

도시지역 지표우수의 비점오염원 제거를 위한 점토광물의 실험적 평가

An Experimental Evaluation of Clay Minerals to Remove Non-point Sources of Contaminants in the Urban Runoff

송 영 우 Song, Young Woo | 정희원 · 한남대학교 건설시스템공학과 교수 (E mail : songyw@han.kr)
이 석 근 Rhee, Suk Keun | 정희원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 교신저자 (E mail : skrhee@khu.ac.kr)

ABSTRACT

The ability of clay mineral to remove non-point sources such as SS, COD, T-N, T-P in the urban runoff has been tested to develop the porous filter material. The diameter of 3mm ball type filters were made of clay minerals for the tests. The experiments were carried out to measure the concentration of non-point sources of contaminants with flow rate of effluents. The test results show that clay filter has good response to remove SS, COD comparing to those of activated carbon filter. Also the performance of the clay filter to remove T-N and T-P is almost the same when using the activated carbon filter.

KEYWORDS

non-point sources of contaminants, porous clay filter, impregnated activated carbon filter, SS, COD, T-N, T-P

요지

본 연구는 도시지역 도로측구 등에 설치할 비점오염원의 정화장치 개발을 위해 여과재의 개발에 연구의 초점을 맞추었다. 필터는 다양한 미세기공을 갖고 있어 물리적 흡착능력이 뛰어나며, 결정 구조 안에 다양한 양이온이 배워되어 있어 화학적 흡착이 탁월한, 다공성 점토광물을 직경 3mm 볼 형태로 제작하였다. 성형한 필터에 도시지역 강우 직후 발생한 오염 원수를 통과시켜 SS, COD, T-P, T-N의 제거 능력을 폐수정화에 흔히 이용되는 침착활성탄(Impregnated Activated Carbon) 필터와 비교분석하였다. 다공성 점토광물 필터와 침착활성탄 필터의 T-N과 T-P 여과능력은 거의 차이가 없음을 알 수 있었다.

핵심용어

비점오염원, 다공성 점토필터, 침착활성탄필터, 부유물질, 화학적 산소요구량, 총질소, 총인

1. 서론

도로나 주차장 등과 같은 불투수층이 많은 도시지역에서 발생하는 비점오염원은 건기에 도로노면, 주차장, 건물, 하수관거, 맨홀 등에 축적되어 있는 상태에서 강우가 발생하면, 후 1시간 이내 일시에 고농도로 수계로 유입되는 초기세척효과(First Flush)로 하천의 오염을 가중시키는 경향을 보이고 있다(이건직 외, 2010 ; John 외, 1997). 특히 질소와 인 등의 영양물질이 많이 포함되어 있어 하천의 부영양화를 일으키는 주범으로 알려져 있다

(Wanielsta 외, 1997 ; Gromarine 외, 1997).

도시지역의 비점오염원의 종류는 각종 공사에 의한 퇴적물, 인공녹지나 대기 침전물 등에 의한 영양염류, 병원균, 도로의 결빙 방지를 위한 제설제, 타이어 분진, 폐차장, 주유소, 주차장 등에 의한 탄화수소, 공업지역의 중금속류, 독성물질 군 들을 포함하고 있다(부산발전연구원, 2006).

우리나라 4대 강 유역에서 비점오염원에 의한 오염부하량은 약 22~40% 정도를 차지하고 있으며, 특히 수도

권의 주요 상수원인 팔당 상수원의 경우 44.5%가 비점 오염원에서 배출되고 있는 것으로 조사되었으며, 2020년에는 비점오염원의 오염부하량이 팔당 상수원의 경우에는 54.3%, 낙동강 계는 44.6% 까지 증가할 것으로 예측하고 있다(환경부, 2004).

이에 따라 국내·외에서 비점오염원의 정화를 위해 식생형시설, 저류형시설, 장치형시설, 침투형시설 등의 다양한 연구가 진행되어 왔다(ASCE/USEPA, 2006). 그러나 도시지역에 이러한 시설들을 설치하는 데는 부지선정의 어려움, 높은 시설비용 등의 단점이 있어, 비점오염원의 경우 대부분 정화과정을 거치지 않고 하천으로 방출되고 있는 실정이다. 그러므로 발생량 및 오염부하량이 크고 비규칙적으로 발생하는 도시지역의 비점오염원에 대한 높은 처리 효율을 갖는 정화시스템에 대한 연구는 매우 중요하다.

도시지역에 적합한 비점오염원의 정화시스템의 조건으로는 우선 큰 유출계수를 갖고 있어 단시간 내 유출되는 우수의 고속 투과가 가능해야 하고, 오염물질에 대한 정화 효율이 높아야 한다. 본 연구에서는 도시지역 도로측구 등에 설치할 비점오염원의 정화장치 개발을 위해 여과재의 개발에 연구의 초점을 맞추었다. 필터는 다양한 미세기공을 갖고 있어 물리적 흡착능력이 뛰어나며, 결정 구조 안에 다양한 양이온이 배위되어 있어 화학적 흡착이 탁월한, 다공성 점토광물을 직경 3mm 볼 형태로 제작하였다.

이와 같이 성형한 필터에 도시지역 강우 직후 발생한 오염 원수를 통과시켜 SS, COD, T-P, T-N의 제거 능력을 폐수정화에 흔히 이용되는 침착활성탄(Impregnated Activated Carbon) 필터와 비교분석하였다.

2. 실험의 준비

2.1. 비점오염원 시료 채취

본 연구에 사용된 비점오염원 시료는 선행건기일수 33일째 7.7mm/hr의 강우가 있는 직후, 대전 3, 4공단에 접한 대전광역시 유성구 봉산동 신구교로부터 갑천으로 유입되는 곳에서, 2L 용량의 무균 채수병에 30분 동안 채취하였다. 채취한 시료는 4℃ 아이스박스에 보관하여 실험실로 옮긴 후 즉시 실험을 진행하였다.

2.2. 다공성 점토광물 필터

2.2.1. 점토필터의 제조

다공성 점토광물은 +3가의 알루미늄과 +4가의 실리콘

이온이 결합하여 다공성 결정을 이루며, 결정 구조 내에 전하 보상을 위한 다양한 금속 양이온이 치환된 알루미늄과 실리콘의 산화물, 즉 알루미늄-실리케이트(Alumino-silicates)이다(Yong 외, 1975 ; Sharma 외 1994). 점토입자는 동형치환이나 모서리구조의 불완전함 등으로 그 표면에 전기를 띠게 된다(Das 외, 1985). 대전된 점토입자는 양이온 및 음이온을 흡착하거나 이온교환을 통하여 전기적으로 중화를 시도한다. 점토광물은 이온교환 능력 외에도, 흡착성, 흡습성, 촉매성 등의 다양한 광물특성에 의해 산업에 응용성이 매우 높다(Kayabali 외, 1998).

본 연구에 사용한 다공성 점토광물은 경북 영일만의 감포지역에서 생산된 것으로 다공성 점토광물에 함유되어 있는 불순물을 제거하기 위해 파쇄, 분쇄, 분급(~325mesh)과정을 거친 후 5,000Gauss의 마그네틱 바를 이용하여 습식자력선별법으로 Fe성분 등을 제거하였다. 또한 시료 내부에 존재하는 불순물 및 물에 녹는 염 종류를 제거하기 위해, 이 시료 분말을 증류수에 녹여 초음파 세척기로 70℃를 유지하여 1시간 이상 교반시켰다. 그 후 시료 내에 존재하는 중금속류를 비중차에 의해 제거하기 위해 교반된 시료를 원심분리기(3,000rpm)로 20분간 원심분리시켜 3등분(상, 중, 하)으로 분리하고, 상부와 중간 부분에 있는 시료만을 골라, 기공크기(pore size)의 여과지가 장착된 진공 여과장치를 이용하여 감압 여과 후 120℃로 24시간 이상 건조시켰다. 그 후 전처리된 시료의 결정에 결합되거나 부착된 불순물들을 열분해 및 휘발시켜 제거하기 위해, 시료를 620℃로 2시간 열처리하였다.

2.2.2. 점토필터의 산 처리

전처리된 점토필터는 1N 농도의 염산, 황산, 질산수용액에 넣어 70℃로 유지하면서 1hr 이상 교반하여 산 처리하였다. 그 후 필터를 중성이 될 때까지 수회 세척하여, 간극크기(pore size)의 크기로 진공 여과장치를 이용하여 감압여과 후, 120℃에서 24시간 동안 건조하였다.

2.2.3. 점토필터의 물성

다공성 점토광물 시료의 물성 특성을 조사하기 위하여 X-선 회절법(Rigaku, D/Max 2500H)에 의한 결정 구조 변화와 암모늄킬달법(Ammonium Acetate methode)에 의한 양이온교환능력(Cation exchange Capacity, CEC) 측정하였다. 또한 천연 점토광물 및

산 처리한 점토광물의 비표면적과 총 기공의 부피를 구하기 위하여 ASAP2400micrometrics 장치를 이용하여 77K에서 질소가스를 20cc/min로 흘려주며 4시간 이상 퍼징(purging)한 후, 질소를 흡착시켜 비표면적을 측정하였다. 시료의 전처리 공정에 대한 개략도는 그림 1과 같다.

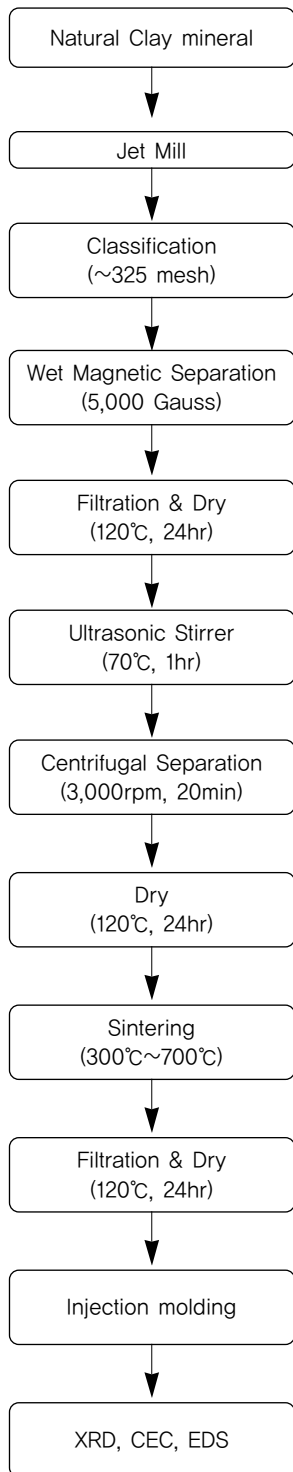


그림 1. Processing of Natural Clay-mineral for physical and chemical analysis

그림 2의 A는 필터의 재료인 다공성 점토광물의 X-ray 회절상의 무늬의 결과이다. 이 결과로부터 필터는 천연제올라이트인 모데나이트(mordenite)와 클립노틸로나이트(Clinoptilolite)가 주성분임을 알 수 있었다. 그림 2의 B, C, D는 점토광물을 초음파 세척기로 교반하여 3,000rpm으로 원심 분리시켜 620°C로 하소한 시료들을 1N의 황산, 염산, 질산 등으로 산처리한 시료들의 X-ray 회절상을 나타내고 있다. 여기서 시료들의 X-ray 회절상의 무늬가 그림 2의 A와 거의 같은 유형으로 나타남을 알 수 있다. 따라서 점토광물의 주성분인 천연제올라이트는 비교적 큰 내산성을 갖는 것으로 생각된다.

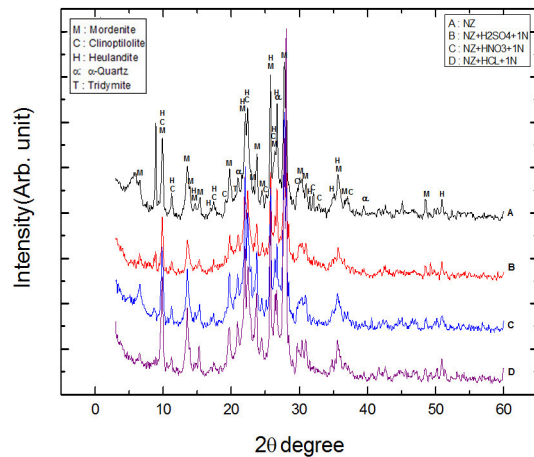


그림 2. X-ray diffraction patterns of clay-mineral(A), natural clay-mineral acid-treated(B,C,D)

그림 3은 점토필터를 초음파 세척기로 교반하여 3,000rpm으로 원심 분리시킨 후, 620°C로 하소시키고, 농도 1N로 산처리한 필터에 대한 양이온교환 능력(CEC)을 측정한 그래프이다. 점토필터의 양이온교환 능력은 178.9meq/100g을 나타내었으나, 산처리 후의 양이온교

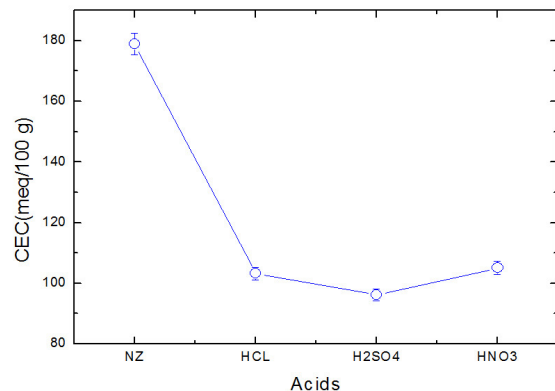


그림 3. Cation exchange capacity(CEC) of natural clay-minerals acid-treated

환 능력은 103.18meg/100g, 96.18meg/100g, 104.34meg/100g으로 급격하게 줄어든 것을 알 수 있었다. 이는 산(acid)에 의해 불순물에 존재하는 양이온들이 용출된 결과로 생각된다. 그렇지만 양이온교환 능력은 산의 종류에는 거의 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다.

그림 4와 그림 5는 점토광물의 비표면적과 총 기공의 부피를 측정한 결과이다. 광물의 비표면적(BET)은 33.7m²/g이었으나 산처리한 시료들의 비표면적은 51.9m²/g, 54.3m²/g, 52.6m²/g으로, 산처리 하지 않은 다공성 점토광물에 비해 54%~61% 증가하는 경향을 보였다. 이처럼 산처리 후 비표면적이 증가하는 이유는 다공성 점토광물 내에 존재하는 모오데나이트와 클립노틸로나이트 등의 천연제올라이트 결정들 및 기공의 주변에 존재하는 불순물들이 산(acid)에 의해 용출되기 때문인 것으로 사료된다.

또한 광물의 총 기공의 부피는 무처리 점토광물이 0.106cm³/g, 염산 및 황산으로 처리한 시료가 0.114cm³/g, 질산으로 처리한 시료가 0.115cm³/g로 거의 변화가 없었다.

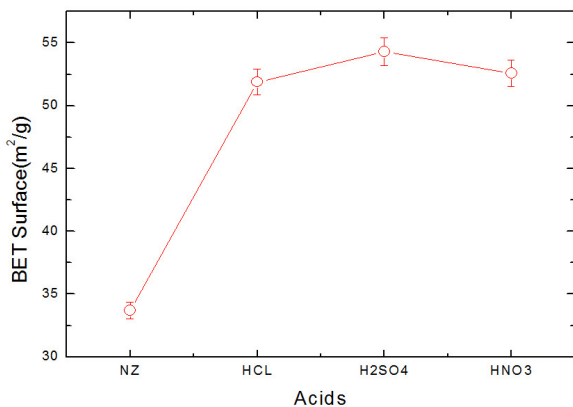


그림 4. BET analysis of natural clay-minerals acid-treated

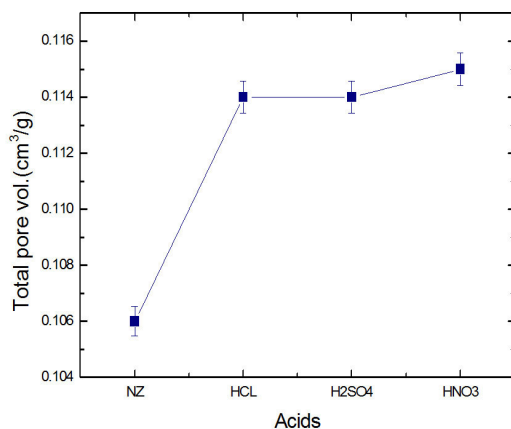


그림 5. Total pore volume analysis of natural clay-minerals acid-treated

따라서 그림 2~그림 5의 실험결과를 토대로 하여 본 실험에 사용한 점토필터는 점토광물을 초음파 세척기로 교반하여 3,000rpm으로 원심 분리시켜 620℃로 하소하고, 1N의 질산으로 산 처리한 후 ϕ3mm의 볼 형태로 성형하여 사용하였다. 이 점토필터의 양이온교환 능력 값은 104.34meg/100g, 비표면적은 52.6m²/g, 총 기공의 부피 0.115cm³/g의 값을 나타내었다.

2.3. 실험방법

2.3.1. 실험장치 제작

통과 실험장치는 그림 6과 같이 교반기가 장착된 원수 탱크, 정량펌프와 필터장치로 구성되어 있다. 원수조의 용량은 200L이고, 유입 유량을 일정하게 유지하기 위해 정량펌프를, 원수의 오염물질 농도를 일정하게 유지하기 위하여 교반기를 설치하였다. 필터장치는 직경 ϕ200mm, 높이 600mm의 원형 아크릴로 제작하여 ϕ3mm로 성형된 다공성 점토광물 필터와 침착활성탄(동양탄소, 4~8mesh, pellet type)를 200mm 높이로 충전하였다.

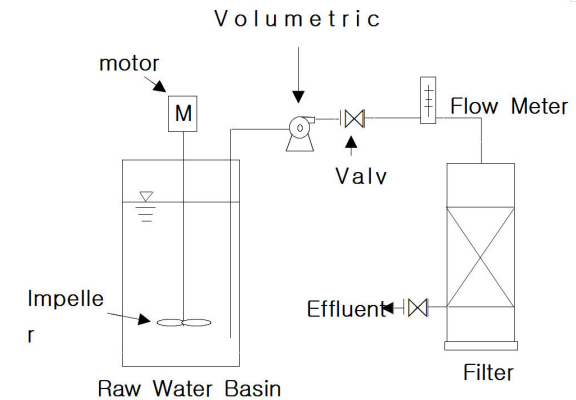


그림 6. The schematic diagram of filtering system

2.3.2. 통과 유량의 결정

필터를 통과하는 유량의 결정은 도로면에 떨어지는 전우수량이 전량 빗물받이 우수관 입구로 유입된다고 가정하여 총유입유량 Q_m (m³/hr)을 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$Q_m = 0.2778 CIA \quad (1)$$

여기서, C : 유출계수

I : 강우강도(mm/hr)

A : 유역면적(m²)

본 실험에서는 C는 도시지역의 최대 유출계수로 C=0.9, I는 대전지역 최대강수량인 79.1mm/hr(건설교통부, 2006), A는 6차선의 도로(차선폭 3.5m)에 우수관 사이 20m의 값을 넣어 최대유량을 계산하였다. 이 결과 최대유량을 0.069m³/min로 계산되었다.

필터 통과 유량은 위에서 계산된 최대유량의 1/2~1/4 까지 변화시키면서 오염원의 제거능력을 측정하였다, 편의상 각 유량별로 통과 시험의 명칭을 표 1과 같이 부여하였다. 먼저 실험한 필터에 남아있는 오염 물질의 영향이 없도록 하기 위하여 매 실험시마다 필터를 교체하였다.

표 1. The sample name on the flow rate of raw water

Flow rate(m ³ /min)	Raw water	0.069	0.035	0.023	0.017
Sample name (Natural Clay)	Rw	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4
Sample name (Activated Carbon)	Rw	C-1	C-2	C-3	C-4

2.3.3. 수질 분석항목 및 분석방법

원수의 SS, COD, T-N, T-P, pH 값은 Table 2에 서와 같은 방법으로 측정하였다. SS는 직경 ϕ 47mm GF/C여재를 사용하여 150℃ 전기로에서 1시간 건조시킨 후 질량을 측정하였다. COD는 150℃에서 2시간, T-P와 T-N은 105℃에서 30분 시약과 시료를 가열 전 처리하여 T-P흡광광도계, Nitrate 흡광광도계 기기로 분석을 하였다.

표 2. Water quality analysis methods

Items	Methods or Instruments
pH	pH meter(DE/inolab)
COD	5220-COD, HACH(DR/4000U)
T-N, T-P	Standard Methods, HACH(DR/4000U)
SS	Standard Methods(Glass Filter Apparatus)

3. 실험결과

3.1. 오염원 시료의 분석

표 3과 같이 실험에 사용한 원수(Raw Water)의 SS, COD, T-N, T-P 값을 측정된 결과 각각 400mg/L, 358.5mg/L, 12.3mg/L, 1.07mg/L 이고, pH는 6.31로 나타났다. 여기에 점토필터의 오염원 제거능력을 측정

하기 위하여 필터에 통과되는 유량을 표 1에 보인 것과 같이 변화시키며 실험을 진행하였다.

표 3. The Characteristics of raw water

SS	COD	T-N	T-P	pH
400.00 (mg/L)	358.50 (mg/L)	12.30 (mg/L)	1.07 (mg/L)	6.31

그림 7은 다공성 점토광물 필터와 침착활성탄 필터에 부유물질농도(SS)가 400mg/L를 나타내는 원수를 각각 0.069m³/min~0.017m³/min로 통과시키면서 SS의 변화를 측정된 결과이다. 유량 0.069m³/min(Z-1, C-1)로 원수를 필터에 통과시킨 결과 점토필터는 SS값이 66.7mg/L로 원수 SS 값의 약 1/6로 감소하였다. 또한 침착활성탄필터는 SS 값이 166.7mg/L로 원수 SS값의 약 1/2.4로 감소하였다. 이 결과에 의하면 다공성 점토 광물 필터의 부유물질 제거능력은 침착활성탄필터에 비해 약 2.5배 우수한 것을 알 수 있다.

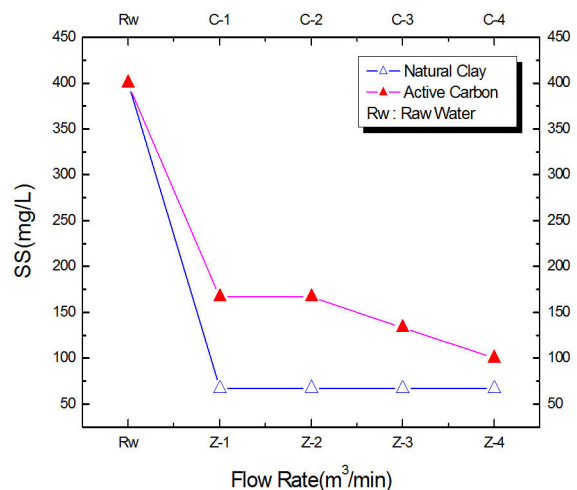


그림 7. SS Concentration with flow rate of raw water

한편, 점토필터는 통과 유량을 감소시켜도, SS 값은 66.7mg/L~67.0mg/L로 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 침착활성탄필터는 원수의 필터 통과유량이 감소될수록 SS 값이 감소하는 경향을 보이나, 점토필터에 비해 전반적으로 부유물질 제거능력이 낮은 것으로 관찰되었다. 점토필터가 침착활성탄필터보다 부유물질 제거능력이 매우 높게 나타나는 것은, 점토필터의 결정구조 내에 양이온들이 배위되어 있어 전리된 상태로 존재하는 용존성 오염물질(1~10 Å의 크기)을 양이온교환 등의 화학적 흡착에 의해 제거하기 때문이라 생각된다.

그림 8은 점토필터와 첨착활성탄필터에 화학적산소요구량(COD) 값이 358.5mg/L인 원수를 유량을 변화시키며 통과시킨 시료의 COD 값을 측정한 결과이다. 0.069m³/min(Z-1, C-1)로 원수를 통과시킨 시료에서 점토필터는 COD 값이 처음 원수 값의 약 25.1%가 감소하였고, 첨착활성탄필터를 통과한 시료는 약 19.5% 감소하였다. 따라서 필터의 유입 유량 0.069m³/min(Z-1, C-1)에서는 점토필터가 첨착활성탄필터보다 약간 여과능력이 좋은 것으로 나타났다.

그러나 다공성 점토광물 필터는 통과유량이 Z-2, Z-2, Z-3일 때, COD 값은 각각, 56.8%, 57.9%, 66.3%가 감소됨을 알 수 있다. 한편, 첨착활성탄필터는 21.7%, 23.8%, 34.9%로 감소되었다. 이 결과로부터 필터에 통과되는 원수의 유량이 감소할수록, 점토필터가 첨착활성탄필터보다 유기물질 제거 능력이 높아짐을 알 수 있다. 특히, 0.017m³/min(Z-4, C-4)로 원수를 통과시킨 시료에서 점토필터가 첨착활성탄필터보다 유기물질 제거 능력이 약 51.8% 증가함을 알 수 있었다.

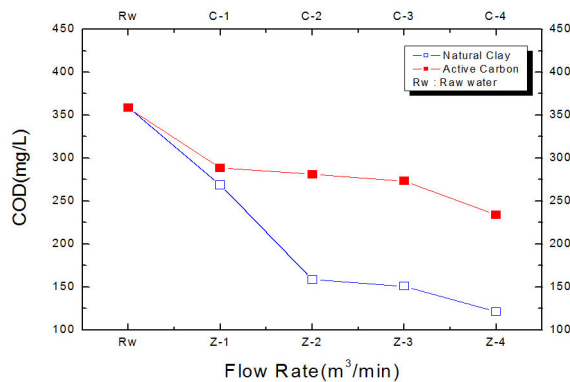


그림 8. COD Concentration with flow rate of raw water

이와 같이 원수를 다공성 점토필터에 통과시킨 시료의 COD 값이 원수를 첨착활성탄필터에 통과시킨 시료의 COD 값보다 작게 나타나는 것은 그림 7에서와 같이 점토필터가 전리된 용존성 오염물질의 제거능력이 첨착활성탄필터보다 우월하기 때문이라 생각된다.

그림 9는 점토필터와 첨착활성탄필터에 총질소(T-N) 12.3mg/L의 값을 나타내는 원수를 유량을 달리해 통과시킨 시료의 T-N 값을 측정한 결과이다. 유량이 0.069m³/min(Z-1, C-1)일 때, 점토필터에서는 원수 T-N 값의 84.0%로, 첨착활성탄필터에서는 85.3%로 감소하였다. 이 결과로 보면 점토필터와 첨착활성탄필터의 총 질소 여과능력은 거의 같음을 알 수 있었다. 다른 유량에서도 거의 비슷한 경향을 보였다.

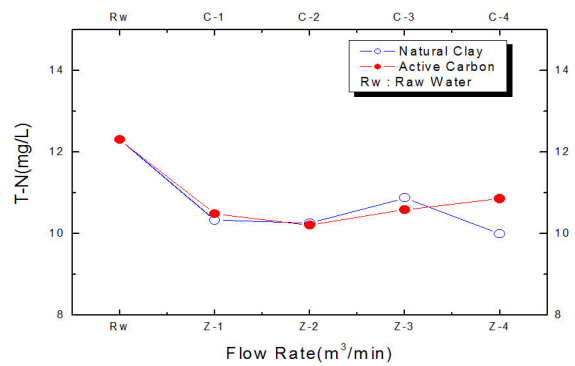


그림 9. T-N Concentration of with flow rate of raw water

그림 10은 점토필터와 첨착활성탄필터에 총인(T-P) 값이 1.07mg/L의 원수를 유량을 변화시키면서 T-P 값을 측정한 결과이다. 필터에 통과유량이 0.069m³/min(Z-1, C-1)일 때, 첨착활성탄필터를 통한 시료의 T-P 값은 원수의 44.9%, 점토필터를 통과한 시료의 T-P 값은 원수의 63.55%로 감소되는 결과를 보였다. 이 결과를 보면 필터에 통과 된 원수의 유량 0.069m³/min(Z-1, C-1)에서는 첨착활성탄필터의 총인 여과능력이 다공성 점토광물 필터의 총인 여과능력보다 우수함을 알 수 있었다. 그러나 필터에 원수 통과 유량이 0.035m³/min~0.017m³/min로 감소함에 따라 점토필터를 통과시킨 시료의 T-P 값은 첨착활성탄 필터를 통과시킨 시료의 T-P 값과 불규칙한 결과를 보여, 점토필터와 첨착활성탄필터의 총인 여과능력은 유량 변화에 따라 불규칙한 경향을 띠었다.

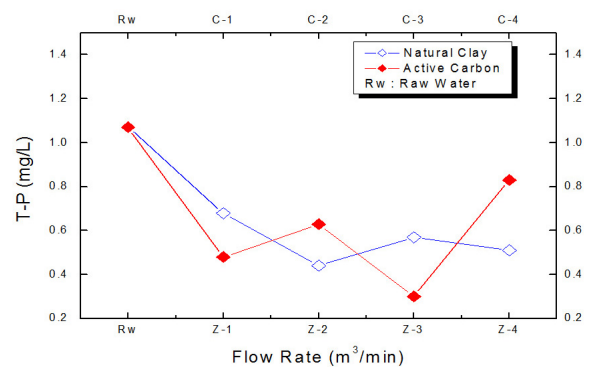


그림 10. T-P concentration with flow rate of raw water

4. 결론

도시지역에서 초기 우수로 인해 발생하는 오염물질의 제거가 가능한 여과재의 개발을 위하여, 다양한 미세기공을 갖고 있어 물리적 흡착이 뛰어나며, 분자구조 안에 많은 양이온이 배위되어 있어 화학적 흡착이 탁월한, 모데나이트(mordenite)와 클립노틸로나이트(Clinoptilolite)가

주성분인 천연제올라이트인 다공성 점토광물을 직경 3mm 볼 형태로 성형하였다. 그 후 다공성 점토광물 필터에 초기우수를 통과시켜, SS, COD, T-P, T-N 등의 오염물질의 제거 효율을 침착활성탄 필터의 성능과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 시험에 사용된 도시지역에서 초기 우수로 인해 발생된 비점오염원의 농도는 SS, COD, T-N, T-P 가 각각 400mg/L, 358.5mg/L, 12.3mg/L, 1.07mg/L 이었고, pH는 6.31이었다.
2. 다공성 점토광물 필터와 침착활성탄 필터에 부유물질농도(SS)가 400mg/L의 값을 나타내는 원수를 유량을 변화시키면서 각각의 필터에 통과시켜 SS 값을 측정하였다. 그 결과 유량 0.069m³/min로 통과된 시료에서 다공성 점토광물 필터를 통과한 시료의 SS 값이 66.7mg/L, 침착활성탄필터를 통과한 시료의 SS 값이 166.7mg/L를 나타내었다. 따라서 유량 0.069m³/min로 통과한 시료에서 부유물질 제거 능력은 다공성 점토광물 필터가 침착활성탄필터에 비해 약 2.5배 탁월한 것으로 나타났다. 한편 점토 필터는 유량의 변화에도 부유물질 제거 능력에 큰 영향을 받지 않았다. 다공성 점토광물 필터가 침착활성탄 필터보다 부유물질 제거능력이 매우 높게 나타나는 것은, 다공성 점토광물 결정구조 내에 양이온들이 배위되어 있어 양이온교환능력이 뛰어난 다공성 점토광물 필터가 전리된 상태로 존재하는 용존성 오염물질(1~10 Å의 분자 크기)을 화학적 흡착 등에 의해 제거하기 때문이라 생각된다.
3. 다공성 점토광물 필터와 침착활성탄필터에 화학적산소요구량(COD) 358.5mg/L의 원수를 통과 유량을 변화시키면서 COD를 측정한 결과, 필터에 통과되는 원수의 유량이 감소할수록, 다공성 점토광물 필터가 침착활성탄필터보다 유기물질 제거 능력이 높아짐을 알 수 있었다. 특히, 0.017m³/min(Z-4, C-4)로 원수를 통과시킨 시료에서 다공성 점토광물의 필터가 침착활성탄필터보다 유기물질 제거 능력이 약 51.8%로 최대값을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 다공성 점토광물의 필터가 전리된 용존성 오염물질의 제거능력이 침착활성탄필터보다 매우 탁월하기 때문이라 생각된다.
4. 다공성 점토광물 필터와 침착활성탄필터에 총질소(T-N) 12.3mg/L의 원수를 필터통과 유량을 변화시키면서 T-N 값을 측정한 결과, 다공성 점토광물 필

터와 침착활성탄필터의 총질소 여과능력은 거의 차이가 없음을 알 수 있었다.

5. 다공성 점토광물 필터와 침착활성탄필터에 총인(T-P) 1.07mg/L의 원수를 필터통과 유량을 변화시키면서 T-P 값을 측정한 결과, 필터에 통과시킨 최대유량 0.069m³/min에서 침착활성탄필터의 총인(T-P) 여과능력이 더 우수함을 알 수 있었다. 그러나 필터에 원수의 통과 유량이 감소할 때, 다공성 점토광물 필터와 침착활성탄필터의 총인 여과능력은 유량 변화에 따라 불규칙한 경향을 띠었다.

감사의 글

이 연구는 2011학년도 한남대학교 교비학술연구조성비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고 문헌

- 건설교통부(2006), *행정중심복합도시 건설기본계획*
- 부산발전연구원(2006), "부산지역 비점오염원 관리대책 수립에 관한 연구"
- 이건직, 성진욱, 박주현, 조규수, 박제철 (2010), "중소도시지역 비점오염원물질의 유출특성", *한국환경과학회지*, Vol. 19, No. 7, pp. 819-827
- 환경부(2004), *관계부처 합동[물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원 관리 종합대책*
- ASCE/USEPA(2006), *International stormwater best management practices(BMP) database*, <http://www.bmpdatabase.org>
- Das B. M.(1985), "Principles of geotechnical engineering", *PWS Engineering*, pp. 11
- Gromarine-Mertz, M.,Garnaud S., Gonzalez A., Chebbo G.(1997), "Characterization of urban runoff pollution in Paris", *Journal of Water Science and Technology*, Vol. 39, No.. 2, pp.1-8
- Kayabali, K. and Kezer, H.(1998), "Testing the ability of bentonite-amended natural zeolite (clinoptinolite) to remove heavy metals from liquid waste", *Environmental Geology*. Vol. 34, pp. 95-102
- John J. S. and Wteven G. B.(1997), "Partitioning and first flush of metal in urban", *Journal of Environmental Engineering*", Vol. 123, pp. 134-143
- Sharma H. D. and Lewis S. P.(1994), "Waste Containment System, Waste Stabilization, and Landfills", John Wiley & Sons, INC, pp. 46
- Wanielista M. P., Yousef Y. A., McLellon W. M.(1997), "Nonpoint source effect on water quality", *Journal of Water Pollution Federation*, Vol. 49, No. 3, pp. 441-451
- Yong Raymond N. and Warkentin Benno P.(1975), "Soil Properties and Behaviour", Elsevier Science Publishing Company, pp. 23
- (접수일 : 2012. 1. 9 / 심사일 : 2012. 1. 10 / 심사완료일 : 2012. 1. 26)