

끈상접촉산화시설을 이용한 하천수질정화

정용준[†] · 임기성

환경관리공단 유역관리처

Purification of Stream Water Quality by Using Rope Media Filter

Yong-Jun Jung[†] · Ki-Seong Lim

Watershed Management Department, Environmental Management Corporation

(Received 22 September 2005, Accepted 3 February 2006)

Abstract

In order to improve the water quality of stream water, the facilities equipped with rope media filter have been examined as a part of national projects. This work may provide design and operating parameters from 2 years monitoring for 2 streams. Depending on the characteristics of streams, the flow rate into the facilities were shown different, where K stream was almost the same and D stream was less than 25% of design flow rate. Although the clogging of filter media was not observed during the operation, the removal of accumulated sludges was required for the stable operation. The removal efficiencies of BOD, SS, T-N and T-P for D stream were 60.5%, 80.1%, 25.2% and 36.2%, respectively. The most important factor for the construction of stream water purification facilities was recommended for the selection of proper sites.

keywords : Clogging, Filter, Purification facility, Rope media, Water quality

1. 서론

한강은 수도권 2천만 시민의 상수원으로 이용되고 있지만 무분별한 개발과 산업활동의 증가로 인하여 수질오염이 점차 악화되고 있으며, 계속하여 먹는 물의 안전마저 위협받게 되자 정부에서는 팔당호등 한강수계 상수원의 수질관리를 위한 특별종합대책을 발표하였다(정부합동, 1998). 이에 따라, 이·치수는 물론 하천이 보유하고 있는 수질정화, 친수, 생태적 공간기능 등 하천 본래의 기능을 살리고, 자연과 인간이 공존하며, 풍부한 수량의 깨끗한 물이 흐르는 자연스런 모습의 하천을 만들어 나가는 자연형 하천정화사업이 추진되었다(환경부, 2003).

자연형 하천조성에 의한 하천수질정화란 하천으로 유입되는 오염물질의 양이 하천의 자정능력을 초과함으로써 생물서식 공간 또는 친수공간으로서의 기능이 약화되거나 상실된 하천을 원상태로 회복시키는 것으로(조, 2004), 오염하천수질정화의 기본 원리는 희석, 침전·흡착, 여과와 같은 물리·화학적 처리 및 미생물에 의한 산화분해 공정 등을 예로 들 수 있다(Novotny, 1994).

국내의 하천 실정에 적합한 수질정화기술은 1995년에 개발되었고, 1997년과 1998년에는 자갈접촉산화법, 인공습지, 수초재배식 및 접촉산화조와 같은 수질개선 시범사업이 전국적으로 확산되었으며, 2000년 이후에는 4대강 물관리중

합대책이 본격 추진됨에 따라 4대강 수계에 걸쳐 다양한 공법이 도입되었다(환경부, 2004).

독일은 1970년대부터 근자연형 하천공법에 주안점을 두면서 환경친화적으로 하천을 정비하여 자정능력을 향상시키고 생물서식공간을 확충하고 있는 반면, 일본에서는 다자연형 하천공법에 기초를 두고 하천수질정화시설을 운영하여 수질을 개선하고 있다(조, 2004).

국내·외적으로 소개된 다양한 하천수질정화 공법 가운데, 자연친화적이면서 유기물의 제거 효율이 높은 것으로 생물학적 접촉산화공법이 널리 알려져 있다(임 등 2002; 長内武逸, 1990). 특히 다양한 접촉여재가 개발됨에 따라 자갈접촉산화공법 대신 좁은 부지면적에 적합하면서도, 슬러지 발생량이 적은 고효율의 접촉여재 충전공법이 활발히 연구되었다(小島貞男, 1981; 岡田宏道 et al., 1981). 접촉여재로 사용되기 위한 적합한 조건으로서는 비표면적과 공극율이 크고, 생물막의 부착성이 좋으며, 부유물의 포집성이 좋아야 한다(北尾高嶺, 1981).

환경관리공단은 환경부에서 추진중인 팔당호등 한강수계 상수원 수질관리 특별종합대책의 일환으로 2000년 후반기부터 하천자연정화시설을 활용한 하천수질개선 시범사업을 수행하였다. 본 연구에서는 팔당호 유입하천 중 수질오염이 진행중인 K하천과 D하천을 대상으로 끈상접촉산화시설을 설치하여 안정된 기간동안 운전하여 도출한 결과를 비교·분석하였다. 이는 향후 유사한 사업을 추진할 경우 보다 효율적으로 수행하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
yjjung@emc.or.kr

2. 연구내용 및 방법

2.1. 대상 하천

팔당호 유역 하천자연정화시설 설치사업을 수행하기 위하여 수리·수문 조사, 측량 및 지질조사 등을 실시한 기초 자료(환경관리공단, 2000)를 바탕으로, Fig. 1과 같이 목적에 적합한 부지를 선정하였다.

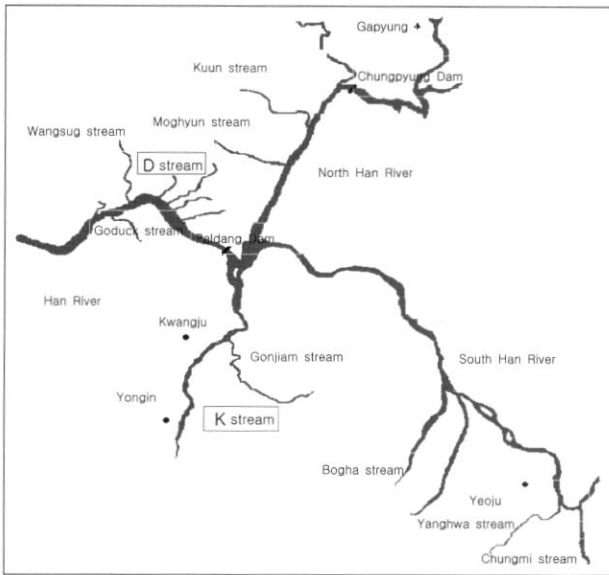


Fig. 1. Location of facility station(D & K stream).

대상 지역인 K하천은 경기도 용인시 호동에서 발원하여 모현면 일산리에서 큰 지류인 능원천과 합류한 후, 광주군 지월리에서 곤지암천과 합류하여 팔당호로 유입된다. 유역 면적은 598.33 km², 총 유로 연장은 49.5 km로서 평균 5.40 m²/sec의 유량이 흐르며, 직할하천 2개소, 준용하천 77개소 및 개수율은 평균 81%로 조사되었다.

D하천은 경기도 남양주시 삼패동과 와부읍 덕소리에 포

함되어 있고, 남측으로는 직할하천인 한강본류와 접하고 있는 소하천으로, 유역 면적은 2.14 km², 유로연장은 1.23 km이다. 하천 연장이 짧고, 하폭이 협소하며, 고수부지가 형성되어 있지 않은 D하천의 경우, 상류부에는 축산농가, 군부대, 농경지 취락시설이 분포하며, 하류부는 시가화되어 일반주거와 상업용지가 혼재되어 있다.

2.2. 시설 개요

수리·수문 및 유입 수질의 성상 등과 같은 대상 하천들의 자연 현황을 고려하여 설계한 하천 자연정화시설은 Table 1과 같다.

본 연구에 적용된 근상접촉산화시설은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 크게 유입부, 침사설비, 접촉포기조, 슬러지 배출시설 및 방류조로 구성되었다. K하천은 하천수위에 의하여 유입수량에 변화가 발생하는 자연유하 방식을 채택하였으나, D하천은 펌프를 이용하여 처리시설내로 유입수를 공급하였다.

접촉포기조는 2계열로 구성되어 있고, 유량의 균등 분배를 위하여 조절밸브가 설치되어 있다. 접촉여재는 다양한 굵기와 형태가 국내에서 생산되고 있고, 인장강도가 크고, 신율이 적으며, 화학적으로 안정하여 미생물의 초기 부착능이 우수한 나이트렌재질의 섬유형 근상접촉재를 선정하였다. 접촉포기조에는 Table 2에 나타낸 바와 같은 특

Table 1. Summary of design parameters of rope media facilities for each stream

	K stream	D stream
Flow rate(m ³ /d)	20,000 (17,000~22,000)	8,000
Water quality(mg/L)	BOD : 7.2 SS : 19.8	BOD : 18.0 SS : 13.2
Site area(m ²)	2,460	1,059
HRT(hr)	1	1
Construction completion	2000. 12. 19	2001. 12. 21

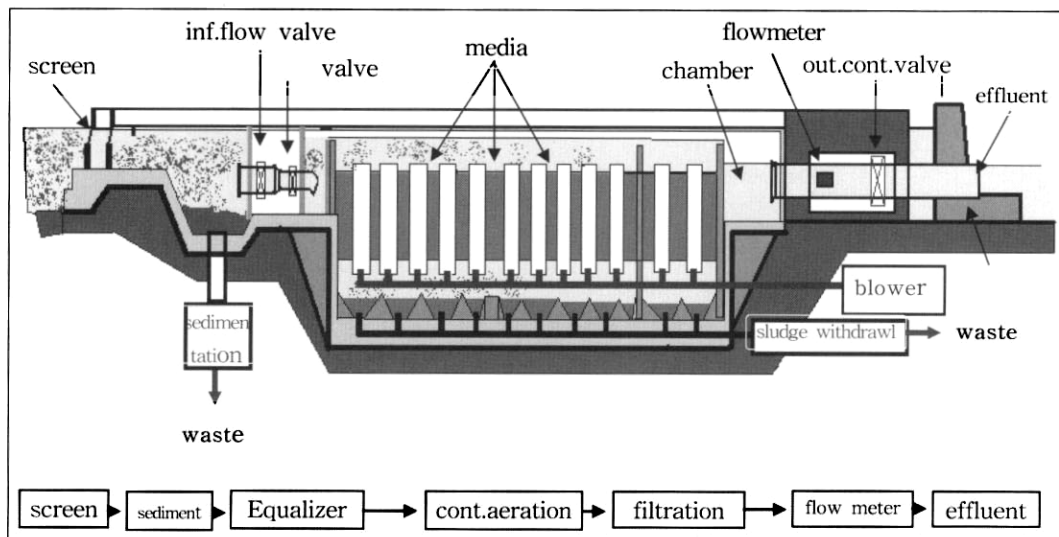


Fig. 2. Schematic diagram of rope media filter process.

Table 2. The characteristics of rope media filter

Item	Property
Type	Rope-like contact media
Material	Ring : 900 denier 42 nylon BCF Support : 4 mm PP rope
Diameter	40~45 mm
Surface area	above 1.0 m ² /m

성을 가진 나일론 재질의 BCF(Bulky Continuous Filaments, 벌키섬유)가 충전되어 있으므로 표면적이 큰 장점을 이용하여 다량의 미생물을 부착시킬 수 있다.

DO의 안정된 공급을 위하여 송풍기와 membrane산기판(Ø320)이 설치되어 있고, 산소 공급으로 인한 미생물의 탈리를 방지하도록 내통을 설치함으로써 포기조내의 수류 흐름을 안정화시켰다. 송풍기 형식은 roots blower(3.7 kw)로 하였고, 소음을 적게하기 위하여 헬리컬형으로 선정하였다. 또한 발생하는 슬러지의 수집과 인발을 위하여 각 조마다 슬러지 호퍼와 인발 배관이 설치되어 있다.

방류조에는 접촉포기조에서 처리된 유출수를 배출하기 위한 방류관로가 설치되어 있는데, 여기에는 처리 유량의 확인을 위한 초음파식 유량계가 부설되어 있으며, 홍수와 같은 비상시에 하천수의 역류를 방지하기 위하여 역류차단 밸브도 설치되어 있다.

2.3. 시설 운전

처리 시설의 효율을 평가하기 위하여 유입과 유출수의 유량 및 수질을 정기적으로 측정하였는데, 모든 시료는 수질오염공정시험법(환경부, 1998)과 standard method(APHA, 1998)에 준하되, 1일 혼합시료로 채취한 후 수질분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 운전 특성

K하천은 하천수를 처리시설로 유입시키기 위하여 기존의 콘크리트 보를 이용하였으나, D하천은 콘크리트 보를 신설

하였다. 콘크리트 보는 구조물로 견고한 장점은 있으나, 기존보에는 이미 많은 양의 모래가 퇴적되어 있고, 하상이 어느 정도 안정되어 있는 상태이나, 신설 보의 경우 약 1년 경과 후부터는 상류지역의 모래가 퇴적되어 수위저하 현상 발생 및 모래와 같은 토사가 시설로 유입된다. 따라서 1년 이상 경과된 보의 경우에는 지속적인 토사제거 작업이 이루어져야 하며, 특히 강우 이후에는 현장 확인 및 토사제거 작업이 이루어져야 하나, 그렇지 못할 경우에는 유입관로 막힘 현상 또는 유입 토사량이 침사지 용량을 초과하여 펌프피트 또는 접촉산화조로 유입되어 토사제거 작업이 필요하게 되어 시설의 유지관리에 상당한 어려움이 수반될 수 있다.

운전 기간 동안 측정된 대상 하천들의 유량 변화는 Fig. 3과 같다. 설계 유량이 20,000 m³/d인 K 하천의 경우는 일정한 유량확보가 가능하였으나, 펌핑으로 유량을 공급한 D 하천에서는 8,000 m³/d의 설계 유량보다 훨씬 적은 1,000 m³/d 내외의 처리만 가능하였으며, 유량 변화 폭도 큰 것으로 나타났다.

접촉산화조 내의 하천수를 배수하고 조 내를 육안으로 확인한 결과 상당량의 슬러지가 퇴적되어 있었는데, 이를 슬러지 인발차량으로 인발하기에는 차량의 흡입능력의 한계로 인하여 어려움이 많아서 결국 진공준설 차량을 이용하여 제거하였다. 접촉산화조 내부를 콘 형태로 만들어도 슬러지 퇴적에 의한 침적현상은 발생하여 주기적인 슬러지 배출작업과 필요시 진공준설 차량을 이용한 슬러지 처리가 필요하였다. 진공준설 차량을 이용하는 끈상접촉산화시설에서는 산기 내통을 통한 조 내의 인원투입으로 슬러지 제거 작업이 가능한 것으로 나타났다.

시설물 운전 기간 동안, 대부분의 환경친화형 자연공법, 즉 토양처리법, 식물을 이용한 처리법 및 습지처리법 등에서 관찰될 수 있는 여재 공극의 폐색현상(서 등, 2003)은 발생하지 않았다.

가장 추운 동절기의 대기 온도는 -10°C 정도까지 감소하였으나, 처리 시설이 지하구조물일 뿐만 아니라 송풍기 작동에 의한 강제 혼합 등으로 인하여 시설물 내의 수온은

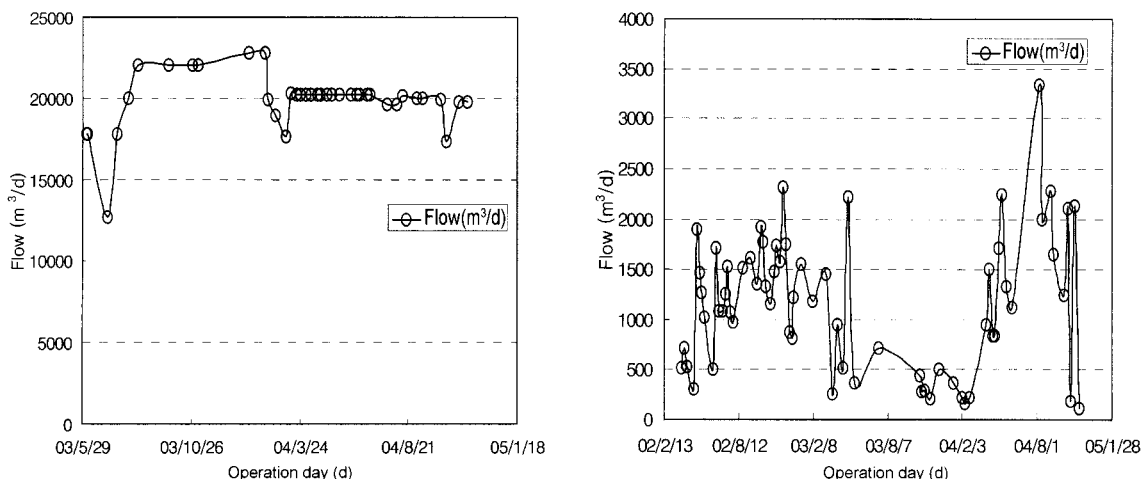


Fig. 3. Monitoring of flow rate: (a) K stream, (b) D stream.

영상의 온도를 유지하였다. 대상 하천의 상류지역에서 갑자기 발생할 수 있는 환경사고에 의한 pH의 급상승에 대처하기 위하여 유입 차단 밸브가 설치되어 있으므로, 운전 기간 동안의 pH 변화는 미약한 것으로 나타났다.

또한, 미생물의 최소 활동 유지와 처리 시설 내의 폐색 및 혐기화 방지를 위하여 유입수와 유출수의 DO 농도는 4 mg/L 이상을 유지하였다.

3.2. 시설 효율 분석

K하천과 D하천의 유기물, 즉 BOD와 SS의 유입, 유출 농도 및 제거 효율을 Fig. 4에 표시하였다. K하천의 유입 BOD는 1.1~21.7 mg/L, SS는 2.4~136.0 mg/L, D하천의 유입 BOD는 4.2~84.8 mg/L 및 SS는 6.4~524.0 mg/L범위로 나타났다. K하천의 유입 BOD와 SS의 평균 농도는 7.4 mg/L와 18.3 mg/L였지만, D하천의 평균 유입 BOD와 SS는 21.4 mg/L와 77.3 mg/L로 나타나 상대적으로 오염도가

높았다. 특히 장마철인 7월과 8월의 오염도보다 갈수기인 4, 5월의 오염도가 훨씬 높았는데, 이는 비강우시에 퇴적되어 있던 비점오염원과 같은 오염 유발물질이 초기 강우에 의하여 일시 유출된 원인으로 판단된다.

BOD와 SS의 제거 효율은 Table 3에 나타낸 바와 같이 동일한 공법을 사용하였음에도 불구하고, K하천 보다 D하천에서 높게 나타났는데, 이는 유입수질의 차이에 의한 원인으로 판단된다.

K하천과 D하천의 T-N과 T-P의 유입, 유출 농도 및 제거 효율을 Fig. 5에 표시하였다. K하천의 유입 T-N과 T-P의 평균 농도는 4.4 mg/L와 0.1 mg/L였고, D하천의 유입 T-N과 T-P의 평균 농도는 12.7 mg/L와 1.0 mg/L로 나타났다. K하천의 유입 T-N은 0.5~13.2 mg/L, T-P는 0.1~0.3 mg/L, D하천의 유입 T-N은 3.0~32.0 mg/L 및 T-P는 0.1~1.7 mg/L 범위로 나타났으며, 이때의 제거 효율은 Table 3에 정리하였다.

Table 3. Summary of removal efficiency at each stream

Item	K stream			D stream		
	Inf.(mg/L)	Eff.(mg/L)	Rem.(%)	Inf.(mg/L)	Eff.(mg/L)	Rem.(%)
BOD	1.1~21.7(7.4)	0.7~17.3(4.4)	3.6~87.1(38.3)	4.2~84.8(21.4)	0.3~38.9(7.4)	3.5~96.3(60.5)
SS	2.4~136.0(18.3)	0.6~59.0(6.3)	2.3~97.7(55.1)	6.4~524.0(77.3)	0.8~27.0(7.5)	28.0~99.0(80.1)
T-N	0.5~13.2(4.4)	0.3~12.8(3.9)	0.5~64.7(15.2)	3.0~32.0(12.7)	0.8~18.8(9.8)	0.4~81.1(25.2)
T-P	0.06~0.26(0.13)	0.04~0.50(0.10)	1.22~57.26(21.61)	0.06~1.72(1.04)	0.06~0.95(0.60)	5.17~77.80(36.24)

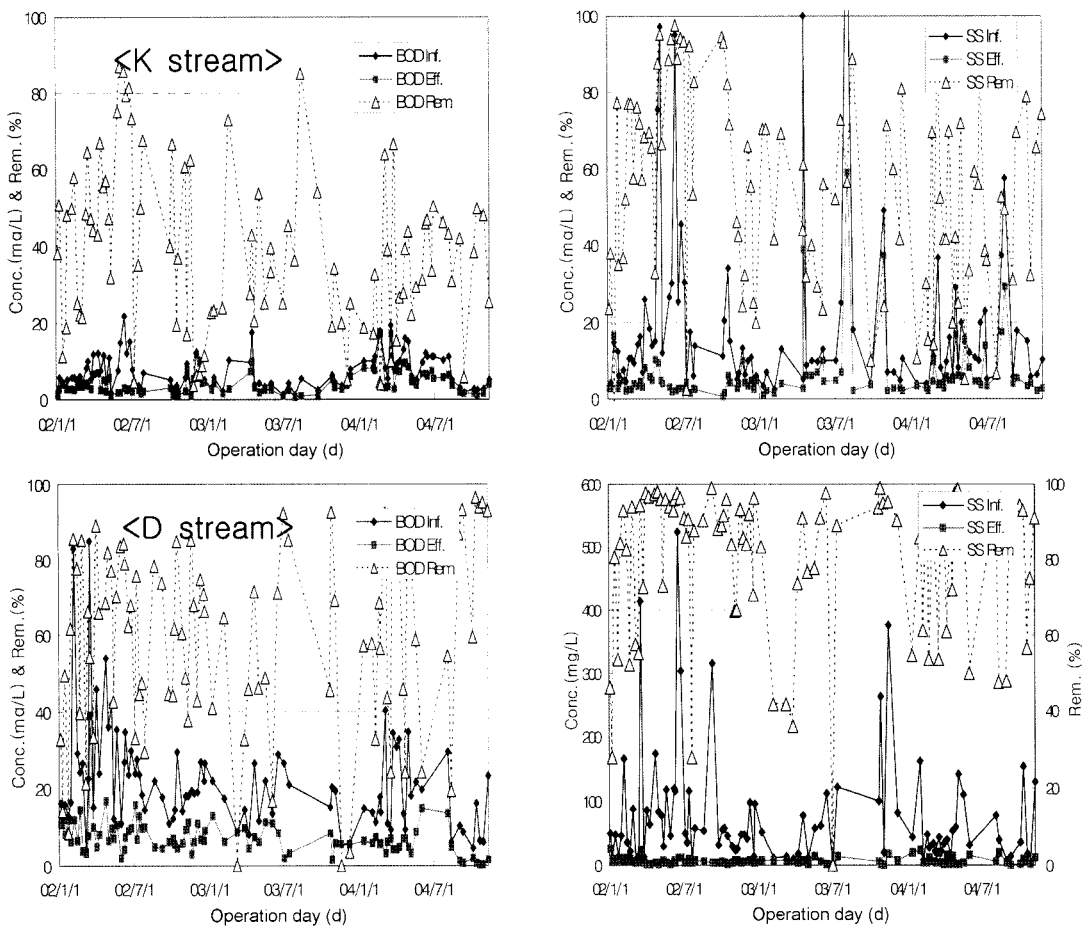


Fig. 4. Profiles of organics and removal efficiency at each stream.

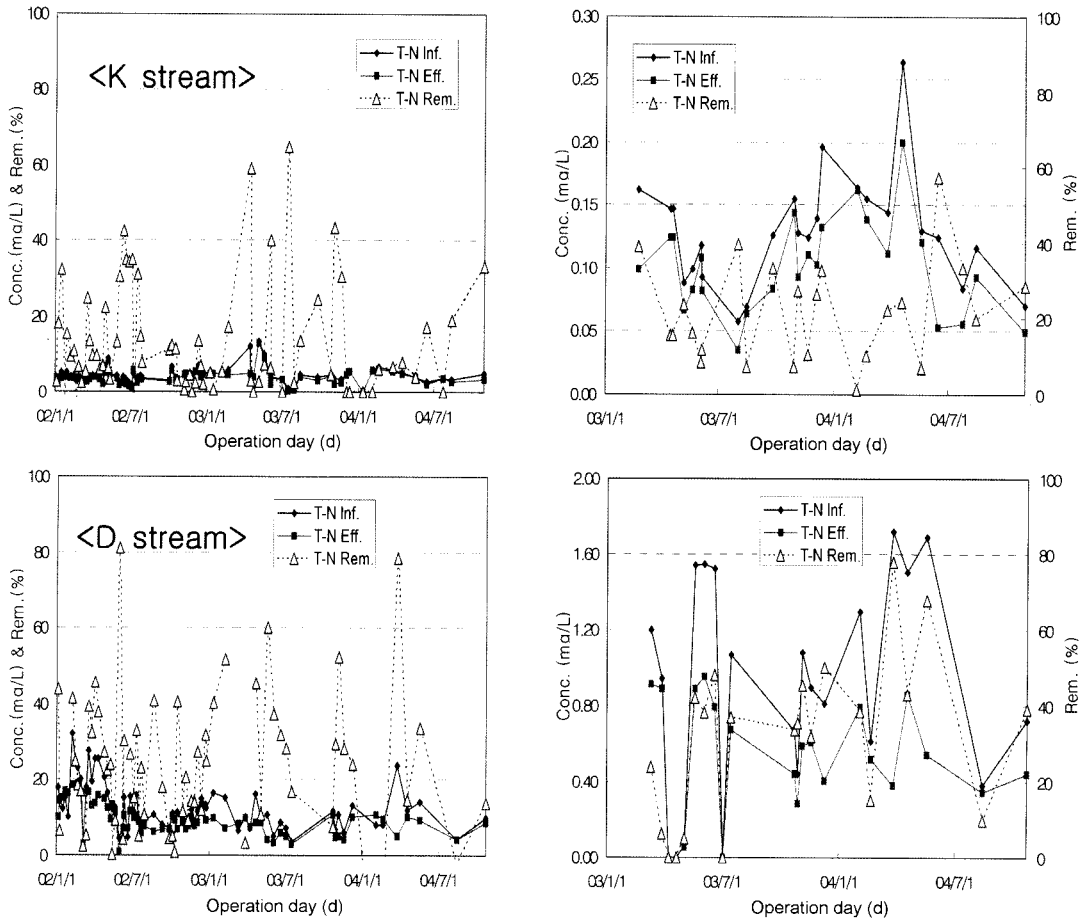


Fig. 5. Profiles of nutrients and removal efficiency at each stream.

본 처리 시설은 질소·인 제거를 위한 부가적인 공정이 설치되어 있지 않았지만, 끈상접촉산화조를 통과한 처리수의 영양소 제거 효율은 10~20%를 나타내는 일반적인 활성슬러지 공정보다 높은 15~36%를 나타냈다.

이는 초기상태부터 2, 4, 7일의 운전 경과일에 따른 접촉재의 미생물 부착 과정을 표시한 Fig. 6에도 나타낸 바와 같이, 접촉재의 미생물 포착능과도 관계있는 것으로 사료된다. 접촉포기조 내에 침지된 접촉재는 다양한 종류의 미생물을 안정적으로 신속하게 부착시킬 수 있으므로, 상대적으로 성장속도가 늦은 질소·인 제거 관련 미생물을 확보하여 제거 효율을 상승시켰던 요인으로 판단된다. 하지만, 방류수계의 부영양화 방지를 위한 질소와 인의 제거효율을 향상시키기 위해서는 질산화, 탈질에 필요한 운전 조건을 확보하도록 접촉포기조내를 탈질조 기능을 확보하도록 유지하거나, 응집제 주입설비 설치를 고려할 수도 있다.

접촉여재 충전공법은 미생물에 의한 유기물의 산화작용 이외에 무기성 SS 성분이 접촉재에 충돌하여 하부로 침전되는 부수적인 정화기작을 가진다. 끈상접촉재를 일정한 간격으로 조밀하게 설치하면 접촉재 사이를 통과하는 하천수내의 고형물이 접촉재에 의한 단락류의 방지와 정류효과에 의하여 접촉재가 충전되지 않는 경우에 비해 효율적으로 증력침강하게 되며, 또한 끈상접촉재의 관성력에 직접 충돌

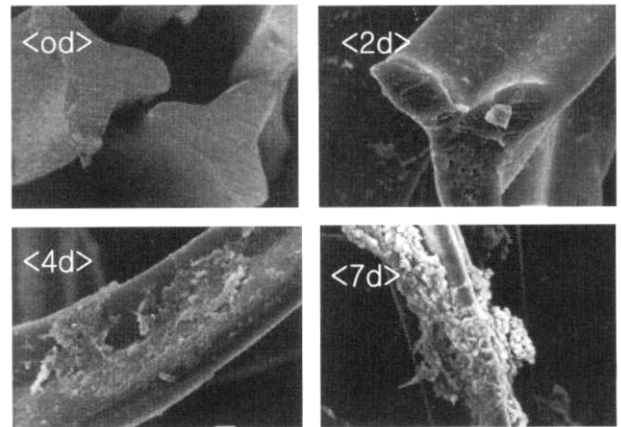


Fig. 6. Stepwise photographs of media attaching microbes.

하여 침강한다. 고형물은 접촉재 부분의 복잡한 유속분포에 의해 충돌 또는 응집·침강하게 되어 효율적인 고액분리가 이뤄지는데, 접촉재에 부착한 미생물의 활동에 의해 용해성 BOD가 약 13% 제거된 바 있다(北尾高嶺 et al., 1995).

3.3. 설계 및 운전시 고려사항

하천자연정화시설의 설치 지점 선정 시 가장 우선적으로 고려되어야 할 사항은 부지 선정이다. 이를 위해서는 지질조사, 지형측량, 현지 토지이용 등의 현지조사와 유하량 분

석자료, 용지 취득의 용이성, 사업시행에 따른 효과 등을 종합적으로 판단해야 한다. 시설의 대부분은 소오면적이 넓어 하천고수부지에 설치하는 경우가 많고, 제내지에 설치할 경우 토지매수등이 선행되어야 하므로, 수도권의 경우 높은 토지보상비등으로 인하여 제내지에 설치하는 것이 용이하지 않을 수 있다. 하천고수부지에 설치하는 경우 유수의 흐름에 방해가 되지 않아야 하므로, 모두 지하시설물로 설치됨에 따라 침수현상이 발생할 수 있으며, 이때 계측 장비등이 침수되어 주기적인 보수가 필요하게 될 수 있다. 따라서 하천고수부지에 설치시 가능하다면 침수를 최소화할 수 있는 지점을 선정하되, 제내지에 설치하는 것이 가장 안전한 방법이다. 제내지에 설치할 경우는 유입수를 자연유하 방식으로 채택하는 것이 어려워 기계적 시설 설치가 필요할 것이다. 이는 하천고수부지에 설치하는 경우보다 유지관리비가 비싸나, 펌프실로 유입되는 토사 방지와 같은 문제점을 제외한다면 유지관리는 훨씬 용이할 것으로 사료된다.

4. 결론

팔당호등 한강수계 상수원 수질관리 특별종합대책의 일환으로 수행한 하천자연정화시설의 장기 운전 결과는 다음과 같다.

- 1) 대상 하천의 유역 특성에 따라 유량 변화에 큰 차이를 보였는데, K하천은 설계 유량과 거의 유사한 20,000 m³/일이 유입되었고, D하천에서는 설계 유량의 25%이하를 유지하였다.
- 2) 운전 기간동안 여재 공극의 폐색현상은 관찰되지 않았으나, 안정적인 운전을 위해서는 적절한 슬러지 제거작업이 필요한 것으로 나타났다.
- 3) 대상 유역의 특성에 따라 처리 효율이 다르게 나타났는데, 오염도가 높은 D하천의 경우 BOD, SS, T-N 및 T-P의 제거율이 60.5%, 80.1%, 25.2% 및 36.2%로 나타났다.
- 4) 근상집축산화조를 통과한 여과수의 T-N과 T-P 제거율은 15~36%범위였으나, 향상된 영양소 제거효율을 확보하기 위해서는 접촉포기조를 간헐폭기로 운전하기 위한 설계 및 응집제 주입 시설의 도입 여부 검토 등이 고려되어야 한다.
- 5) 하천수질정화 시설을 설치할 경우에는 하천 유역특성을 고려한 부지 선정을 우선적으로 검토해야 한다.

참고문헌

서동철, 이흥재, 조주식, 박현건, 김형갑, 허종수, 자연정화 공법에 의한 하수처리장에서 최적 여재 선정, *한국환경농학회지*, **22**(1), pp. 26-35 (2003).

임연택, 윤조희, 서정범, 유원주, 유덕희, 홍정선, 서윤수, 자갈층 집축산화법을 이용한 오염하천수의 정화, *한국물환경학회지*, **8**(3), pp. 173-180 (2002).

정부합동, 팔당호등 한강수계 상수원 수질관리 특별종합대책, pp. 1-18 (1998).

조항문, *하천수질정화공법의 평가 및 적용방안*, 서울시정개발연구원, pp. 9-107 (2004).

환경관리공단, *하천자연정화시설 설치를 위한 수리·수문 및 타당성 조사 보고서* (2000).

환경부, *수질오염공정시험법, 동화기술*, 서울 (1998).

환경부, *2004 자연형 하천정화사업 추진지침 (오염하천정화사업)*, pp. 1-5 (2003).

환경부, *2004년 자연형 하천정화사업 연찬회*, pp. 79-117 (2004).

岡田宏道, 大谷光伸, 廣瀬道郎, 網狀接觸材の性質と應用, 用水と廢水, **23**(4), pp. 400-406 (1981).

北尾高嶺, 浸漬ろ床用接觸材の基本條件および水質・操作條件に応じた選擇法, 用水と廢水, **23**(4), pp. 381-387 (1981).

北尾高嶺, 井村正博, 佐藤吉彦, 付着ろ過による生活排水の高度處理, 水處理技術, **36**(8), pp. 385-389 (1995).

山崎輝明, プラスチック製波板平行板型充填材を用いた水域直接淨化法, 環境技術, **23**(6), pp. 338-341 (1994).

森田 裕三, 崎村誠三, 福井 宏海, 伴辰三, ひも狀接觸材による河川の直接淨化について, 環境技術, **23**(6), pp. 342-344 (1994).

落合正宏, 山城邦子, 後藤和幸, 若杉和夫, 生物ろ過處理による實驗廢水中の有機物の除去, 水處理技術, **36**(8), pp. 391-400 (1995).

長内武逸, 隣間接觸酸化法による河川水の直接淨化, 用水と廢水, **32**(8), pp. 676-685 (1990).

小島貞男, チューブ狀接觸材の性質と應用, 用水と廢水, **23**(4), pp. 388-395 (1981).

樫村勉, 土屋史明, ひも狀接觸材の性質と應用, 用水と廢水, **23**(4), pp. 396-399 (1981).

American Public Health Association, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition, Washington DC. USA (1998).

Novotny, O., Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution, Van Nostrand Reinhold (1994).