

하천 수질개선을 위한 오염하천정화 및 비점오염물질 동시 처리기술



차 호 영 ▶
담덕 환경사업부 기술부장
hycha@tomduck.com

1. 서론

하천 수계에 오염을 야기하는 오염원은 발생 특성에 따라 점오염원과 비점오염원으로 나눌 수 있으며, 수계관리를 위해서는 이 두 오염원의 적절한 관리가 필요하다. 최근까지 우리나라의 수질정책은 도시 개발 및 급속한 산업화에서 발생하는 점오염원을 관리하는 정책에 집중되었다. 이러한 수질정책은 무분별한 하·폐수 배출로 인하여 발생된 심각한 수계오염은 막았으나 막대한 예산투자에도 불구하고 더 이상의 수질이 개선되지 않고 있으며 이는 강우시 도로, 농지 등의 불특정 장소에서 배출되는 비점오염원에 의한 것으로 알려져 있다.

비점오염물질은 강우시에 발생하며 도로상 오염물질, 도시지역의 먼지와 쓰레기, 지표상 퇴적오염물질, 합류식 하수관거내 오염물질 등으로 주로 강우시 우수와 함께 하천으로 유입되는 오염물질을 말한다. 우리나라에서 배출되는 비점오염부하의 규모는 하천과 호소의 부영양화를 야기하는 오염물질인 질소와 인이 전체 오염부하중에서 각각 75%와 50% 정도로 추정되고 있다. 또한 비점오염물질은 해마다 급격히 증가하고 있어 정부의 상수원 관리와 하천정화사업 추진에 많은 어려움을 야기하고 있다.

특히 도시지역 비점오염물질은 합류식하수관거를

통해 유출되는 합류식하수관거 유출수(CSOs)와 도로, 보도, 주차장 등에서 발생하여 우수관을 통해 유출되는 지표 유출수가 대표적이라 할 수 있으며, 인구 과밀화에 따른 교통량 증가와 불투수층 증가로 강우시 고농도 고유량이 단시간에 하천으로 유입된다. 이로 인하여 어류 폐사 및 악취 등이 발생하고 그 결과 생태용수, 친수용수로 활용되어야 할 하천수가 그 기능을 상실하여 하천 생태환경이 파괴되는 심각한 결과를 초래하게 된다.

따라서 하천 수질 및 하천 생태 환경 개선을 위해서는 오염하천정화와 강우시 발생하는 비점오염물질을 동시에 처리하여야 한다. 기존의 하천수질정화기술은 비강우시 오염하천을 정화하는 기술이며 강우시 초기우수 처리를 위해서는 별도의 시설이 필요하므로 시공 및 유지관리비가 많이 소요되는 문제점이 있다. 본 고에서는 단일시스템으로 오염하천정화 및 비점오염물질을 동시에 처리할 수 있는 신개념의 현장기술을 소개하고자 한다.

2. 하천수질정화 기술 비교 및 개선방안

2.1 하천수질정화 기술의 비교

하천정화기술은 하천의 자정작용의 일부 혹은 전부를 응용하여 인위적 또는 자연적으로 정화효과를 증대시키는 것으로써, 물리·생물·화학적 방법을 이용하여 처리하며, 대부분 물리적, 생물학적 정화 원리를 조합하여 적용한다. 물리적 정화공법은 침전, 여과, 흡착기능 등을 주로 이용하며, 생물학적 정화공법은 생물막에 의한 부착 및 미생물에 의한 산화기

능 등을 이용한다. 일부 오염이 심각한 지역에서는 화학적 처리를 적용하지만 유지관리비가 과다하게 소요되는 단점이 있다. 현재 하천정화 기술 및 공법으로 활용되고 있는 기술의 특징과 장단점을 조사하면 표 1과 같다. 조사된 정화기술에 대한 처리대상물질, 처리효율 및 유지관리 사항을 비교하였다.

2.2 하천수질정화시설의 문제점 및 개선방안

하천수질정화 기술의 선정시 주의점들은 ①수질개선기능, ②수질 보증, ③유지관리, ④ 비용, ⑤ 홍수시 대처, ⑥ 고장 등 이상 현상의 복구, ⑦기타 등이며 자세한 내용은 아래와 같다.

가. 수질개선 기능

시설 설치 후 시간 경과에 따른 수질정화 기능의

저하가 없어야 한다. 또한 처리효율의 재현성이 필수적이다. 하천은 살아있는 유기체와 같으며 유량과 수질의 변화가 심하다. 따라서 하천의 변화 특성에 부합되는 처리 성능과 처리효율을 유지시킬 수 있는 시설이어야 한다.

나. 수질 보증

시설의 내구연한까지 수질을 보증할 수 있는 공법을 선정해야 하며, 처리효율의 재현성이 확보되어야 한다. 아울러 시간 및 계절변화도 쉽게 대응할 수 있어야 하며, 수생생태의 안정성 확보에도 문제가 없어야 한다.

다. 유지관리

하천수질정화시설은 하수처리장이나 정수장과는 달리 비법정 시설이므로 365일, 24시간 상시 관리가

표 1. 하천수질정화기술의 비교(일본의 경우)

	정화 가능 수질 항목	처리효율(%)		설계조건	유지관리
		BOD	SS		
연정화(가동연)	BOD, SS	30	30	2hr	홍수 유출후 언 기립 쓰레기 정기적 청소
박충류	BOD, SS, NH ₄ ⁺ -N	10~30	10~30	1~2hr 수심 0.1m	쓰레기, 퇴적물 정기적 청소 침전구의 박리 슬러지 배출
역간접축산화	BOD, SS	60~80	70~90	1.3hr	퇴적물 관리 슬러지 배출(1~3개월/1회)
플라스틱 접촉산화	BOD, SS	40~60	40~60	2hr	퇴적슬러지 관리 2~4회/월
포기부 역간접축산화	BOD, SS, NH ₄ ⁺ -N	70~85	80~90	3~4hr	기계·전기(blower등) 시설관리 퇴적슬러지 관리(1~3개월/1회)
고속토양정화	BOD, SS, NH ₄ ⁺ -N	60~90	70~90	3~10 m ³ /m ² /d	폐쇄 상태 관리 토양교체 필요
차리코정화	BOD, SS	60~85	80~95	0.5~1hr	교체 방식 1회/5~6년 슬러지 배니 1회/3~6개월
응집침전	BOD, SS, P	50~70	70~90	2hr	응집제의 주입 관리 응집슬러지의 처리, 처분(매일) 기계 전기시설 관리
長毛여과	BOD, SS	40~60	70~90	200 m ³ /m ² /d	長毛의 역세처리(매일) 슬러지 처분 기계전기시설 관리
수경정화	BOD, SS, N, P	40~50	70~80	3day	주기적 수초 제거가 필요

요구되는 고난도의 정밀공법은 피하는 대신에 유지관리가 쉽고 고장이 발생하지 않는 단순한 시설이어야 한다. 특히 하·폐수처리장과 같이 상주 운영인력이 필요한 공법은 피해야 한다.

라. 비용

건설비 및 유지관리비가 저렴해야 한다. 소유부지를 포함한 초기 공사비와 유지관리비 등이 고려된 LCC 분석을 통하여 공법을 선정하여야 한다.

라. 홍수시 대처

홍수 등 하천의 자연적 현상에 대처할 수 있어야 한다. 수생생태계의 보호를 위해 고농도의 초기우수에 어느 정도까지(최소 시설 용량의 3~4배)는 처리할 수 있는 시설이어야 한다.

마. 고장 등 이상 현상의 복구

시설의 고장 및 수리 등 이상 현상 발생시에도 정상화 속도가 빨라야 한다.

바. 기타

2차 오염물질 발생이 없어야 하며 슬러지 처리·처분이 쉬워야 한다.

2.3 오염하천정화 및 비점오염물질 동시 처리의 필요성

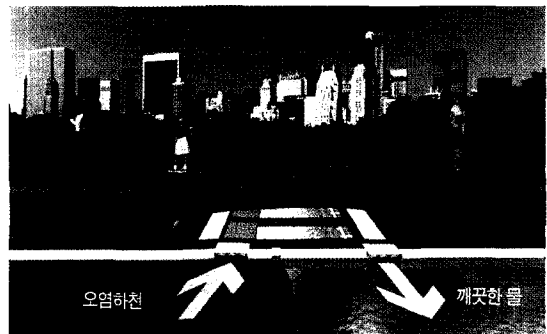
오염하천정화 및 비점오염물질(초기우수/CSOs (Combined Sewage Overflows) 등) 처리에 대하여 별도의 처리공법은 위에서 소개한 바와 같이 다양한 기술들이 적용될 수 있다. 그러나 대부분의 오염하천정화 공법은 단순한 물리·생물학적 처리시설로서 수 시간~수일의 체류시간을 필요로 하고, 초기우수/CSOs는 강우시 1~2시간 내에 급속한 유량 증가와 고농도 유입이 발생하므로 기존의 시스템으로는 이들을 동시에 처리하기가 현실적으로 불가능하다. 또한 초기우수/CSOs 처리시 단시간의 화학적 처리를 고려

할 수 있으나 평상시 저농도의 오염하천을 처리하기에 막대한 유지관리비가 소요되는 문제를 가지고 있다.

3. CAP System(오염하천정화 및 비점오염물질 동시 처리기술)

3.1 CAP System

CAP System은 다공성 코일형 미디어를 반응조에 충전하여 평상시에는 오염하천수를 물리·생물학적 기작으로 처리하며, 우천시에는 하천으로 유입되는 초기우수/CSOs에 대하여 응집제를 투입하여 물리·화학적으로 처리하는 오염물질 총량관리형 수처리 기술로서 단일 반응조내에서 생물학적인 분해와 응집·침전 작용을 동시에 수행하는 공정이다. 그림 1은 평상시와 강우시 CAP System의 운영 개념도이다.

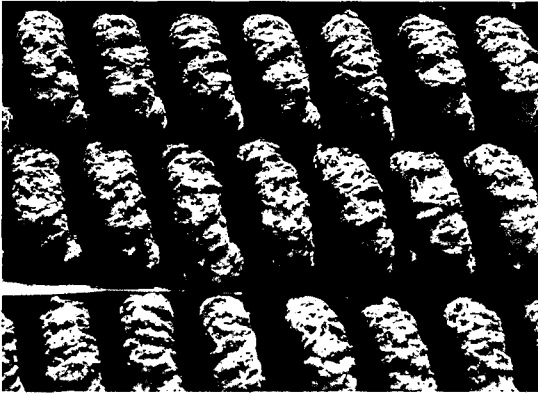


(a) 오염하천정화(평상시)



(b) 초기우수/CSOs처리(강우시)

그림 1. 평상시 및 강우시 CAP System 운영 개념

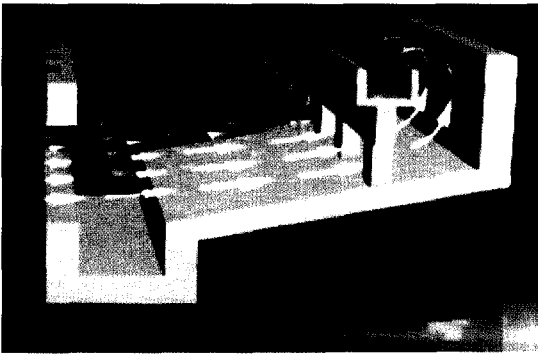


(a) 코일형 미디어

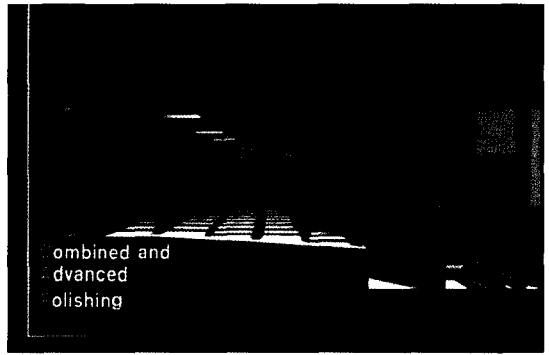


(b) 미디어 표면 (SEM사진)

그림 2. 다공성 코일형 미디어 및 미디어 표면의 미세공극 사진



(a) 반응조내 물의 흐름



(b) 2단월류웨어 및 산기관

그림 3. CAP System의 2단월류웨어 모식도

3.2 CAP System 구성 및 특징

CAP System은 다공성 코일형 미디어를 유입 및 유출 정류벽, 하부 역세장치 및 2단월류웨어로 구성된 반응조에 충전하여 평상시 오염하천수를 처리하고 우천시에는 하천으로 유입되는 초기우수/CSOs에 응집제를 투입하여 단기간에 처리하는 오염하천정화 및 초기우수 동시 처리 기술이다.

3.2.1 다공성 코일형 미디어

코일형 미디어는 최대의 비표면적을 제공하면서 최고의 통수능을 유지할 수 있는 공극률을 제공하는 구조이며, 미디어의 피치 간격은 30~50mm으로 원

활한 층류 흐름이 가능하여 막힘 현상이 거의 발생하지 않으므로 원활한 유체의 흐름을 유지할 수 있는 구조이다.

그림 2는 코일형 미디어를 나타낸 것으로 설치하는 미디어가 상호 교차되도록 설치하며 미디어 표면의 조대공극과 미세공극의 SEM 사진을 나타낸 것이다.

3.2.2 2단월류웨어

일반적인 웨어를 사용하는 경우는 여재의 상단 및 하단의 흐름의 차이가 발생할 수 있으며, 통수능 차이가 발생하게 되면 처리수질의 악화를 초래할 수 있다. 따라서 CAP System은 여재의 상단과 하단의 흐름을 일정하게 유지시키기 위하여 유출부에 2단월류

웨어를 적용한다.

2단월류웨어는 그림 3과 같이 반응조의 상단부의 흐름은 반응조의 상단 유출부로, 반응조의 하단부의 흐름은 반응조의 하단 유출부로 흐르게 하여 반응조 내의 사수역을 최소화시킨 구조로 그 효과는 편류 및 단락류 억제, 난류 최소화, 증류흐름에 의한 반응 효율 증대, 최소한의 수도손실로 무동력 자연유하식 운전이 가능하여 유지관리를 간편화시킨 시설이다.

3.2.3 공기 역세척

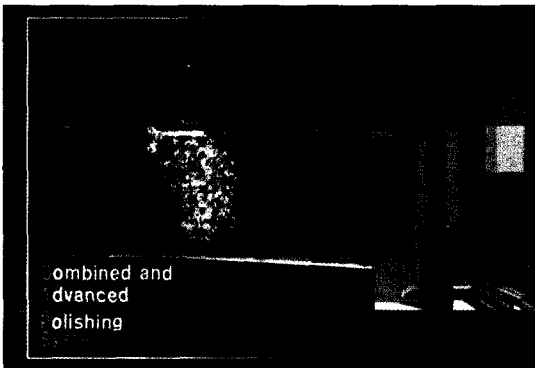
CAP System 반응조의 세정은 여재사이에 침적, 축적된 슬러지를 주기적으로 제거하여 침전과 생물학적 작용을 회복시키는 공정으로 경사진 반응조에 단차를 두어 2~3단계로 공기 역세척기를 설치한다. 역세척은 그림 4와 같이 단계적 공기주입과 동시에 배출시키는 방법으로 기존 모래, 여과류의 역세척수 사용량의 10% 정도만이 소요된다. 배출된 역세척수는 차집관거로 이송되며 하수처리장으로 유입된다.

역세 주기는 유출수의 탁도 및 SS 증가를 정상상태와 비교하여 결정하며 반응조로 유입된 전체 SS량과 운전기간에 따라 역세 주기가 조금씩 달라질 수 있다. 빈번한 역세척은 생물막 형성을 방해하여 오히려 처리효율을 저하시키는 원인이 될 수 있으므로 현장의 여건에 따라 최적의 역세 주기와 강도 등을 결정하되 평균 월 1~2회 정도가 적당하다.

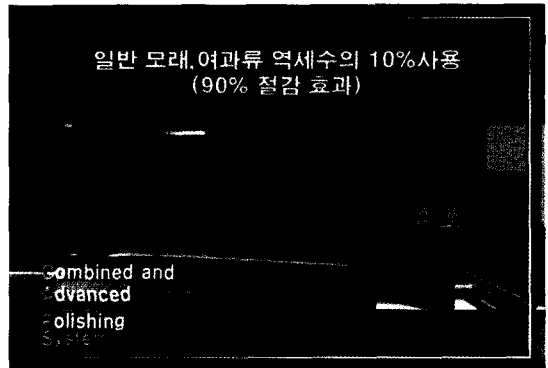
3.3 CAP System 성능 및 효율

3.3.1 비강우시 하천정화

비강우시 하천정화 유량은 평균 200m³/일, 체류시간은 1.5시간 내외이며, 유입수의 평균 SS, BOD 농도는 각각 8.1mg/L, 4.8mg/L이었다. 표 2에 나타난 SS 및 BOD 처리효율을 보면, SS는 8.1(4.2~15.6)mg/L로 유입되고 2.9(1.5~5.4)mg/L로 처리되어 약 63%의 처리효율을 보였고, BOD는 4.8(2.8~7.9)mg/L로 유입되고 2.6(2.1~3.2)mg/L로



(a) 공기 역세척



(b) 역세척수 배출

그림 4. CAP System 역세척 모식도

표 2. 비강우시 하천 오염물질 농도와 처리효율

항 목	단위	오염물질 농도		제거효율(%)
		유입수	처리수	
SS	mg/L	4.2~15.6	1.5~5.4	52.5~71.7 (63.2)
		(8.1)	(2.9)	
BOD	mg/L	2.8~7.9	2.1~3.2	22.0~64.6 (42.6)
		(4.8)	(2.6)	

표 3. 강우시 초기우수의 오염물질 농도 및 제거효율

항 목	단위	오염물질 농도		제거효율(%)
		유입수	처리수	
탁도	NTU	227.2~68.8 (108.8)	21.3~1.2 (4.4)	99.3~79.1 (95.7)
SS	mg/L	370.0~110.0 (190.8)	61.2 ~ 1.0 (12.3)	99.5~75.9 (93.3)
BOD	mg/L	224.5 ~ 81.8 (125.4)	27.6 ~ 6.5 (16.7)	96.3~76.5 (85.9)
COD _{Cr}	mg/L	811.0 ~ 248.0 (392.6)	98.0 ~ 18.4 (62.1)	96.6~76.0 (83.5)
COD _{Mn}	mg/L	302.0 ~ 90.4 (183.8)	36.2 ~ 6.8 (19.1)	97.1~78.6 (88.7)
T-N	mg/L	105.2 ~ 42.6 (60.6)	55.5 ~ 16.5 (33.2)	82.8~13.4 (44.8)
T-P	mg/L	22.7 ~ 7.2 (10.9)	3.8 ~ 0.2 (1.0)	96.0~76.5 (90.8)

처리되어 약 43%의 처리효율을 보였다.

3.3.2 강우시 오염물질 제거효율(초기우수 처리)

강우시 처리유량은 평균 600m³/d(25m³/hr), 체류 시간은 0.5hr 내외이며, 유입수의 평균은 SS 190.8 mg/L, BOD 125.4mg/L, T-N 60.6mg/L, T-P 10.9mg/L로 분석되었다. 강우시 분석된 초기우수의 오염물질 농도 변화를 나타내는 그림 5를 보면 평상시 하천수질과 비교할 때 수십 배 이상의 고농도이며 그 변화폭도 매우 크게 나타났다.

표 3의 초기우수 처리결과를 보면, 탁도 96%(4.4 NTU), SS 93%(12.3mg/L), BOD 86%(16.7mg/L), COD_{Cr} 84%(62.1mg/L), COD_{Mn} 89%(19.1mg/L), T-N 45%(33.2mg/L)의 제거 효율을 보였으며, 하천 수질오염의 주원인이 되는 제한 영양염류인 T-P는 91%(1.0mg/L)가 처리되었다.

4. 결론

현재의 하천은 도시화에 따른 우수 침투 기능의 저하 등으로 하천 유량이 크게 부족하게 되었고, 인구 과밀화에 따른 교통량 증가와 불투수층 증가로 강우시 고농도 고유량의 비점오염물질이 단시간에 하천으로 유입된다. 이로 인해 하천 수질이 악화되어 생태용수, 친수용수의 기능 유지가 어려운 실정이다.

하천오염의 특성과 현재 사용되고 있는 오염하천 정화 및 비점오염처리 공법 및 기술의 내용을 보면, 기존의 하천정화 기술은 비강우시 오염하천을 정화하는 기술이며 강우시 초기우수 처리를 위해서는 별도

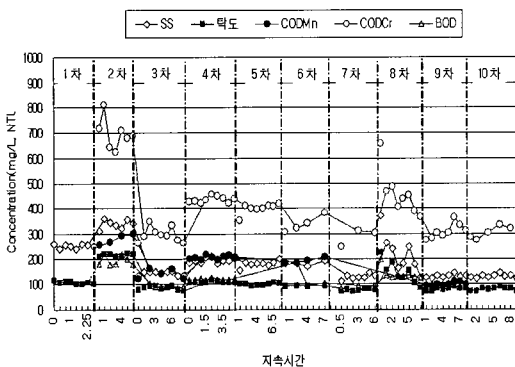


그림 5. 초기우수 오염물질 농도 변화

의 시설이 필요하므로 시공 및 유지관리비가 많이 소요되는 문제점이 있다. 또한 하천의 수질정화기술은 일반적인 수처리 기술과 다르게 극심한 유량 및 수질 변동에 강하고 복잡하지 않으며 고장이 없고 유지관리가 간편한 기술을 채택하여야 한다.

단일시스템으로 오염하천정화와 비점오염원을 동시에 처리할 수 있고 특히 비점오염원은 하천정화 유량의 3~4배 이상 처리가 가능한 CAP System을 현장에 적용한 결과, 평상시 오염하천정화는 물리·생물학적처리만으로 BOD, SS를 3mg/L 이내로 처리할 수 있었으며, 강우시에 발생하는 초기우수/CSOs가 유입될 경우 단일 반응조에 응집제를 투여하여 단시간에 고농도, 고유량(기존처리량의 3배)을 처리한 결과 각각의 처리효율은 평균 BOD, 86%, SS 93%, T-N 45%, T-P 91%의 비점오염물질의 하천유입을 억제할 수 있었다.

따라서 CAP System이 현재 진행되고 있는 자연형 하천정화사업의 진행방향 설정의 계기가 되기를

바라며 향후 지속적인 모니터링과 현장 적용 시범사업을 통하여 공법과 기술의 개선으로 인간과 자연이 공존하는 하천환경을 조성하는데 일익을 담당할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, (주)담덕, 건설신기술, 2002
2. 한국건설기술연구원, (주)담덕, 환경신기술, 2006
3. 환경부, 물환경관리 기본계획, 2006
4. 환경부, 비점오염원관리 업무편람, 2006
5. 한국건설기술연구원, 하천 수질 정화기술 개발 연구, 1995
6. 환경부, 하천복원 가이드라인, 2002
7. 한국건설기술연구원·환경부, 국내 여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발, 2004

