

## 전기비저항과 투수계수 측정을 통한 celite가 가미된 필터의 투과 성능 모니터링 Monitoring the performance of a celite-based filter by using electrical resistivity and permeability measurements

김규원<sup>1)</sup>, Kyuwon Kim, 권태혁<sup>2)</sup>, Tae-Hyuk Kwon, 조계춘<sup>3)</sup>, Gye-Chun Cho

<sup>1)</sup> 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dep. of Civil and Environmental Engineering, KAIST

<sup>2)</sup> 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 박사 후 과정, Post-Doctoral Student, Dept. of Civil and Environmental Engineering, KAIST

<sup>3)</sup> 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, KAIST

**SYNOPSIS :** Non-point pollutants, which mainly originate from high traffic roads and rural areas, contaminate the environment by flowing into various rivers and lakes and thus are of interest as an environmental issue. Accordingly, efforts have been made to design and maintain efficient filter systems for the control of the non-point pollutants. Meanwhile, clay-type materials are widely used for the absorption of chemicals included in pollutants and the absorption performances of various clays have been reported in the literature. Thus, the present study proposes a non-destructive monitoring method for the performance of a clay-type filter using electrical resistivity measurement. A series of experimental tests is performed on celite-based particulate filters with infiltrating non-point source pollutants having the same characteristics as pollutants on high traffic roads. Each test measures permeability, resistivity of the filter materials and resistivity of the filtrated water. As the particulate filter materials filtrate pollutants and absorb heavy chemicals (e.g.,  $\text{Cr}^{6+}$ , lead, nickel, among others), ionic concentration increases resulting as the electrical resistivity decrease. When the filter systems approach the end of their lifetime, the electrical resistivity of the filter material converges to a very low value due to lowered filter absorption efficiency. Hence, the electrical resistivity of the filtrated water also converges to a low value due to high concentrations of heavy metals. The permeability converges to a very low value because of significantly reduced porosity due to clogging and absorption of pollutants on the filter material. The experimental results show that electrical resistivity monitoring of filter materials is a promising approach to estimation of filter performance and its life expectancy.

**Keywords :** non-point pollutants, permeability, electrical resistivity, filter efficiency

### 1. 서론

비점오염원에 의한 환경수리학적 문제들이 큰 문제로 대두되고 있다. 특히, 도시지역, 도로 및 주차장과 같은 포장된 지역에서 유출되는 비점오염물질 혹은 유출수는 강우 초기에 고농도 오염물질이 유출되며, 다른 토지이용보다 고농도의 오염물질이 배출되고 비점오염물질이 직접적으로 수계에 유출되어 문제점이 심각하다. 국내 4대강에 있어, 비점오염원에 의한 오염 부하량 기여율을 살펴보면 개략적으로

22-40% 정도를 차지하고 있으며, 환경기초시설 확대에 의하여 비점오염원에 의한 기여율이 급속도로 증가하고 있다(환경부, 2004). 이론에 의해 포장지역에서 비점오염물질의 수계 유입에 의한 환경수리학적 영향을 최소화하고자 비점오염물질 저감시설의 개발/적용 및 관리방안 수립을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 저감시설의 개발을 위해서는 투수성과 흡착성이 최우선적으로 고려되어야 한다. 필터에 사용되는 Clay의 경우, specific surface가 매우 커서 투수성은 매우 미흡하지만 중금속이나 다른 오염물질들에 대한 흡착성이 매우 뛰어나다고 할 수 있고, 사질토의 경우 투수성은 clay에 비해 훌륭한 반면 흡착성에 있어서는 미흡하다고 할 수 있다. Clay의 오염물질 흡착성 평가를 위하여 많은 연구들이 수행되었지만, 오염물질을 채취하고 이를 실험을 하는 방법들은 매우 시간이 많이 들고 경제적이지 못하다고 할 수 있다(Okoye et al. 1995; Kaya et al. 1997). 따라서, 본 연구에서는 사질토와 clay를 혼합한 필터의 성능평가에 초점을 두고, 전기비저항 측정 및 투수성 실험을 통해서 비점오염원 저감시설에 사용될 수 있는 필터의 성능 모니터링에 그 목적을 두고 있다.

## 2. 실험개요

### 2.1 필터 시료와 오염물의 성상

필터의 투수성과 흡착성을 모두 충족시키는 최적 배합율을 획득하기 위해서 실험을 수행하였다. 이를 위해 사용된 필터재료는 주문진 표준사와 celite이고 이를 100:2의 중량비로 섞어서 사용하였다. 많은 기존 연구들이 celite( $D_{50} = 17\mu\text{m}$ , specific surface =  $1.63 \text{ m}^2/\text{g}$ , 비중 = 2.15)의 흡착 효율을 검증하였고, 다른 clay 재료들보다 더 큰 specific surface를 가지고 있어, 본 연구에서는 celite를 사용하였다(Wagner et al., 1975). 투수실험에 사용될 시료 용기에 115mm의 직경과 360mm의 높이로 배합된 재료를 0.41의 공극률로 채워 담았다.

오염물의 경우, 고속도로와 주차장과 같은 포장지역에서 하천으로 유입되는 비점오염물의 형상과 비슷하게 만들기 위해 김이형(2006) 등이 수행한 결과 내용을 참고하였다. 본 연구에서 사용된 오염물의 성분들과 각각의 농도들은 초기강우상태에 측정되었는데 이는 하천으로 유입되는 오염물의 농도가 초기강우상태일 때 가장 크기 때문이다. 오염물질들의 농도는 표 1과 같다.

표 1. 오염물의 성상

Pollutant		Chemicals used in this study	
Chemical	Concentration	Compound	Concentration
TSS	257.1mg/L	Sediment	257.1mg/L
COD	197.6mg/L	CH <sub>3</sub> COONa	247.2mg/L
Oil and Grease	5mg/L	Olive Oil	5.5mg/L
Cr <sup>6+</sup>	30.7μg/L	CrO <sub>3</sub>	59mg/1000L
Cu	358.8mg/1000L	Copper powder	358.8mg/1000L
Fe <sup>3+</sup>	3200μg/L	FeCl <sub>3</sub>	9.3mg/1000L
Ni	47.4mg/1000L	Nickel standard sol.	47.4mg/1000L
Pb	49.4mg/1000L	Lead powder	49.4mg/1000L

### 2.2 실험 방법

준비된 오염물을 시료에 유입하여 정수투 투수실험을 수행하였다. 1L의 유출수가 발생할 때 마다 투수계수와 전기저항을 측정하였다. 투수성 실험에는 유입수로 증류수, sediment만 포함된 증류수와 표 1에서 언급된 오염물 등을 사용하였다. 증류수를 유입수로 사용한 경우, 필터는 다른 오염물질의 흡착에 의한 영향을 받지 않기 때문에 물의 흐름에 따라 필터 자체의 입자들이 이동하여 필터재의 공극을 채운다. sediment만 포함된 증류수를 사용할 경우 필터 자체의 입자들의 이동과 sediment의 영향에 의한 clogging 현상이 발생하여, 그 영향을 알아볼 수 있다. 마지막으로 오염물을 사용한 경우, 물에 포함된

오염물입자들이 clay에 흡착되어 투수성이 감소하고, 또한 그 입자들로 인한 clogging 현상에 대해서도 알아 볼 수 있다. 투수성 실험에는 전기저항의 측정이 동반되었고 또한 필터를 통과한 유출수를 채취하여 전기비저항을 측정하였다. 전기저항 측정은 공간적 변이성(spatial variability)을 알아보기 위해서 시료 용기내의 세 깊이에서 실험을 수행하였다. 전기비저항 값과 유출수의 관계를 구하기 위해서 본 실험을 수행하기 앞서, 전기비저항과 전기저항과의 관계를 보정실험을 통해서 정립하였다. NaCl을 증류수에 농도를 달리하여 투입하여 농도에 따른 전기전도도를 측정 및 전기저항 측정을 통해서 보정을 수행하였다. 실험방법을 도식화하면 그림 1과 같다.

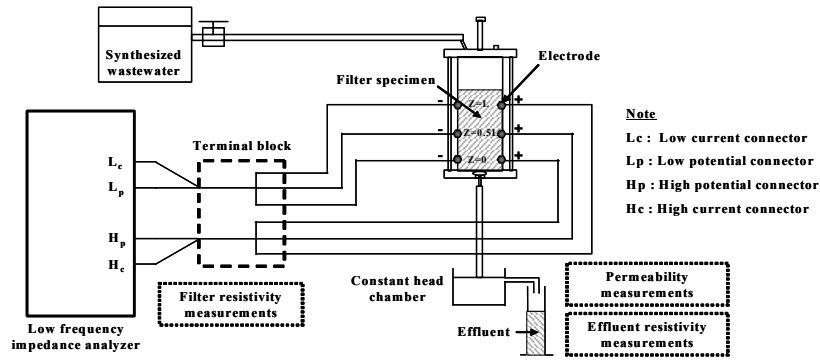
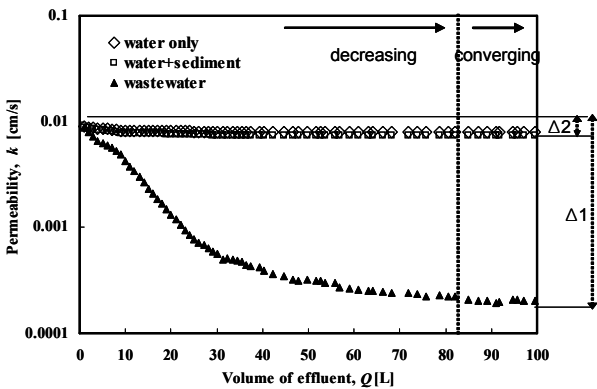


그림 1. 실험 개요

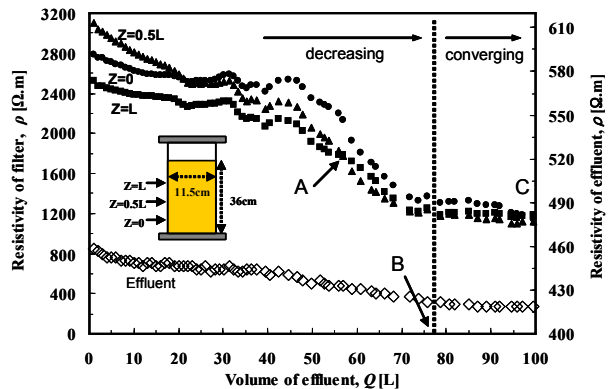
### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 투수성 저하

투수 실험의 결과는 그림 2(a)와 같다. 필터에 오염물이 유입되는 경우 투수성이 두드러지게 감소하는 것을 알 수 있으며, 또한 오염물 100L가 필터에 유입되었을 때 투수계수는  $8.7 \times 10^{-3}$  m/s 에서  $2.0 \times 10^{-4}$  m/s 로 10배 이상 떨어지는 것을 알 수 있다. 이 투수성의 감소는 3개의 요인에 기인한다. (1) Celite에 오염물에 포함된 금속입자들이 흡착됨으로써 생기는 유효공극률의 감소; (2) 오염물에 포함된 sediment 입자들에 의하여 생기는 clogging; (3) 물 자체의 흐름에 따라 생기는 필터 입자들의 이동에 따른 clogging. 앞서 언급했듯이 투수실험의 유입수로 세 가지를 사용하여 결과를 도출하였다. 그림 2에서 나타났듯이, 증류수와 sediment가 포함된 증류수가 유입수로 사용되었을 경우, 투수성의 감소가 오염물의 경우보다 현저하게 작게 나타남을 알 수 있다. 증류수와 sediment가 포함된 증류수의 경우 투수계수는 10L의 유입수가 필터를 통과하였을 경우에만 감소하고 그 이후로는 수렴하는 것으로 나타났다. 이로 인해 투수계수 감소의 주원인은 Celite에 흡착된 금속입자들과 결론 내릴 수 있다.



(a) 투수성 실험 결과



(b) 전기저항 측정 실험

그림 2. 실험 결과

### 3.2 전기저항 측정

전기비저항의 측정 결과는 그림 2(b)와 같다. 필터의 비저항은 유입수가 75L정도 필터를 통과할 때까지 감소하는 것을 알 수 있으며, 그 이후에는 거의 수렴하는 결과를 보인다. 전기비저항의 감소는 두 가지 요인에 기인한다. (1) 오염물에 포함된 화학물질들이 공극수(pore fluid)의 ionic concentration을 증가시키고 이로 인하여 전기의 흐름은 더욱 용이하게 되어 전기비저항 감소; (2) 오염물에 포함된 화학물질들이 clay에 흡착되어 clay의 표면을 따라 전기의 흐름이 더욱 용이하게 되어 전기비저항 감소. 유출수의 전기비저항도 필터의 전기비저항과 같은 경향을 보인다. 이를 통해, 75L의 유입수가 필터를 통과한 후로는 필터의 성능이 현저하게 떨어짐을 알 수 있다.

실험의 초기단계에서는 필터의 가장 윗부분의 전기비저항이 가장 작은 값을 나타낸다. 이는 초기단계에서는 오염물에 포함된 여러 화학물질들이 필터 윗부분에 흡착되는 것에 기인한다. 그러나 실험이 진행될수록 (A지점) 가장 윗부분에서 측정되는 전기비저항과 중간 부분에서 측정되는 전기비저항이 하나의 값으로 같아짐을 알 수 있다. 이는 가장 윗부분과 중간 부분의 필터가 오염물에 포함된 여러 화학물질들에 의해서 포화됨을 의미한다. 또한 실험을 더욱 진행시킬수록 (B지점부터 C지점까지) 모든 부분에서의 전기비저항이 같은 값을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이는 필터의 흡착성이 거의 떨어짐을 의미한다.

### 4. 결론

본 연구에서는 비점오염원 저감시설에 사용 될 수 있는 필터의 성능에 대해서 전기비저항과 투수계수 측정을 통해 알아보았다. 본 연구에서 도출한 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 투수실험이 진행될수록 투수계수와 전기비저항은 감소하며 필터를 통과하는 유입수가 많아질수록 수렴하는 것을 알 수 있었다. 투수계수 저감은 주로 celite 표면에 흡착된 화학물질들에 의한 유효공극률 감소에 가장 큰 영향을 받았다.
- (2) 필터의 전기비저항 감소는 clay 표면에 오염물에 포함된 화학물질이 흡착되어서 ion mobility가 증가 및 공극수의 ionic concentration의 증가에 가장 큰 영향을 받음을 알 수 있었다.
- (3) 오염물에 포함된 화학물질들은 필터의 가장 윗부분에서부터 아랫부분까지 순차적으로 흡착되는 것으로 나타났으며, 이에 따라서 필터의 흡착효율은 위에서부터 순차적으로 감소됨을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. 환경부 (2004), 비점오염원 처리를 위한 편람.
2. Kaya, A and Fang, H. Y. (1997), Identification of contaminated soils by dielectric constant and electrical conductivity, *Journal of Environmental Engineering*, Vol.128, No.8, pp.169-177.
3. Kim, L. H., Lee, E. J., Ko, S. O., and Kang, H. M. (2006), Characteristics of Pollutant Washed-off from Highway with Storm Runoff Duration (in Korean), *Proceedings of Korean Society of Road Engineers 2006*, pp.99-106.
4. Okoye, C. N., Cotton, T. R., and O'Meara, D. (1995), Application of resistivity cone penetration testing for qualitative delineation of creosote contamination in saturated soils, *Proceedings of Geoenvironment 2000*, ASCE, New York, pp.151-166.
5. Wagman, G. H., Bailey, J. V., Weinstein, and Marvin J. (1975) *Binding of Aminoglycoside Antibiotics to Filtration Materials, Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, Mar. 1975, pp.316-319.