

건설 현장 내 비점오염원 처리 시설의 제거 특성 평가

(Characteristics Evaluation of non Point
source treatment facilities in construction site)



최영화
블루그린핑크주대표이사
bglink@hanmail.net

1. 서론

최근 국내 개발 사업지에서 공사 후에 발생하는 비점오염원 관리를 위해 수질환경보전법에서는 주요 개발 사업시 환경영향 평가 대상 사업에 대해 비점오염원 방지 시설 설치를 의무화 하고 있다. 또한, 각 지자체에서는 오염총량관리제 수행을 통해 유역별로 할당된 목표 수질을 달성하기 위하여 할당된 삭감 목표에 근거하여 개발 사업 시행시 비점오염원 배출 부하량을 규제하고 있다.

이전까지의 비점오염원에 대한 규제는 공사 후 도로/단지 내 비점오염원 처리에 국한되었으며, 공사 중 발생하는 비점오염원에 대한 규제는 매우 미비하여 적절한 관리가 이루어지지 않고 있었다. 그러나, 외국의 선행 연구에서 건설 공사 중에 토사를 포함한 다양한 비점오염원 물질들이 배출되고 있으며, 이들은 환경오염을 우려할 만한 수준이라는 것이 보고되었다(Barbara, 2003). 최근, 미국에서

는 이러한 공사 중 비점오염원에 대해 엄격한 규제 법규를 제정하여, 각 주별로 이들을 관리하고 있는 현실이다 (Caltrans, 2003). 이와 더불어 국내 건설환경기본계획(국토해양부, 2007)에서 건설 현장 내 토사 및 오염물질 유출 방지를 7대 추진전략으로 계획하였으며, 환경 친화적 도로 유지 관리 지침에서는 공사 중 비점오염원 관리 방안에 대해 구체적으로 제시하고 있다. 따라서, 외국의 사례와 국내 향후 추진계획을 통해 우리나라에서도 공사 후 비점오염원 관리와 더불어 공사 중 비점오염원에 대한 법규/규제가 마련될 것으로 예상된다. 이러한 공사 중 비점오염원 배출특성을 확인하기 위하여, 다양한 도로 건설 현장에 대해 강우 시 비점오염원 조사를 수행하였다.

또한, 이러한 건설 현장에서 발생하는 비점오염원을 처리하는 방법으로는 크게 가설 형식의 유출 저감 시설과 장치형 시설을 이용하는 방법으로 구분하고 있다. 이 중, 가설 형식의 유출 저감 시설은 공사 현장의 특성 상, 영구적

인 시설의 설치가 어렵기 때문에 간단한 시공 방법을 통해 비점오염원을 관리하는 방법으로 설치 위치에 따라 원위 치에서 비점오염원 유출을 억제하는 방법과 강우 시 유출 된 비점오염원에 대해 저감 시설을 통해 오염물질 부하량 을 저감 후 배출하는 방법이 있다. 이러한 가설 형식의 유 출 저감 시설은 저렴한 공사비로 높은 오염물질 저감 효과 를 기대할 수 있는 방법으로 외국에서는 가장 범용적이고 일반화된 방법이라고 할 수 있다. (Caltrans, 2003)

그러나, 이러한 가설 형식의 비점오염원 처리 시설은 그 처리효율이 제한적이므로, 해당 현장 주변 수계의 수질 기준, 주변 민원 등에 따라서 보다 높은 처리 효율이 요구 될 수 있으며, 이러한 경우에 장치형 처리 시설을 적용하 여, 요구사항을 만족시킬 수 있다.

현재까지 국내 연구에서는 건설현장 비점오염원에 대 한 유출 특성 또는 구체적인 관리 방안에 대한 연구사례가 극히 적으며, 본 연구에서는 이러한 공사 중 비점오염원 유출 저감에 대한 특성과 이들을 관리하기 위한 공법을 실 제 현장에 적용하여, 그 특성을 확인하고자 한다.

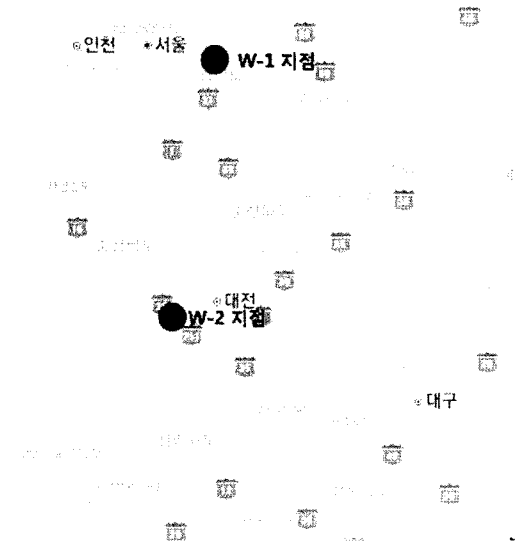
2. 적용 지역 및 조사 방법

2.1 적용 지역

조사 지역은 서울 근교 내 2시간 이내 거리의 고속 도로 공사 현장 중, 공사 진척도에 따라 공사 초반과 공사 중반 현장으로 구분하여 선정하였다. 도로 공사 현장 내 발생 가능한 잠재적 비점오염원은 도로 공사 단계 및 현장의 지 역 특성에 따라 다르게 나타날 것으로 예측되어, 이러한 특성 등을 감안하여 모니터링 지점을 선정하였다. 또한, 현장 내 공사 진행 정도, 노면 특성, 강우 강도에 따른 발 생 비점오염원의 특성 비교를 위해 모니터링 구간은 순성 토 구간으로 제한하였으며, 상기 제시한 조건을 반영하여 지점을 분류하여 강우에 따른 발생 비점오염원을 모니터 링 하였다.

상기 현장에 대하여 비점오염원 발생특성에 대해 조사 하였고, 해당 지점에서 가설 형식의 비점오염원 처리 시설 에 대한 효율 모니터링 및 장치형 처리시설을 적용하여 그 저감효과에 대해 평가하였다.

모니터링 기간은 2007년 6월부터 9월까지 4개월에 걸 쳐 총 3회에 걸쳐 모니터링 하였으며, 처리 시설에 대한 저감효율은 이와 동일한 시점에서 수행하였다. 조사 지점 의 위치는 아래 그림 1과 같고, 지점의 특징은 아래 표 1과 같다.



<그림 1> 현장 지점별 위치

[표-1] 도로 공사 현장 내 비점오염원 모니터링 지점 특징

지역	공사 단계	현장 세부 특성	집수 면적(m ²)
W-1 지역	공사 초반	도로 기층 조성	1049.00
W-2 지역	공사 중반	도로 노면 포장	3306.48



(a) W-1 지역

(b) W-2 지역

<그림 2> 현장 별 도로 노면 특성

W-1 지역은 대체적으로 공사 초반인 현장으로써 다짐 상태가 좋지 않으며, 노면 교란이 가장 심한 지역이다. W-2 지역은 공사가 거의 마무리 되어 가는 현장으로 콘크리트 포장이 완료된 상태이다.

2.2 건설 현장 비점오염원 유출 특성 조사

각각의 도로 공사 현장 내 강우 유출수의 유량은 집수 면적이 작은 경우 유량이 그다지 높지 않고, 배수로 및 중배수관 등이 아직 설치되어 있지 않기 때문에 인력에 의해 폭이 일정한 간이 배수로를 만든 후 초음파 유량계를 설치하여 측정하였다. 시료 채취는 강우 이후 유출수가 발생한 시점에 따라 평균 30분 간격으로 채취하였으며, 강우 강도가 높은 시점에서는 15분 간격으로 채취 후 4℃에서 냉장 보관 후 강우수 내 오염 농도를 측정하였다.

채취한 시료는 COD, BOD, T-N, T-P, SS 등의 기본 수질 항목을 주로 분석하였으며, 필요에 따라 중금속(Zn, Pb, Cu, Cr, Cd)을 분석하였다. 각 항목별 측정 방법은 수질오염 공정시험법과 Standard method(APHA, AWWA and WEF, 2005)에 준하여 분석하였으며, 중금속은 ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrometer, JY-Ultima-2, France)를 활용하여 분석하였다.

2.3 현장 가설형 비점오염원 처리 시설 평가

도로 공사 현장 내 토사 유출 저감 시설은 크게 토사유출 저감시설과 토사유출 억제시설로 나눌 수 있다. 토사유출 저감시설이란 저류 및 필터링 등의 방법을 통해 강우 유출수 내 포함된 토사의 양을 줄이는 시설이며, 토사유출 억제시설이란 토양표면 처리를 통해 강우에 의해 토사가 유출되는 것을 원천적으로 방지하는 시설이다. 토사 유출 저감 시설로써는 Check Dam, Silt Fence, Fiber rolls 등의 시설이 있으며, 토사 유출 억제 시설로써는 Soil Binder, Geotextile 등의 시설이 있다. 본 연구에서는 각 현장별로 아래와 같이 Check Dam, Silt Fence, Geotextile의 3가지 시설을 적용하였으며, 시설의 특징은

아래와 같다.

(표-2) 토사 유출 저감 시설의 특징 및 현장 적용

시설명	목적	모식도 (Calltrans, 2003)	현장 적용 사진	특징
Check Dam				- 40,000m ² 이하의 오픈된 수로에 적용 - 수로 내 경사 및 유속 감소를 통한 강우 유출수 내 토사 저감
Silt Fence	유출 저감			- 수류의 흐름이 얇고 넓게 퍼진 지역에 적용 - 양쪽의 지지대 사이를 필터 섬유로 에워싼 형태 - 일시적 침사조 및 필터 역할 수행
Geotextile	유출 억제			- 일반적으로 길이가 짧은 급경사 지역에 설치하며, 토양 표면에 매트를 덮는 방식 - 토사 유출 억제 효과

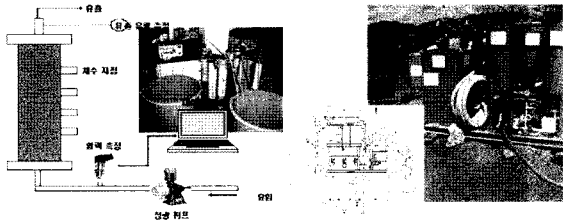
Check Dam은 적용 지역 내 배수로에 돌, 모래, 자갈 등을 쌓는 방법으로써, 강우 유출수의 유속 감소 및 일시적 저류를 통해 유출수 내 입자성 오염 물질을 저감하는 시설이며 시설의 설치 및 제거가 간단하다. Silt fence는 강우 유출수의 배수 구역 주변에 설치하는 시설로 양쪽의 지지대 사이를 필터 섬유 등으로 에워싼 형태이다. 시설의 뒤쪽에 일시적인 침사조 형성 및 필터 역할을 수행함으로써 강우 유출수 내 입자성 오염 물질을 저감하는 시설이다. Geotextile은 경사 구간 및 평지 구간의 토양 표면을 섬유 매트 등을 이용하여 덮는 시설로써, 강우에 의한 토사 유출을 원천적으로 억제하는 시설이다.

2.4 장치형 여과처리 시설 실험

Lab scale test는 이동식 여과 처리 시설에 적용될 수 있는 적정 여과 소재 선정 및 여과 처리 시 기본 저감 효율 및 막힘 현상 거동에 대해서 확인하고자 하였다. 실험 장치는 길이 100cm, 직경 5cm 아크릴 컬럼에 pressure

drop을 확인할 수 있도록 디지털 압력게이지를 장착하였으며, 교반된 공사장 오탁수(부유물질 기준 1000mg/L 농도)를 peristaltic pump를 이용하여 상향류 여과 방식으로 test set을 구성하였다. (그림 3(a))

Semi pilot scale test는 이동식 여과 처리 시설의 적용 특성 상, 공사 현장의 특성, 강우 특성 등에 따라 유입 수질/유량 조건이 다양하게 발생할 수 있으므로, 실규모 pilot scale plant 제작 이전에 설계 인자 및 다양한 환경 조건에서 능동적으로 대응 가능한 운전 핵심인자를 도출하기 위하여, 소규모 이동식 여과 처리 시설(처리 용량 : 5ton/hr, 구성: 침전조, 2단 여과조)을 제작하여 공사 현장에서 운전을 수행하였다. (그림 3(b))



(a) Lab scale test set (b) Semi pilot scale system
 <그림 3> Lab scale test set/semi pilot scale system

3. 결과 및 고찰

3.1 건설현장 내 비점오염원 배출 특성

비점오염원의 배출 특성은 강우 강도에 의해 매 시간마다 일정하게 발생하지 않기 때문에 시간 및 강우 강도에 따른 오염물질 배출 패턴을 함수로 표현하기에는 다소 어려움이 있다. 따라서, 시간과 유출 유량의 개념을 모두 감안하여 유출되는 유량을 기준으로 비점오염 물질의 유출 특성을 파악하기 위해, 일반적으로 사용되는 유량 가중 평균 농도(EMC, mg/L)를 산정하였으며, 각 강우 사상별로 계산된 결과는 표 3에 제시하였다.

$$Event\ mean\ concentration(EMC) = \frac{Discharged\ mass\ during\ storm\ event}{Discharged\ volume}$$

$$= \frac{\int_0^t C(t) \cdot Q_{Runoff}(t) dt}{\int_0^t Q_{Runoff}(t) dt}$$

where, $C(t)$: Pollutant at time t ,

$Q_{Runoff}(t)$: Runoff volume at time t

(표-3) 현장별 평균 수질 농도

지점	시료 채취 날짜	평균 수질 농도(EMC, mg/L)				
		COD	BOD	SS	T-N	T-P
W-1	2007.07.19	28.93	4.76	1702.27	1.67	0.77
	2007.08.07	37.31	5.36	3746.67	2.52	1.50
	2007.09.05	20.57	6.20	3900.00	3.63	0.67
	평균	28.94	5.44	3116.31	2.60	0.98
W-2	2007.07.11	53.96	10.23	718.54	2.05	0.85
	2007.08.01	40.64	5.92	652.28	0.91	0.30
	2007.08.07	47.39	9.83	832.46	2.22	0.59
	평균	47.33	8.66	734.43	1.73	0.58

W-1 지역의 비점오염원 배출 특성을 살펴보면 SS는 1702.27~3900.00mg/L, BOD는 4.76~6.20mg/L로 나타났다. W-2 지역의 경우 SS는 652.28~832.46mg/L, BOD는 5.92~1023mg/L로 나타났다.

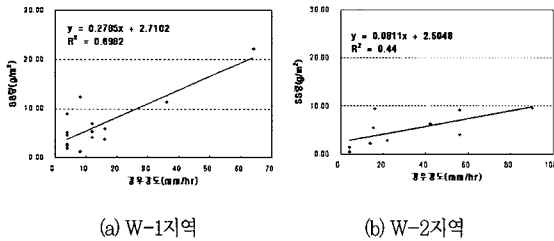
W-2지역의 경우 W-1 지역에 비해 전반적으로 오염 물질의 농도가 낮게 나타났으며, 이는 W-2지역이 현재 포장공이 완료된 지역으로 강우에 의한 토사 유실량이 상대적으로 훨씬 적어 노면상 축적 오염물의 양이 더 낮기 때문인 것으로 판단된다. 즉 공사 진행 정도에 따라 오염 물질의 농도를 비교해보면 공사 초반인 W-1 지역이 공사 마무리 지역인 W-2에 비해 부유물질의 농도가 4배 이상 높게 나타나는 것으로 확인되며, 공사 현장의 피복 특성에 따라 유출량의 차이가 큰 것을 확인할 수 있다.

공사 중인 도로 현장 내 비점오염원 유출 특성과 공사 완료 후 운영 중인 도로 현장 내 비점오염원 유출 특성을 비교해 보았다. 실제 운영 중인 도로 현장 내 비점오염원 유출 특성을 살펴보면 SS는 35~272mg/L, BOD는 54~189mg/L, COD는 300~885mg/L, T-N은 8~48mg/L, T-P는 0.14~2.05mg/L로 나타났다(박상우 외 3명, 2007). 수질 항목별로 각각을 살펴보면, 운영 중인 도로 현장 내에서 발생한 BOD, T-N, T-P 등의 유기 오염 물질 성분들은 전반적으로 공사 중인 도로 공사 현장 내 오염 물질 성분보다 높게 나타났다. 반면, 부유물질(SS)의 경우에는 운영 중인 도로 현장에서 발생한 오염 농

도 대비 공사 중인 도로 현장에서 약 3~100배 높게 나타났다. 이는 공사 현장 내 유출수의 경우, 강우에 의해 유실된 토사가 다량 포함되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

또한, 문헌을 살펴보면(Caltrans, 2002) 공사 중인 도로 현장과 운영 중인 도로 현장 내 발생하는 비점오염원 유출 특성을 기본 수질 항목 외에도 중금속 등을 포함하여 검토한 결과, TSS 탁도, 용존성 인, 총인은 공사 중인 도로 현장 내에서 더 높게 나타났고(약 1.3~6배) 그 외에 COD, 카드뮴, 용존성 구리, 용존성 납, 아연, 오일, 그리스 등은 운영 중인 도로 현장 내에서 더 높게 나타났다.(약 1.3~10배)

도로 공사 현장 내 비점오염원 유출 농도에 영향을 주는 주요 인자로는 현장이 피복 상태와 더불어 강우 강도를 들 수 있다. 다음에서는 각 현장 별 강우 강도에 따른 단위면적당 비점오염원 발생 부하량(g/m^2)간의 상관관계를 분석하였으며, 그림 4에서는 오염 물질 중 상관 관계를 뚜렷이 확인할 수 있는 부유물질에 대해서 표현하였다.



(a) W-1지역 (b) W-2지역
(그림 4) 강우강도에 따른 비점오염원 유출 SS량 상관관계 분석

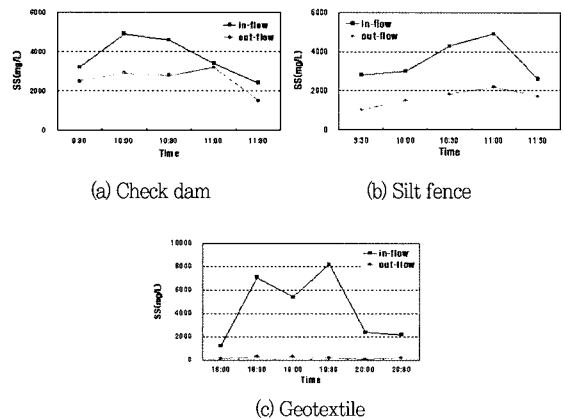
그림 4에 제시된 바와 같이 강우강도에 따른 부유물질의 단위면적당 발생 부하량을 살펴본 결과, 강우 강도에 따라 각 현장 내 발생하는 강우 유출수의 오염 부하량이 상이하게 나타남을 확인할 수 있다. W-1 지역의 경우, 다른 지역 대비 강우 강도에 따른 부하량 그래프의 결정계수 값과 그래프의 경사가 높게 나타났으며 이는 강우 강도와 강우 유출수의 오염 부하량이 높은 상관관계를 띄는 것을 나타낸다. 상대적으로 W-2 지역의 경우, 강우 강도에 따른 부하량 그래프의 결정계수 값과 그래프의 경사가 낮게 나타났으며, 이는 강우 강도와 유출 오염수의 부하량이 낮

은 상관관계를 갖고 있음을 나타낸다.

이를 공사 진행 정도와의 상관관계를 통해 분석 시, 공사 진행도가 높은 지역의 경우 강우 강도에 따른 발생 비점오염원 부하량의 영향이 낮을 것이며, 공사 진행도가 낮은 지역의 경우 강우 강도에 따른 발생 비점오염원의 부하량의 영향이 상대적으로 높을 것으로 판단된다.

3.2 현장 가설형 비점오염원 처리 시설 특성

W-1과 W-2 지역 내 현장 여건을 고려하여 비점오염원 유출 저감 시설을 설치하였으며, 저감 시설의 유입부와 유출부 위치에서 강우 유출수를 샘플링하여 농도 변화를 확인하였다. 3.1절에서 공사 현장 내 비점오염원 유출 특성을 살펴본 결과, SS를 제외한 나머지 수질 항목(BOD, COD, T-N, T-P)은 대부분 하수도법 시행규칙 제6조 제1항에서 제시하고 있는 하수종말 처리 시설의 방류수 수질 기준 이내로 우려할만한 수준이 아닌 것으로 나타났으며 이에 대한 처리 효율을 분석하는 것은 평가의 의의가 없다고 판단되었다. 따라서 현장 가설형 비점오염원 처리 시설의 효율 특성은 부유물질(SS)을 중심으로 분석하였으며, 그 결과는 아래 그림 5와 같다.



(a) Check dam (b) Silt fence (c) Geotextile
(그림 5) 비점오염원 유출 저감 시설별 특성

각 시설에 따라 유입수와 유출수의 농도 차이가 있기는 하나, 전체적으로 저감 시설 내 유입수의 SS 농도에 비해 유출수 부유물질 농도가 낮게 나타났다. 각 시설별로 살펴

보자면 유입수의 농도차가 다소 있기는 하나 Geotextile<Silt fence<Check Dam 순으로 유출수의 농도가 낮게 나타났다. 이는, Geotextile의 경우 토양 표면에 설치되어 강우에 의한 토사 유출을 원천적으로 억제하기 때문에 유출수 내 토사의 농도가 낮게 나타난 것으로 보이며, Silt fence는 Check Dam에 비해 시설의 공극이 작고 일시적인 저류를 유도함으로 인해 유출수의 농도가 더 낮게 나타난 것으로 보인다. Check Dam은 다른 시설에 비해 유출수의 농도가 다소 높게 나타나기는 하나, 유입수 대비 유출수의 농도가 낮은 것으로 나타났다.

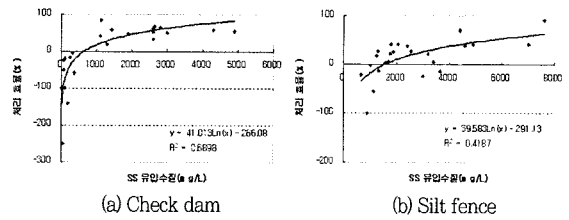
각 비점오염원 유출 저감 시설별로 단위 면적당 유입부하량과 유출부하량을 측정하고 그에 따른 처리 효율을 산정한 결과 다음 표 4와 같이 나타났다.

[표-4] 비점오염원 유출 저감 시설별 처리 효율

가시설	적용 지역	유입부하량(g/m ²)	유출부하량(g/m ²)	처리 효율(%)
Check Dam	W-1	153.44	116.23	24.25
	W-2	111.45	39.22	64.81
Silt fence	W-1	80.30	41.01	48.93
	W-2	14.82	7.92	46.53
Geotextile	W-1	5.54	1.74	68.64
	W-2	2.92	0.50	82.92

각각의 비점오염원 유출 저감 시설의 처리 효율을 단위 처리면적당 부하량을 기준으로 산정한 결과, Check Dam의 경우 24.25~64.81%의 효율을 나타냈으며, Silt fence의 경우 48.93~46.53%, Geotextile의 경우 68.64~82.92%의 처리 효율을 나타냈다. 적용 지역에 따라 다소 차이가 있으나 Geotextile의 처리 효율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 이는 Geotextile이 토양 표면에서 강우에 의해 토사가 유출되는 것을 원천적으로 방지하기 때문이다.

Check dam과 Silt fence의 SS 유입 수질 농도에 따른 처리 효율에 대해 검토하였으며, 이에 대한 결과는 다음 그림 6과 같다.

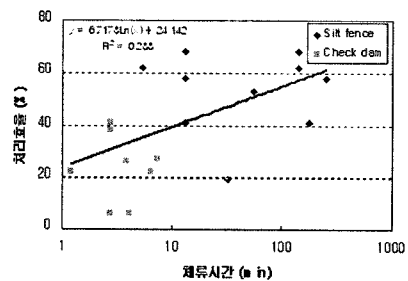


<그림 6> 유입수질 농도에 따른 시설별 처리 효율

Check dam과 Silt fence의 SS 유입 수질에 따른 처리 효율을 살펴보면 SS가 낮은 농도로 유입 되는 경우 대비 높은 농도로 유입될 때 높은 처리 효율을 보이는 것으로 나타났다. 이는 높은 강우 강도 조건에서 발생하는 SS의 유출 농도가 더 높으며 탁수 내에 포함된 입자의 사이즈가 더 크고, 반면 낮은 강우 강도 조건에서 발생하는 SS의 유출 농도는 더 작고 탁수 내에 포함된 입자의 사이즈가 작기 때문에(Nelson, 1996) Check dam과 Silt fence와 같이 체류 및 여과에 의해 탁수를 처리하는 가설형 비점오염원 처리 시설에서는 유입되는 SS의 농도가 높을수록 처리 효율이 증가하는 것으로 판단된다.

따라서 일정 수준 이상의 농도로 SS가 유입될 때에 가설형 비점오염원 처리 시설의 탁수에 대한 처리 효율을 기대할 수 있는 것으로 판단된다.

Check dam과 Silt fence에서 강우 시 유입되는 유량과 처리 시설 내 저류 시 수심을 측정하여 시설 내 빛물의 체류시간을 산정하였고, 이 때 처리 효율을 계산 하였다. 이러한 체류 시간에 따른 처리 효율을 정리한 결과 처리 시설에 관계없이 전반적으로 체류 시간 증가에 따라 그 제거 효율이 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과는 Check dam과 Silt fence 모두 저류에 의한 부유물질의 침전이 주요 처리 기작임을 확인할 수 있다.



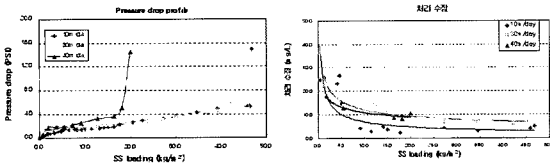
<그림 7> 체류시간에 따른 오염 제거 효율

3.3 장치형 여과 처리 시설 실험

앞서 확인한 현장 가설형 비점오염원 처리 시설의 경우, 설치가 간단하고 비용이 저렴한 장점이 있으나, 처리 효율이 높지 못하여, 처리 후에 높은 부유물질 부하를 포함한 채로 수계로 방류될 수 있다. 이러한 경우, 주변 수계 기준 또는 지역적 특성, 건설 현장 민원 등으로 인하여 문제가 발생할 가능성이 높게 나타나기 때문에 처리 효율이 높은 시설/공법의 도입이 불가피하다. 이러한 경우, 충분히 제거 효율이 구현되고, 해당 현장에서 발생하는 빗물에 대해 만족할 만한 처리 유량을 갖는 시설을 도입할 필요가 있다.

이에 가압식 사여과 방법을 통해 가설형 처리 시설에서 사전 처리된 비점오염원을 처리 하는 방법을 고안하였으며, 주처리 장치 설계를 위한 컬럼 테스트를 우선 수행하였다.

컬럼 테스트는 여과 속도에 따른 부유물질 처리 효율/막힘 현상의 거동 특성에 대해 확인하였으며, 여과 속도별 부유물질 허용 부하량을 산정하였다.



(a) 여과 선속도에 따른 부유물질 유입 부하 대비 압력변화 특성 (b) 부유물질 유입 부하량에 따른 처리 수질 변화

〈그림 8〉 선속도 변화에 따른 압력변화 및 수질 변화 특성

부유물질 부하량 및 여과 선속도에 따른 여재의 막힘 거동을 살펴보면, 여과 선속도 10m/day의 경우 부유물질 누적 유입 부하량이 46kg/m² 이상일 때 압력이 급격히 상승하는 것으로 나타났으며, 여과 선속도 20m/day의 경우는 부유물질 누적 유입 부하량이 42kg/m² 이상에서, 여과 선속도 40m/day의 경우는 부유물질 누적 유입 부하량이 18kg/m² 이상에서 압력이 급격히 상승하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 여과 속도가 빨라질수록 여과 전단부에 부유물질 부하가 집중됨에 따라 막힘 현상이 빠르

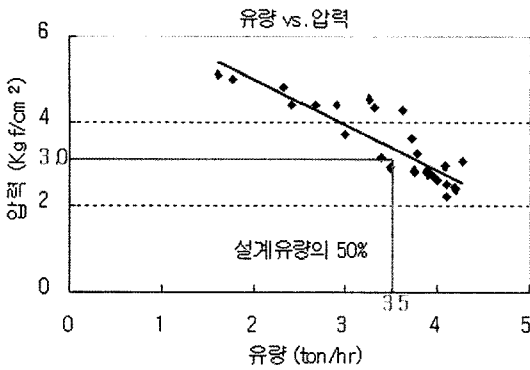
게 나타나는 것으로 추정된다.

방류 수질의 경우, 초기 안정화 기간 이후에, 부유물질 기준 10~30mg/L이하의 안정적인 수질 분포를 보여주었으며, 유입 수질 (1000mg/L) 대비 약 97%의 저감 효과를 기대할 수 있었다.

건설 현장 내에서 이러한 가압식 여과 방식을 이용한 장치형 처리 시설이 적용되기 위해서는 현장 특성상, 장치의 이동성이 높아야 하고, 처리 시설의 공간적 효율성이 좋아야 한다. 따라서, 높은 여과 속도를 우선 확보하는 것이 무엇보다 중요하며, 유지 관리에 대한 체계적인 전략 수립을 통해 허용 부하량에 대한 제한 사항을 극복할 필요가 있다.

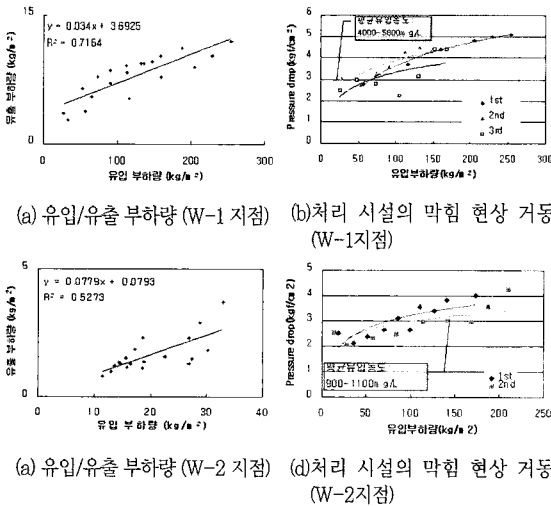
비점오염원 유출 특성이 다른 건설 현장에서 가설형 비점오염원 처리 시설 (Check dam) 후단에 semi pilot 규모의 가압식 사여과조를 적용하여, 비점오염원 유출 저감 특성에 대하여 분석하였다. 운전 유량은 최대 5m³/hr로 설정하였고, 처리 시설 내 임시 저류조에서 저류 후 2개의 사여과조에서 하향 여과 후 방류하였다. 각 현장의 특성은 앞서 기술한 바와 같이 W-1 지역의 경우, 토공사가 진행 중인 현장으로 지반이 교란, 또는 비다짐 상태로 노출되어 토사 유출이 많은 지역적 특성을 갖고 있으며, W-2 지역의 경우 포장이 대부분 진행된 공사 종반 현장으로 비점오염원 유출 특성을 기준으로 보았을 때 W-1 지역과는 많은 차이를 보이는 현장이다.

우선 Pilot 시스템 운전 시, 컬럼 테스트의 경우와 동일하게 지속적인 운전에 따라 유량이 감소하고, 여과조 유입 부에서 압력이 지속적으로 상승하는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 유량 감소와 처리조 내 압력 증가는 일정한 상관도를 보였으며, 이에 대한 결과는 아래와 같다. 또한, 실제 운전에 있어서, 설계 유량의 70%수준까지 감소하는 시점을 정상 운전의 범위로 설정하였으며, 이러한 운전 시점에서의 작용압은 3.0kgf/cm²를 운전 기준(역세 시점)으로 설정하였다.



〈그림 9〉 처리 유량 대비 처리조 내 압력 변화 관계

적용 현장 별로 Pilot plant 운전 특성을 보면, W-1 지역과 W-2 지역 모두 90% 이상의 부유물질 제거 효율을 확인하였다. 특히, 아래 그림 9와 같이 각 지점 별 유입 부하에 따른 처리조 내 작용 압력 관계를 보면, 부유물질 유입 농도가 높은 W-1 지점이 W-2 지점에 비해 부하량에 따른 압력변화가 큰 것으로 확인되었다.



〈그림 10〉 Semi-pilot system 운전 결과

특히, 운전 기준으로 설정한 소정의 목표 압력(3.0 kgf/cm²)에 도달하는 부하량이 W-1 지점의 경우, 부유물질 부하량이 약 69kg/m² 수준으로, W-2 지점의 경우 약 138kg/m² 으로 나타났다. 이러한 차이는 설치 현장의 특성에 있으며, W-1 지점의 평균 유입 부유물질 농도는

4000~5800 mg/L, W-2 지점의 경우 900~1200mg/L로 두 개 현장 간에 큰 차이를 나타내었다.

따라서 유입 농도가 낮아질수록 Pilot plant 시설의 허용 부하량을 높게 설계 할 수 있으며, 이러한 특성을 감안 하였을 때, 가설형 비점오염원 처리 시설에서 사전 오염 부하량을 충분히 제거 후, 가압식 사여과 장치에서 목표로 하는 방류 수질까지의 정화를 수행하고, 유지 관리 주기를 충분히 연장할 수 있는 운영 전략을 수립할 필요가 있다.

4. 결론

건설 현장에서 발생하는 비점오염원 유출 특성에 대해 확인하였고, 이를 효과적으로 저감하기 위한 처리 시설 적용 결과에 대해 요약하면 다음과 같다.

- 1) 건설 현장의 비점오염원은 공사 단계에 따라 지반의 교란/다짐도 등에 의해 부유물질의 발생량에 직접적인 연관도가 있었으며, 공사 초반 지역에서 강우 강도의 변화에 따른 부유물질의 발생량의 변화가 큰 것으로 확인되었다.
- 2) 현장에서 쉽고 경제적으로 적용할 수 있는 가설형 비점오염원 처리 시설에서 토양의 유실을 원천적으로 제어하는 기술이 비점오염원 유출저감에 가장 효과적이며, 유실 후 빗물 내 침사물을 제거하는 경우, 충분한 체류 시간을 확보하는 것이 처리 효율에 직접적인 영향이 있는 것으로 확인 되었다.
- 3) 건설 현장에서 가설 형식으로 적용할 수 있는 기술로는 부유물질을 제어할 수 있는 check dam, silt fence 공법과 강우 시 토사 유실을 원천적으로 제어하는 Geotextile공법을 적용한 결과, Geotextile이 다른 공법에 비해 비점오염원 유출량 제어에 효과적인 것으로 확인 되었다.
- 4) 가설형 비점오염원 처리 시설만으로는 건설 현장 비점오염원 관리가 매우 제한적이며, 추가적으로 수질 저감이 가능한 장치형 여과 시설을 적용하는 경우,

비점오염원 배출량을 현저하게 감소시킬 수 있다. 이러한 여과 시설에 있어서 여과 유속과 유입 농도는 운전 허용 부하량을 결정하는 주요 요소가 되며, 현장 상황과 운전 조건에 따라 해당 인자를 조절할 필요가 있다.

- 5) 건설 현장에서 비점오염원 배출 부하량을 효과적으로 감소하기 위해서는 가설형 비점오염원 처리 시설을 통해 발생하는 부하량을 최대한 감소 시키고, 장치형 시설 또는 그와 상응하는 높은 효율의 처리 시설과 연계하여, 해당 수계 오염을 방지할 수 있는 연계 처리 방안이 모색되어야 한다.

참고문헌

1. Barbara Alice Eiswerth (2003), *An Evaluation Soil Erosion Hazard : A Case Study In Southern Africa using Geomatics Technologies*, Ph. D, Univ of Arizona, pp. 233~237
2. Caltrans (2003), *Stormwater Best Management Practice Handbook construction : Appendix A. General permit*, pp. 347~400
3. 국토해양부 (2007), *제2차 건설환경기본계획*, pp. 63~109
4. Caltrans (2003), *Construction site best management practice(BMP) field manual and troubleshooting guide. CTSW-RT-02-007*, pp. 11~52
5. Andrew D. Eaton, Lenore S. Clesceri, Eugene W. Rice, Arnold E. Greenberg(2005), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (21th ed. ed.)*, American Public Health Association, AWWA, WEF, Washington DC
6. 박상우, 오재일, 최영화, 서정우 (2007), 도로노면 유출수의 비점오염원 배출 특성(1): 기본 수질 항목, *대한상하수도학회지 Vol.21, NO.2*, pp. 225~233
7. Caltrans (2002), *Caltrans Construction Sites Runoff Characterization Study : Monitoring seasons 1998~2002. CTSW-RT-02-055*, pp. 5-1~5-8
8. Nelson, J(1996), *Characterizing Erosion Processes and Sediment Yields on Construction Sites*, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Alabama, Birmingham, pp. 94