하천 인근 지하수 이용 영향 평가 기술

이정우 국토보전연구본부 연구위원

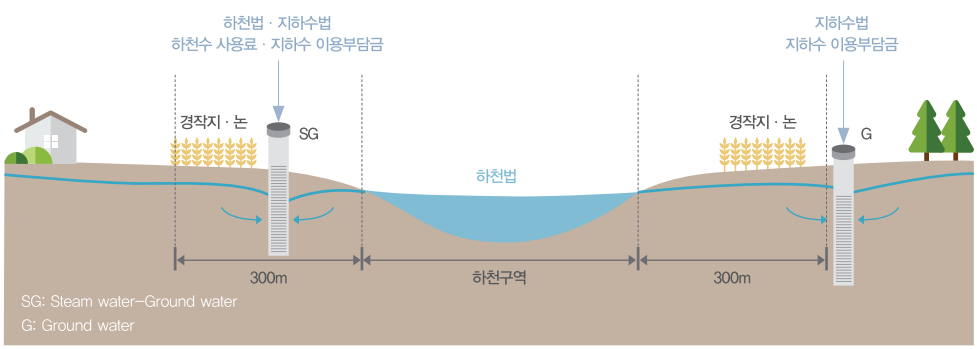
들어가며

하천수와 지하수는 수리적(水理的)으로 상호 연결된 하나의 수자원임에도 불구하고 두 수체는 법적으로 하천법과 지하수법으로 분리해서 관리하고 있다. 이러한 분업화 관리는 효율적이고 적시적(適時的)인 수자원 개발 · 이용을 가능케 하였지만, 두 법이 상충하는 하천 인근 지역에서는 하천수 사용자와 지하수 개발 · 이용자간의 수리권(水利權) 분쟁 소지가 되기도 한다. 최근 사계절 수막재배시설이 증가하면서 겨울철 난방용 지하수 이용 등 하천 인근 지역에서 지하수 이용량이 크게 증가하고 있으며, 이로 인해 지하수위가 저하되고 하천으로 배출되는 지하수 유출량이 줄어들어 심할 경우 하천의 건천화(乾川化)까지 나타나고 있다. 따라서 하천유량에 미치는 영향을 최소화하도록 하천 인근 지하수의 적정 이용관리가 필요하다. 한국건설기술연구원에서는 환경부 한강홍수통제소가 발주한 연구사업을 통해 지하수 양수가 하천수량에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 기술을 개발(환경부 한강홍수통제소, 2018)하고 실제 지하수 관리 문제에 이를 활용하는 방안을 마련하고 있다. 이 글에서는 이에 대한 소개와 함께 앞으로의 하천 인근 지하수 관리 개선 방향을 제시하고자 한다.

하천 인근 지하수 개발 · 이용허가

농업용과 생공용 지하수 관정의 양수능력이 각각 150㎥/일 및 100㎥/일을 초과하면 지하수법 제7조에 따라 지하수 개발 · 이용 신청자는 시장 · 군수 · 구청장으로부터 허가를 받아야 한다. 특히 하천구역 경계로부터 300m 이내(법적용어 '하천 인근') 지역(그림 1)에 대해서는 추가로 지하수법 제7조2에 따라 지하수 개발 · 이용으로 인해 수량측면에서 하천에 미치는지를 사전에 검토하고 환경부장관(홍수통제소장 위임)과 시장 · 군수 · 구청장간의 협의 과정을 거쳐야 한다. 이때 지하수 개발 · 이용이 하천 수량에 영향을 미친다고 인정되는 경우에는 상기 조항에 따라 취수량 또는 취수기간의 제한, 취수금지 등의 조치를 취해야 하며, 또한 하천법 제50조 6에서도 지하수 영향조사 결과 하천의 수량에 영향을 미치는 것으로 인정될 때에는 하천수 사용료를 징수할 수 있음을 밝히고 있다. 하지만 지하수 양수가 하천에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 실용적 기술 부재, 하천 인근 지하수 관리 예산 한계, 주도적인 관리 주체의 모호함 등의 이유로 지하수 개발 · 이용 행위가 사실상 모두 허가되어 지금까지 법조항의 실제 효과가 매우 낮았다.

그림 2 하천 인근 지하수개발 · 이용허가 관련법 (환경부 한강홍수통제소, 2018)



하천 인근 지하수 양수 영향 평가 기술

지하수 양수가 하천 수량에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 이상적인 방법은 양수 전후의 하천 수량 변화를 직접 계측하거나 정밀한 수치해석 모델링을 통해 지하수 양수 영향을 간접적으로 추정하는 것이다. 하지만 영향 평가에 소요되는 시간과 비용, 지하수 허가 및 협의 행정처리 기간을 고려하면 이러한 방법은 현업에서 활용되기 어렵다. 따라서 실무 편의성과 의사결정의 신속성을 고려하여 경험공식 형태의 간편법을 개발하였다.

충적관정

① $\Delta q / Q_W = 1/(1+e^{-2.440 + 0.0032L - 0.0082T_1 + 9.949S_1})$

② $\Delta q / Q_W = 1/(1+e^{-2.367 + 0.0037L - 0.0365T_1 + 14.539S_1 - 0.0021\lambda})$

for $T_1/S_1 < 300 m^2/d$

암반관정

③ $\Delta q / Q_W = 1/(1+e^{-2.089 + 0.0024L - 0.0008T_1 + 1.865S_1 - 0.0031T_2 + 10.124S_2})$

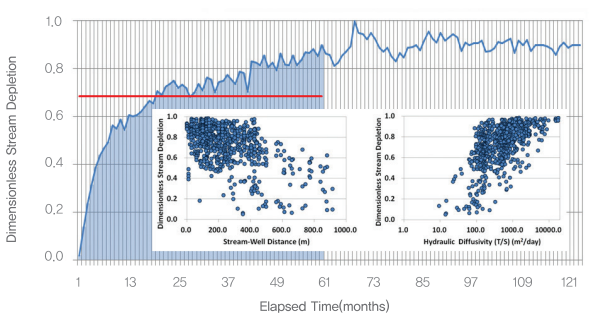
④ $\Delta q / Q_W = 1/(1+e^{-1.737 + 0.0037L - 0.0127T_1 + 11.182S_1 - 0.0968T_2 + 6.410S_2 - 0.0054\lambda})$

for $T_1/S_1 < 300 m^2/d$ 이고 $T_2/S_2 < 500 m^2/d$

Δq 하천수감소량	T_1 천부대수층 투수량계수(m^2/d)
Q_w 지하수양수량	S_1 천부대수층 저류계수
$\Delta q/Q_w$ 무차원 하천수감소량(0~1)	T_2 심부대수층 투수량계수(m^2/d)
L 하천-관정 이격거리(m)	S_2 심부대수층 저류계수

식①~④는 지하수를 양수하였을 때 양수량 대비 하천수 감소율을 추정하는 경험공식으로 안성천, 황구지천, 진위천, 죽산천, 신둔천 등 한강수계내 여러 시험유역을 대상으로 개발되었다. 하천 주변에 위치한 수많은 지하수 관정 각각에 대해 통합수문해석 SWAT-K 모형(Kim et al., 2008)으로 지하수 양수 전후의 하천유출량 차이를 모의(그림 2)하고, 그 결과를 하천-관정 이격거리, 대수층과 하상의 수리특성인자들과의 상관분석을 통해 통계적으로 재해석한 것이다.

그림 2 지하수 양수량 대비
하천수 감소율 모의결과 예시 (환경부 한강홍수통제소, 2018)



경험공식 뿐만 아니라 하천-대수층-관정 시스템을 단순화한 조건에 대해 유도한 해석해를 이용하여 하천수 감소량을 산정하는 방법을 추가로 제시하였다. 균질한 단일층 및 천부대수층 양수에 대한 Hunt 해석해, 심부대수층 양수에 대한 Ward & Lough 해석해 등을 전산 프로그램화하여 사용자가 지하수 영향조사서에 기재된 수리상수값을 이용하여 쉽게 하천수 감소량을 산정할 수 있게 하였다. 개발된 경험식과 해석적 모형의 실무 활용성을 높이고 하천 인근 지하수의 체계적 관리를 위해 GUI 환경기반의 지하수 영향평가 시스템(그림 3)을 구축하였으며, 이를 현재 홍수통제소에서 운영하는 하천수 사용관리 시스템에 탑재하였다.

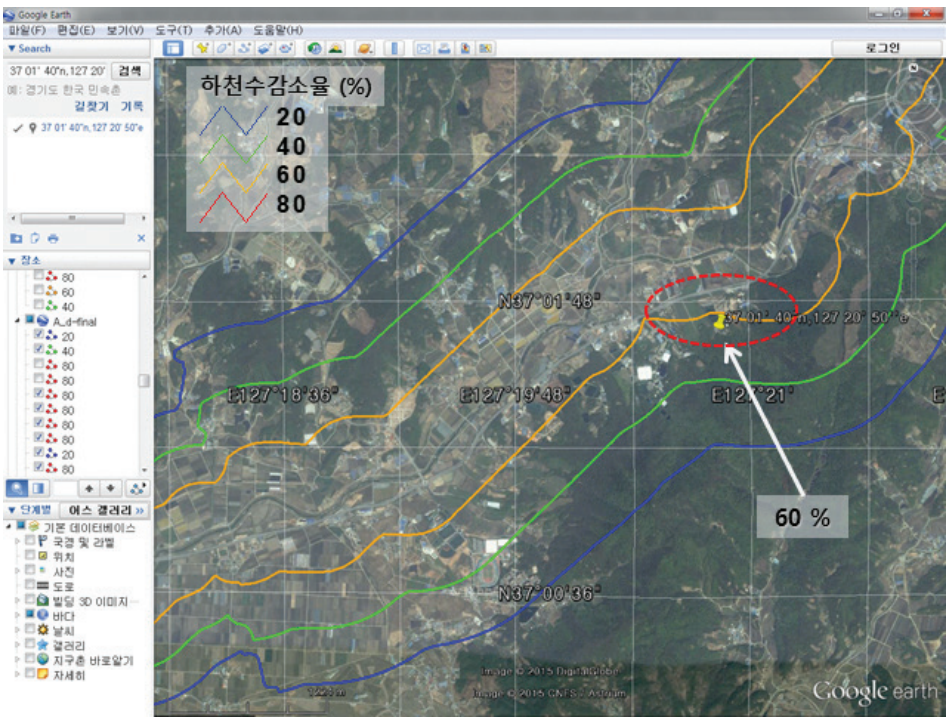
지하수를 개발 · 이용하고자 하는 위치에 따라 대수층 및 하천의 수리지질특성이 다양하여 지하수 양수로 인한 하천수 감소량의 크기와 시간적 지체가 다르게 나타난다. 이에 지하수 개발 · 이용자 및 허가 관련 행정기관의 업무편의성을 더욱 높이기 위해서 하천수 감소율을 지도상에 표출한 지하수 양수 영향구역도(국토교통부, 2014)를 시험 유역에 대해 제작 완료하였다(그림 4). 이 영향구역도를 작성하기 위해서는 하천주변 대수성시험, 하천내 하상수리전도도 측정 현장시험을 수행하여 대수층과 하천의 수리상수값을 획득하고, 지표수-지하수 통합모델링, 경험공식, 해석해 등을 이용하여 격자별 하천수 감소율을 계산, 그 결과를 공간분포화하여 Google Earth 시스템에 표출하는 과정을 거친다.

하천 인근 지하수 관리 해외 사례

하천 인근 지하수 관리가 가장 잘 시행되고 있는 국가는 뉴질랜드로 Hawke's Bay Regional Council에서는 하천에서 400m 이내 지역의 지하수 이용 시 하천수 취수 규정을 적용하고 있다. 또한 Otago Regional Council에서는 하천에서 100m 이내는 하천수 취수로 간주하고 그 밖의 위치에 대해서는 하천으로부터의 거리와 양수량 크기를 동시에 고려하여 하천 수량에 미치는 영향의 크기를 결정하고 있다. Environment Southland에서는 지하수 양수량 대비 하천수 감소율에 따라 4개의 등급으로 구분하여 관리하고 있다. 첫 번째 등급은 Direct(7일 양수 후 80% 이상 감소 시 하천수로 관리), 두 번째는 High(150일 양수 후 60~80% 감소 시 하천수로 관리, 나머지 지하수로 관리, 최소보장 하천유량 이내), 다음은 Moderate(150일 양수 후 30~60% 감소율만큼 하천수로 관리, 나머지 지하수 관리), 마지막으로 Low(30% 미만의 감소 시 지하수로 관리)로 정하였다. Greater Wellington Regional

그림 3 하천수사용 관리시스템의 하천 인근 지하수 영향평가 모듈

그림 4 안성천 인근 지하수 양수 영향구역도



Council에서는 하천수와 지하수의 수리적 연결성 크기에 따라 A(direct), B(high), C(low) 3개의 카테고리로 분류한 구역관리(zonal management)를 시행하고 있으며 특히 A 지역은 하천수 관리에 준하여 관리하고 있다(그림 5).

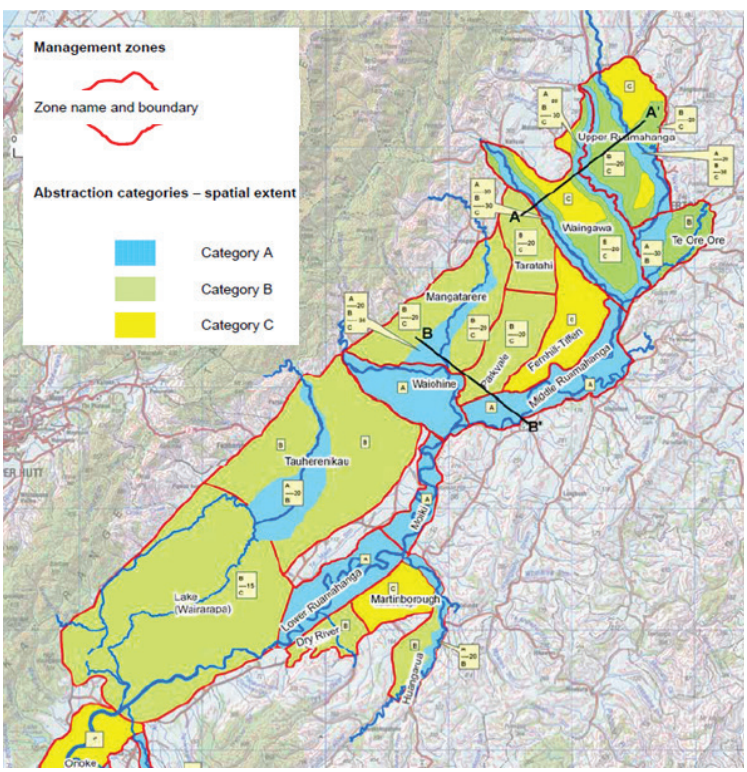
호주에서는 지하수 취수로 인한 하천수 감소량 크기에 따라 4개의 구역으로 설정하여 1구역은 하천수로 관리, 2구역은 취수량 제한, 3구역은 지하수로 관리, 4구역은 관리대상에서 제외하는 방안이 제안되었다. 미국 Rhode Island주에서는 하천수와 지하수 취수로 인한 하천수 감소량이 월별로 설정한 기준유량의 50% 범위 내에서 취수 허가를 하고 있다. 캐나다 Prince Edward Island주에서는 하천수와 지하수 각각의 허가 기준 내에서 취수하되 두 수원 전체 취수로 인한 하천수 감소량이 하천 기준유량의 35%를 넘지 않도록 관리하고 있다.

하천 인근 지하수 관리 개선 방향

하천 인근 지하수 영향평가 기술을 실제 물관리 업무에 활용하기 위해서 ①하천수사용허가업무매뉴얼, 지하수업무수행지침서, 하천기본계획수립지침 등의 매뉴얼과 지침 개정, ②하천수와 지하수간 상호영향을 고려한 수원별 허가 기준 및 요금부과체계 개선, ③지하수 현장데이터 획득과 하천수–지하수 상호작용 규명을 위한 하천 인근 지하수 관측 · 조사 사업, ④하천인근 지하수 정보 · 생산 체계 구축을 위한 지하수법시행규칙, 하천기본계획수립지침 등 관련 법,규정 개정 및 새올행정시스템, 국가지하수정보시스템, 하천수관리시스템 등의 개선, ⑤국가/지방하천 지하수 양수 영향구역도 제작 사업화, ⑥하천건천화 영향평가제도 신설 등이 검토되어야 한다.

한편, 지하수 개발 · 이용 시설의 개수와 이용총량 측면에서

그림 5 뉴질랜드 Greater Wellington Regional Council의 구역관리 사례



신고관정이 절대적으로 많기 때문에 현재 행해지고 있는 하천 인근 지하수 허가관정에 국한된 환경부–지자체 협의 관리만으로는 하천건천화 예방효과가 미미하다. 따라서 양적으로 큰 비중을 차지하고 있는 신고관정도 제도권 내로 포함해야 한다. 아울러 지하수 관정의 군집 영향을 평가하고 하천수와 지하수의 통합적 관리를 위해 공단위 개별 관리에서 구역 및 유역단위 총량 관리로 확대해야 한다. 이러한 하천 인근 지하수의 총량 관리를 위해 뉴질랜드의 구역관리 개념을 도입할 수 있으며 이때 지하수 양수 영향 구역도가 기본 맵으로 유용하게 활용될 수 있다.

우리나라는 10년 빈도 가뭄 시 함양량을 지하수 개발 가능량으로 설정하고 이 범위 내에서 지하수를 이용토록 하고 있다. 이는 지하수 시스템으로의 유입량 전량을 취수할 수 있게 하여 지하수 사용성을 극대화한 방식으로, 지하수 이용에 따른 하천 유량 감소 등 하천수 사용성 저하 문제는 고려하고 있지 않다. 따라서 하천의 최소보장유량을 설정하고 이를 침해하지 않는 범위 내에서 지하수 개발 · 이용을 허가하는 방식으로 전환되어야 하천수 사용의 지속성을 담보할 수 있다. 먼저 하천수와 지하수의 상호 영향이 큰 하천 인근 지역을 대상으로 제도적 개선 및 시행이 필요하다.

현재는 기준 갈수량에서 하천 유지유량을 감하여 설정한 하천수 사용 기준유량 범위 내에서 하천수 사용허가를 하고 있으나 기득 허가량과 회귀량, 가용유량을 검토할 뿐 지하수 이용에 따른 하천수 감소분은 고려하고 있지 않다. 안정적인 하천수 관리를 위해서는 미국, 캐나다 등 해외사례처럼 하천수와 지하수를 동시에 고려한 허가 관리가 필요하다. 따라서 하천 인근 지하수 이용 영향까지도 반영하여 가용유량 유무를 판단하여 신규 허가를 내주는 방식으로의 개선이 필요하다.

맺음말

하천 인근 지하수 개발 · 이용이 하천 수량에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 때 활용할 수 있는 하천수 감소량 계산 경험식과 해석적 모형, 지하수 영향 평가 시스템, 지하수 양수 영향구역도 등의 실무 편의적인 기술이 개발되었다. 이러한 기술의 실용화를 통해 하천 인근 지하수 개발 · 이용의 허가 및 협의 행정업무 간소화, 지하수 영향조사 및 분석비용 절감, 하천 인근 지하수 정보 및 평가 결과의 체계적 관리, 하천수와 지하수 사용 간의 분쟁 예방 등을 기대할 수 있다. 최근 발효된 수자원의 조사 · 계획 및 관리에 관한 법률 제4조(수자원 관리의 원칙)에서는 지표수와 지하수를 포함한 모든 형상의 수자원은 상호 균형을 이루도록 통합적으로 관리되어야 함을 명시하고 있다. 수자원의 균형적, 통합적 관리 원칙의 실현을 위해 이 글에서 제시한 하천 인근 지하수 관리 기술을 필두로 기술적, 제도적 개선이 본격적으로 진행되어야 할 것이다. K

참고자료

· 국토교통부(2014) 하천변 지하수 이용에 따른 영향권 설정방안 연구.

· 환경부 한강홍수통제소 (2018) 하천수 영향을 고려한 하천변 지하수 관리방안 연구.

· Kim, N. W., Chung, I. M., Won, Y. S., and Arnold, J. G. (2008). "Development and application of the integrated SWAT–MODFLOW model." Journal of Hydrology, Vol. 356, Nos. 1–2, pp. 1–16.