

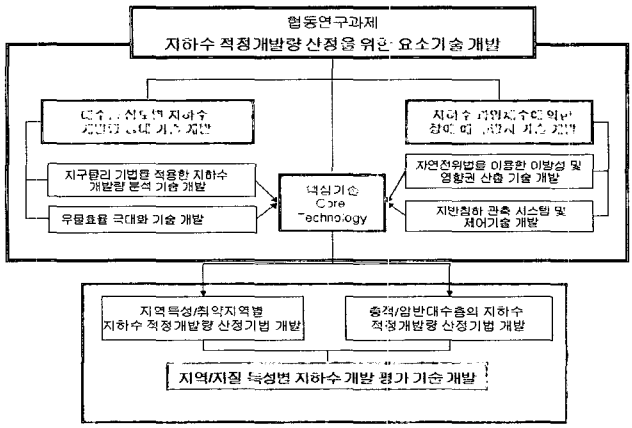
지하수 적정개발량 산정을 위한 기반기술 개발



송 성 호

농업기반공사 농어촌연구원 책임연구원

이 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 수자원의 지속적 확보기술개발사업단에서 추진 중인 지하수 확보 기술 분야 중 「지하수 적정개발량 산정을 위한 기반기술 개발」 과제로 농업기반공사에서 협동연구로 약 3년간 수행된 R&D 과제이다. 이 과제는 크게 대수층 심도별 지하수 개발량 증대 기술 개발과 지하수 과잉채수에 의한 장애예측/방지기술 개발로 구성되며, 연구성과는 국내학술논문 8편, 국내외 학술발표 10편, 특허출원 및 등록 3건, 프로그램 등록 1건과 더불어 현장 적용이 가능한 다양한 연구결과들을 도출하였다.



이 연구개발의 목적은 크게 대수층 심도별 지하수 개발량 증대 기술 개발과 지하수 과잉채수에 의한 장애예측/방지기술 개발로 구성된다. 이 중 지하수 개발량 증대 기술 개발과 관련한 부분은 지구물리 기법을 적용한 지하수 개발량 분석 기술 및 우물효율 극대화 기술 개발로 구성되며, 장애예측/방지기술 개발과 관련된 부분은 자연전위법을 이용한 이방성/영향범위 산출 기술과 지반침하 관측 시스템 및 제어 기술 개발로 구성된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 4가지의 기술 개발을 핵심기술(core technology)로 설정하였고, 각 세부연구 분야별로 얻어지는 최종목표는 상위 과제인 「지역·지질 특성별 지하수 개발 평가 기술 개발」에 필요한 요소로 활용될 수 있도록 하였다.

1. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 앞서 제시한 4가지의 핵심기술별로 연구개발의 내용 및 범위를 설정하여 연구를 진행하였으며, 핵심기술들은 각 연구단계별로 상호 feedback 과정을 통하여 연구성과를 극대화

할 수 있도록 추진하였다.

가. 지구물리 기법을 적용한 지하수 개발량 분석 기술 개발

이 기술의 범위는 물리탐사 기술 중 전기비저항탐사법을 이용하여 대수층 수리상수를 추정하는 관계식 및 경험식을 개발하는 것으로, 다양한 수리상수 변화에 따른 전기비저항측정 실내시험 결과를 토대로 현장채취 시료에 대한 이화학 분석 결과, 전기비저항 수직탐사, 전자탐사 및 물리검층 등에서 얻어진 심도별 전기비저항과 대수층의 공극률, 전기전도도 등과의 관계식 산출하는 것이다. 이러한 연구성과를 축적 및 암반 대수층에 대하여 적용함으로써, 향후 1차원 및 2차원 전기비저항 탐사, 전기비저항 토모그래피탐사, 다중주파수 전지탐사, 전기전도도 검층 및 대수층 시험 자료들을 복합적 해석 및 지질통계적 방법을 이용하여 광역적인 지역 및 유역단위 대수층의 수리상수를 산출하는 기술

을 개발하는 것이다.

나. 우물효율 극대화 기술 개발

이 기술은 기존의 사용관정 들을 대상으로 다양한 물리적/화학적 처리기술을 적용한 후 처리 전후에 우물효율을 측정하여, 우물·용도별로 효율적인 처리기법 제시 및 현장에 효과적으로 적용할 수 있는 방법을 제시하는 것이다. 이 연구에서는 화학적 처리 기술, 물리적 처리 기술 및 우물효율을 정량적으로 정확하게 산출할 수 있는 기법의 현장 적용방법을 제시하여 기존 관정의 지하수 개발량을 증대시킬 수 있는 기술 개발이 중요한 목적이다. 이를 위하여 대수층 특성, 관정의 용도, 수질 특성, 지하수 오염 분포 현황 등의 수리지질학적 특성이 다양한 평지, 산지 및 해안 지역별로 대상관정을 선정한 후, 물리적/화학적 처리기술 적용 전후의 우물효율 증대량을 정량적으로 평가하고, 이때 정립된 우물효율 극대화 평가를 위한 기반기술의 현장 실용화를 추진하는 것이다.

다. 자연전위법을 이용한 이방성 및 영향범위 산출 기술 개발

이 기술은 자연전위법을 이용한 대수층 특성별 이방성/영향범위 산출 기술 및 해석 기법 개발로, 지하수 흐름에서 발생하는 유도전위를 지표에서 측정하여 대수층의 수평적 이방성 및 영향권을 분석하는 기법이다. 이러한 자연전위법을 이용하여 양수정 주변의 소유역 대수층에 대한 수평적 이방성 및 영향범위를 정성적·정량적 분석 기법을 이용하여 해석하는 방법을 제시하여 현장 적용성을 높이고자 하였다. 또한 자연전위법에 의한 군집 우물간 간섭요인의 정량적 분석 기술 개발로 지하수 개발량의 효율적 분석과 지하수 장애 예측을 위한 기술을 도출코자 하였다.

라. 지반침하 관측 시스템 및 제어 기술 개발

이 기술은 지반침하 관측 시스템 개발을 통한 모니터링 및 지반변형 예측/방지 기술과 연계한 지반침하 제어 기술의 개발이다. 이 연구에서는 시범지역에 대하여 자동강우량 측정기, TDR, 지하수위 측정기, 증별침하계 및 지표침하계로 구성된 지반침하 관측 시스템을 설치하고, 지하수 유동 모델링에서 산출된 적정 양수량을 대상으로 단계별 양수시험과 침하량 측정을 병행하여 지반침하량을 정확하게 체크코자 하였다. 또한 지반변형에 대한 공간해석을 위하여 FLAC3D 프로그램을 이용하여 총적층을 구성하고 있는 각 층별로 침하량을 계산하여 향후 예측 방안 제시 및 현장 적용성 제고방안을 제시하는 것이다.

2. 연구결과

가. 지구물리 기법을 적용한 지하수 개발량 분석 기술 개발

전기비저항과 토양의 물리적 성질과의 관련 결과를 활용하여 모래로 구성된 토양층에서의 지층비저항계수를 구하는 경우 지층의 공극률 및 수리전도도 범위의 추정이 가능하며, 모래로 구성된 토양층에 대한 전기비저항 수직탐사에서 얻어지는 심도별 전기비저항 해석치와, 주변 토양층의 지하수에 대한 전기비저항을 측정하는 경우 총적대수층에 대하여 공간적으로 심도별 공극률 추정 뿐만 아니라, 수리전도도를 산출하는데 매우 유용하게 적용될 수 있음을 확인하였다. 또한 다양한 파쇄대가 발달하며, 암상의 변화가 크게 나타나는 암반 대수층의 수리지질구조 파악은 기존의 전기비저항탐사 이외에 CSMT(Controlled Sources Magneto-Telluric) 탐사법이 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였으며, 특히 CSMT탐사를 적용하는 경우 1차원의 정적효과(static shift; Vozoff, 1991)를 극복하기 위하여 EMAP(Electromagnetic Array Profiling; Bostick, 1986) 탐사 개념을 적용하면 효과적으로 2차원 영상의 구현이 가능하며, 이 결과 화강암 지역과 변성퇴적암 지역의 경계를 확인할 수 있었으며, 화강암 지역의 대수층 구조를 파악하는데 큰 효과를 거둘 수 있었다.

다중 주파수 소형루프 전자탐사법은 토양 단면에 따른 토양의 전기전도도 분포 파악에 유용하며, 심도 약 5 m 내외의 토양특성 분석은 물론 천부 토양의 토양특성과 염류집적에 관한 정보를 저렴하고 신속하게 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 또한 GPS를 연결하여 이용하는 경우 광범위한 지역에 대한 정보를 신속하게 얻을 수 있으므로 기계화 영농이 수행되는 대규모 농장의 토양 특성 파악에 적용 가능할 것으로 생각된다.

나. 우물효율 극대화 기술 개발

개발 이후 장기간 사용된 기존의 지하수 채수용 관정에 대하여 적절한 우물세척 및 우물세척을 하는 경우 단계별 양수량에 따라 우물효율이 약 1~4배 증가하며, 임계양수량을 기준으로 판단한 경우 처리 이전에 비해 약 4~8%의 수량 증대 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 우물효율의 증가 효과는 개발 이후 약 10년 이상 경과된 관정들에서 더욱 효과적으로 나타났다.

지하수 수질 분석 결과 대부분의 관정에서 우물 효율 감소의 주요인은 무기물의 침전 및 흡착에 의한 스크린 및 대수층의 막힘에 의한 것으로 나타났으며, 이는 수질분석 시 이온성분 분석 뿐만 아니라 부유물질, 총질소, 총인, 전기전도도, 증발잔류량 등 종합적인 분석이 필수적인 것으로 밝혀졌다. 따라서 효과적인

우물효율 증대 방안은 염소소독제인 크로로칼키($\text{Ca}(\text{OCl}_2)$)를 이용한 우물소독 및 에어서징을 이용한 우물세척이 부유물질의 제거에 효과적인 것으로 나타났다.

다. 자연전위법을 이용한 이방성 및 영향범위 산출 기술 개발

양수시험에 따른 자연전위법 적용 결과를 기존 수치모델을 개선하여 적용한 결과, 피압대수층의 경우 자연전위 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있었으며, 양수시험 기간 동안에 양수정 주변에 설치한 비분극전극에서 모니터링된 자연전위 결과를 이용한 등전위 분포도를 작성한 결과 지표 전기비저항탐사, 노말비저항 검층 및 순간수위변화시험 등 다양한 방법에서 얻어진 대수층의 이방성 방향과 일치됨을 확인할 수 있었다. 이에 따라 대수층시험과 자연전위 자료의 복합해석을 이용한 이방성 분석 기법 적용 결과를 관측정이 없는 단공양수시험에 적용하는 경우 대수층의 수평적인 이방성 등을 추정하는데 유용한 것으로 밝혀졌다.

라. 지반침하 관측 시스템 및 제어 기술 개발

지반침하 계측 시스템을 이용한 지하수 물수지 분석과 지하수

유동모델링을 통해 산출된 적정 양수량을 기준으로 다양한 조건의 양수량을 조절한 실험을 통하여 양수에 의한 지반침하 현상을 계측하였으며, 동일한 조건의 수치모델링 결과와 비교, 분석을 통한 지반침하 제어기술을 제시하였다. 이에 따라 지하수 유동 모델링을 이용하여 연구대상 소유역에 대한 적정 개발 가능량을 평가한 후 FLAC 3D를 이용한 지반침하 모델에 연동시킨 결과 지반침하 양상을 잘 재현할 수 있음을 확인하였다.

3. 맺 음 말

이 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 진행 중인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원으로 수행된 「지하수 적정개발량 산정을 위한 기반기술 개발」 과제의 결과이며, 앞서 제시한 연구결과에 포함되지 않은 다양한 내용들은 관련 학술논문집에 수록되었거나 수록 예정입니다. 본 연구내용에 관심있는 분들은 아래 주소로 연락을 주시면 성실히 답변토록 하겠습니다. (shsong@karico.co.kr)