

서울의 하천수질 개선을 위한 수질정화공법의 적용방안

- 하천수질정화공법의 국내 적용사례 분석
- 하천수질정화공법의 비교
- 하천수질정화공법의 서울시 적용방안

하천수질정화공법의 국내 적용사례 분석

- 하천의 친수기능 및 생태기능 강화를 위한 하천수질정화공법의 도입
 - 도시하천의 친수기능 및 생태기능 강화를 위해 수질정화의 필요성이 대두됨에 따라 하천수질정화사업의 일환으로 다양한 하천수질정화공법이 1997년 양재천을 비롯하여 전국적으로 도입·적용되어 왔음.
 - 서울시에서도 도시하천에서의 시민의 여가이용이 많아짐에 따라 하천수질개선을 위한 자연정화시설도입의 필요성이 증가하고 있으며, 정부의 지원, 유지관리의 용이성, 저렴한 운영비 등의 장점 때문에 하천수질정화공법 도입에 대한 관심이 높아지고 있음. 그러나 하천수질정화공법의 수질개선효과가 기대에 미치지 못하는 경우가 있어 하천특성에 맞는 적합한 공법을 도입하기 위해서는 먼저 하천수질정화공법에 대한 비교 평가가 필요함.
- 국내에 적용된 주요 하천수질정화공법
 - 국내에 적용된 하천수질정화공법으로는 자갈접촉산화법, 끈상접촉산화법, 습지여과공법 등이 있으며, 이를 개량하거나 변형시킨 공법들로는 플라스틱·쇄석접촉산화법, 관·끈상접촉산화법, 식물·끈상접촉산화법, 끈상접촉재를 하천에 직접 설치하는 부유끈상접촉법 등이 있음.
- 양재천(강남구간) 등에 적용된 자갈접촉산화법¹⁾
 - 국내 초기에 적용된 하천수질정화공법으로 하천수질정화공법 개발의 이론적 근거를 제공

1) 접촉산화공법은 접촉재의 충진을 통해 흡착 및 침전을 유발하는 표면적을 증가시킴으로써 정화능력을 증진시키는 방법임. 접촉재로는 자갈, 쇄석, 플라스틱, 판상여재, 숯, 끈 등을 이용하고 있으며, 정화공법은 접촉재에 따라 자갈접촉산화법, 플라스틱·쇄석접촉산화법, 끈상접촉산화법 등으로 불림.

해왔음. 양재천(강남구간), 학의천, 가음정천 등에 설치되었으며 개량된 공법이 개발되면서 이제는 적용되지 않는 공법임.

- 설치초기의 BOD(생물화학적 산소요구량) 제거율은 54~65%, SS(부유물질) 제거율은 52~77% 이고, 양재천(강남구시설)에서는 경과 연수에 따라 제거율이 저하되는 현상이 나타남.

<표 1> 역간접촉산화법을 적용한 시설의 운영초기 수질정화효율 비교

적용하천	SS(중간값)			BOD(중간값)		
	유입수,mg/L	방류수,mg/L	제거율,%	유입수,mg/L	방류수,mg/L	제거율,%
양재천	14.5	3.5	75.9	7.9	3.3	54.2
가음정천	17	8.8	52.0	29.1	9.0	65.4
학의천	7.4	2	76.9	5.8	2.4	55.6

주) 상기 자료는 운영기간이 서로 달라 상호비교를 위하여 초기 1년간 운전자료를 분석한 결과임.
수질 및 제거율은 중간값이므로 유입수 농도와 방류수 농도로 계산한 제거율과 다름.
(SS: 부유물질, BOD: 생물화학적 산소요구량)

- 양재천(강남구)에 설치된 수질정화시설의 경우 1997년에는 BOD 및 SS 제거율이 각각 56%와 74%였으나, 2004년도에는 각각 15.8%와 12.3%로 낮아져 시간이 경과함에 따라 제거율 저하현상이 뚜렷하였음.
 - 양재천(강남구)에 설치된 수질정화시설의 질소와 인의 제거율은 각각 2.5%와 5.8%로 낮으며, 내부에 퇴적된 슬러지로부터 질소와 인이 용출됨으로써 방류수의 농도가 더 높게 나타나는 경우도 발생하였음.
 - 양재천(강남구)에 설치된 수질정화시설의 1997~2004년 사이의 설계목표 달성율은 BOD와 SS에 대해 각각 24.5%와 45.2%이고 2항목 동시달성율은 18.0%로 나타남.
- 양재천(서초구간), 안양천 등에 적용된 플라스틱·쇄석접촉산화법
- 자갈접촉산화법을 개량한 공법으로 플라스틱접촉재 충전층과 쇄석충진층으로 구성된 공법으로 안양천, 양화천, 팔거천, 양재천(서초) 등에 적용된 바 있음.
 - 각 시설의 운영초기자료를 비교한 결과 BOD 제거율은 39%~84%, SS 제거율은 62~96%로 시설마다 제거율의 차이가 크게 나타남(<표 2> 참조).

<표 2> 플라스틱·쇄석접촉산화법을 적용한 시설의 운영초기 수질정화효율 비교

적용하천	SS (중간값)			BOD (중간값)		
	유입수, mg/L	방류수, mg/L	제거율, %	유입수, mg/L	방류수, mg/L	제거율, %
광려천	69.2	7.4	86.5	17.4	5.2	68.9
도농천	49.0	9.0	85.5	55.4	12.1	63.8
망월천	30.0	8.0	75.0	72.0	11.0	84.0
병영천	12.5	2.8	82.0	16.4	4.5	72.7
안양천(안양)	13.0	5.0	61.7	27.0	9.3	64.3
안양천(의왕)	5.5	0.5	94.7	2.9	1.3	63.0
양재천(서초)	13.0	0.6	95.8	8.2	2.5	60.8
양화천	24.8	5.0	79.8	16.5	7.2	54.5
용덕천	14.2	3.8	78.4	6.2	2.8	46.3
장평천	17.4	1.4	91.1	2.2	1.0	55.1
팔거천	10.2	3.8	65.4	7.7	4.4	38.9

주) 상기 자료는 운영기간이 서로 달라 상호비교를 위하여 초기 1년간 운전자료를 분석한 결과임.
수질 및 제거율은 중간값이므로 유입수 농도와 방류수 농도로 계산한 제거율과 다름.

- 비교적 체계적인 모니터링이 실시된 양화천과 팔거천 수질정화시설의 경우 2002년부터 2004년까지 전기간 평균 BOD제거율은 각각 37%와 46%이고, SS 제거율은 각각 68%와 72%로, 시설마다 차이를 보이고 있음.
 - 방류수 수질에 대한 설계목표 달성율은 양화천과 팔거천에서 각각 61%와 55%임.
- 경안천, 덕소천 등에 적용된 끈상접촉산화법
- 경안천과 덕소천에는 끈상접촉산화법이, 신어천에는 끈상접촉재와 관형접촉재가 혼합된 공법이 적용되었으며, 대곡천과 봉곡천에는 끈상접촉산화지 상부에 식물을 식재한 공법이 적용되었음.
 - 경안천 수질정화시설에 있어서 2001~2004년 동안 BOD와 SS 제거율 중간값은 각각 39% 및 56%이고, 덕소천(2002~2004)의 경우 각각 60%와 88%였으며, 이외에도 관형접촉재 총진총과 결합된 신어천 수질정화시설의 BOD 및 SS 제거율은 33%와 57%로 낮았음. 습지와 결합한 대곡천과 봉곡천의 시설에서 BOD 제거율은 각각 24%와 56%, SS 제거율은 각각 57%와 59%로 비교적 낮았음.
 - 설계목표 달성율은 경안천과 덕소천의 경우 각각 37.4%와 66.7%이고, 끈상접촉재 총진총에 식물을 식재한 대곡천, 봉곡천에서는 각각 27.8%와 50%이며, 관형접촉재와 끈상접촉재를 총진한 신어천에서는 0%로 전혀 설계목표를 달성하지 못하였음.

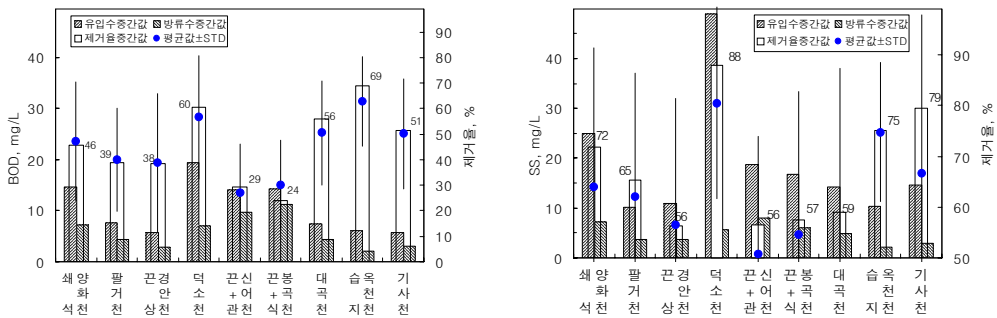
○ 옥천천, 기사천에 적용된 습지여상공법

- 습지공법은 자연습지처럼 생태적인 작용에 의해 수질이 정화되는 공법과 자갈 등의 여과재에 의한 물리적인 여과작용 등 복합적인 기능을 응용하여 수질을 정화하는 습지여상공법이 있는데, 국내에서는 주로 습지여상공법이 적용되고 있음.
- 습지여상공법이 적용된 옥천천과 기사천 수질정화시설의 BOD 제거율 중간값은 각각 69%와 51%이고 SS 제거율은 각각 75%와 80%이며, 또 질소 제거율은 20%, 인 제거율은 각각 35%와 36%로 영양염류 제거율도 비교적 높음.
- 습지여상공법이 적용된 수질정화시설의 설계조건 달성율은 각각 89%와 43%로 나타났으나, 옥천천의 경우 막힘 현상으로 인하여 처리유량에 대한 설계조건 달성율은 0%임.

하천수질정화공법 비교

○ 오염물질 제거효율 비교

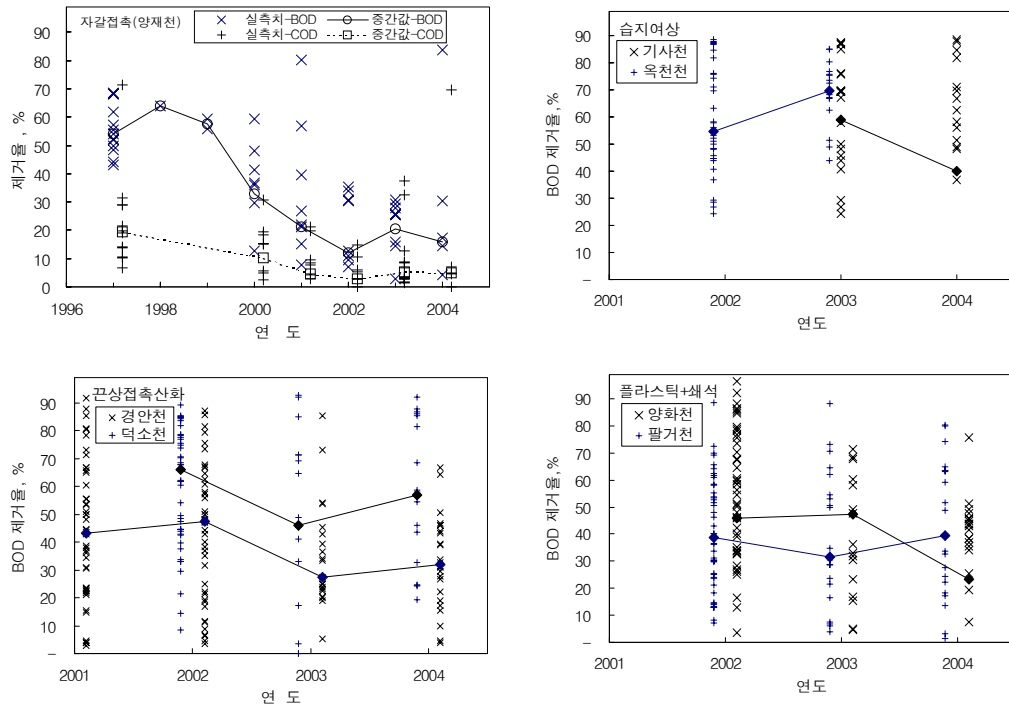
- BOD 제거율은 플라스틱·쇄석접촉산화법이 39~46%, 끈상접촉산화법이 38~60%, 끈상접촉산화법의 변법이 24~56%, 습지여상법이 51~69%로 동일공법 또는 유사한 공법이 적용 되었어도 하천 간 오염물질 제거율의 차이가 큼([그림 1] 참조).



[그림 1] 주요 하천수질정화공법이 적용된 시설의 수질 및 정화효율(전기간)

- 운영기간의 증가에 따라 각 시설의 오염물질 제거효율 변화도 차이가 큰 것으로 나타남 ([그림 2] 참조).

- 양재천 강남구 구간에 설치된 자갈접촉산화시설의 경우 국내에서 처음으로 적용된 공법으로 운영기법에 대한 지식부족 때문에 성능이 현저히 저하되었음.

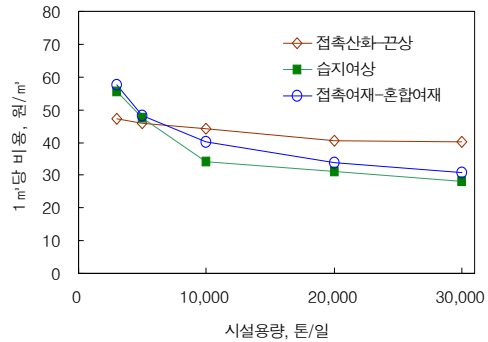


[그림 2] 주요 하천수질정화공법이 적용된 시설의 정화효율 변화

- 설계의 합리성에 따른 성능 차이도 큰 것으로 보임.
 - 설계목표 달성율은 쇄석·플라스틱접촉산화법이 55~61%, 끈상접촉산화법이 37~67%, 습지여상공법이 43~89%로 동일공법에서도 큰 차이를 나타냄.
 - 옥천천 시설의 경우 설계유량을 충족시키지 못하여 사실상 설계목표 달성율은 0%임.
- 오염물질 제거율과 운영기간에 따른 제거율 변화는 공법간의 차이보다는 하천특성과 운전 특성에 따른 차이가 큰 것으로 보임.
 - 쇄석·플라스틱접촉산화법이 적용된 시설 중 양화천 시설에서는 BOD 제거율이 저하되는 경향을 보이는 반면 팔거천 시설에서는 변화가 거의 없음.
 - 끈상접촉산화법이 적용된 경안천 시설과 덕소천 시설 모두 BOD 제거율이 저하되었음.
 - 습지여상공법이 적용된 기사천 시설에서는 BOD 제거율이 감소하는 경향을 보였음. 옥천천시설에서는 오히려 증가하였으나 이는 막힘현상에 기인된 것으로 설계유량 이하로 운전되었음.

○ 비용비교

- 1일 처리용량이 5,000^m인 시설의 경우 시설설치비용은 7.5~8.1억원이며, 수질정화시설의 설치비용과 운영비를 고려한 하천수 1^m당 처리원가는 46~48원으로 공법간의 차이는 미미하나 규모가 커질수록 끈상접촉산화법의 비용이 타공법에 비해 높아짐([그림 3] 참조).



[그림 3] 하천수질정화공법별 처리원가 비교

○ 하천수질정화공법에 대한 종합평가

- 대부분의 하천수질정화시설은 소규모 시설이며, 하천 수질 및 수리·수문에 대한 정보부족으로 적절한 설계가 이루어지지 않는 문제점을 안고 있음.
- 유지관리에 세심한 주의가 필요함에도 불구하고 유지관리의 용이성이 지나치게 강조됨으로써 운영자들이 시설 유지관리에 대한 관심이 부족함.
- 처리효율은 공법간의 차이보다는 설계, 운영, 유지관리의 차이에 의한 결과로 판단됨.

하천수질정화공법의 서울시 적용방안

○ 하천수질정화공법 도입시 고려사항

- 하천정화시설보다 관거정비나 오염원 관리가 우선되어야 함. 그러나 소규모하수처리장 건설이나 하수관 정비 등 오염원 관리를 위한 사업이 장기간 소요되는 경우에는 하천수질정화시설을 적용하는 것이 바람직함.
- 유입수 수질, 방류수 수질, 정화효율 등이 합리적으로 설정되어야 하며 이를 위하여 1년 이상 기초조사를 실시하여야 함.
 - 1년 이상 주1회 이상 유량과 수질을 조사하여 하위 10% ~ 상위 10% 또는 하위 25% ~ 상위 25% 등의 범위를 설계조건으로 설정함.
 - 수질조사 시 BOD, SS, 총질소, 총인 등 주요항목은 물론이고 용존성 오염물의 농도와 VSS, ABS, 대장균 군수 등도 조사할 것.

- 유량, 수위, 유속분포, 유사이동 등을 조사하여 입지선정, 취수설비 및 유입부설계시 활용할 것.
 - 하천규모, 하상구조, 하천공간구조 및 고수부지 이용상태 등의 지형정보를 수집하여 수질정화시설의 입지선정과 상부공간의 용도설정시 참고할 것.
 - 설계조건 설정시 유입수 수질 범위를 명확히 하고, 시설의 성능보증 기간을 5년 이상으로 계약하는 것이 바람직함.
- 하천수질정화공법의 적용원칙
- 하천부지 등의 여유지에서 가능한 방식일 것.
 - 정상적인 물의 흐름을 저해하지 않을 것
 - 정화 대상하천의 수질특성에 적합한 정화방식일 것
 - 소량 강우시 하수관거 월류수 또는 도로면 유출수 등도 정화할 수 있을 것
- 하천별 적용방안
- 성내천: 성내천은 방이동 생태보전지역에 인접해 있으며 이 일대의 폐천부지는 준설토 야적장으로 활용되고 있는 바, 이 지역에 수질정화 기능을 갖춘 습지를 조성함으로써 수질정화는 물론이고 주변의 생태보전지역과 생태네트워크를 형성토록 하는 것이 바람직함.
 - 여의도샨강: 샨강생태공원은 홍수시 침수되는 지역이기 때문에 습지여상공법을 적용하기는 어려우므로 자연스러운 습지형태로 고수부지의 형상을 변형시키고 한강물을 공급하여 습지가 형성되도록 하고 여기서 정화된 물을 연못으로 유입되도록 하는 것이 바람직함.
 - 성북천 및 청계천: 청계천 유지용수 공급 관로로부터 일부를 성북천과 정릉천에 공급하는 방안도 있으나, 이 경우 성북천과 정릉천에 충분한 양을 공급하기는 어려울 것으로 예상됨. 반면, 성북천과 정릉천 각각의 청계천 유입부에 하상여과시설을 설치하여 성북천과 정릉천에 공급한다면 양질의 풍부한 양의 유지용수를 확보할 수 있을 것으로 기대됨.
 - 정릉천 고가도로, 강변북로 등 노면배수가 직접 공공 수역으로 유입되는 지역에 하천수질정화공법을 적용하여 비점오염원 저감시설로 활용하는 것이 바람직함.
 - 하천에 수변공원 등을 조성하고자 하는 경우 상류에 하천수질정화공법을 적용할 수 있음.

조항문 | 서울시정개발연구원 연구위원
02-2149-1158
chohm@sdi.re.kr