

새로운 취수방법으로서의 강변여과수 개발

공민근 ((주)엔포텍워터 기술개발 2팀 이사)

윤성용 (안산공과대학 토목공학과 조교수)

1. 서언

국내의 상수원은 대부분 수질오염에 취약한 하천 표류수를 수원으로 하고 있어 수질악화에 따른 정수 생산 단가의 상승과 정수장 운영의 어려움이 초래되고 있으며, 음용수 수질에 대한 시민들의 불만이 날로 커져가고 있는 실정이다. 국내에서는 이에 대한 대안으로 유럽에서 1900년경부터 보편화되어 현재 까지 시행하고 있는 강변여과수 개발에 대하여, 1995년 한국수자원공사에서 시행한 「미호천 하상퇴적층의 수리특성을 이용한 취수원 활용시범조사」 이후로 금강, 낙동강, 영산강 등지에서 타당성을 검토 하였으며 이를 토대로 창원시에서는 강변여과수를 원수로 하는 정수장 건설을 추진 중이다. 강변여과수란 하천에서 일정정도 거리를 두고 취수정을 설치하

여 양수할 때 하천수가 강변 대수층을 통과하면서 여과, 흡착 및 생물분해되는 원리를 이용한 것으로 하천표류수에 비해 부유물질, 유기물, 세균, 중금속 등이 현저히 저감되어 유입되며 년중 수온 및 수질이 거의 일정하여 안정적인 정수장운영을 가능하게 한다. 그리고 홍수시 일반쓰레기의 하천 유입으로 인한 취수중단사태 등의 문제가 없으며 낙동강 폐놀방류와 같은 수질사고시에도 하천표류수에 비해 안정적으로 대처할 수 있는 장점이 있다.

2. 국내 직접 취수현황 및 대체수원 개발의 필요성

가. 국내 상수도 수원 및 정수형식

국내 상수도 수원은 하천표류수가 전체 수량의 74%를 차지하며, 하천복류수는 6%, 저수지수는 18%, 용천수 등을 포함한 지하수는 약 2%정도를 차지하고 있다. 정수방식은 대부분의 정수장이 하천표류수를 취수하여 처리하고 있어 탁도중심의 처리방식인 약품응집 + 급속여과 방식을 택하고 있다.

국내 정수장에서의 원수수질을 살펴보면 Ⅰ등급이 약 8%, Ⅱ등급이 72%, Ⅲ등급 이하가 20%정도이며 이 중 Ⅲ등급이하인 하천표류수의 비율은 약 13.5%를 차지하여 정수시설 운영에서 가장 큰 문제점으로 나타나고 있다.

이를 해결하기 위해 국내에서는 그동안 Ⅲ등급이하의 원수를 사용하는 정수장에 대해 고도정수처리를 도입하고 있지만 2005년까지 수질기준항목을 현행 45개 항목에서 선진국 수준인 83개 항목으로 늘릴 계획이므로 대부분의 Ⅱ등급 원수를 사용하는 정수장

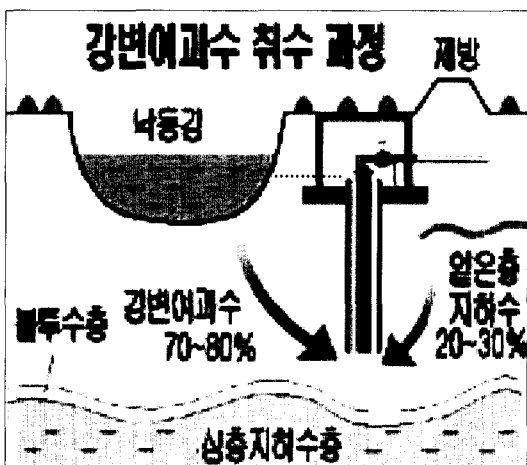


그림 1. 강변여과 개념도

에서도 고도정수처리를 도입해야 할 것으로 판단된다. 이에 소요되는 엄청난 건설비용과 고도정수처리에 소요되는 유지관리비를 고려한다면 물값의 파격적인 인상이 필요하지만 물가인상율을 고려할 때 이도 여의치 않으므로 빠른 시간내에 시민들의 맑은 물에 대한 욕구를 충족시키기는 힘들 것으로 보인다.

나. 국내 하천표류수를 이용한 상수원수의 취약성

1) 우리 나라는 하절기에 연강수량의 67%가 편중되어 있어 평상시에는 잔여 33%가 하천을 통해 흐르므로 하천내 유하량이 부족하여 하천오염이 가중되고 있다.

2) 국내 4대강 중에서 한강 중·상류를 제외한 기타 수계는 중류와 중·상류지역에 집중형의 산업구조를 가지고 있어, 수계 전체의 수질에 심각한 영향을 미치고 있다.

3) 지표수 수질오염의 원인은 점오염원과 비점오염원으로 나눌 수 있는데, 점오염원 처리율은 약 50%이며, 비점오염원에 대해서는 거의 무방비상태로 하천으로 방류하고 있는 실정이다.

4) 국내 환경기준이 지정된 40개 호소 중에서 부영양화 단계에 있는 호소가 전체 호소의 50%에 이르러 하천생태계에 악영향을 끼침은 물론이고 기존 정수장의 운영에도 큰 어려움을 주고 있다.

5) 낙동강 폐놀방류에서도 보듯이 수질사고시 대책이 없는 실정이다.

다. 대체수원개발 필요성

전국 수도정비 기본계획(1997.9, 건설교통부)의 용수수급 전망을 살펴볼 때 신규 수자원 개발이 없는 경우 2011년에 약 600만 m^3 /일의 물이 부족할 것으로 검토되어 2011년까지 약 870만 m^3 /일의 신규 수자원개발 계획을 수립하였다. 그러나 신규 수자원 개발계획 중 대부분이 댐 중심으로 세워져 있어 지역주민 및 환경단체들과의 마찰로 건설이 순조롭지 않을 전망이다. 신규 수자원개발계획의 일환으로서 댐 건설은 주민들의 이주로 인한 생활기반 상실과 개발지역의 지가를 하락시키며, 주변지역의 개발을 제한하

게 되고 주변 생태계에 악영향을 미치게 된다. 이에 따른 지역주민의 반대도 크거나와 예산상에 있어서 공사비를 제외하더라도 용지구입과 관련하여 이주비 지원, 이주지의 택지조성비 등 지불해야 하는 보상비가 급등하고 있기 때문에 막대한 예산이 추가로 들어 재정상 난항에 처해 있다. 또 댐적지의 소진과 지방자치제 실시 이후 각 지역자치단체간 분쟁이 빈발하여 대체 가능한 방법이 있는 경우 적극적인 검토가 요구되고 있다.

이상과 같이 국내 하천표류수 취수의 수질적인 취약성과 댐 개발의 어려움 등을 고려할 때 강변여과수 개발은 그 대안의 하나로 고려될 수 있으며, 강변여과수 형태의 간접 취수방식으로서의 전환과 강변에 부존된 천층지하수와 연계관리에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

3. 국외 강변여과수 개발현황

라인강의 유역면적은 224,000 km^2 , 유로연장 1,326km 에 달하며 스위스, 폴란드, 룩셈부르크, 오스트리아, 독일, 프랑스, 네덜란드를 거쳐 지중해, 홍해, 발트해로 연결되는 국제적인 강이다. 라인강은 이처럼 여러 나라에 걸쳐 흐르며 유로연장이 길어 하류에 위치한 나라는 지표수를 직접 상수원으로 사용하기에 많은 어려움이 있으며 이에 따라 정수공정도 복잡하다. 이런 이유로 라인강변에 위치한 나라들은 대부분 상수원확보를 위해 강변여과법을 사용하고 있다.

가. 네덜란드

19세기말부터 불투수층 아래 피압지하수의 염수 침입과 자유면 대수층의 지하수 고갈, 그리고 라인강의 수질악화로 정수비용이 증가하는 점 등 상수원공급에 문제가 발생하여 사구(dune)를 이용한 인공함양을 통해 수원을 확보하고 있다. 인공함양이란 하천표류수를 이송시켜 사구 또는 강변충적층(또는 인위적으로 만들어진 여과지)에 함양시키므로써 지하수위를 상승시켜 수량을 확보하는 방법으로, 단순한 강변

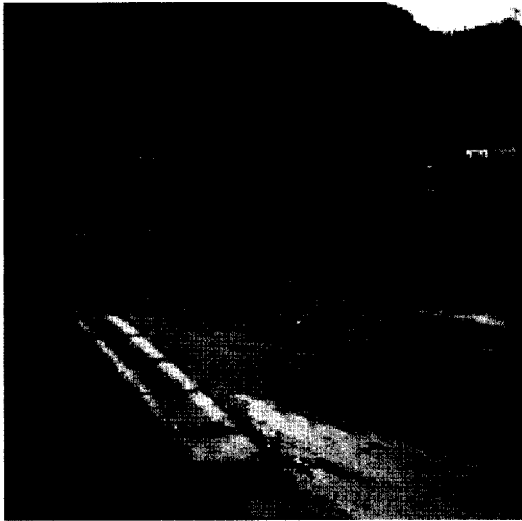


그림 2. 인공함양지 전경

여과만으로 충분한 수량을 확보할 수 없는 경우나 일차적으로 강변여과된 물의 전처리 효과(철, 망간의 산화 목적)를 고려하는 경우 사용되는 방법이다.

암스테르담 정수장에서는 사구함양(dune infiltration) 및 함양된 물을 재취수하는 방법을 통해 상수원을 확보하고 있으며, 이를 이용하여 약 180,000m³/일(여름 240,000m³/일)의 물을 정수하여 공급하고 있다. 정수처리방법으로는 분말활성탄, 급속여과, 완속여과 방법을 채택하고 있다.

나. 독일

독일에서는 상수원의 65%를 지하수, 27%를 지표수, 8%를 광천수에서 얻고 있다. 그리고 이 지하수 65% 중 65%이상은 인공적으로 함양된 것이다. 강변여과법은 독일에서 100여년전부터 라인강을 따라 산재해 있는 여러 정수장의 원수확보를 위해 이용되어 왔으며, 강변여과 후에도 원수의 수질개선을 위해 다시 인공함양시키는 등 물리화학적인 정수처리 공정에서 발생할 수 있는 위험요소의 제거라는 측면과 정수생산단가를 낮추기 위한 노력차원에서 여러 가지 방법으로 시행중이다.

독일에서 널리 이용되고 있는 강변여과법은 라인강변에서 약 50~300m 떨어진 지점에 깊이 30~

50m 되는 여러 개의 취수정을 설치하여 라인강 표류수와 주변 지하수를 동시에 채수하여 상수원으로 이용하는 것이다. 이때 오염된 라인강 표류수는 하천 주변의 충적층을 통과하는 동안 여과, 흡착, 미생물분해에 의해 각종 유기물, 중금속, 부유물질 및 virus 등이 제거된다. 20세기 이전까지만 하더라도 라인강의 강변여과수는 별도의 정수처리공정을 거치지 않고 바로 시민들에게 공급되었으나 1950년 이후 수질이 악화되어 최근에는 거의 모든 정수장에서 오존, 활성탄 처리 등의 고도정수처리 후 공급하고 있다.

다. 프랑스

프랑스에서도 1959년 프랑스 최초로 인공함양지가 건설되었으며 대부분의 정수장이 강변여과 또는 인공함양 + 강변여과법을 이용하여 상수원을 취수하고 있다. 프랑스의 Le Pecq - Croissy정수장은 세느강에서 원수를 취수하여 응집, 침전 및 여과공정을 거친 후 다시 인공함양지에서 지하로 함양시킨다. 그리고 이 물을 다시 지하취수정에서 양수한 후 오존, 활성탄 처리를 거쳐 수용가에 공급하고 있다.

4. 국내 강변여과수 개발가능성

한국수자원공사에서 수행한 「전국 충적층 지하수 조사 보고서(1996.12)」가 가장 광범위한 지역을 대상으로 국내 충적층에서 수원개발 가능성을 조사하였는데, 유역별 개발가능성을 살펴보면 다음과 같다.

1) 한강유역

① 남한강

남한강 분류 중 상류의 사력층은 약 7m내외, 가채수량은 약 300m³/일이며 남한강 중·하류는 사력층 두께가 약 7m이며 가채수량은 50~250m³/일 정도이다.

지류를 살펴보면 사력층 두께가 4.5~6m정도로 충적층이 잘 발달되어 있으며, 가채수량도 청미천의 경우 약 500m³/일로 상당한 양이 나오고 있다.

② 북한강

북한강은 총적층 심도가 8m, 사력층 두께가 6m 내외이며 가채수량은 본류에서 50~550m³/일, 지류에서 약 50m³/일로 지류에서는 개발가능성이 큰 곳이 거의 없다. 다만 최상류 지류인 내린천 일대와 가평천 및 조종천의 합류부 일대의 북한강 본류에는 주로 모래가 많은 사력질의 총적층이 잘 발달되어 있으며 그 두께도 약 9m로 개발가능성이 크다.

③ 한강 하류

팔당-토평일대의 총적층은 심도 5~6m가 모두 사력층으로 구성되어 있으며 가채수량은 200~300m³/일 정도이다. 하구부로 갈수록 사력층 두께는 16~20m로 두꺼워지며 가채수량도 500~1,000m³/일로 증가하는 양상을 보이고 있다. 한강하류로 유입되는 지류부도 사력층 두께는 4~9m로 그다지 두껍지 않지만 가채수량은 200~500m³/일로 개발가능성이 큰 지역이다.

2) 낙동강유역

① 낙동강 상류

안동댐 상류의 낙동강 본류 사력층 두께는 6.5m 내외이며 가채수량은 약 200m³/일 정도이다. 안동댐 하류 안동호-영강합류부 일대와 길안천지류를 포함하는 유역일대에는 총적층이 잘 발달되어 있는데 사력층 두께가 6m내외, 가채수량은 200~400m³/일 정도이다. 지류유역은 사력층 두께가 6~8m인데 가채수량이 350~500m³/일로 상당히 많은 양을 양수할 수 있다.

② 낙동강 중류

영강합류부에서 왜관수위표에 이르는 유역의 사력층 두께는 9m내외 가채수량은 300~400m³/일 정도이며, 왜관에서 고령유역에는 사력층두께가 10m내외 가채수량은 약 250m³/일 정도이다. 고령에서 진동유역은 사력층두께가 11m내외 가채수량은 100~200m³/일로 낙동강 중류지역은 아래로 내려오면서 한 공당 개발가능량이 줄어드는 경향을 보인다. 지류

유역중 병성천, 위천, 감천, 금호강, 황강 유역은 가채수량이 400~500m³/일로 한 공당 개발가능성이 비슷하며 회천유역은 가채수량이 650m³/일로 지류중 개발가능성이 가장 크다.

③ 낙동강 하류

진동에서 밀양강 합류부 유역에는 총적층 심도가 10~30m로 제법 두껍고 가채수량도 100~700m³/일로 크다. 밀양강 합류부에서 낙동강 하구연 유역은 총적층 두께가 최고 50m이상이며 사력층 두께가 12m에 이르는데 가채수량도 500~1,000m³/일로 국내 총적층 중 가장 많은 양을 개발할 수 있을 것으로 보인다. 지류유역 중 남강유역 상류부는 가채수량 100~400m³/일, 하류부는 가채수량 100~600m³/일로 하류부의 개발가능성이 더 크다. 밀양강 유역은 사력층 두께 약 7m, 가채수량 200~400m³/일정도이다.

3) 금강유역

① 금강 상류

본류부는 사력층 두께 3~4m, 가채수량이 500m³/일에 달하며, 지류유역인 초강천과 보청천 유역도 가채수량이 350~500m³/일에 달해 금강상류유역은 개발가능성이 제법 있는 것으로 보인다.

② 금강 중류

본류 유역중 미호천 합류부는 총적층이 잘 발달되어 있는데, 사력층 두께가 8m내외 가채수량 300~500m³/일이며, 지류유역 중 갑천-유등천 유역은 가채수량이 400~450m³/일 정도이다. 지류유역 중 미호천 유역은 가채수량이 300~350m³/일로 갑천-유등천 유역보다는 한 공당 개발가능량이 적다.

③ 금강 하류

본류부는 사력층 두께가 6~12m, 가채수량이 100~900m³/일로 개발가능성이 큰 곳이 몇 지점 있으며, 지류부인 노산천과 석정천은 가채수량이 100~400m³/일정도이다.

4) 영산강 유역

① 영산강 상류

본류는 사력층 두께가 약 5.5m, 가채수량 450m³/일이며, 지류인 금성천, 오례천, 증암천은 가채수량이 200~350m³/일 정도이다.

② 영산강 중류

본류부의 사력층 두께는 5~6m, 가채수량은 550~650m³/일로 평균적으로 높은 값을 보이고 있으며, 지류유역인 황룡강 유역은 가채수량 400~450m³/일, 지석천 유역은 가채수량 300~600m³/일 정도이다.

③ 영산강 하류

본류부는 총적층 두께가 15~20m이나 사력층 두께가 총적층 두께의 30~50%에 불과하여 가채수량이 100~300m³/일로 적으며, 지류유역인 고막원천과 함평천도 가채수량이 100~300m³/일로 본류와 비슷한 경향을 나타내고 있다.

이상은 「전국 총적층 지하수 조사 보고서」에서 검토된 총적층 지하수 개발가능성으로, 국내 대부분의 지역에서 강변여과수 개발가능성이 있음을 볼 수 있다. 최근 조사된 「부산·경남지역 복류수 및 강변여과수 개발 타당성조사(1996.7)」, 「창원시 강변여과수 개발 타당성조사(1997.8)」, 「강변여과 및 인공함양 방법을 이용한 영산강 수원개발 기본조사(1999.2)」, 「이룡지구 강변여과수 시범개발조사(1998.12)」, 「용산지구 강변여과수 시범개발조사(1999.3)」, 「군북상수도 강변여과수 타당성조사(1998.5)」, 「가평군 강변여과수 타당성조사(1999.2)」등에서는 「전국 총적층 지하수 조사 보고서」의 개발가능성보다 더 긍정적인 결과를 나타내고 있는데, 공당개발가능량은 물론이고 수질면에 있어서도 하천표류수보다 월등히 개선되어 유입되고 있음을 보여준다.

5. 강변여과수 개발의 장점 및 개발시 고려사항

가. 장점

1) 연중 수온의 변화가 적으므로(겨울철에 강물보다 수온이 높음) 여름철에는 수온을 낮게 유지할 수 있고, 반대로 겨울철에는 비교적 높게 유지할 수 있어, 겨울철 정수처리 공정에서 발생할 수 있는 암모니아 문제를 해결할 수 있다.

2) 돌발적인 수질오염사고(예. 낙동강 폐놀사고)시 강변의 총적층이 완충작용을 해주므로 안전하다.

3) 대장균, 일반 세균 양이 직접 취수하는 방식에 비하여 월등히 적어서 소독 부산물에 대한 문제 발생 여지가 적다.

4) 부유물질이 대수층을 통과하면서 대부분 여과되고 미생물에 의해 분해되므로, 기존 정수처리공정에서 응집, 침전시 발생하는 슬러지 발생량을 줄일 수 있다.

5) 용해성 물질의 경우, 장시간의 강변 체류 중 흡착, 침전 및 미생물에 의한 분해에 의해 제거되어 DOC(dissolved organic carbon)가 하천 표류수에 비해 60~70% 감소된다.

6) 입자성 유기물질과 중금속은 주로 하상 바닥이나 침투층 상부에 흡착되지만 홍수 때 쉽게 씻기게 되어 강바닥이 막히는 일이 없으며 연구적으로 이용 가능하다.

7) 흡착이 잘 되지 않는 물질과 난분해성 물질은 여과층을 통과해서 오랜 시간 침투하는 과정에서 고정상의 성분과 화학적으로 반응하며 또 일반 지하수에 의해 희석되어 농도가 낮아진다.

8) 생물학적으로 분해되기 쉬운 물질은 침투과정에서 쉽게 제거된다. 유기물 부하가 큰 경우 혐기성 상태에서 혐기 미생물에 의한 분해가 일어나며 이 때 철과 망간이 환원되어 Fe²⁺, Mn²⁺로 용출되기도 하나 다시 호기성 상태가 되면 산화되어 수산화물로 침전된다.

9) 강에서 돌발적인 오염 사건이 발생하여 독성 물질이 유입되더라도 장기간 대수층에 체류하는 동안 미생물 분해 및 흡착 등에 의해 독성 물질이 제거될

수 있다.

10) 상류의 대규모 댐에서 원거리 수요지까지 관료로 이송하는 현재의 광역 상수도 체계는 하천을 건천화시켜 환경 오염을 유발시키는 방식이지만, 강변여과수 개발은 수요지에서 총적층을 이용해 정수장까지 단거리 이송시켜 사용한 후 하수처리하여 방류하는 시스템으로 환경친화적이라고 할 수 있다.

나. 고려사항

1) 수요처조건

강변여과수 개발시 개발지역에 인접한 공급처 확보가 중요하며 대용량 개발가능지역에서 인근에 수요지가 없거나 거리가 멀면 경제성이 떨어지므로 충분한 검토가 요구된다.

2) 개발수량

개발가능량은 총적층조건, 배후마을과의 거리, 총적층 분포면적, 총적층 분포연장 등과 관련이 있지만, 강변여과수는 하천수와 지하수가 일정비율 혼합되어 유입되므로 하천과 지하수에 미치는 영향을 충분히 검토한 후 결정해야 한다. 특히 국내에서 평균 갈수량을 토대로 설정된 하천유지유량에 대한 정확한 분석이 아직 없는 점 등은 강변여과수 개발량 결정시 문제점으로 지적될 수 있다.

3) 수질조건

강변여과수의 수질은 하천수의 수질 및 하천에서 취수장까지 도달하는 체류시간 등에 따라 결정되나, 이를 정확하게 예측하는 것은 어렵다. 따라서 정수공정 설계인자 도출시 충분히 장기양수시험을 수행하여 유입원수의 수질을 검토한 후 결정해야 한다.

특히 강변여과수 중에는 하천수에서 별로 문제가 되지 않는 철·망간이 다량 검출되고 있으므로 이에 대한 대책을 수립하여야 한다.

4) 비점오염원 관리방안

국내 대부분의 하천 제외지는 하천부지 점용허가를 받아 경작하고 있는 곳이 많은데 이로 인해 농약 및 비료성분이 지하로 침투하여 강변여과수 수질을 악화시킬 가능성이 크다. 특히 질산성 질소는 이용지구 강변여과수 시범사업에서 문제점으로 나타나고 있으므로 이에 대한 대책이 필요하다.

6. 결 언

100년 이상의 연구개발과 실증을 통해 운영되고 있는 유럽 여러 나라에 비해 국내 강변여과수 개발의 역사는 아직은 미미한 수준이지만, 최근 연구결과들을 볼 때 그 개발가능성은 어느 정도 도출된 것으로 판단할 수 있다. 특히 댐개발의 어려움과 자연친화적인 하천개발에 대한 요구가 증대되고 있는 현 시점에서 강변여과수 개발은 새로운 용수개발 방법의 하나로 검토될 수 있으며, 최근 수질악화 및 유지관리의 어려움으로 인해 적절한 대안을 찾지 못하고 있는 소규모 지방상수도의 수원으로서 강변여과수는 가장 유력한 방안으로 검토할 수 있다. 다만 아직까지 국내 연구결과가 강변여과수 개발의 선진국에 비해 초보적인 수준에 머물러 있고 특히, 실제 수요지를 대상으로 한 강변여과수 공급의 기술적, 경제적 검토, 개발대상지별 강변여과수 수질의 상이함으로 인한 정수처리공정에 대한 연구 등은 대규모 개발에 앞서 선행되어야 과제로 보인다. ●

〈참고문헌〉

- 한국수자원공사, 1999, 강변여과 및 인공함양방법을 이용한 영산강 수원개발 기본조사
- 창원시, 1997, 창원시 강변여과수 개발 타당성 조사
- 경상남도 · 환경부 · 부산광역시, 1996, 부산 · 경남지역 복류수 및 강변여과수 개발 타당성조사
- 한국수자원공사, 1996, 전국충적층 지하수 조사보고서
- 한국수자원공사, 1996, 대체용수원 개발지역 선정조사(영산강유역)
- 한국수자원공사, 1996, 하상퇴적층 여과방식에 의한 금강수도 취수개선방안 조사 · 연구
- 건설교통부, 1997, 수도정비 기본계획
- 국립환경연구원, 1993, 독일의 지하수관리, pp 1-26
- 건설부 · 한국수자원공사, 1994, 지하수 이용관리방안 수립 및 대체용수원 개발지역 선정조사 보고서
- 한정상, 1998, 지하수환경과 오염, pp 980-1011
- 환경부 · 경상남도, 1998, 이릉지구 강변여과수 시범개발조사
- 부산상수도사업본부, 1999, 용산지구 강변여과수 시범개발조사
- 김승현, 권오역, 공인철, 김익재, 이철희, 박영규, 1998, 강둑여과지에서 지하수함양율과 질소비료에 의한 지하수 오염량 산정 연구, 대한환경공학회지, Vol. 20, No. 12, pp 1689-2703
- 김승현, 박영규, 이철희, 1998, 강둑여과에서 최적 취수정 위치선정을 위한 모델개발, 대한환경공학회지, Vol. 20, No. 1, pp 83-92