

낙동강 달서지구 강변 여과수 취수에 관한 예비 연구

김형수, 박승기, 정찬, 백건하, 원이정, 신흥섭*

한국수자원공사

* 한국종합엔지니어링

e-mail: hskim@kowaco.or.kr

요 약 문

This research introduces some preliminary results of bank filtering intake method adopted in Dalseo area, Nakdong River. This intake method has been planned to supply water resources of 41,000 m³/day to Goryeong-Gun and Seongju-Gun in 2016. It is believed that the bank filtering intake method can afford to supply 41,000 m³/day amount of water resources and that the raw water quality using the method has more advantages in water treatment than direct surface water intake. Even though the safety yield about individual vertical well is roughly estimated to about 2,000 m³/day, it is desirable to decrease the safety yield to about 1,000 m³/day in the consideration of long term and simultaneous well pumpings and other unknown factors. Ongoing study will give basic data and new techniques to solve the problems appearing in application of bank filtering method as well.

Key words : Groundwater, bank filtering, Nakdong River, water supply.

1. 서론

본 연구는, 영남 내륙권 고령군 및 성주군에 2016년까지 일일 41,000m³의 생활용수 공급을 위한 강변 여과 방식 취수원 확보의 적정성과 실시 설계에 필요한 주요 자료를 산출하기 위한 목적으로 수행되고 있다. 현재 국내에서 강변 여과 방식을 활용한 수자원 공급은 창원시 대산면 등 일부 지역에서 매우 제한적으로 수행되고 있으나, 앞으로 양질의 수자원 확보 및 취수원 다변화의 일환으로 적극적으로 도입, 수행될 것으로 기대된다. 본 연구는 시작 단계에 있는 국내 강변 여과 방식 취수에 대한 수리지질학적, 지구화학적 기초 자료를 확보하고, 장기적인 강변 여과 방식 취수에서 나타날 수 있는 문제점을 미리 파악하여 이에 대한 적절한 대처 방안을 제시함으로써 보다 효율적인 수자원의 확보 및 관리/운영을 도모하고자 한다. 현재 본 연구 대상 지역에 대해서는, 대수층 정밀 탐사, 심도별 동위원소 함량비 및 지구화학 분석을 위한 심도별 시료 채취 분석, 장기 양수에 따른 지하수위 및 지하수질 변화 관측 및 예측, 적정 채수량 산정 및 효율적 우물 설계, 정호 막힘 현상(clogging) 발생 여부 및 원인 규명, 강변 여과수 수질 특성에 따른 최적 수처리 공정 적용 등에 대한 다양한 내용의 연구가 진행중이다. 본 연구 발표 자료는, 현재까지 수행된, 연구 대상 지역에 대한 수리 지질 조건, 수위 및 수질, 우물 설계에 따른 양수 현황 등에 대한 예비 결과와 앞으로의 연구 계획 등을 정리 보고한다.

2. 본론

가. 연구 지역 지형 및 지질

본 연구의 대상 연구 지역은, 경상북도 고령군 다산면 노곡리 일원으로, 북위 35도 49분에서 52분, 동경 128도 20분에서 30분에 해당되는 지역이다. 연구 대상 지역은 남진하던 낙동강이 급작스럽게 동진하여 급호강과 합류되는 지점의 약 5 km 상류부에 해당되는 우안부 충적층 지역에 해당된다. 연구 지역의 지형적 특징은 좌안의 경우, 일부 계곡부를 제외하고는 대부분 낙동강의 인접부가 급한 경사를 갖는 사면인데 반해, 연구 대상 지역인 우안은 동서 방향으로 약 5km 내외, 남북 방향으로 약 1km 내외의 넓은 충적 대수층을 가지고 있다. 연구 지역은 낙동강 물가에서 약 200 m 전후에 제방이 형성되어 있으며, 제내지의 경우 주로 답작물이, 제외지의 경우 대부분 전작물이 제배되고 있다. 그림 1은 본 연구 대상 지역을 북측 상공에서 관찰한 형태를 보여준다.



그림 1. 연구 대상 지역 3차원 지형

연구 대상 지역의 기반암은 경상계누층에 해당되는 중생대 상부 쥐라기 낙동통 및 백악기 하부 신라통에 해당되는 지층이다. 본 연구 지역은 서쪽에서 동쪽으로 이동하면서 지층의 연령이 젊어지며, 연구 지역의 최서측에 낙동통 진주층이 분포하며, 그 동편으로 본층을 정합으로 덮고 있는 칠곡층, 다시 칠곡층을 정합으로 덮고 있는 신라통 신라역암층 및 함안층이 분포하고 있다(그림 2 지질도 참조). 지질도에서 볼 수 있듯이 이들 지층은 주로 북동 방향의 주향과 10에서 20도 내외의 남서 방향 경사를 가지고 있다. 개괄적인 지층의 특성은 진주층은 주로 회색, 녹회색의 사암, 이암, 셰일, 암회색 내지 흑회색 또는 흑색의 셰일, 사질 셰일과 역질 사암, 석회암 결핵체 등으로 구성되며, 칠곡층은 사암, 셰일, 역암으로 구성되고, 일부 원마도가 매우 불량한 현무암질의 화산암력이 포함된 지층이 나타나는 것으로 보고되어있다(국립지질조사소, 1970; 정창희 1986). 신라통 신라역암층은 자색, 갈회색의 역암, 역질 사암, 사암, 이암, 사질 셰일, 회색 셰일로 구성되며, 니회암(marl)의 결핵체가 발견된다. 함안층은 자색 셰일, 사암으로 주로 구성되며, 드물게 화산암층이 협재하기도 하는 것으로 알려져 있다(국립지질조사소, 1970; 정창희 1986). 현장 시추 조사에서 나타난 충적층 하부의 기반암은 조사 지역 서측의 경우, 주로 셰일의 풍화암 상태를 보여주는데 반해, 동측의 경우 기반암 구간에서 역암이 발견되어 연구 지역의 하부가 낙동통과 신라통의 지질 경계를 포함하고 있음을 확인할 수 있었다.

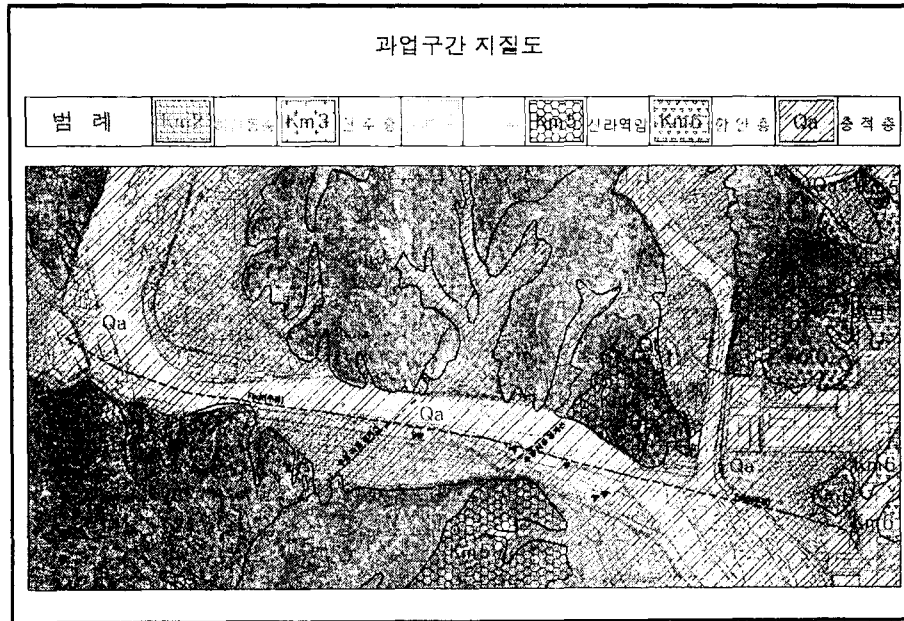


그림 2. 연구 대상 지역 지질도(한국수자원공사, 2001; 일부 수정 편집 수행)

나. 지하수위 및 지하수질 특성

강변 여과수 취수 방식의 충적층 지하수 채수에 앞서 자연적인 지하수위 분포 특성을 파악하기 위한 자연 지하수위 조사를 수행하였다. 그림 3은 조사에 활용된 시추공 분포를 보여준다. 이 중 양수 시설을 갖춘 양수정은 DW-1, SW-1 및 SW-2이며, 나머지 시추공은 주로 지하수위 및 지질 조사에 활용된 공들이다. 양수 시험이 수행된 이들 양수정에서는 기본적으로 양수와 더불어 일정 시간 간격으로 물시료를 채수, 분석하였으며, 양수정을 제외한 일부 시추공에서도 필요에 따라 물시료를 채수하여 수질 분석을 수행하였다. 양수를 하기 전에 지하수위 분포는 지하수가 하천 방향으로 유동하는 전형적인 이득 하천의 분포 양상을 보여주었으며, 특히 진주층과 칠곡층의 추정 지질 경계선에 해당되는 지역이 능선 형태의 지하수위 분포를 보여주고 있어, 이 경계가 수리지질학적 경계 역할을 하고 있을 가능성을 시사하였다. 조사 지역의 자연 지하수위는 낙동강의 평균 수위(인근 강정 취수장의 수위, 2001년 11월 초순부터 2002년 2월 현재)인 14.5m(해발고도)에 대해 약 0.5 내지 6m 정도 높은 해수면 고도 기준 15 내지 21m 전후에 해당되는 것으로 나타났다.

79일간 일평균 2,500m³ 내외로 SW-1에서 수행한 장기 양수 시험시 그 영향은 1km 이상 이격된 관측 정호에서 최대 50cm 정도로 관찰되었다. 양수정에서의 최대 수위 강하는 약 10m로 나타났으며, 인접한 관측공과 양수정의 수두 차이가 크게 나타나 SW-1번 양수정의 경우, 큰 우물 손실이 발생되는 문제가 있는 것으로 평가되었다.

배경 수질과 양수에 따른 수질 변화 조사를 위해서 시료가 채수된 대표 지점은, 표류수, SW-1번 양수정, DW-1번 양수정으로, 간이 수질 조사(pH, DO, EC, 수온)는 12월 초순부터 2월 초순까지 매일, 먹는 물 기준에 준하는 수질 분석은 조사 기간 중 6회(2001년 8월 10일, 2001년 12월 10일, 2001년 12월 19일, 2001년 12월 27일, 2002년 1월 10일 및 2002년 2월 19일)에 수행되었다. 또한 필요에 따라 양수정이 아닌 관측정에서도 채수하여 분석을 수행하였다. 강변 여과 취수 원수는 표류수에 비해, 뚜렷하게 일정한 수온 유지, 상대적으로 낮은 유기물 농도, 탁도를 보여주어 표류수에 비해 이후의 수처리 공정에 있어 월등한 우월성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 그러나 SW-1의 양수정의 경우, 망간의 함량이 표류수보다도 높게 나타나는 현상이 관찰되어 이에 대한 효과적인 수처리 방안을 확보하여

야 할 것으로 나타났다. 참고로, 충적 층 지하수 원수에서의 철, 망간 함량 문제는 기존의 몇몇 강변 여과 관련 연구에서도 지적된 바 있으며, 현재 강변 여과 취수를 통한 물공급을 수행하고 있는 창원시 대산면에서도 유사한 문제가 나타나 별도의 급속 여과지 및 활성탄 여과를 통한 수처리를 하여 효과적으로 철, 망간 함량을 먹는 물 수질 기준이하로 조절하고 있는 것으로 보고되고 있다.

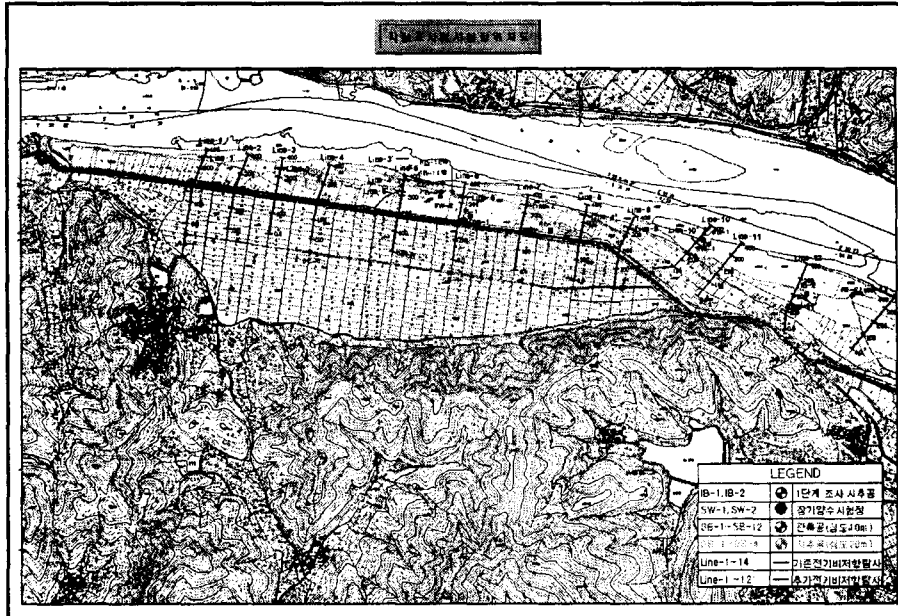


그림 3. 조사용 양수정 및 시추공 위치도

다. 수리지질 특성

시추 조사에서 나타난 연구 지역의 지층 분포는 기본적으로 지표에서 약 5m 전후 까지 주로 세립 내지 조립의 모래층, 그 하부에 약 8m 전후의 자갈 모래 혼재층, 약 4m 전후의 풍화대 및 그 하부의 절리가 발달된 기반암으로 구분되는 것으로 나타났다. 또한 지표로부터의 지하수위는 조사공마다 다소 차이가 있으나 대부분 지표로부터 5m 내외로 대수층의 두께는 모래층, 자갈 모래 혼재층 및 풍화대까지 약 10 내지 15m 전후인 것으로 나타났다.

몇 차례에 걸쳐 수행된 양수 시험에 대한 예비적인 분석 결과 연구 지역 대수층의 투수 계수는 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ cm/sec의 범위 내에 있어 대체로 양호한 투수성을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 일부 낙동강 평행 방향과 수직 방향에 대해 이방성이 있으나 그 차이가 투수 계수의 차수를 변화시킬 만큼 크지 않으므로 대체로 수평적인 등방성은 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 저류계수(또는 비산출율)는 현재까지 정확한 평가를 수행하지 못하였으나, 대체로 자유면 대수층의 특성과 시추 시료에 대한 입도 시험 자료를 근거할 때, 0.05~0.2 내외 일 것으로 추정하고 있다.

예비적으로 수행된 DW-1 및 SW-1에서의 양수 시험 결과 개별 정호당 적정 양수량이 일일 2,000m³ 내외일 것으로 평가되었으나, 2002년 2월에 추가 착정된 SW-2의 경우, 2,000m³ 시험 양수시 급격한 수위 강하 현상이 나타나, 양수량을 일일 1,000m³으로 재설정하여 시험을 수행하고 있다. 그러나 SW-2의 경우, 약 10일간의 양수가 진행된 이후 수위가 재상승하는 현상이 발견되어 현재 이에 대한 원인을 정밀 규명하고 있다. 일차적으로 SW-2가 DW-1 및 SW-1에 비해 50% 내외의 비양수량을 갖는 원인은 인접 부위에 SW-2로의 정상적인 지하수 거동을 방해하는 불투수성 지층을 가지고 있을 가능성을 생각할 수 있으

며, 이러한 수리지질학적 경계가 진주층과 칠곡층의 추정 지질 경계선과 관련되어 있을 가능성도 배제할 수 없다. 또한 양수 시험 중 다시 수위가 상승하는 이상 현상은 장기 양수로 인근에 불투수성 역할을 하던 소규모 지층에 지하수 유로가 형성되는 일종의 우물 형성(well development)과정과 관련되었을 가능성을 생각할 수 있다.

3. 예비 결론 및 의견

강변여과 방식 취수를 위한 낙동강 고령군 다산면 노곡리 일대에서의 조사는 본 지역이 기본적으로 강변 여과 취수 방식을 활용한 대규모 수원 개발 가능성을 갖고 있음을 보여주었다. 기본적으로 수직 정호 방식에 의해 공당 일일 2,000m³ 내외 양질의 수원 확보가 가능할 것으로 평가되고 있으나, 일부 지역의 점토 내지 실트질 불투수성 물질 분포 및 장기적인 동시 양수의 상호 간섭 등을 고려할 때, 정호에 따라 500m³ 내지 1,500m³으로 일일 적정 양수량을 조절하는 방안도 검토해야 할 것이며, 강변 여과만으로 충분한 수원의 확보가 어려울 경우, 직접 인공 함양 침투지, 대수층 주입 및 회수 겸용 정호(ASR) 설치 등의 방안도 함께 고려할 필요가 있다. 참고로 독일 쾰른 Felhe 강변 여과 지역의 경우, 수직 정호의 경우 시간당 20m³(일일 480m³), 방사 집수정의 경우 시간당 750m³(일일 18,000m³)의 강변 여과수를 취수하고 있으며, 쾰른 Langel 지역에서 강변 여과 취수한 원수를 다시 인공 침투시킨 후 재취수하는 방식으로 특별한 수처리 없이 먹는 물에 해당되는 양질의 수자원을 확보하기도 하는 것으로 알려져 있다(한국수자원공사, 1999).

현장 수리 화학 측정 항목을 통해 살펴본 강변 여과 방식 취수는 지표수에 비해 일정한 수온, pH, DO, 낮은 탁도로 상대적으로 우월한 측면을 갖고 있음을 알 수 있다. 이러한 양질의 원수는 취수후의 수처리 단계에서 응집, 침전, 완속 여과 등의 처리 공정을 배제할 수 있는 장점뿐만 아니라, 강변 여과수의 대수층 지체 시간이 수십에서 수백일 임을 감안하면, 일부 가뭄 완화 효과를 기대할 수 있는 장점을 지닌다. 또한 하천수의 심각한 오염 사고 발생 시에 하천수 직접 취수 방식에 비해 여유 있는 대응 기간이 확보되는 장점이 있으나, 반대로 오염 물질이 대수층을 침입하여, 대수층 및 지하수를 오염시킬 경우 이에 대한 정화 처리가 매우 곤란하며, 많은 시간과 비용이 소요되는 문제도 함께 지니고 있음을 간과해서는 안된다.

현재, 본 연구 지역에 대해서는 장기적인 지하수위 변화 예측, 동위원소 함량비 자료를 활용한 대수층의 지구화학적 환경 및 지하수/지표수의 대수층 함양률 산정, 취수된 원수에 대한 최적 수처리 방안, 지하 대수층 분포 정밀 탐사, 정호 막힘 현상의 원인 및 대처 방안 등에 대한 연구가 수행 또는 계획되고 있으므로, 추후 국내 타 지역에서의 강변 여과 수 방식 취수원 개발시에 참조할 수 있는 많은 자료와 기술이 개발될 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

- 국립지질조사소, 1970, 한국지질도 1:50,000 현풍도폭(SHEET 6821-II), 김기완, 여상철.
- 정창희, 1986, 지질학개론, 박영사
- 한국수자원공사, 1999, 지하수 함양 및 활용증대방안 연구
- 한국수자원공사, 2001, 영남내륙권 광역상수도 실시설계용역 취수원조사보고서(안)

5. 사사

본 연구는 한국수자원공사에서 수행하고 있는 “영남 내륙권 광역 상수도 실시 설계 사업”의 일부 내용을 포함하고 있으며, 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-4-1)에 의해 수행되었다. 연구비를 지원해준 프론티어 사업단과 현장 조사를 협조해 준 한국수자원공사 수도계획처의 관련 직원 및 한국종합엔지니어링의 김문갑 과장을 비롯한 현장 대리인들에게 감사드린다.