

한반도대운하 사업과 관련하여 간접취수방안이 상수원수 확보방안으로 적합한 방법인가?



박재현 |
인제대학교 토목공학과 교수
jh-park@inje.ac.kr

한반도 대운하계획이 나오면서 일각에서 제기된 중요한 문제 중 하나가 안정적인 식수원의 확보방안이었다. 대운하가 운영될 경우 운하는 자체적인 수질의 변동, 선박사고 등의 위험에 노출되기 때문이다. 특히 한강과 낙동강 하류부의 경우 전 국민의 3/4에 육박하는 인구가 집중되어 있기 때문에 상수원수 확보와 관련한 어떠한 문제가 발생한다면 엄청난 사회적 문제가 될 것이다. 이 문제와 관련하여 대통령당선인 측의 대안으로 영남권의 경우 낙동강의 물을 직접 취수하는 방법을 중단하고 대신 운문, 합천, 남강 등 다목적댐을 주축으로 하는 광역상수도망을 구축할 계획이며, 부족한 부분은 강변여과수를 활용할 계획이다. 또한 수도권 2,200만 주민들의 식수원으로 일 800만 톤 정도가 필요한 한강권의 경우 현재는 400만 톤은 팔당댐에서 나머지 400만 톤은 한강에서 직접 취수하고 있는데, 운하 건설 후에는 상수원을 양수리 인근으로 이전하여 400~600만 톤의 상수원을 취수하며, 나머지 수량 200~400만 톤을 강변여과로 충당할 계획을 세우고 있다. 따라서 본 소고에서는 강변여과기술의 내용을 살펴본 후 운하건설 후 필요로 하는 상수원수를 안정적으로 확보할 수 있는가? 수질의 안전성 확보는 문제가 없는가? 등의 문제를 공학자의 입장에서 살펴보고자 한다.

1. 간접취수 방안이란 무엇인가?

간접취수란 직접취수와 비교되는 개념으로 이해할 수 있다. 직접취수란 강물(지표수)를 직접 취수탑 등을 이용하여 확보하는 방법이며, 간접취수란 강물을 대수층이란 매개체를 통과시켜 상수원을 확보하는 방법이다. 즉, 강물을 취수하는 동안 취수되는 상수원수를 장시간 대수층에 머무르게 하여 자연정수가 되게 하는 방법이다. 강물의 함양 방법에 따라 강변여과와 인공함양으로 나눌 수 있으며, 강물을 취수하는 도구의 특성에 따라 수직형 집수정, 방사형 집수정으로 나눌 수 있다.

서유럽 최초의 간접취수 시설은 독일 Düsseldorf에서 도입된 라인(Rhine)강 시설 양안에 설치된 강변여과시설(River Bank Filtration, 이하 RBF)로 1870년 작동을 개시한 이래, 현재까지 중단 없이 운영되고 있다. 또한, 1892년 엘베(Elbe)강에서 표류수를 직접취수하여 수도를 공급하던 독일의 Hamburg에서 콜레라가 창궐하면서 이를 계기로 직접취수의 대체 및 보조수단으로 간접취수를 도입하게 되었으며, 엘베강 상류에 위치한 Dresden, Meissen, Torgau 등의 도시에서 간접취수 방식에 의한 대규모 간접취수가 이루어지고 있다. 다뉴브(Danube)강 연안 상류에 위치한 독일 지역에서는 간접취수시설이 없으나 중·하류지역인 오스트리아의 Vienna, 슬로바키아의 Bratislava, 헝가리의 Budapest, 유고슬라비아의 Belgrade 등에서 간접취수가 이루어지고 있다. 미국에서는 상대적으로 좁은 지역에서 대용량 취수를 위하여 주로 수평 집수정을 사용하여 간접취수가 이루어지고 있다.

1.1 국내 강변여과수 개발 조사사업 현황

표 1. 국내 강변여과수 개발사업 현황

기관명	기간	사업명	과업개요
환경부, 부산상수도사업본부, 경상남도	'95. 3. ~ '96. 7.	부산·경남지역 복류수 및 강변여과수개발 타당성조사	<ul style="list-style-type: none"> 세부수리지질 조사 시범사업 시행계획(2개지구 : 용산 및 이룡) 시범시설 설치 및 각종 설계인자 도출 (4개지구 : 월하, 이룡, 용산 및 물금) 개발사업 타당성 분석
한국수자원공사	'97.12. ~ '99. 2.	강변여과 및 인공함양 방법을 이용한 영산강 수원개발 기본조사	<ul style="list-style-type: none"> 기본현황조사 및 세부대상 지점 선정 세부수리지질조사 강변여과 및 인공함양 수원개발 기본조사 향후 계획수립 국가의 정책방향 제시
	'01. 11. ~ '02. 12.	강변여과수개발가능지점 및 개발가능량 조사	<ul style="list-style-type: none"> 세부수리지질조사(5대강, 총 6개지구) 중장기개발계획수립(광역상수도 2개소, Q=147,000m³/일, 지방상수도 원수대체 3개소 Q=82,000m³/일, 비상수원 3개소 Q=32,500m³/일)
창원시	'96. 10. ~ '97. 8.	창원시 강변여과수개발 타당성조사	<ul style="list-style-type: none"> 수준측량 세부수리지질조사 기본현황조사 강변취수방안 및 타당성검토
	'99. 12. ~ '01. 12.	창원시 상수도확장사업 실시설계 준공후 운영중	<ul style="list-style-type: none"> 실시설계 수직정 10,000톤/일 운영중 북면 강변여과수 취·정수장 : 시설용량 10,000m³/일 대산면 강변여과수 취·정수장 : 시설용량 10,000m³/일 대산면 강변여과수 1차확장 취·정수장(2006. 9 급수개시) : 시설용량 60,000m³/일
함안군	'97. 10. ~ '98. 5.	군복상수도 강변여과수 타당성조사	<ul style="list-style-type: none"> 수준측량 세부수리지질조사 기술자문 기본현황조사 강변취수개선방안 및 타당성조사
	'01. 5. ~ '04. 11.	함안군 강변여과수 개발 및 상수도확장공사 기본설계 준공후 운영중	<ul style="list-style-type: none"> 기본설계 시설용량 20,000m³/일
가평군	'98. 4. ~ '99. 2.	가평군 강변여과수 타당성조사	<ul style="list-style-type: none"> 기본현황조사 세부수리지질조사 하천취수개선방안 타당성조사 기술자문 수준측량
	'04. 8.	가평읍(자라섬지구) 강변여과수 취·정수장	<ul style="list-style-type: none"> 급수개시 : 2004. 8 시설용량 20,000m³/일
김해시	'04. 4. ~ '05. 12.	강변여과수 개발사업 기본 및 실시설계	<ul style="list-style-type: none"> 시추, 착정 및 대수성시험(3개소, 1년간 장기양수시험 실시) 수리모형시험 방사형 수평집수정 14개소(Q=20,000m³/일·개소)
서대문구청	'05. 10.	홍제천 환경정비(자연하천) 공사	<ul style="list-style-type: none"> 수평집수정 4기(Q=17,000m³/일·개소)
서울상수도사업본부	'05. 3. ~ '06. 8.	간접취수 도입을 위한 타당성조사	<ul style="list-style-type: none"> 시범시설 설치 부지정밀조사 9개소 실시 장기양수시험 실시
울산광역시	2007	태화강 유지용수 확보 기본 및 실시설계	<ul style="list-style-type: none"> 대수층의 두께 15~18m 척과지구 수평집수정 4개소 확보량 70,000m³/일(Q=10,000m³/일·개소) 태화지구 수평집수정 3개소

1.2 국외 강변여과수 개발 조사사업 현황

국내에서 하천표류수를 취수원으로 사용하는 것과 같이 유럽에서는 일반적으로 강변여과수를 취수원으로 사용하고 있다. 독일의 경우 라인강변의 발달된 충적층을 이용할 수 있고 각종 수질사고의 경험으로 인해 수질 악화시 완충역할을 하기 위해 강변여과수 취수후 오존 활성탄 처리가 일반화 되어있는 실정이다. 독일의 테켈, 에센, 뒤셀도르프, 쾰른, 뮐하임, 하겐, 바덴, 네덜란드의 암스텔담, 프랑스의 파리 세느강 북부유역, 스위스의 쥐리히, 헝가리의 부다페스트, 체코 프라하, 오스트리아 비엔나 등에서 강변여과방법이 이용되어지고 있다.

미국에서는 취수원의 탁도가 매우 높고 비점오염원이 많으므로 이에 대한 대책으로 1970년부터 하상여과(River Bank 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. 수직정(Vertical

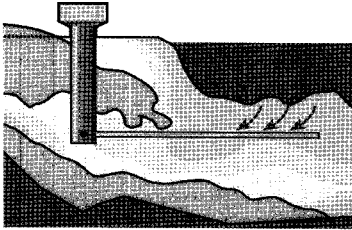
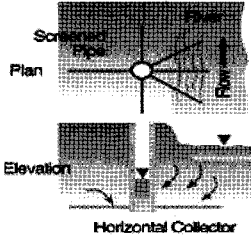
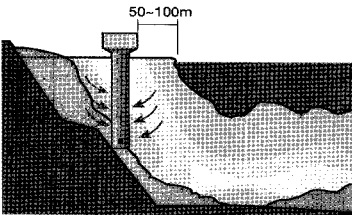
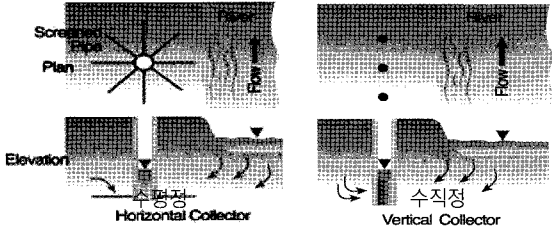
Well)에서 수평정(Horizontal Well)으로의 구체적인 변경 사유를 살펴보면 다음과 같다. 시설용량은 대체로 수평정 1기당 20,000m³/일 내외이나 최대 설계용량은 1기당 147,200m³/일인 시설도 있다. 시설의 용량은 투수계수 등 대수층의 특성을 근거로 산출한다.

이들 지역에서 대용량 수평집수정을 사용하는 이유는 먼저 겨울철에는 수직정의 펌프부분이 외부로 노출되어 있는 관계로 동파발생의 위험이 있고, 또한 수직정들이 분산되어 위치하고 있어 유지관리가 어려우며 운영비가 수평정에 비해 고가이기 때문이다. 미국에서 강변여과 시설을 이용하고 있는 도시들로는 Olathe city, Kansas city, Independence city, Cedar Rapids city, Albuquerque city, Lincoln, Louisville 등이 있다.

2. 간접취수의 방법

간접취수 방법은 하천에서 충분한 이격거리를 두어 우물을 설치하여 여과수의 충적층 체류시간을 길

표 2. 하상여과와 강변여과의 차이점

하 상 여 과		 <p>Horizontal Collector</p>
강 변 여 과		 <p>Horizontal Collector 수직정 Vertical Collector</p>

계 함으로서 수질개선 효과를 극대화하는 강변여과(Riverbank Filtration)와 우물을 하천에 근접시키거나 집수관을 하상까지 연장시켜 수질개선 효과와 더불어 안정된 수량 확보를 목적으로 하는 하상여과(Riverbed Filtration)로 구분된다. 또한 간접취수를 위한 우물의 형식은 수직정, 수평집수정, 집수관거 및 수평우물 등으로 구분되며 각 형식별로 적용성에 차이가 있다.

2.1 수직정(Vertical Well)

가장 기본적인 우물의 형태이며, 설치가 용이하고 공사비가 저렴하나 취수 용량이 제한적이어서 목표 취수량을 달성하기 위해서는 우물 수량을 증가시켜야 한다. 수중 모터를 사용할 경우 펌프장 설치가 불필요하고 시공이 용이하다는 장점이 있으나 다량취수가 어렵고 유지관리가 힘들다는 단점이 있다. 대표적인 사례로는 국내의 용산 미군기지 취수시설과 창원시 대산정수장(1단계), 미국 오하이오주 신시내티 볼튼

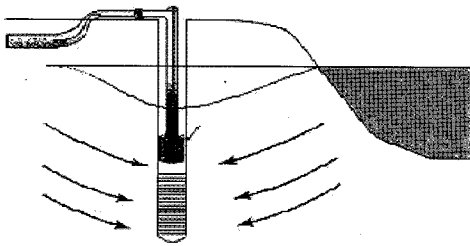


그림 1. 수직정 개념도

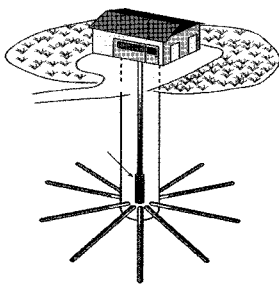


그림 2. 수평집수정 개념도

(Cincinnati Bolton) 정수장 등이 있다(그림. 1).

2.2 수평 집수정 (Collector Well)

대규모 우물통을 중심으로 하천 방향 또는 방사상의 형태로 수평집수관을 설치, 취수하는 방식이다. 대용량의 취수가 가능하며(미국의 Kansas City, 최대 150,000m³/일), 유지관리 비용이 저렴하다는 장점이 있는 반면 설치 공정이 복잡하고 공사비가 비싼 단점이 있다. 국내의 대표적인 시공사례로는 한강 단천 변 하상여과(시공 중) 및 창원시 강변여과 시설이 있으며, 미국 켄터키주 루이빌 페인(Louisville의 B. E. Payne)정수장, 스위스 쥘리히 정수장, 일본 동경도 키누타시모 정수장 등이 있다(그림. 2).

2.3 집수관거/매거 (Infiltration Galleries)

하천, 호소 주변이나 하상에 설치하는 방법으로 수두가 낮으며, 중간 규모의 취수가 가능하다. 설치 후 청소 및 유지관리가 쉽지 않은 것이 단점이다. 국내 사례로는 경기도 가평군이 있다.

3. 간접취수방법의 장점

3.1 여과수의 안정된 수질

간접취수를 통하여 취수를 하는 가장 큰 장점으로 는 안정적인 안전한 수질확보이다. 창원 강변여과수를 보면 취수된 강변여과수의 경우 1급수의 수준을 유지하고 있다. 특히 탁도의 제거가 탁월하기 때문에 가시적 수질은 매우 좋다고 느낄 수 있다. 또한 박테리아와 바이러스와 같은 미생물들은 간접취수 동안 주로 초기 여과 과정을 거치면서 상당부분이 제거되는 것으로 알려져 있다. 물론 강변여과수를 취수할 경우 철, 망간 등의 금속이온을 함유하고 있으나, 이

들의 농도가 1-5mg/L정도로 대부분 정수공정을 통하여 제거가 가능한 수준이다.

3.2 여과수의 안정적 확보

강변여과는 대부분 강물을 여과한 형태로 취수하기 때문에 갈수기 또는 가뭄기 줄어드는 하천수에 의한 수질 저하 등의 문제도 크게 영향을 받지 않는다고 볼 수 있다. 낙동강의 경우는 패놀유출사고의 경험을 갖고 있어 환경사고에 대해 매우 민감한 편이다. 이것은 창원시, 김해시 등 낙동강변 도시들이 우선적으로 간접취수방법을 선택하게 한 중요한 요인이다.

3.3 수질관리 용이 및 정수비용 경감

또한 취수한 원수의 수질이 양호하기 때문에 정수공정이 간단하며, 정수약품사용이 상대적으로 적으며, 이로 인해 정수슬러지 등의 폐기물의 발생 또한 적어 친환경적이며, 이로인해 운영비가 저렴하다는 장점이 있다.

4. 간접취수의 한계점

4.1 대수층의 수문지질학적 특성

이러한 장점에 도 불구하고 간접취수가 가지는 약점도 있다. 가장 큰 약점으로는 입지선정의 어려움 들 수 있다. 간접취수의 경우 표류수를 대수층을 통하여 취수하기 때문에 대수층의 투수계수는 적정량을 확보하는데 있어 매우 중요한 기준이 된다.

유럽의 경우 10^{-2} m/s의 포화투수계수를 보이고 있는 반면, 우리나라의 경우 특히 창원의 경우 10^{-4} m/s 정도의 투수계수 특성을 보인다. 그 만큼 강변여과를 통하여 얻을 수 있는 산출량이 적다는 것을 의미한다.

4.2 간접취수시설이 위치한 하천의 특성

표류수가 대수층을 통과할 때 하천과 접해있는 두께 1-3m 정도의 표층은 수질과 유량에 매우 중요한 영향을 미치게 된다. 하천수가 대수층을 통과하며 하천 내에 있는 조류나 유기물 등에 의해 공극이 막히게 되는데, 특히 하천의 유속이 늦을 경우 미세부유입자나, 여러 가지 미생물들에 의한 폐색이 발생하기 쉽다. 이러한 대수층 표면의 폐색문제를 해결해 주는 것이 하천에 의한 하상재료 이동능력이다. 현재 창원시 강변여과 시설이 위치한 낙동강의 경우 풍수기 때 홍수로 인해 많은 유사가 이동하며 이때 강변여과지역의 표층모래를 제거, 치환 시켜주기 때문에 강변여과 시설의 유지에 매우 긍정적인 조건이라 할 수 있다.

4.3 유지관리

하천표류수의 직접취수의 경우 취수탑을 설치하고 양수를 하면 된다. 하지만 간접취수의 경우 취수탑에 비하면 상대적으로 작은 여러 개의 간접취수장치인 집수정을 고비용으로 설치해야 하며, 각 집수정에 설치된 펌프의 유지관리 그리고, 집수정의 효율에 영향을 주는 스크린의 청소, 그리고, 성능이 하강했을 때 신규 집수정을 재설치 해야 하는 어려움이 있다.

5. 한강지역에 대한 강변여과시설의 적용가능성은?

위에서 제시한 바와 같이 강변여과취수는 많은 장점이 있음에도 불구하고 입지선정에 있어 매우 제한적이다 는 것이다. 대운하 추진그룹에서는 한강지역의 간접취수구간으로 미사리, 광나루, 독섬, 잠원, 반포, 이촌, 여의도, 망원, 선유, 양화, 난지, 강서 등 12개 지역을 거론하고 있다. 이 들 지역의 대수층 투수계수를 비롯한 수문지질학적 특성은 타당성 조사를

표 3. 한강지역 대수층의 수문지질학적 특성(서울시 간접취수 도입을 위한 타당성 조사보고서, 2004)

항목 \ 지구	광나루지구	양화지구	도평지구	미사리지구
고수부지 퇴적층두께 (포화대수층)(m)	5.6~8.6	14.5	7.9	4.9
하상 퇴적층 두께(m)	1.5~6.2	18.9	5.3	2.7~5.3
투수계수 (m/s)	$6.57 \times 10^{-4} \sim 1.18 \times 10^{-3}$	3.82×10^{-4}	8.82×10^{-5}	$3.53 \sim 3.66 \times 10^{-5}$

통하여 정밀하게 조사되어야 알 수 있지만 2004년 서울시 간접취수 도입을 위한 타당성조사보고서에 따르면 광나루지구는 174,000~317,000m³/일, 양화지구는 229,000~315,000m³/일의 생산이 가능하다고 보고되어 있다. 이때 수집된 자료는 다음과 같다(표. 3).

자료에 의하면 고수부지의 대수층 두께는 5~15m 내외, 하상의 대수층두께는 2~19m 내외로 나타나고 있으며, 이 때 투수계수는 약 10~4m/s로 나타났다. 이러한 대수층의 특성은 강변여과를 수행하기에는 불리한 조건으로 판단된다. 타당성조사에 의해 산출된 양은 수평정을 천변으로부터 30m 이격시키고, 80m 길이의 수평스크린을 이용하여 산정한 결과이다. 다시 말하자면 수평 스크린 50m가 하상에 위치한 하상 여과를 하는 경우에 대한 결과로서 하상의 대수층이 얇은 한강수계에 적용할 경우 수질의 안정성을 확보하기가 쉽지는 않을 것으로 판단된다. 타당성조사보고서에서 최대 630,000m³/일의 생산이 가능하다고 보고되어 있는데, 대운하 추진그룹에서 주장하는 일 200만 톤 이상의 강변여과수 생산과는 거리가 있다고 볼 수 있다. 여기에 변수로 더해지는 것은 운하의 운영으로 수질의 악화, 조류의 증가, 유속의 감소 등의 조건은 강변여과를 더욱 어렵게 하는 요소이라 할 수 있다.

6. 결론

간접취수란 강물을 대수층이란 매개체를 통과시켜 상수원을 확보하는 방법으로 대수층에 의해 자연정수가 되게 하여 양질의 수자원을 상수원으로 확보할 수 있는 좋은 방법 중 하나이지만 대수층이나 하천의 특성이 허락할 경우에 적용할 수 있다는 한계를 가지고 있다. 최근 한반도 대운하 사업과 관련하여 강변여과가 강력한 상수원수 확보 방안이 제기되고 있지만 2004년 서울시가 추진한 타당성결과와 상당한 차이를 보이고 있어 간접취수를 통해 확보할 수 있는 상수원수의 양이 얼마인지에 대한 찬반의 논의가 뜨거운 상황이다. 따라서 이 방법을 적용함에 있어 수량과 수질 모두를 검증할 만한 정확한 조사가 수반되어야 하며, 또한 조사 시 운하의 운영으로 수질의 악화, 조류의 증가, 유속의 감소 등 미래 발생할 수 있는 유지관리의 문제도 심도 깊게 논의 되어져야 할 것으로 판단된다. ☞