



터널 세척 폐수 특성 및 분리·흡착 방식에 따른 오염물질 저감 연구

Study on Pollutant Characteristics of Tunnel Cleaning Wastewater and Removal Characteristics of the Pollutants via Settling and Adsorption

박상우*

최영화**

오재일***

Park, SangWoo

Choi, Young Hwa

Oh, Jeil

Abstract

Washed wastewater generated from the intermittent cleaning process of the three tunnel sites located in the Seoul area showed high concentrations of SS, COD_{Cr}, T-N, NH₃-N, NO₃-N, Zn, Cu, Cr(+6), Mn, Mg, Phenol, CN⁻ and E-Coli based on the water quality analysis. These characteristics of the deteriorative wastewater depend on the sampling method, cleaning frequency, released amount of washing water, inner material of tunnel wall, traffic volume, and type of drainage systems. Gravitational separation experiment of SS with collected tunnel wastewater showed considerable removal of pollutants such as 80% of COD_{Cr}, 30% of T-N and 90% of T-P simultaneously. GAC isotherm test was conducted to remove dissolved portion of the pollutants, and resulted in high removal efficiencies above 80% of COD_{Cr}, T-N, Zn, Cu, Mn, Phenol, CN in the experimental condition of GAC dosage of 50g/l.

Keywords : tunnel cleaning wastewater, sampling method, separation, adsorption, GAC

요 지

터널 내 축적된 다양한 오염원들은 간헐적으로 수행되는 세척과정 중에 폐수로 배출되게 되며, 서울 시내 3개 터널 지점에서 수행된 수질분석결과 SS, COD_{Cr}, T-N, NH₃-N, NO₃-N, Zn, Cu, Cr(+6), Mn, Mg, Phenol, CN⁻, E-Coli 등이 고농도 형태로 배출되는 것으로 나타났다. 한편, 이러한 오염수질의 배출농도 특성은 터널 세척 폐수의 채취 방법, 세척횟수, 세척수량, 터널내벽 특성, 통행량, 배수 특성 등에 따라 다양한 농도범위를 보여주는 것으로 나타났다. 한편, 수집된 터널 세척폐수를 단순 중력침전을 이용하여 저감실험을 수행한 결과, COD_{Cr}는 80%, T-N, T-P는 각각 30, 90% 제거됨을 확인하였고, 중력침전 분리를 통하여 제거되지 않은 잔여 오염물질에 대하여 GAC 소재를 통한 흡착실험(터널 세척폐수 1l에 대하여 GAC를 50g을 투입) 결과, COD_{Cr}, T-N, Zn, Cu, Mn, Phenol, CN 항목에서 80% 이상 제거됨을 확인하였다.

핵심용어 : 터널, 세척폐수, 중금속, 분리, 흡착, 활성탄

* 중앙대학교 건설환경공학과

** 중앙대학교 건설환경공학과

*** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 부교수

1. 서론

터널의 밀폐적인 구조로 인하여 터널 내에서 발생하는 자동차 매연, 분진 등의 미세 오염물들은 터널 외부로 원활히 배출되지 못하고 터널 내벽과 부대 시설물 곳곳에 흡착된다. 이로 인해 터널 내부에 조도 저하 문제가 발생되며, 그 밖에 보건상의 문제, 미관상의 문제 등이 발생되고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해서 주기적인 터널 내부 세척작업이 수행되고 있다. 터널 세척작업은 관리기관 및 지역에 따라 편차가 있는데, 일반적으로 고속도로의 경우 연 3회, 주요 도심지 도로의 경우 연 6회 가량 실시하고 있다(이주광 등, 2005; 구분상 등, 1998).

터널 세척작업은 워터 제트(water jet) 분사방식으로 수행되며, 이때, 발생한 폐수는 터널 도로 외측부에 위치한 배수구조물을 통해 배수된다. 이러한 터널 세척 폐수는 세척작업 시에만 발생하며, 외부에 쉽게 노출이 되지 않는 특성으로 인해 오염도와 관련된 연구는 미미한 실정이며, 일부 논문에서만 세척폐수에 고농도 오염물질이 유출되고 있음을 확인하였고, 이에 대한 적절한 대응방안이 필요함을 시사하였다(구분상 등, 1998).

터널은 크게 하수관거 인프라의 유·무에 따라 구분한다면, 도심지 터널의 경우 터널 세척폐수가 하수관로로 이송됨에 따라 실제 환경위해도가 높지 않다고 할 수 있으나, 지방도, 국도, 고속도로 등과 같이 도심지를 횡단하지 않는 터널의 경우, 터널 세척 폐수가 인근 수계로 직유입 됨에 따라 환경오염의 우려가 있다. 따라서 최근 일부 터널 건설사업에서 친환경 건설 패러다임에 의해 터널 세척폐수를 직방류 시키지 않고, 세척폐수를 보관할 수 있는 집수조를 터널 하부에 건설하여, 정기적으로 외부전문처리업체에 위탁하는 방식을 도입하고 있다. 그러나 이러한 세척폐수 처리방법은 집수조 건설에 따른 시공성, 경제성이 매우 결여되고, 집수된 세척폐수를 처리하기 위한 정기적인 위탁처리 비용이 상당할 것으로 추정되므로, 운영·건설중인 터널 건설사업에 적용하는데 다소 어려움이 따른다. 따라서, 본 연구에서는 터널 세척폐수의 효과적인 관리방안을 구축하기 위한 기초연구로 터널 세척폐수의 발생현황과 이

를 처리하기 위한 기본적인 방법과 그에 대한 처리 효율에 대해 자료를 획득, 제공하고자 한다.

본 연구에서는 서울 시내에 위치한 A, B, C 터널 세 곳을 조사지점으로 선정하여, 각 터널의 세척작업 시 발생하는 실제 터널 세척폐수를 채취하여 터널 세척폐수의 배출성상을 알아보았고, 이를 처리하기 위한 방법으로 침전·분리 및 흡착방식을 이용한 저감 효율 및 적용 타당성에 대해 검토하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 연구 대상지역

조사지점은 서울 중심부에 위치한 터널들로 조사 기간 중, 유지관리가 잘되고 있는 A터널, B터널, C터널, 총 3개 지점이 선정되었다. 각 지점들의 기본 현황 및 특성은 표 1에 제시되어 있다.

터널 세척폐수의 배출 부하량은 교통량, 내벽 면적 등의 변수에 따라 결정될 것으로 판단된 바 이를 감안하여 조사지점을 선정하였다.

터널의 총 연장 및 높이(터널 천정까지의 높이로 벽면의 높이와 다름)는 개개 터널의 세척면적(내부 벽면) 산정의 기초자료로 활용되는데, 이 세척면적은 최종적으로 세척면적당의 원단위 부하량 산정을 위한 기초자료로 활용된다. 한편, 터널 내벽에 흡착되어 있는 물질의 대부분이 자동차 매연 및 분진 등

표 1. 각 조사지점의 기본 현황 및 특성

터널 명	A 터널	B 터널	C 터널
위 치	서대문구 소재	중구 소재	중구 소재
준공년도	1979	1970 (2001개수공사)	1978
총 연장(m)	555	1,620	1,260
차로수	3(편도)	3(편도)	6(양복)
폭원(m)	10.6	10.1	18.4
높이(m)	6.8	4.5	4.7
일평균 통행량(대)	66,000	20,000	47,000

* 교량현황조사서(2005), 건설교통부

** 서울지방경찰청 종합교통센터

으로 추정되며, 이러한 터널 내 대기오염 정도를 결정짓는 중요 매개변수로는 일평균 통행량 자료가 중요하다(유영식 등, 2005).

2.2 터널 세척작업에 따른 시료채취 및 수질분석

서울 시내 터널 내부세척작업은 정기적으로 2~4개월을 주기로 수행되어지고 있는데, 세척주기가 상당한 간격을 보여 실제 연구기간 내 터널 세척폐수의 시료채취는 각 지점별 1회로 제한되는 한계점을 지니고 있다. 보다 정밀한 연구결과를 확보하기 위해서는 추가적인 반복조사가 필요하나, 터널 세척폐수의 기초적인 배출 현황 제시를 위한 자료로는 충분할 것으로 판단된다.

서울시에서 터널을 세척하는 방법은 자체 개발된 터널 세척장비를 이용하여, 터널 내벽에 고착된 분진을 탈리시키고(대형 브러시가 장착된 차량이 소량의 물과 함께 브러싱 작업), 이후 고압의 water jet를 이용한 살수를 통해 표면을 세정한다. 이때 발생하는 세척폐수는 내벽을 타고 흘러 도로 양 측면에 위치한 U형 트랜치를 통해 하수관으로 배출된다(살수 전의 브로싱 작업 시 일부 오염물이 제거될 수 있으나, 세척작업을 면밀히 관찰한 결과 전체 비율에 비하여서는 미미한 것으로 판단됨). 터널 세척폐수의 시료채취는 주변 방해물질이 포함되지 않은 세척수만을 수집하기 위하여, 세척작업이 진행되는 동안 동일한 동선으로 이동하면서, 미리 준비된 수집통을 내벽에 밀착하여, 원위치(On-situ)에서 세척수를 바로 채취하였다(실제 배수 U형 트랜치에 상당량의 입자성 오염물질이 퇴적되어 U형 트랜치를 통한 시료채취가 어려운 실정임). 이 때, 채취한 시료는 터널 위치에 따른 특성을 무시하고, 구간별로 25 liter 용량의 물통에 보관하였고, 분석 시에는 이를 동일한 부피 비율로 희석하여(최종 composite 시료 구성), 각 터널별 세척폐수 농도 및 오염물질 배출특성을 분석하였다. 터널 세척작업 시, 수행된 채취방법은 그림 1과 같다.

채취된 시료는 실험실로 운반하여 COD_{Cr} , BOD_5 , 부유물질(Suspended solid: SS), 총질소, 총인, 질소산화물(배기가스 농축 오염물질), 중금속, 페놀, 시

안 등에 대하여 수질분석을 실시하였다. 각 분석은 공정시험법 및 Standard Methods에 준하여 수행되었다. 한편, 터널 세척폐수의 발생유량은 세척폐수가 이동되는 배수구조물 상에서 유량측정을 수행하고자 했으나, 배수구조물 내 다량의 분진 및 침사물이 적체되어 그 적용이 어려웠다. 따라서, 본 연구에서는 세척작업 시 소요된 세척용량(터널 세척시의 살수량과 폐수발생량이 동일하다는 가정)을 이용하여, 이를 작업시간, 이동거리를 기준으로 환산하였다.

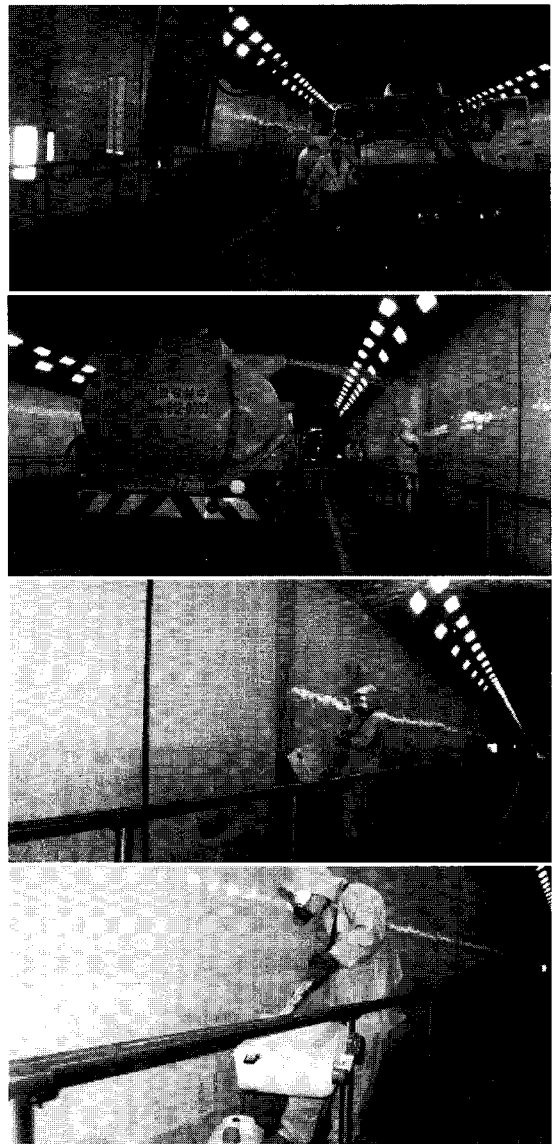


그림 1. 터널 내부 세척작업 및 시료채취(세척작업은 좌상에서 우하로 순차적으로 진행)

2.3 분리 및 흡착방식을 통한 오염원 저감 실험

분리 및 흡착에 따른 터널 세척폐수 내 오염원의 저감현상을 분석하기 위하여, 전체 조사지점 중 시료의 양과 농도가 확보된 터널 C의 세척폐수 여분을 혼합하여 시료를 제작하였다.

해당 시료는 상당량의 부유물질 성분을 내포하고 있어, 흡착실험 시 이에 대한 영향을 최소화하기 위하여 24시간 동안 단순 중력침전을 수행하였다. 침전된 침전물의 부상을 최소화한 상태에서 상등액을 분리하여 옹기는 방식으로 진행되었으며, 최종적인 분리효율은 단순 중력침전 전·후의 농도차에 의하여 산정하였다.

입자성 오염물의 분리작업이 끝난 시료에 대하여 연속적으로 GAC 소재(제조사별 석탄계 1제품, 총 3개 제품)를 이용한 흡착실험을 수행하였다. 흡착실험은 정해진 GAC 투입량(1, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 200g)을 시료 1l와 함께 비이커(2l)에 넣어서 jar-tester로 혼합 교반하여 실시하였다. 교반속도는 200rpm으로 온도 및 pH의 변화를 관찰하며 3시간 동안 수행하였다. 교반 시작과 종료 시에는 일정량(50ml)의 시료를 샘플링하여 0.45 μ m의 필터로 필터 작업을 거친 뒤 COD_{Cr}, T-N, Zn, Cu, Mn, Mg, Phenol, CN 등의 항목에 대하여 분석을 실시하였다. COD_{Cr}, T-N, Phenol, CN 분석은 수질오염 공정시험법(환경부, 1999)과 Standard Method(APHA, 1998)에 준하여 분석하였다. 중금속 항목인 Zn, Cu, Mn, Mg 분석은 Standard Method에 의하여 전처리를 실시한 다음 유도분극 플라즈마 원자발광광도계(ICP, JobinYvon, Ultima2)를 통하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 터널 세척폐수의 기본수질 특성

본 조사연구에서 중점적으로 검토된 지역은 터널 B, C 지점으로 앞서 이야기 한 세척폐수 시료채취

방법과 같이 수행하였으며, 터널 A의 경우, 터널 내 집수·배수 구조물인 U형 수로상에서 채취한 방법으로 채취방법에 따라 표 2와 같이 뚜렷한 오염물 정상 차이를 확인할 수 있다(채취방법론의 차이에 따라 크게 그룹 I (터널 A)과 그룹 II (터널 B, C) 2개 그룹으로 분류됨).

각 그룹 간 개별 오염항목의 농도를 비교한 결과, 터널 A의 분석결과 값이 터널 B, C 값에 비하여 상당히 높은 것을 볼 수 있다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 시료채취방법의 차이에서 비롯된 것으로, 터널 A의 경우, U형 수로 내에 기존에 누적/존치되어 있던 분진 오염물들이 함께 유출되어 상대적으로 터널 B, C에 비하여 높게 나타난 것이다.

수질 항목별로 검토하였을 경우, 유기 오염물의 간

표 2. 각 조사지점의 오염항목별 배출농도

항 목	그룹 1	그룹 2		
	A 터널	B 터널	C 터널	
일반 수질 항목	COD _{Cr}	5973.24	15.6	320.69
	BOD ₅	94.8	3.05	13.05
	T-N	43.10	7.82	12.17
	T-P	2.70	0.16	0.71
	SS	5010.35	50.42	125.97
중금속 항목	Zn	0.917	0.177	0.394
	Cu	0.285	0.009	0.072
	Pb	0.012	0.004	0.009
	Cr(+6)	0.480	0.040	0.170
	Cd	0.006	0.003	0.002
	Mn	0.371	0.031	0.100
	Fe	0.065	0.018	0.021
	Mg	25.518	7.292	12.529
	Al	0.057	0.018	0.020
	As	0.013	0.002	0.000
영양 염류	NH ₃ -N	41.24	3.37	4.26
	NO ₃ -N	14.91	7.31	8.24
	NO ₂ -N	1.21	0	0.29
병원성 미생물	E-coli.	5×10 ³	1×10 ¹	1×10 ²
	Coliforms	1×10 ²	1	1×10 ¹
기타	페놀류	9.49	0.35	3.11
	시안	0.29	0.002	0.05

접적인 농도지표로 활용되는 COD_{Cr}, BOD₅ 중 COD_{Cr} 성분의 경우 매우 고농도로 배출되었음을 확인 할 수 있으며, 따라서, COD_{Cr}/BOD₅ 비율 또한 매우 높다고 할 수 있다. 이는 하수처리장으로 유입되는 하수의 그것이 1.2~1.6임을 감안 한다면, 실제 터널 세척폐수를 하수처리공법과 유사한 방법으로 처리하는 데 있어서 한계점이 있을 것으로 판단된다. 또한, 터널 B, C만을 비교한 경우, 터널 C에서 오염물질 농도가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있는데, 이는 통행량(총 배기가스 배출량 및 차량 부속 마모에 따른 분진발생량과 상관됨), 세척주기, 터널 개보수 시점(터널의 내구성 저하 측면), 터널 내벽의 도장방법(흡착정도에 영향)의 차이에서 비롯되는 것으로 추정된다(실제로 터널 C의 경우 터널 B에 비하여 일평균 통행량이 2배 이상이며, 개보수 시기도 훨씬 오래된 것으로 조사됨). 또한 이러한 결과는 도로 노면 유출수의 성상과 유사한 특성을 지니고 있음을 알 수가 있다(박상우 등, 2007).

각 터널의 세척작업 시 발생하는 세척폐수의 유량은 표 3과 같이 확인되었으며, 발생한 세척폐수량은 해당 터널의 연장과 관계가 있음을 비교 분석할 수가 있었다. 전반적으로 터널 폐수량을 종합해 보았을 때, 평균적으로 약 6.9 liter/m의 세척수가 사용됨을 추정하였다.

표 3. 각 조사지점별 발생 터널 세척폐수 유량

항 목	그룹 1		그룹 2	
	A 터널	B 터널	C 터널	
터널 세척작업 시 발생유량	4 ton	11 ton	8.5 ton	

한편, 서울 시내 터널 58개소(교량현황조사, 2005)의 평균적인 총연장은 585m로, 터널 A와 유사한 연장을 지니는 것으로 볼 때 터널 세척시, 대략적으로 4ton 가량의 세척폐수가 발생한다고 볼 수 있다.

3.2 터널 세척에 따른 오염항목별 부하량 산정

터널 세척폐수 저감을 처리시설 설계를 위한 기초 자료 제공을 위해 앞서 측정된 개별 터널 세척폐수의

발현농도 및 발생유량을 바탕으로 각 터널의 오염항목별 부하량을 산정하였다.

오염 부하량은 앞서 산정된 유량값과 세척폐수 평균 농도값의 곱으로 계산되고, 이는 표 4와 같다.

앞서 산정된 세척작업 시 총부하량과 단위연장(거리)당 부하량을 바탕으로 터널에서 세척폐수에 의한 연간 발생하는 부하량을 산정할 수 있다. 우선, 계절별 특성, 세척빈도, 작업방법 등 다양한 요소들을 감안하여, 발생부하량을 산정해야 하나, 본 연구에서는 상기한 조건들이 동일하다는 가정에 의해 산정하였음을 미리 밝혀 둔다(서울 시내 터널의 경우 전술한 바와 같이 연 6회 터널 세척을 실시함).

표 6에 계산한 터널 별 연간 발생부하량에서 보는 바와 같이 COD_{Cr}, 질소화합물, 중금속류 중 Zn, Cr(+6) 등이 주요 발생오염원임을 알 수 있다. 이들

표 4. 각 조사지점의 오염항목별 총부하량

항 목	그룹 1 A 터널	그룹 2		
		B 터널	C 터널	
일반 수질 항목 (kg)	COD _{Cr}	23.89	0.17	2.73
	BOD ₅	0.38	0.03	0.11
	T-N	0.17	0.09	0.10
	T-P	0.01	-	0.01
	SS	20.04	0.55	1.07
중금속 항목 (g)	Zn	3.67	1.95	3.35
	Cu	1.14	0.10	0.61
	Pb	0.05	0.04	0.08
	Cr(+6)	1.92	0.44	1.45
	Cd	0.02	0.03	0.02
	Mn	1.48	0.34	0.85
	Fe	0.26	0.20	0.18
	Mg	102.07	80.21	106.50
	Al	0.23	0.20	0.17
	As	0.05	0.02	-
	Ni	0.07	0.08	0.08
질소산 화물 (g)	NH ₃ -N	164.96	37.07	36.21
	NO ₃ -N	59.64	80.41	70.04
	NO ₂ -N	4.84	-	2.47
기타 (g)	페놀류	37.96	3.85	26.44
	시아	1.16	0.02	0.43

30, 90% 제거되었다. 일부 중금속 및 기타 오염항목 또한 미량 제거되었다. SS성분 제거만으로도 전체 오염물의 상당량을 차지하는 대부분의 유기오염물 및 영양염류를 제거할 수 있음이 밝혀졌으며, 터널 세척폐수 내 오염원 저감을 위하여서는 보다 효율적인 침전 시설의 설계가 핵심요건일 것으로 판단되었다.

제거효율이 높게 나타난 COD_{Cr} 성분의 경우, 배기가스 분진에 기인된 것이 대부분일 것으로 추정되는데 이러한 배기가스 분진은 물에 잘 녹지 않고, 입자형태로 존재하여, 침전에 의한 방법으로도 그것을 쉽게 제거할 수 있는 것으로 보인다. T-P 성분 또한 도로에서 발생하는 오염원에서는 입자상으로 존재하는 비율이 높게 나타나기 때문에 COD_{Cr}의 경우와 같이 높은 제거효율을 기대할 수 있다. 그러나, T-N 성분의 경우, 용존성이 높은 물질들을 다량 포함하고 있기 때문에 침전방법에 의해 해당성분을 제거하기에는 다소 어려움이 있다. 따라서, 효과적이고 종합적인 터널 세척폐수의 관리를 위해서는 침전 이외에 용존상의 오염물질을 정화할 수 있는 방식이 병행 적용하는 것이 유용할 것으로 판단된다(비록 미량으로 배출되나 높은 독성을 지니는 중금속 및 페놀, 시안 등의 오염원 상당량이 용존되어 배출되는 배출특성을 나타내며, SS성분의 제거만으로도 이러한 용존 형태의 오염물을 제거하기 어려움).

3.4 터널 세척폐수 내 용존상 오염원의 저감을 위한 GAC 흡착실험

터널 세척폐수 내의 용존상 오염원 제거방안의 하나로 GAC 소재를 이용한 흡착실험을 수행하였다. GAC 소재의 흡착효율은 제조사에 따라 일부 차이가 있는 것으로 드러났으나, 차후 범용적인 적용을 위하여 각 제조사별 효율 차이에 초점을 두기 보다는 사용 소재인 GAC 자체의 전반적인 제거효율을 범위로 표시하여 GAC 소재의 터널 세척폐수 내 오염원 흡착능력평가를 실시하였다.

그림 3과 같이 GAC 투입량에 따른 오염원 제거율을 살펴본 결과 터널 세척폐수 1l에 GAC를 50g 투입하였을 때까지는 개별 오염원의 제거율이 급격히

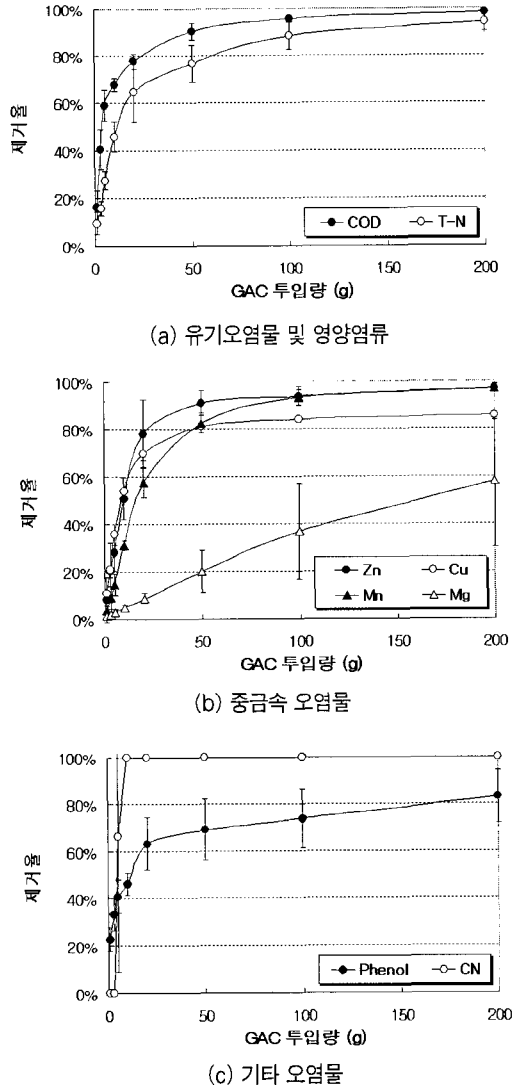


그림 3. GAC 투입량에 따른 개별 오염물의 제거율 변화

증가하나 50g 이상 투입 시부터는 제거율의 증가가 투입량 대비 매우 작은 것을 확인할 수 있었다. 또한 대체로 터널 세척폐수 1l에 GAC를 50g 투입할 경우 대다수의 오염물질들이 80% 이상 제거됨을 확인하였다. 따라서 가장 경제적인 GAC 소재의 투입량은 50g/l 정도로 판단된다.

한편, 개별 오염항목별 GAC 투입량에 따른 제거율 변화를 살펴보면 다음과 같다. GAC 소재를 50g 투입할 시 먼저 COD_{Cr} 및 T-N 항목의 경우 COD_{Cr}



은 90%, T-N은 75% 정도 제거됨을 확인할 수 있다. 이 때 농도는 COD_{Cr}이 2.20~4.43mg/l, T-N이 1.07~1.98mg/l로 상당히 낮은 수치를 나타내고 있다. 중금속 항목의 경우 Zn은 약 90%, Cu와 Mn은 약 80% 제거되는 것을 확인할 수 있었으나, Mg 항목만은 흡착 효율이 매우 낮아 약 20% 제거되었다. 일부 제조사에 따라 GAC를 200g까지 투입할 경우 Mg의 제거율이 90% 가까이 증가하기도 하였으나 대체로 낮은 효율을 나타냈다. Phenol의 경우 최대 80%까지 비교적 많은 양이 제거되는 것을 볼 수 있었으며, CN의 경우 워낙 농도의 절대값 자체가 낮아 적은 GAC의 투입량으로도 100%에 가깝게 제거되는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

서울 중심에 위치한 터널 3개 지점을 선정하고, 터널 내벽 세척시 발생하는 터널 세척폐수에 대한 유량/수질분석 및 오염원 저감을 위한 분리·흡착실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 터널 세척폐수의 발생량은 터널 연장 1m의 단위 길이 당 6.9l로 나타났으며, 서울 시내 평균 터널 연장인 585m 길이의 터널 세척을 가정할 경우 약 4ton 가량의 터널 세척폐수가 발생하는 것으로 나타났다.
2. 터널 세척폐수의 수질분석결과 고농도의 유기오염물 및 입자성 오염물질이 포함되어 있으며 미량 유해물질도 다소 포함되어 있는 것으로 나타났다. 터널 세척폐수의 성상은 도로노면 유출수의 성상과 상당히 유사한 것으로 나타났으며, 이는 터널 세척폐수와 도로노면 유출수 모두 오염원의 대부분이 차량 또는 도로노면상의 오염원에 기인하기 때문인 것으로 나타났다.
3. 중력침전을 이용한 분리실험(SS성분 제거) 결과, COD_{Cr}는 약 80%, 영양염류 T-N, T-P는 각각 30, 90% 제거되어 단순 침전만으로 상당량의 오염물을 제거할 수 있음을 확인하였으나, 일부 중

금속 및 Phenol, CN 등은 용존상의 형태로 배출되어 제거되지 않는 것으로 나타났다.

4. GAC 소재를 이용한 흡착실험결과, 터널 세척폐수 1l에 대하여 GAC를 50g 투입하였을 때 가장 경제적으로 오염원을 제거할 수 있는 것으로 나타났으며, 이때의 COD_{Cr}, T-N, Zn, Cu, Mn, Phenol, CN 항목의 제거율은 모두 80% 이상으로 나타났다. 하지만 Mg 항목의 흡착 효율이 매우 낮아 20% 정도로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청의 산학연공동기술개발 컨소시엄 사업의 연구비 지원에 의해 연구되었습니다.

참고문헌

구본상, 박건진, 정익재, 허재성, 박창희, 조옥상 (1998), 고속도로 터널내 세척폐수의 발생현황 및 처리방안 연구, Applied Chemistry, 2(1), pp.226~229
 건설교통부(2005), 교량현황조사
 박상우, 오재일, 최영화, 서정우 (2007), 도로노면 유출수의 비점오염원 배출 특성 (1) : 기본 수질 항목, 상하수도학회, 상하수도학회지, 21(2), pp.225~234
 박상우, 오재일, 최영화, 김중화, 하재원 (2007), 도로노면 유출수의 비점오염원 배출 특성 (2) : 중금속 및 병원성 미생물, 상하수도학회, 상하수도학회지, 21(2), pp.235~242
 이주광, 장태순, 강희만, 강혜진 (2005), 고속도로 청소폐수 수질 특성, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집, pp.567~570
 유영식 (2005), 고속도로에 위치한 터널 내의 입자 및 가스상 오염물질의 특성, 환경관리학회, 환경관리학회지, 11(4), pp. 263~269
 환경부 (1999) 수질오염공정시험법.
 APHA (1998) AWWA, WEF, Standard Method: 20th Edition.

접 수 일 : 2007. 5. 8
 심 사 일 : 2007. 5. 10
 심사완료일 : 2007. 6. 19