

# 하상여과를 이용한 간접취수 확보방안

## Using of Riverbed Filtration for Intake System



글 | 李尙洙  
(Lee, Sang Soo)

상하수도기술사, 공학박사,  
한라산업개발(주) 환경연구소장,  
E-mail : ss2lee@hallasanup.com

Riverbed filtration(RBF) system is used to develop ground water and infiltrated water supplies from permeable sand and gravel deposits. RBF plants are constructed with a reinforced concrete caisson that serves as a wet well pumping station. The lateral well screens are projected horizontally into water-bearing deposits from inside the caisson. Riverbed filtration(RBF) is a low-cost and efficient alternative water treatment for drinking-water applications.

### 1. 하상여과(Riverbed Filtration)의 기본원리

#### 1.1 하상여과의 개념

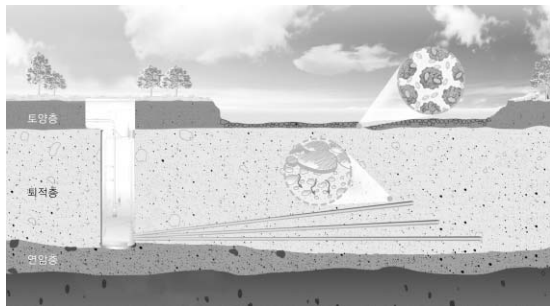
하상여과란 <그림 1>에서와 같이 하천 인근에 수평 집수정을 설치하여 지하수위를 하천수위 이하로 낮춤으로써 하천 표류수를 유도하여 취수하는 방식으로 하천 표류수가 층적층을 통과하면서 여과되는 이점을 활용하는 것이다. 즉, 하상의 층적층을 통과하여 수질이 개선된 하천수를 하천의 수변(Shoreline)에 설치된 수평집수관을 연결한 수직집수정을 통해 양수하여 하천에 재투입함으로써 하천수질개선 및 하천유지용수로 사용하는 공법이다.

수평집수관은 방사형 혹은 11자형 즉, 평행선형으로 다수 설치함으로써 급격한 부피의 하상층적층을 오염물 처리장으로 활용하여 큰 양수유량을 확보하고 하상층적층 단위 부피당 오염물 부하율은 줄이도록 한다.

#### 1.2 하상여과의 제거원리

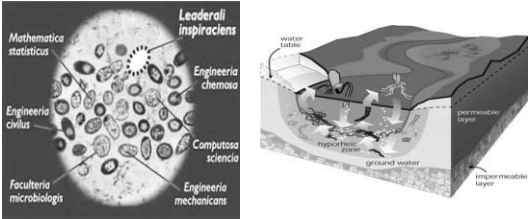
하상여과의 여과 메커니즘은 모래나 자갈의 공극을 통과하여 집수정내로 흡수되면서 물리적 여과와 흡착이나 생화학적인 분해에 의해 용존 오염물질이나 병원성 세균이 제거되는 화학적/생물학적 여과로 구분된다.

◎ 물리적 여과 : 모래, 자갈층을 통과하면서 공극을 이용한 여과

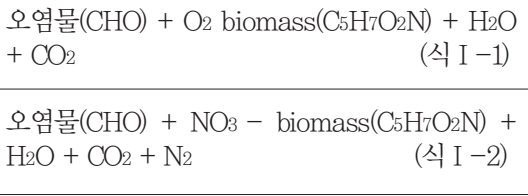


<그림 1> 하상여과 기본 개념도

◎ 화학적/생물학적 분해 : 하상입자에 흡착, 미생물에 의한 생물학적 분해 / 용존 오염물질 및 병원성 미생물 제거



여과초기에는 오염물의 제거가 물리적, 화학적, 그리고 생물학적 기작에 의해 동시에 일어나지만 시간이 지날수록 물리적, 화학적 기작보다는 미생물의 분해에 더 크게 의존하게 된다. 하상에서의 미생물의 활동에 의한 오염물 분해 기작은 다음과 같이 표시할 수 있다.



식(I -1)은 하상의 표층부근의 용존산소가 잔존하는 깊이에서 호기성 미생물의 반응을 나타내고 있고, 식(I -2)는 용존산소가 고갈된 깊은 층에서의 미생물에 의한 탈질반응을 나타내고 있다.

**1.3 하상여과의 장점**

하상여과는 유기오염물과 질소를 동시에 제거할 수 있다는 점 이외에도 여러 가지 장점을 가지고 있다. 하상의 적당한 깊이에 집수관을 설치하고 수직집수정도 하천의 제외지에 설치하므로 수

처리장 건설이 필요하지 않으며 설비가 지상으로 돌출되지도 않는다. 또한, 화학약품이 필요치 않고 슬러지가 발생되지 않아 유지비용이 적게 소요되며 환경친화적인 것도 큰 장점이라 할 수 있다. 시스템의 운전엔 전문기술이 필요치 않으며, 유지관리가 매우 쉬운 특징도 가진다. 오염물질이 하상토양과 미생물의 표면과 반응하면서 이동하기 때문에 하상 체류시간이 매우 길어져서 비교적 난분해성 물질의 분해도 가능하게 된다. 우리나라의 경우 연중 몇 차례의 홍수가 발생하므로 하상표면에 생성된 생물막이 정기적으로 제거되어 시스템을 보완해 주는 기작도 있다. 이때, 하상표층에 형성된 높은 농도의 미생물 층이 홍수와 함께 바다로 유출되어 침전함으로써 상당량의 인이 제거된다.

**가. 상수의 간접취수원 확보**

- 1) 환경친화적인 공법
  - 화학약품 불필요, 슬러지 생성 없음
- 2) 영양염류 제거(부영양화 방지)
  - 탈질에 의한 질소(N)제거, 흡착 및 세척에 의한 인(P) 처리

**나. 부가적 오염물질 제거**

- 병원성 미생물(Giardia 및 Cryptosporidium)
- 소독부산물(DBPs : THMs, HAAs), 환경호르몬(EDs, PPCPs)

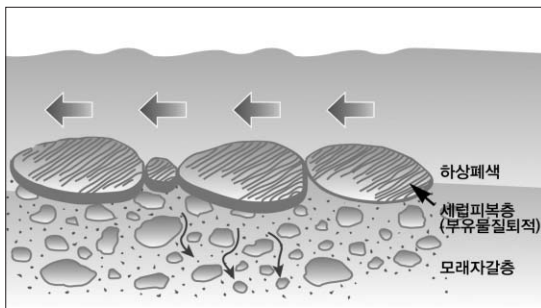
**다. 투자비용 절감 및 유지관리 용이**

부지면적 최소 및 유지관리비(전력비) 절감, 전문인력 불필요

### 1.4 막힘(Clogging)현상 및 대책

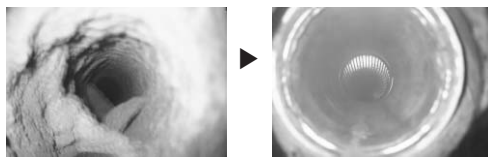
#### 가. 현상

- Physical Clogging & Biological Clogging
- Clogging으로 인한 공극율 감소로 유량저감



#### 나. 대책

- 홍수시 하상세굴(Scouring)로 폐색층이 자연적으로 치환
- Screen을 통해 Back Surging(Air, Water)을 함으로써 대수층을 개질(Reforming)함



〈그림 2〉 수평집수관내 막힘과 세정 비교

## 2. 기존 간접취수방법과의 비교

### 2.1 하상여과와 강변여과 비교

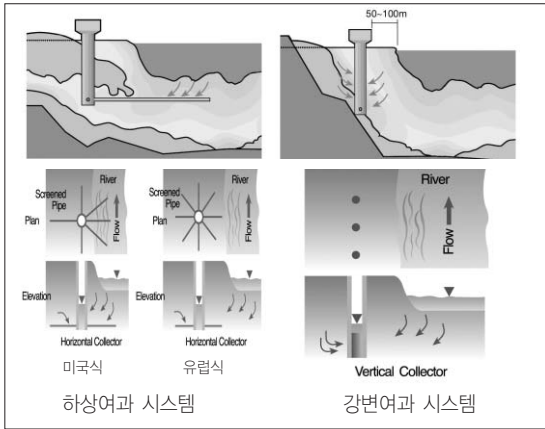
강변여과는 19세기 중반 이후부터 유럽에서 이

용된 상수원수 취수법으로 하천의 수변(shoreline)에서 약 50~100m 떨어진 지점에 수직정이나 수평집수정을 설치하여 양수하는 공법이다. 이는 하상여과와 마찬가지로 하천수가 대수층을 통과하면서 물리적, 화학적, 그리고 생물학적 과정을 통해 정화되는 원리를 이용한다. 물리적·화학적 과정은 주로 오염물의 이동을 지연시키는 역할을 하고 궁극적인 오염물의 처리는 주로 생물학적 과정에 의하게 된다. 생물학적 과정은 전자공여체와 수용체를 필요로 하며 강변여과는 하천에서 상당한 거리에 양수정을 설치하므로 하천수가 대수층을 통과하는 동안 불포화도양을 통해 대기 중의 산소가 공급되어 전자수용체로 이용되게 하는 것이다.

우리나라에서도 90년대 초반부터 강변여과가 적용되었으며 현재까지 사용되고 있다. 그러나 우리나라의 강변여과에서는 유럽에서와 달리 생산되는 유량이 적고, 여과수에는 질산성질소나 철 또는 망간의 농도가 높아 후처리가 필요한 경우가

〈표 1〉 하상여과와 강변여과 비교

항 목	하상여과	강변여과
목 적	상수원수 공급, 하천수질 개선, 하천유지용수	상수원수 공급
집수정 위치	하천에 인접(5m 이내)	하천에서 50 ~ 100m
여과수의 기원	하천수 90~95 % 지하수 5~10 % (무시)	하천수 60~80 % 지하수 20~40 %
수리학적 체류시간	0.5 ~ 3일	50 ~ 100일 이상
오염물 체류시간	0.5 ~ 수십일	50 ~ 100일 이상
시 공 성	양호	제한적
오염물유입 가능성	지하수 유입이 적어 유리	배후지에서의 유입우려(농약, 비료, 유류)



〈그림 3〉 하상여과와 강변여과 개념도

대부분이다. 이들 철, 망간 등 오염물의 농도가 높아 후처리가 필요한 경우 간접취수는 그 의미가 크게 줄어들며, 간접취수의 설비에 필요한 많은 비용에 대한 정당성을 상실할 수 있다.

### 2.2 하상여과와 집수매거 비교

취수지점을 하천에 크게 접근시킨 공법으로는 하상여과 이외에도 집수매거 취수방식이 있다. 이는 하상 약 4m 깊이에 집수매거를 매설하여 여과수를 취수하는 방식으로 90년대 중반에는 경북과 강원도의 소규모 상수생산의 절반 이상을 담당하였고, 그 외의 지방에서도 상수생산에 큰 역할을 담당하는 바 있다. 집수매거는 보통 콘크리트를 재료로 하여 직경 약 1m의 원통형으로 제작되며, 매거의 표면에 약 10cm의 일정한 간격으로 직경 약 1cm의 구멍을 다수 만들어 이를 통해 하상에서 여과된 물이 매거에 유입되게 하는 것이다. 이와 같은 취수법은 수리학적으로 또는 설치 기술적인 면에서 몇 가지의 문제점을 가지며 이를 열거하면 다음과 같다.

- ① 집수매거는 그 개공율이 매우 낮고, 개공의 크기가 커서 효율적인 여과장치가 될 수 없다. 집수매거는 최소한 개공의 크기보다 큰 입경의 자갈로 둘러싸여야 하므로 이 자갈층에서의 오염물 여과는 기대하기 어렵다. 이를 극복하기 위해서는 개공 부위의 크기가 작은 장치, 즉 스크린 형태의 집수관의 사용이 필수적이다.
- ② 집수매거는 그 표면에 상당한 간격으로 큰 개공들을 가지므로 여과수가 매거의 전체 표면에 걸쳐서 골고루 유입되는 것이 아니라 개공부에서만 유입되므로 하상의 일부에서만 여과작용이 발생한다. 또한 시공이 완벽하지 않을 경우 매거의 이음매 부근에 간극이 발생하여 하상층에서의 단회로가 형성되므로 그 여과효율을 크게 감소시킨다.
- ③ 집수매거는 하천에 임시 댐을 설치하여 양수후 하상층을 굴착하고 여기에 매거를 연속적으로 설치한다. 이때 양질의 여과수를 얻기 위해서 하상층에서의 이동거리와 체류시간을 길게 할 경우 하상토양층의 불안정 등으로 인해 매우 큰 범위의 굴착이 필요하고 이에 따라 건설비가 크게 증가한다.
- ④ 집수매거를 이용할 때 수반되는 문제점 중 가장 중요한 것은 수질개선 효과가 크지 않다는 점이다. 매거를 깊이 묻을 수 없기 때문에 여과거리가 짧아지고, 또한 단회로의 형성으로 인해 하천수의 하상 체류시간이 짧아지기 때문이다. 이로 인해 유기오염물의 제거효율도 낮아지지만 탈질 환경의 조성이 매우 어려워져서 질소의 제거가 어렵게 된다.

### 2.3 간접취수의 필요성

일반적인 정수처리공정에서 하천의 지표수를 취수하는 방법보다는 하상여과를 이용한 간접취수방안은 안정적이고 좋은 수돗물 공급, 지표수 수질악화로 인한 수질저하 예방, 지표수내 원생동물 및 기타 오염물질에 대처가능, 수원 다변화에 대응 등의 필요성으로 간접취수를 적극적으로 적용할 필요가 있다.

### 3. 국내외 실적 사례

하상여과의 적용 타당성 검토 및 효율성, 최적 간접취수 개발 방안 등을 검토하기에 앞서 최근에 하상여과를 이용한 간접취수를 통해서 활발히 급수가 이루어지는 미국 및 유럽의 사례를 조사하였으며 국내의 개발 실적에 대해서 조사를 실시하였다.

#### 3.1 미국 사례분석

미국에서는 취수원의 탁도가 일 년 내내 매우 높고 비점오염원이 많으므로 이에 대한 대책으로 1970년부터 하상여과(Riverbed Filtration)를 이용한 간접취수 방안을 적극 도입하였다. 초기의 간접취수방안으로는 수직정(Vertical Well)을 적용하였으나 운영관리상 문제점 등으로 최근에는 대부분 수평정(Horizontal Well)으로 변경하여 실시하고 있다. 미국에서 간접취수를 도입한 지역은 <표 2>와 같다.

#### 3.2 유럽 사례분석

유럽은 1870년경부터 라인강 및 세느강변의 국

<표 2> 미국 하상여과시설 개요 및 특징

시 설 명	시설개요	특 징
Olathe city 하상여과 	- 4개 하상여과시설 - 설계용량 : 107,200m <sup>3</sup> /일 - 5mD×22mH - 스크린 : 300mmD - 수평관 : 4~5개 - 수평관 길이 : 40~50m/EA	- 간접취수방법을 수직정에서 수평정으로 변경 - 취수원은 대부분 Kansas river에서 수평정 취수
Kansas city 하상여과 	- 2개 하상여과시설 - 설계용량 : 239,200m <sup>3</sup> /일 - 6mD×36.5 ~ 44mH - 스크린 : 300mmD - 수평관 : 14개 - 수평관 길이 : 42~58m/EA	- 수평 집수정용량으로는 세계에서 가장 큼 - 간접취수로 이용
Independence city 하상여과 	- 1개 하상여과시설 - 설계용량 : 38,000m <sup>3</sup> /일 - 4mD×42mH - 스크린 : 300mmD - 수평관 : 8개	- 수평관은 Gravel packed 형식(집수관 외부에 자갈 및 모래 채움)사용 - 취수원의 탁도가 높아 세균에 대한 대책으로 하상여과 시설 도입
Cedar Rapids city 하상여과 	- 4개 하상여과시설 - 설계용량 : 128,800m <sup>3</sup> /일 - 4.9mD - 스크린 : 200~300mmD - 수평관 : 5개 - 수평관 길이 : 21~30m/EA	- 간접취수방법을 수직정에서 수평정으로 변경 - 농업발달로 취수원근처에 질산성 질소 문제를 하상여과시설로 해결
Albuquerque city 하상여과 	- 2개 하상여과시설 - 설계용량 : 40,000m <sup>3</sup> /일 - 집수정 : 6.1mD×18mH - Junction Box(굴착시공) : 5.2mW×4.8mH - 스크린 : 300~500mmD - 수평관 : 5~9개 - 수평관 길이 : 30~49m/EA	- 농업용수, 유지용수로 사용 - Open cut 방식으로 하상여과시설 시공(Junction Box)



가에서 강변여과를 사용하였으며 지역에 따라 수직정과 수평정을 혼용하여 운영하였다. 각 국가별 강변여과 취수방식은 <표 3>과 같다.

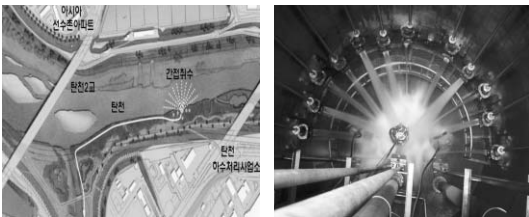
<표 3> 유럽강변여과 현황

구분	정수장명	취수방식	취수량 (m³/일)	비 고
독일	뒤셀도르프 정수장	취수정식 (70정) 특수집수정 (18정)	33,600 324,600	• 라인강둑으로부터 50~250m이격
	에센 정수장	취수정식+인공함양	134,000	• wirwj직접 취수하여 급속여과인공함양
	켈른 정수장	취수정식+인공함양	-	• 50~100m 이격
	테겔 정수장	취수정식 (1,200개 심정)	370,000	• 강변에서 60m 이격
오스트리아	비엔나 정수장	특수집수정	40,000	• 시험시설
프랑스	Le Pecq-Croissy 정수장	취수정식+인공함양	320,000	• 세느강 취수
네덜란드	암스테르담 정수장	취수정식+인공함양	250,000	• 지류 레크 (Lek) 강 취수

3.3 국내 사례

가. 탄천 하상여과시설

한강의 지류인 탄천에서는 하상의 총적층을 통과한 하천수를 하천의 수변에 설치된 수평집수관



<그림 4> 탄천 하상여과 위치도

을 연결한 집수정을 통해서 양수하고 다시 하천에 재투입함으로써 하천 수질 개선 및 하천 유지용수로 사용하고 있다.

시설규모는 다음과 같다.

<표 4> 하상여과시설 구성

항목	구 분	사 양	비 고	
하상여과시설	수직집수정	외경	D = 4.7m	시설 면적 21,31m² (약 6.45평)
		내경	D = 4.0m	
		심도	H = 17.0m	
	수평집수관	관경	D = 100mm	
		길이	L = 30m/개소	
		갯수	12개	
Pump	4.5m³/min×25mH×30KW×3대			

나. 홍제천 하상여과시설

내부순환로 설치로 건천화가 심화되고 있는 홍제천을 맑고 풍요로운 하천으로 조성하고, 낙후된 주변환경을 개선코자 홍제천 한강하류부에 하상여과시설을 설치하여 홍지문까지 8.52km를 관거로 하천유지용수를 공급하여 자연생태하천으로 조성코자 시행하는 공사이며 하상여과시설용량은 약 68,000톤/일 이다.

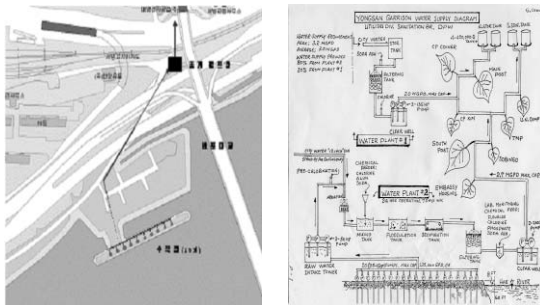
다. 용산미군기지내 간접취수시설

미 8군에서는 미군기지의 식수원 공급을 위해서 반포대교 하류 고수부지에 수직정을 설치하여 간접취수를 통해 원수를 공급하고 있다. 수처리 과정은 간접취수된 원수에 함량이 높게 나타나는 철, 망간 제거를 위한 폭기 과정과 혼화, 응집, 침

〈표 5〉 하상여과시설 사양

구분	사양		비고
수직집수정	외경(내경)	D = 7.0m(6.0m)	
	심도	암반거치(통상 28.9m 내외)	
수평집수관	관경	D = 200mm	8개 (총 400m)
	길이	L = 50m	
Pump	6.5m <sup>3</sup> /min×40mH×75KW		3대

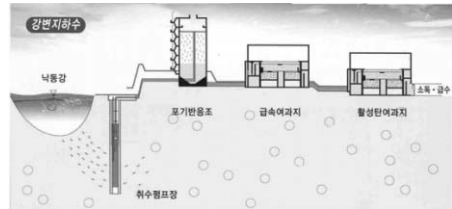
전, 여과의 정수 과정을 거친 후 수돗물을 공급하고 있다. 수직정별 용량은 최대 135,000 GPD (511m<sup>3</sup>/일)이며, 20개의 수직정을 통해서 약 1만 m<sup>3</sup>/일이 취수되고 있다. 지표에 나타난 수직정 시설은 〈그림 5〉과 같다.



〈그림 5〉 용산 미군기지 간접취수 시설 위치

#### 라. 기타 지자체 간접취수사업

일부 지자체에서는 낙동강에서 간접취수를 이용하여 정수처리장에 원수를 공급하고 있다. 일반적인 강변여과를 이용한 간접취수방안은 다음 〈그림 6〉과 같다.



〈그림 6〉 강변여과를 이용한 간접취수

#### 4. 결론

하상여과를 이용한 간접취수방안은 하천수내 유기오염물과 질산성질소의 처리, 난분해성 오염물의 분해 효과를 기대할 수 있고, 이 여과수를 활용하여 정수처리장의 원수공급, 하천 유지용수 확보 등을 할수 있으며, 하상의 자정능력을 이용하여 화학약품의 사용과 슬러지의 발생 없이 취수원을 간접적으로 확보할 수 있는 안정적이고 친환경적인 시설로 지역 주민들의 납비(Not in My Backyard)현상을 최소화 할수 있는 기술이라고 할 수 있다.

또한, 하상여과를 적용하면 타 취수시설 및 정수처리시설과 비교하여 처리비용과 유지관리비용의 절감 효과와 댐 건설 등의 대규모 사업을 줄일 수 있어 환경단체 및 주민들과의 마찰 최소화할 수 있으며, 취수원 다변화를 위한 간접취수원 확보가 필요하겠다.

〈원고접수일 2009년 3월 31일〉