{15F}/D_{15B} \geq 4$ 이라는 기준을 발표하였고, Bertram(1940)<sup>8), 16), 19), 21), 22)</sup>은 실험실내에서 모래에 대한 연구로  $D_{15F}/D_{85B} \leq 6$ ,  $D_{15F}/D_{85B} \leq 9$ 라는 기준을 발표하였으며, Newton & Hurley(1940)<sup>19), 21)</sup>는  $D_{15F}/D_{85B} \leq 32$ ,  $D_{15F}/D_{85B} \leq 15$ 인 기준을 발표하였다. 그 외에도 USACE-

WES(1941, 1955)<sup>8), 16), 19)</sup>, USBR(1947)<sup>8), 19), 21)</sup>, Sherard(1963)<sup>11), 19)</sup>, Vaughan(1978)<sup>19)</sup> 등에 의하여 여러 설계기준들이 제시되었다. 위의 기준들에 의하면 필터의 재료는 보호되는 흙보다 10~100배의 투수계수를 가지는 것이 좋은 것으로 추천되고 있다. 이와같이 투수계수가 커지면 필터사이의 공극 또한 커지게 되는데 이로 인하여 보호되는 흙의 미세한 토립자가 필터내로 이동하게되고 필터의 공극을 막아 구멍막힘현상이 일어나게 되므로 필터의 기능을 저하시키는 동시에 구조물에 안전상 중요한 문제들을 야기시킨다.

이에 본실험에서는 모형실험을 통하여 필터를 통과한 침투수의 배출시 발생하는 바닥총세사의 이동을 관찰하여 필터의 적정 조건 및 각 필터별 모래입자의 이동에 관한 특성을 조사하고 여러가지 필터 설계기준과 비교분석하기 위하여 수행되었다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

본실험에서 사용된 재료는 Table 1의 Bertram,

Table 1. Filter Design Criteria

AUTHOR	BASE MATERIAL	FILTER MATERIAL	CRITERIA DEVELOPED
Bertram	Find sand	Uniform sand	$D_{15} / d_{15} \leq 9$ $D_{15} / d_{85} \leq 6$
Newton & Hurley	Well graded gravelly sand	Natural bank gravels, fairly uniform fines	$D_{15} / d_{15} \leq 32$ $D_{15} / d_{85} \leq 15$
U.S. Corps of Engineers	Random material all types	Random type natural pit-run gravels	$4 \leq D_{15} / d_{15} \leq 20$ $D_{15} / d_{85} \leq 6$
U.S. Soils and Paving Laboratory	Random material all types	Random type natural pit-run gravels	$4 \leq D_{15} / d_{15} \leq 20$ $D_{15} / d_{85} \leq 6$
U.S. Bureau of Reclamation	Various ranges including uniform material	Artificial uniform filters	$6 < D_{15} / d_{15} < 18$ $5 < D_{15} / d_{85} < 10$

Table 2. Physical Properties of Filters and Base soil

Classification	Base Soil	Filters				
		Bertram	Newton & Hurley	USCE	USBR	USSPL
Scope of particle size(mm)	0.05~0.4	0.5~4.76	0.5~2.2	0.52~20.8	0.5~3.0	0.9~5.0
G	2.363	2.586	2.577	2.688	2.582	2.586
K(cm/sec)	0.01608	0.30392	0.24957	0.32619	0.28160	0.31002
C <sub>u</sub>	1.89	2.23	1.71	4.78	2.24	1.84
C <sub>g</sub>	1.62	1.11	0.93	1.30	1.16	1.05
D <sub>15</sub>	0.088	0.9	0.79	1.19	0.841	1.19
D <sub>50</sub>	0.142	1.63	1.13	3.64	1.48	3.64
D <sub>85</sub>	0.22	•	•	•	•	•

G : Specific Gravity

C<sub>u</sub> : Coefficient of Uniformity

D<sub>15</sub> : Dia. of 15% Passing(mm)

D<sub>50</sub> : Dia. of 50% Passing(mm)

K : Coefficient of Permeability

C<sub>g</sub> : Coefficient of Curvature

D<sub>85</sub> : Dia. of 85% Passing(mm)

Newton & Hurley, USCE(U.S. Corps of Engineers), USSPL(U.S. Soils and Paving Laboratory), USBR(U.S. Bureau of Reclamation)에서 정한 필터기준에 맞도록 입도를 조정한 5종의 필터재와 1종의 세사를 사용하였다.

그 물리적 성질은 Table 2와 같으며 입도분포곡선은 Fig. 1과 같다.

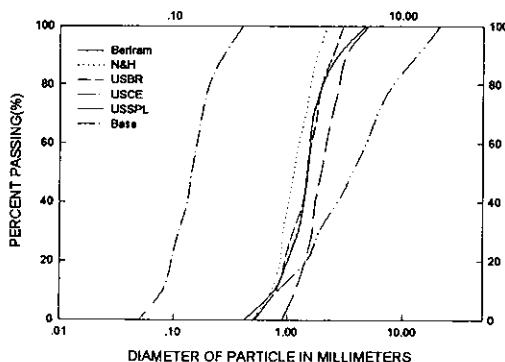


Fig. 1. Particle size distribution curve of Tested Soils.

## 2. 실험방법

### 1) 실험장치

실험장치는 Fig. 2와 같이 투명 아크릴판을 사용하여 L자형으로 제작하였으며, 그림에서 보는 바와같이 수평부는 필터재와 세사를 충전하는 부분으로 30 cm × 30 cm의 단면에 길이 130 cm로 되어있으며, 세사 윗부분은 일정수두의 물을 공급 할 수 있도록 단면 25 cm × 30 cm, 길이 70 cm의 수조로 구성하였다. 또한 수조상부에서 10 cm와 20 cm 위치에 직경 2 cm의 배출구를 두어 수두를 90 cm와 80 cm로 변화시키고 과잉수량을 배출 시킬 수 있도록 하였다.

A부분은 세사를 충전하는 부분이고 B부분은 필터를 충전하는 부분으로 A와 B 사이에는 세사와 필터재를 분리시켜 놓을 수 있도록 망을 설치 하였다. 필터내에서 세사의 이동으로 인한 손실수두를 측정할 수 있도록 B부분 윗판에 직경 2 cm의 투명 플라스틱파이프로 된 피에조미터를 필터와 모래의 접촉면에서

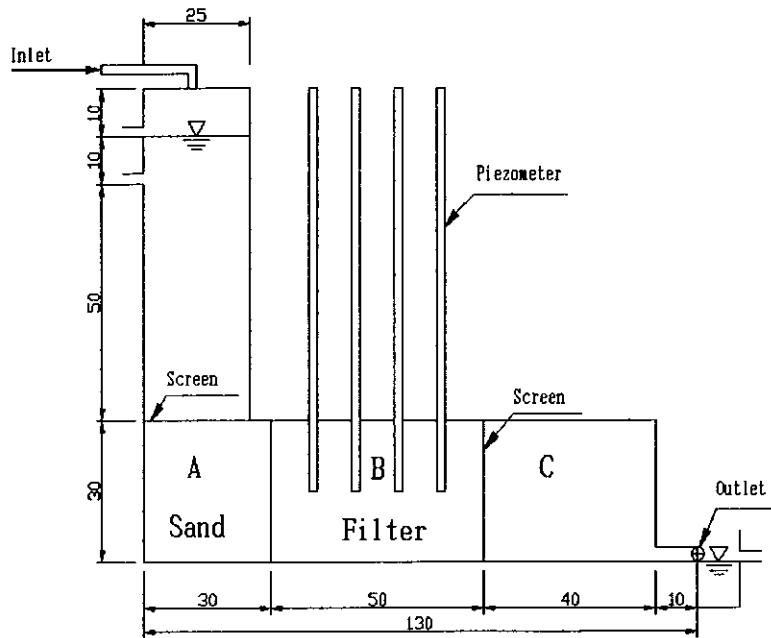


Fig. 2. Schematic Diagram of Experimental Equipment. (unit : cm)

각 10 cm 간격으로 4개를 설치하였고 필터재를 장치에 넣거나 필터내부로 이동한 세사량 측정을 위한 필터재를 채취할 수 있도록 B부분 뒷면을 탈착식으로 하였다. C는 저류부분이며 B와 C사이에는 두께 1 mm의 철판에 직경 3 mm의 구멍을 망과 같이 전체에 걸쳐 뚫은 Screen을 설치하였다.

물이 토조내를 완전히 포화시키고 정상흐름이 계속되는 동안 완전포화상태에서 물을 배출 시킬 수 있도록 하기 위하여 배출구에 밸브를 설치하였다.

## 2) 실험방법

Fig. 2와 같은 실험장치를 사용하여 A에는 세사를 충전하고 B에는 입도를 조정한 필터재를 충전하여 필터를 현장상태로 하기 위하여 필터재를 직경 1 cm의 동봉을 사용하여 내부의 공극이 최소의 상태가 되도록 다진 후 물을

넣을 때 A의 세사 상부에는 세사의 교란과 부유방지를 위하여 보호망을 설치하여 실험을 실시하였다.

하부 배출구의 밸브를 잠근 후 수조에 물을 공급하여 A, B, C가 모두 포화된 후 밸브를 열어 물을 배출 시키면서 수조의 수위가 안정된 후부터 배수량을 측정하는 동시에 Piezometer의 눈금을 읽었다. 최초 측정 후 30분 간격으로 측정하여 Piezometer의 눈금이나 배출량이 일정하게 된 후 물의 유입을 중지하며 원통형 채취기로 필터재를 Filter-Sand면으로부터 10 cm간격으로 채취하여 노간조 시킨 후 필터내로 유입된 세사량을 측정하였다.

여기서 얻어진 데이터들을 이용하여 각 필터별 세사의 이동으로 인한 각 조립필터의 유량변화, 수두변화 및 세사의 이동등을 비교분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 시간의 변화에 따른 필터내 흐름의 안정성

Fig. 3은 각 필터별로 수평흐름에서 시간의 변화에 따른 흐름의 안정이 안정되어가는 현상을 2가지 수두 상태하에서 투수계수의 값으로 나타낸 것이다.

##### 1) 수두가 90 cm일 때

Fig. 3에서 a)는 상류수조의 수두가 90 cm일 때의 투수계수의 경시변화를 나타낸 것이다. 각 필터들의 투수계수가 안정되어 일정해지는 테 소요되는 시간이 Bertram, USBR, Newton & Hurley의 설계기준 필터에서는 10시간, USSPL 필터는 9시간, USCE 필터는 8시간 30분정도 소요되었다. 이것은 USCE와 USSPL

필터가 Bertram, USBR, Newton & Hurley 필터들 보다 공극이 더 크기 때문에 필터의 투수계수에 영향을 주는 구멍막힘현상과 Blocking 현상이 더 빨리 발생한 것으로 생각된다.

초기에 USCE 필터는 투수계수의 감소율 변화가 처음 1시간 30분동안 크게 나타났고 그 이후는 완만해 졌으며, USSPL 필터도 투수계수의 변화가 이와 유사한 양상을 보였다. 이것은 공극의 크기가 크기 때문에 초기에 세사의 이동이 많이 일어남으로 인하여 투수계수의 감소율이 크게 나타난 것으로 생각된다. Newton & Hurley, Bertram, USBR 필터는 투수계수의 감소율 변화가 거의 일정하였으며 그 변화의 양상이 유사하였다. 이것은 필터내의 공극 크기가 작기 때문에 세사의 이동이 적어 필터내 구멍막힘현상과 Blocking현상이 서서히 일어나기 때문인 것으로 생각된다.

##### 2) 수두가 80cm일 때

Fig. 3의 b)는 상류수조의 수두가 80 cm일 때 각 필터들의 투수계수의 경시 변화를 나타낸 것이다.

투수계수가 일정해지는 시간은 Bertram, Newton & Hurley, USBR 필터가 약 13시간, USSPL 필터는 약 11시간 30분, USCE 필터는 약 9시간 30분 정도 소요되었다. 수두가 90 cm일때와는 달리 5가지 필터들의 감소율이 거의 유사함을 볼 수 있다. 특히, USCE 필터의 경우 초기에 급격한 투수계수변화가 나타나지 않음은 주목할 만한 사실이다. 이러한 현상은 상류수조의 수두를 감소시키면 세사의 입자이동이 서서히 일어나며 Blocking현상과 구멍막힘현상이 수두 90 cm일때보다 더 많이 발생함을 알수 있었다. 또한 Bertram, Newton & Hurley, USBR 필터들의 투수계수는 거의 유사하게 나타났다. 이것은 필터의 입도분포가

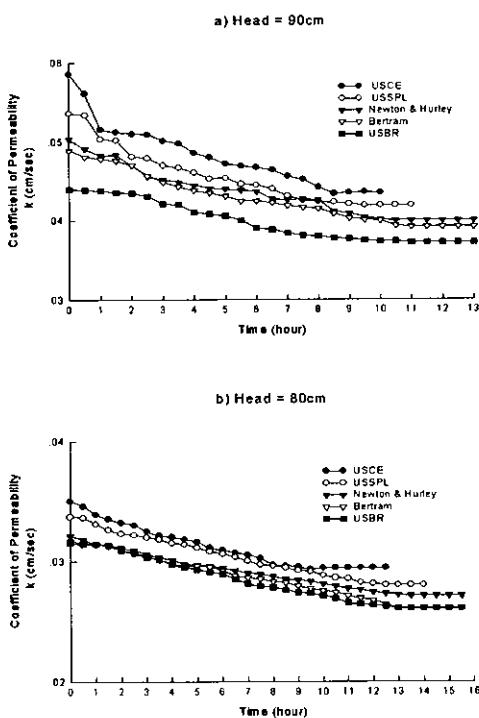


Fig. 3. Flow stability of each Filters.

거의 유사하여 공극의 크기가 비슷하며 상류 측 수두의 저하로 유입유량의 감소로 인하여 입자이동량이 감소된 것으로 추정된다.

## 2. 필터내에서 세사의 이동양상

Fig. 4는 수두가 90 cm, 80 cm일 때 5종의 필터에 대하여 흐름이 안정된 후 필터내로 이동하여 잔류한 세사를 전체 세사의 중량에 대한 %로 나타낸 것이다.

### 1) 수두가 90 cm인 경우

Fig. 4의 a)에서 USCE와 USSPL 필터내의 세사의 이동현상은 이들의 공극이 Bertram, Newton & Hurley, USBR 필터들 보다 크기

때문에 세사가 이동하여 Blocking현상 보다는 필터내에서 구멍막힘현상을 발생시키고 멀리 이동한 입자는 필터외부로 유출수와 함께 유출된 것으로 생각된다. 또한 필터와 모래의 접촉면에서 10 cm떨어진 곳에서 세사의 이동 잔류량은 USCE가 많았으나 20 cm이상부터는 더 적은 것으로 나타났다. 이것은 USCE 필터의 공극이 크기 때문에 필터와 모래의 접촉면에서 멀리 떨어진 곳에서는 잔류하는 입자보다는 유출되는 입자가 더 많기 때문인 것으로 추정된다.

Newton & Hurley 필터 세사 이동의 감소율은 세사로부터 거리가 멀어질수록 급격하게 커지는 것으로 이것은 필터내 공극이 미세하며 다른 필터들에 비하여 투수계수가 작아 세사 입자가 필터내로 유입되는 것보다 필터와 모래의 접촉면의 인접한 곳에서 Blocking현상이 많이 발생되어 필터내에서의 구멍막힘현상이 크게 발생한 것으로 생각된다. Bertram과 USBR 필터에서의 세사의 이동은 거의 유사한 것으로 나타났다.

### 2) 수두가 80 cm인 경우

Fig. 4의 b)에서 5종의 필터 모두 필터내 세사의 이동잔류량은 수두가 10 cm 감소함으로 인하여 이동잔류한 양도 감소하는 것으로 나타났다.

수두가 80 cm일 때 세사의 이동 감소율이 크게 나타났던 USCE 필터는 그 이동 감소율의 변화가 크게 나타났고 USSPL 필터의 이동잔류량 또한 수두 90 cm일 때와는 달리 필터와 모래의 접촉면으로부터 거리가 멀어져도 그 이동잔류량이 USCE보다 적게 나타났는데 이것은 수두가 10 cm저하되어 유속이 감소하여 공극이 비교적 큰 USCE 필터에서 세사가 유출되지 않고 그대로 필터내에 잔류한 것으로 생각된다. 또한

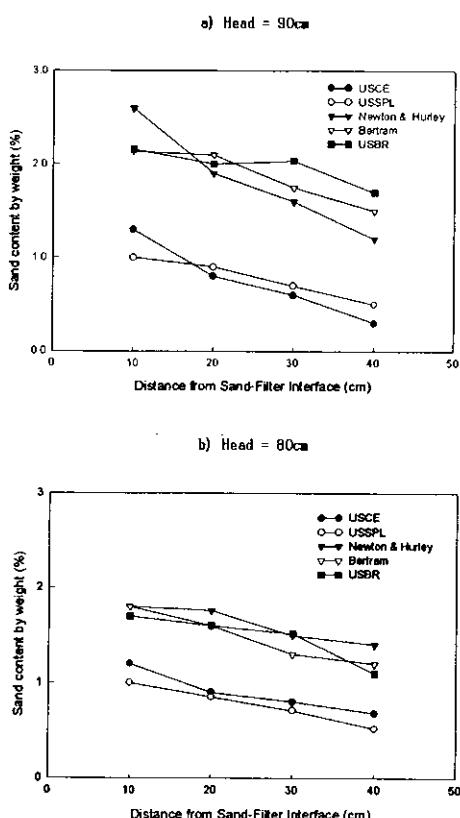


Fig. 4. Sand migration of each Filters.

Bertram, Newton & Hurley, USBR 필터들에서 도 필터내에서 이동 잔류된 세사량의 감소율이 작았으며 수두 90 cm일 때 필터와 모래의 접촉면의 인접한 곳에서 Blocking현상이 크게 나타났던 Newton & Hurley 필터내의 이동잔류량의 변화에서 수두가 80 cm로 낮아짐으로 인하여 필터와 모래의 접촉면의 인접한 곳에서의 Blocking현상보다는 필터내로 세사가 이동하여 구멍막힘 현상이 많이 발생한 것으로 생각된다.

이것은 미세한 공극을 가지는 필터에서는 유속이 크면 Blocking현상이 먼저 발생하지만 유속이 저하되면 구멍막힘현상이 심하게 발생하는 것으로 추정된다. 이동잔류량은 Bertram, Newton & Hurley, USBR 필터들은 역시 수두 90 cm일 경우와 거의 유사하게 나타났으며 USCE, USSPL 필터도 마찬가지임을 알 수 있었다.

따라서, 수두변화와 공극의 크기가 필터성능에 큰 영향을 주는 Blocking과 구멍막힘현상에 크게 영향을 주는 것으로 생각된다.

### 3. 세사의 이동과 필터의 투수계수 변화

Fig. 5는 수두가 90 cm, 80 cm일 때 실험이 종료된 후 투수계수와 세사의 이동량 및 흐름의 안정 도달시간을 비교한 것이다.

본 실험의 결과 Fig. 5의 a)에서 투수계수가 가장 크고 세사의 이동잔류량이 가장 적으며 흐름의 안정에 도달하는 시간도 가장 적게 소요되는 것은 USCE 필터였고 그 다음으로는 USSPL, Newton & Hurley, Bertram, USBR 필터순으로 나타나 필터설계조건에 가장 적합한 것은 USCE설계기준 필터였고 그 다음으로는 USSPL 필터였음을 알 수 있었다.

Fig. 5의 b)에서 USCE 필터는 투수계수가 가장 크고 흐름의 안정에 도달하는 시간이 가장 적게 소요되었으나 세사의 이동잔류량이

USSPL 필터보다 조금 많게 나타났고, Bertram, Newton & Hurley, USBR 필터들은 서로 약간의 차이는 있으나 모두 투수계수는 작고 세사의 이동잔류량도 많았으며 흐름의 안정에 도달하는 시간 또한 많이 소요되어 필터의 설계조건에 적합하지 않았으며, 수두가 80 cm일 때에도 필터의 설계조건에 가장 적합한 것은 USCE 설계기준 필터로 나타났고 그 다음으로는 USSPL 필터로 나타났다.

따라서, 수두변화를 90 cm와 80 cm로 준 상태에서 세사의 이동으로 인한 필터들의 필터 설계조건에 대한 비교를 하여본 결과 USCE 설계기준이 가장 적합한 것으로 나타났으며 그 다음으로는 USSPL 설계기준으로 나타났다.

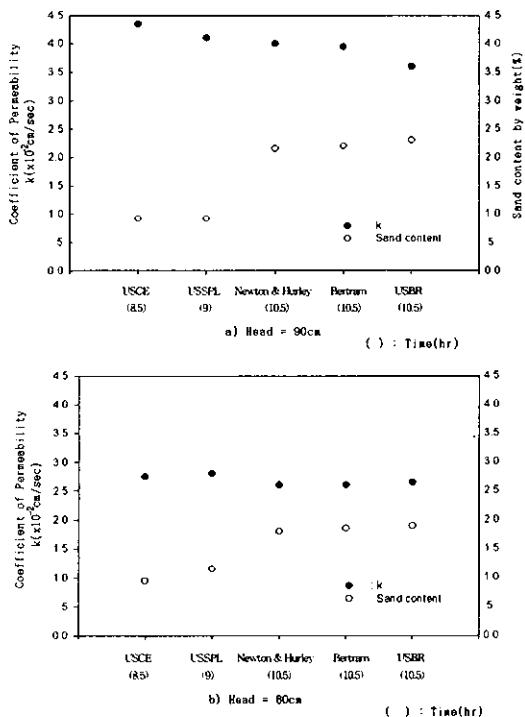


Fig. 5. Coefficient of Permeability & Sand Migration & Flow Stability for each Filters.

IV. 적 요

본 실험에서는 수리구조물의 보호되는 토립자의 필터내 이동과 이로인한 필터의 기능 저하를 실험을 통하여 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수두가 높고 공극이 클수록 필터내 세사의 이동은 심했으며 조기에 호흡의 안정화에 도달하게 되었지만 필터외부로의 입자유출도 많았으며, 공극이 작고 유속이 빠르면 필터와 모래의 접촉면에 인접한 곳에서 Blocking현상이 크게 일어남을 알 수 있었다.

2. 필터기능에 영향을 주는 세사의 이동은 공극의 크기와 수두에 큰 영향을 받음을 알 수 있었고, USCE 필터와 USSPL 필터는 공극이 크기 때문에 같은 조건하에서 흐름의 안정이 다른 필터들 보다 조기에 이루어 졌다.

3. 세사의 이동잔류량은 USSPL, USCE, USBR, Newton & Hurley, Bertram 필터순으로 많이 나타났다.

4. 흐름의 안전에 소요된 시간은 Bertram, Newton & Hurley, USBR, USSPL, USCE 필터순으로 적었고, 투수계수는 USBR, Bertram, Newton & Hurley, USSPL, USCE 필터순으로 크게 나타났다.

5. 여러 가지 종류의 필터기준중 USCE와 USSPL기준의 필터가 투수계수의 안정에 소요된 시간이 가장 짧고, 세사의 이동량이 적으므로 가장 적합한 것으로 인정된다.

참고문헌

1. 강예목, 1981, 토질역학, 형설출판사, pp.81-127.

2. 권무남, 이상호, 1985, 투수성 기초지반의 Piping에 관한 실험적 고찰, 경북대농교 농학지 3, pp.44-54.
  3. 농수산부, 농지개량사업계획설계기준(댐편), pp211-228.
  4. 송영수, 1959, Filter에 대하여, 한국농공학회지 3(1), pp.519-523.
  5. Arulanandan, K. and B. Edward Perry, 1983, Erosion in Relation to Filter Design Criteria in Earth Dams. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, No.5, 109:682-698.
  6. Atmatzidis, D. K., An Experimental Study of Sand Migration in gravel.
  7. Chai Huat Khor and Heng Kee Woo, 1989, Investigation of Crushed Rock Filters for Dam Embankment. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, No.3, 115:399-412.
  8. Karpoff, K. P., The Use of Laboratory Tests to Develop Design Criteria for Protective Filters.
  9. Kenny, T. C, R. Chahal, E. Chiv, G. I. Ofoegbu, G. N. Omange and C. A. Ume, 1985, Controlling construction size of granular filters. Can. Geotech. J., 22: 32-43.
  10. Kenny, T. C. and D. Lau, 1985, Internal stability of granular filters. Can. Geotech. J., 22:215-225.
  11. Kenney, T. C., J. Lafleur and M. Tetreault, 1986, Discussion of Controlling construction sizes of granular filter. Can. Geotech. J., 23(1):97-98.
  12. Lafleur, J., 1984, Filter testing of broadly

- graded Cohesionless tills, Can. Geotech. J., 21:634–643.
13. Lafleur, J., J. Mlymarek and A. L. Rollin, 1989, Filtration of Broadly Graded Cohesionless Soils, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, No.12, Vol.115. December .
  14. Leatherwood, F. N., and D. F. Peterson, Jr., 1954, Hydraulic Head Loss at the Interface between Uniform Sand of Different Sizes, Trans. American Geophysical Union, No.4, 35:588–594.
  15. Sherard, J. L., L. P. Dunningan and J. R. Talbot, 1984, Basic Properties of Sand and Gravel Filters, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, No.6, 110:684–699.
  16. Sherard, J. L., L. P. Dunningan and J. R. Talbot, 1984, Filters for Silts and Clays, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, No.6, 110:701–718.
  17. Sherard, J. L. and L. P. Dunnigan, 1989, Critical Filters for Impervious Soils. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, No.7, 115:927–947.
  18. Silveira, A., 1965, An Analysis of the Problem of Washing Through in Protective Filters, Proc. 6th ICSMFE, Montreal(II) 6/27, pp.551–555.
  19. S. J. Chsu , Aspects of Piping Resistance to Seepage in Clay Soils.
  20. Small Dam, A water resources technical publication, pp.232–237.
  21. Thanikachalam, V. and R. Salcithivadivel, 1974, Rational Design Criteria for Protective Filters, Canada, Geotech, J., 11:309–314.
  22. Thanikachalam, V. and R. Salcithivadivel, 1974, Grain Size Criteria for Protective Filters an Enquiry, Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, No.4, 14:13–24.
  23. Wittmann, L., 1979, The process of Soil filtration its physics and the approach in engineering practice, 7th ECSMFE, Grighton, U.K., 1:303–310.
  24. Yusuke Hanjo and Daniele Veneziano, 1989, Improved Filter Criterion for Cohesionless Soils, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, No.1, 115:75–94.