

하천변 지하수 관측정 최적 배치 방안

Optimum Arrangement of Groundwater monitoring well

이승현*, 박준형**, 김규범***+

Seung Hyun Lee, Joon Hyeong Park, Gyoo Bum Kim

요 지

지하수 관측이란 지하수위 하강, 수질오염 등 지하수 장애로부터 지하수를 보전·관리하고 대책을 수립하기 위하여 정기적 및 장기적으로 지하수위, 수질 등 부존된 지하수 특성의 상태와 변화하는 추이를 관찰하여 측정하는 행위를 말한다. 지하수는 지하의 보이지 않는 지층구조에서 매우 천천히 유동하므로 수위하강 및 수질오염 발생을 늦게 인지할 경우 원상회복이 불가능할 수 있고, 지하수 장애를 인지한 이후의 대처과정에서도 기존의 관측자료가 없거나 부족할 경우에는 원인분석과 대책수립이 지연되거나 불가능할 수 있으므로 지하수관리에 있어 관측정호를 설치하고 정기적으로 지하수의 부존 및 유동특성, 배경수질 등의 지하수 관측은 기본적인 필수적인 요소이다.

따라서 지하수 관측망을 설치하고 운영하기 위해서는 관측 목적을 명확히 정의하고 관측 프로그램이 이를 만족시키도록 구성되어야 하며 시간적, 공간적으로 지하수가 변동되는 것을 고려하여 관측 지역 대수층의 유형과 특성 등이 완전히 파악되어야 한다. 필요시 기존 관정을 활용하여 관측하며 관측 항목, 관측 유형, 위치 측량 및 관측 주기 등은 관측의 목적에 부합되도록 한다. 관측 데이터의 생성, 전송 및 분석 진행과정 등이 완벽하게 정립되어 데이터의 생성에서부터 활용까지 체계화되어야 하고 지하수와 지표수는 연계된 단일 수자원으로서 지하수 관측은 지표수 관측과 연계되어 설계되고 분석되어야 한다. 또한 취득된 데이터의 정확성은 지속적으로 검토·확인되어야 하며 전문가의 능력을 활용하여 관련 자료의 분석이 이루어지고 데이터의 정도를 높이기 위한 후속조치들이 병행되어야 한다. 그리고 지하수위, 수질 등 관측 자료가 자연적인 지하수 유동 체계에 의하여 변화되는 것이라고 인식될 경우에는 관측 시스템 전반을 재평가하여 보다 효율적인 관측 시스템으로 발전시켜야 한다.

핵심용어 : 지하수, 지하수위, 지하수 관측

1. 서론

지하수는 지하의 보이지 않는 지층구조에서 매우 천천히 유동하므로 수위하강 및 수질오염 발생을 늦게 인지할 경우 원상회복이 불가능할 수 있고, 지하수 장애를 인지한 이후의 대처과정에서도 기존의 관측자료가 없거나 부족할 경우에는 원인분석과 대책수립이 지연되거나 불가능할 수 있으므로 지하수 관측은 기본적인 필수적이라고 할 수 있다. 지하수 관측은 지하수의 상태에 대한 관측, 특정 경우 법률의 올바른 이행의 감시 확인을 위한 관측, 가뭄/홍수 등의 조기 경보 활용 등 다양한 목적에 따라 세분화 되어 사용용도 및 분석 방향 등이 상이할 수 있다.

이와 같이 지하수 활용 및 대처방안 마련의 필수 요소인 지하수 관측망을 설치하고 운영하기 위해서는 관측 목적을 명확히 정의하고 관측 프로그램이 이를 만족시키도록 구성되어야 하며 시간적, 공간적으로 지하수가 변동되는 것을 고려하여 관측 지역 대수층의 유형과 특성 등이 완전히 파악되어야

* 정회원 · K-water연구원 연구원 · E-mail : sope365@kwater.or.kr

** 일반회원 · K-water연구원 대리 · E-mail : joonpark@kwater.or.kr

***+ 정회원 · 교신저자 · K-water연구원 수석연구원 · E-mail : gbkim@kwater.or.kr

한다. 필요시 기존 관정을 활용하여 관측하며 관측 항목, 관측 유형, 위치 측량 및 관측 주기 등은 관측의 목적에 부합되도록 한다. 관측 데이터의 생성, 전송 및 분석 진행과정 등이 완벽하게 정립되어 데이터의 생성에서부터 활용까지 체계화되어야 하고 지하수와 지표수는 연계된 단일 수자원으로서 지하수 관측은 지표수 관측과 연계되어 설계되고 분석되어야 한다. 또한 취득된 데이터의 정확성은 지속적으로 검토·확인되어야 하며 전문가의 능력을 활용하여 관련 자료의 분석이 이루어지고 데이터의 정도를 높이기 위한 후속조치들이 병행되어야 한다. 그리고 지하수위, 수질 등 관측 자료가 자연적인 지하수 유동 체계에 의하여 변화되는 것이라고 인식될 경우에는 관측 시스템 전반을 재평가하여 보다 효율적인 관측 시스템으로 발전시켜야 한다.

2. 지하수 관측의 목적

지하수 관측이란 지하수위 하강, 수질오염 등 지하수 장애로부터 지하수를 보전·관리하고 대책을 수립하기 위하여 정기적 및 장기적으로 지하수위, 수질 등 부존된 지하수 특성의 상태와 변화하는 추이를 관찰하여 측정하는 행위를 말한다. 지하수는 지하의 보이지 않는 지층구조에서 매우 천천히 유동하므로 수위하강 및 수질오염 발생을 늦게 인지할 경우 원상회복이 불가능할 수 있고, 지하수 장애를 인지한 이후의 대처과정에서도 기존의 관측 자료가 없거나 부족할 경우에는 원인분석과 대책수립이 지연되거나 불가능할 수 있으므로 지하수관리에 있어 관측정호를 설치하고 정기적으로 지하수의 부존 및 유동특성, 배경수질 등의 지하수 관측은 기본적인 필수적인 요소라고 할 수 있으며, 일반적인 지하수 관측(모니터링)의 목적은 다음과 같다(표 1).

표 1. 지하수 관측 및 평가 프로그램의 목적 (Chilton and Foster, 1997)

목적	정보 생성 (Information output)
추세 경향성 파악	자연적 원인으로부터 발생한 지하수 수질 혹은 양 변화의 경향, 확산된 오염원의 경향, 수리 수문 영역에서의 변화 등을 관측함
기준점(Baseline)의 역할	미래의 인간 활동에 의하여 나타날 수 있는 지하수 수위 및 수질 변화에 대하여 기준이 되는 배경 정보를 제공함
공간적 분포 파악	대수층 내 지하수 수위 및 수질의 3차원적 분포를 파악하도록 함
조기 경고 기능	수위 강하 또는 확산된 오염원 영향의 함양 지대에서 조기 경고 제공함

2. 관측망 설치 시 고려사항

2.1 관측망 밀도 결정

지하수 관측망의 밀도는 관측의 목적에 따라 결정되어지며, 기본적으로 대수층의 수문지질학적 및 지화학적 특성을 고려하여야 한다.

일반적으로 관측정의 구축 수계의 발달 상태, 대수층의 발달, 지하수의 국부적인 충전 양상, 그리고 지하수위 및 수위 등고선에 영향을 줄 수 있는 기타 요소들이 존재하는 경우에 각각 관측정을 설치하며, 특히 지하수 흐름의 예측을 위해서는 하천과 수직 방향으로 최소 3개의 관측정이 요구된다(그림 1).

또한, 기상요소를 고려하여 우기와 갈수기의 수계 및 지하수 충전상태를 고려하여 관측정 갯수의 조정이 가능하며, 대규모의 분지내에서 지하수의 유동방향을 측정하기 위해서 6-9개의 관측정 설치를 필요로 하는데(그림 2), 이는 수계발달 형태에 따라 충전지역, 집수지역, 배출지역 등으로 구분하여 각 구역내에 지하수 관측정을 설치한다(US EPA, 1986). 유역 내의 완만한 수리경사를 갖고 피압대수층이 존재하는 지역의 경우에는 각 대수층의 수리특성 파악을 위해 다심도 관측정을 설치하는 것이 보편적이다.

만약, 앞서 기술한 일반적인 상황보다 대수층의 수문지질학적 특성이 매우 복잡 다양한 지역의 경우에는 보다 많은 개수의 지하수 관측정이 필요하다. 또한, 관측지역이 복잡한 오염원을 보유하고 있거나 지하수

이용 시스템이 매우 다양한 경우에도 지하수 관측정의 개수는 증가되어야 한다. 따라서, 대수층이 가지고 있는 특성의 다양성, 오염과 같은 관측 지점의 취약성, 지하수 개발 현황, 물 사용과 토지 사용 현황, 그리고 지하수를 이용하는 이용자의 특성 등이 반영되어 결정되는 것이 바람직하다.

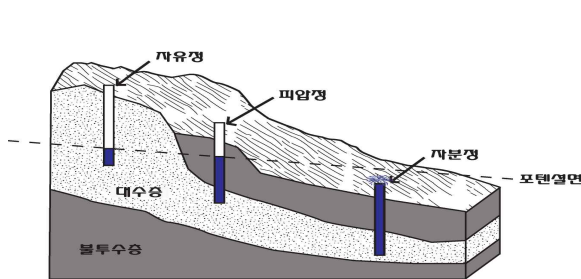


그림 1. 고도별 관측정의 설치 개념

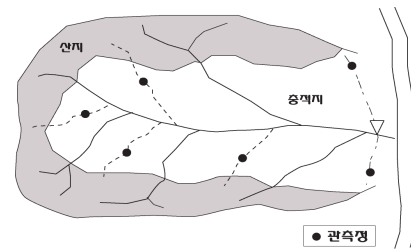


그림 2. 수계 분지내 지하수 관측정 설치 위치

아래 표 2는 현재 유럽의 각 국에서 설치 운영 중인 기준 및 참고용에 해당하는 관측정에 대한 것으로서, 지하수 수위 및 수질의 관측 밀도를 정리한 것이다. 국가에 따라서 지하수 수위 관측정과 수질 관측정의 밀도가 다르게 나타나는데, 이는 국가별로 지하수 관리에 대한 개념의 차이 및 중요도의 차이 등에 의한 것이다. 광역적인 기준 관측정의 경우에는, 9개 유럽의 국가중에서 가장 관측 밀도가 낮은 곳은 핀란드로서 100 km²당 0.02개소에 불과하며, 가장 조밀한 지역은 벨기에의 플랑드르주로서 1.61개소에 이른다. 이와 같이, 관측망 밀도에서의 차이는 국가의 크기, 인구 밀도, 오염 특성과 지하수 시스템의 취약성 차이, 지하수 개발의 강도와 관련된 이해 충돌 정도, 그리고 환경 보호 정책의 강도 등에 의하여 나타난다.

표 2. 유럽 9개국의 지하수 수위 및 수질 관측망의 분포 밀도 (Jousma and Willems, 1996)

국 가	평균 지하수 수위 관측망 밀도 (N/100 km ²)	평균 지하수 수질 관측망 밀도 (N/100 km ²)
스웨덴	0.11	0.04
핀란드	0.02	0.02
덴마크	0.15	0.26
영국/웨일스	-	0.40
네덜란드	10.7	1.07
벨기에/플랑드르주	1.61	1.61
독일/바바리아주	1.00	0.47
독일/New states	-	0.33
헝가리	2.27	0.55
스페인	1.95	0.22

표 3. 유럽의 특수 목적용 지하수 관측망의 밀도

국 가	관측 목적	관측망 밀도 (개소/km ²)
오스트리아	비엔나 다뉴브강 Freudenu 발전소 상류의 지하수 관측	8.8
	Inn강 Langkampen 소수력 발전소 상류의 지하수 관측	3.6
슬로바키아	다뉴브강에 설치된 Gabčíkovo 보 상류의 지하수 관측	2.1

이에 반해 특수목적으로 설치된 관측망은 상황이 다르다. 유럽 내 여러 국가에서 하천을 이용한 수력발전 용 보를 건설하고 운영함에 따라 주변지역의 지하수위 및 수질 관리를 위해 구역을 설정하고 관측을 실시하는 경우, 그 밀도는 최대 8.8 개소/km²로 관측지점 수의 차이를 보인다(표 3).

2.2 관측정 위치의 결정

지하수 관측정의 위치는 일반적으로 대수층의 특성을 대표하고, 해석적인 규모를 고려할 때 수리수문학적 으로 공간적 의미가 있는 범위에 속해야 한다. 표 4는 지하수 관측 지점의 설정 시 수행해야할 사항들을 나타낸 것이다.

표 4. 관정정 위치 결정 시 고려 사항

고려 항목	내용
수리경사도, 지질조건, 지질구조 등	지하수계를 전체적으로 묘사하여 주요 대수층의 기하학적 구조와 분포 등을 검토
지질학적 분석	지하수의 흐름 상태, 토양 구성과 지질학을 토대로 하는 취약성을 평가
토지이용 특성 등	지하수계가 받을 수 있는 위협적 요인에 대하여 평가
비닐하우스 등	지하수의 이용이 활발한 농업지역 및 특수목적 지역 등을 검토
산성화, 염류 축적, 오염물질 등	대수층에 직접 영향을 미칠 수 있는 요인 확인 및 확인할 필요가 있는 지역에 대하여 평가

위의 모든 항목을 체계적으로 검토되는 것은 많은 시간과 예산이 필요하므로 지역적 특성을 고려하여 반드시 필요한 최소한의 항목에 대하여 검토가 이루어져야 한다.

지하수 관측망의 설치는 설치공사뿐만 아니라 사후 운영 관리에도 막대한 예산이 필요하므로 사전 검토가 필요하며 일반적으로 충분한 예산이 있다면 관측 전용 관측망은 설치하는 것이 바람직할 수 있으나 관측의 목적을 고려하여 기존 사용공을 활용하는 방안도 유용하다. 즉, 지하수 수위 관측의 경우 관측 지점 주변에서 이루어지는 인위적인 작용(양수 등)이 영향을 미치지 않을 것이라고 분다면 기존 우물이나 시추공을 사용할 수 있으며, 지하수 수질 관측망의 경우에는 특히 지하수 샘플링이 목적이라면 우물이나 샘 등의 모니터링 장소를 활용할 수도 있다.

2.3 관측망 설치 및 운영의 기본 원칙

지하수 관측망을 설치하고 운영하기 위해서는 관측 목적을 명확히 정의하고 관측 프로그램이 이를 만족시키도록 구성되어야 하고 시간적, 공간적으로 지하수가 변동되는 것을 고려하여 관측 지역 대수층의 유형과 특성 등이 완전히 파악되어야 하는데 이를 위해서는 수문지질도를 이용한 대수층 분포 파악, 대상 지역의 오염취약성을 분석, 대수층 상하 지질 계통의 분포 파악, 지하수 수질의 변화 자료 분석, 수문지질학적 시추공 자료를 이용한 수문지질학적 매개 변수 이해, 기존 모니터링 우물과 지하수 이용특성에 대한 구체적인 정보(위치, 이용, 특성 등) 파악, 지하수의 연령과 근원 등에 관련된 동위원소 데이터 분석과 같은 예비 조사를 통해 정보를 확보하여야 한다. 그리고 관측 항목, 관측 유형, 위치 측량 및 관측 주기 등은 관측의 목적에 부합되도록 관정이나 우물 등을 선정하며 필요시에는 기존 관정을 활용한다. 지하수와 지표수는 연계된 단일 수자원으로서 지하수 관측은 지표수 관측과 연계되어 설계되고 분석되어야 하고 관측 데이터의 생성, 전송 및 분석 진행과정 등이 데이터의 생성에서부터 활용까지 체계화되어 취득된 데이터의 정확성은 지속적으로 검토·확인되어야 한다. 지하수위, 수질 등 관측 자료가 자연적인 지하수 유동 체계에 의하여 변

화되는 것이라고 인식될 경우에는 관측 시스템 전반을 재평가하여 보다 효율적인 관측 시스템으로 발전시켜 나가야 한다.

3. 하천변 지하수 관측정 배치의 적용

우리나라 대하천의 경우 유럽의 특수목적 관측망 밀도에 준하도록 총적층 1 km² 면적을 기준으로 약 3개의 관측정을 배치하고 지하수의 함양, 이동, 배출 특성을 고려한 관측을 위해 관측정군을 형성하여 배치하여야 한다. 대하천 주변으로서 평야가 넓게 분포되어 있는 만큼 총적층으로 구성된 평야지대에 등분포로 구성하여 지하수 유동을 파악하고 수위 상승 등을 관측하도록 하며 지하수와 하천의 상관성 평가를 위해서 지하수 유동 방향과 평행한 방향으로 관측정이 배치될 필요가 있다. 비닐하우스 등 연중 지하수를 사용하는 지역과 수질이 고려되어야 하는 지역 등에 우선적으로 배치하여 변화를 관측한다. 지형 특성상 넓은 평야, 계곡 및 장방형 지형 등을 고려하여 배치한다. 지하수 수위 변화가 거의 없을 것으로 판단되는 지역에 비교 관측정을 설치하고, 타 관측정과 비교 분석하여 하천 주변의 지표수/지하수 연계 분석이 가능토록 한다. 총적 관측정을 설치하는 것을 기본으로 하되 일부 지점에는 암반 관측정을 설치함으로써 대수층의 특성에 따른 지하수 수문 분석이 가능토록 한다. 신규 건설되는 보를 중심으로 상류는 물론 직하류에 관측정을 설치함으로써 보 운영수위의 상·하류 차에 따른 지하수 특성 비교가 가능토록 한다.

4. 결론

하천변 지하수 관측정 최적 배치를 위한 방안은 다음과 같다.

- ① 지하수 관측망의 밀도는 관측의 목적에 따라 결정되어지며, 기본적으로 대수층의 수문지질학적 및 지화학적 특성을 고려해야 한다.
- ② 대수층이 가지고 있는 특성의 다양성, 오염과 같은 관측 지점의 취약성, 지하수 개발 현황, 물 사용과 토지 사용 현황, 그리고 지하수를 이용하는 이용자의 특성 등을 반영하여 결정하여야 한다.
- ③ 대수층의 특성을 대표하고, 해석적인 규모를 고려할 때 수리수문학적으로 공간적 의미가 있는 범위에 속해야 한다. 관측의 목적을 고려하여 기존 사용공을 활용하는 방안도 유용하다.
- ④ 지하수 관측망의 설치에 설치공사뿐만 아니라 사후 운영 관리에도 막대한 예산이 필요하므로 본 연구에서 제시하는 바와 같이 사전 검토가 이루어지고 최적 배치가 이루어진다면 지하수 관리가 효율적이고 체계적으로 이루어 질 것이라 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(11기술혁신 C05)에 의한 '수변지하수 활용 고도화'연구단의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Chilton and Foster. (1997). Monitoring for groundwater quality assessment: current constraints and future strategies. British Geological Survey. Proceedings of the international workshop Monitoring Tailor-made II, September 1996, Nunspeet, Netherlands.
2. Jousma and Willems. (1996). Groundwater monitoring networks. European Water Pollution Control, Vol. 6, no. 5, 1996.
3. EPA. (1986). Safe Drinking Water Act, Section 1429 Ground Water Report to Congress. United States Environment Protection Agency.