

〈기술정보〉

## 지하수 수질 감시 기법

정 상 옥\*

지하수 자원은 매우 중요한 자연자원의 하나이다. 다른 자원과 마찬가지로 지하수 자원의 효율적 이용과 보전을 위하여는 지하수 수량과 수질에 대한 감시를 철저히 하여 과도한 지하수위의 저하나 수질의 악화가 발생하지 않도록 하여야 한다.

특히, 최근 우리나라에서도 생수의 시판이 허용되었으며 지하수법과 시행령이 제정되어 지하수의 본격적인 개발을 눈앞에 두고 있는 이 때 지하수의 무분별한 개발로 인한 여러가지 장애가 발생하지 않도록 함은 물론 지하수의 수량과 수질관리를 위한 감시체계의 확립이 시급하다고 하겠다. 그러나 아직 감시체계 구축에 대한 기술이 확립되어 있지 않는 실정이다. 본 고에서는 지하수 자원의 수질 감시체계 구축에 필요한 감시 계획 수립, 감시정의 설치, 수질분석용 시료의 채취 및 대수층 테스트 방법 등에 대하여 소개하여 관계자들의 앞으로의 업무에 도움을 주고자 한다.

### 1. 지하수 수질감시 사업 계획 수립

지하수 수질감시 사업을 효율적이고 경제적으로 수행하기 위하여는 적절한 계획 수립이 필수적이다. 감시사업 관리측면에서는 여러가지 계획중 특히 장비, 소모품 및 인력 계획이 핵심적인 요소이다. 지하수 수질감시사업의 일반적인 사업범위는 표 1에 소개한 바와 같다.

표 1. 지하수 수질 감시사업의 일반적인 사업범위

사업구분	세 부 항 목
1) 사전 작업	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 대상지역에 대한 기존 자료 및 연구결과 조사</li> <li>○ 현지 조사</li> <li>○ 지질 조사</li> <li>○ 감독관청 방문</li> </ul>
2) 감시체계 설계와 계획	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 감시정의 위치 및 시공상세 계획</li> <li>○ 감시체계 설계 및 작업계획 수립</li> <li>○ 장비, 소모품 및 기술용역 주문 계획</li> <li>○ 관련 허가 취득</li> </ul>
3) 감시우물 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 현장에 인력 파견</li> <li>○ 우물 굴착 및 지질주상도 작성</li> <li>○ 우물의 설치</li> <li>○ 우물의 개발</li> </ul>
4) 지하수 시료채취 및 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수위 관측</li> <li>○ 우물 내 고인 물 제거</li> <li>○ 시료의 채취</li> <li>○ 시료를 분석실로 수송</li> <li>○ 현장 청소</li> <li>○ 인력 철수</li> <li>○ 실험실 분석</li> </ul>
5) 보고서 준비	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 자료 분석</li> <li>○ 보고서 작성</li> <li>○ 보고서 검토</li> <li>○ 보고서 제출</li> </ul>

\* 경북대학교 농과대학 농공학과 교수

## 2. 감시정 설치

감시정은 현장에서 우물을 굴착하여 설치한다. 감시정은 설치 방법에 따라 지하수 시료의 수질에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들면 관측정의 굴착 방법에 따라 기름류나 윤활유 및 밀봉제 등이 우물에 유입될 수도 있다. 표 2는 감시정 설치와 시료채취 시에 일반적으로 요구되는 장비와 소모품 목록을 보여주고 있다. 물론 모든 감시사업에 표 2에 제시된 품목들이 모두 필요한 것은 아니고 경우에 따라서는 필요하지 않는 항목도 있을 수 있다.

시료채취에 필요한 우물 내경의 최소치는 채취장비의 종류에 따라 1.3cm (bailer, suction lift pump 등)에서 5.0cm (gear drive pump, helical rotor pump 등)의 범위이다.

표 2. 감시정 설치와 시료채취시에 요구되는 장비와 소모품 목록

구분	품 목		
1) 장비	Bailer	Air lift pump	
	Camera	Cement mixer	
	Generator	Grout tank/grout pump	
	Safety equipment	Shovels	
	Soil sampler	Steam cleaner	
	Submersible pump	Surge block	
	Tape measure	Tool kit	
	Trowel	Truck	
	Drill rig and support equipment		
	Tanks or drums for storage of developed water		
	2) 소모품	Aluminum foil	Fuel
		Bentonite	Gloves
		Blank casing	Hard hats
		Blue ice	Ice chest
Buckets		Hose/cable or pump	
Casing		centralizer Padlocks	
Paper towels		Cement/bentonite grout	
Plastic bags		Chain of custody forms	
Plastic sheets		Decontamination detergents	
Ready-mix cement		Distilled water	
Rope		Drinking water container	
Rubber boots		Drums for waste	
Safety glasses		Electrical extension cords	
Sample containers		End caps	
Sample labels		Field notebook	
Scrub brushes		Film	
Tremie pipe		Filter sand	
Tyvek suits		Fire extinguishers	
Well log forms		First aid kit	
Flash lights		Waterproof marking pen	
Slotted casing(screen)			
Duct, strapping, clear, and electrical tapes			

## 3. 지하수 시료 채취

지하수 시료는 대수층을 대표할 수 있어야 한다. 이를 위하여 시료는 최소한으로 교란되고 질량과 화학 평형식을 만족하여야 하며, 미량의 유기화합물을 10 µg/l 수준에서 검출 가능하여야 한다. 지하수 수질 분석을 위한 지하수 시료채취는 월별, 분기별, 반년, 또는 일년 등의 일정한 시간 간격마다 하는 것이 일반적이다. 수질분석을 위한 시료채취는 지하수의 전체적인 감시체계의 일정에 맞추어야 하기 때문에 인력과 장비를 확실하게 확보하기 위하여는 사전에 잘 계획하여야 한다.

지하수 시료채취 계획시 고려하여야 할 항목으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) 지하수 시료채취 및 분석 목적
- 2) 지역별 시료 및 분석 항목
- 3) 시료 채취 지점의 위치, 상태, 및 접근의 난이
- 4) 일회에 채취할 시료의 개수 및 채취 빈도
- 5) 시료 채취 계획안 : 우물 purging 과정과 필요한 장비  
현장 변수들의 감시 방법  
시료 채취 방법  
현장 QA/QC 통제 방법
- 6) 현장 시료의 전처리 필요성 : 여과  
보존 용액
- 7) 시료 운송
- 8) 시료 관리 기록
- 9) 시료의 분석 : 분석 방법의 선정  
저장 및 대기 시간  
실험실 QA/QC 통제 방법

시료 채취 시점이 다가오면 사업 책임자는 인력, 장비, 소모품 등을 확인하고 분석 실험실과도 협의하여야 한다. 또한 현장 시료채취를 하기 전에 최소한 다음 사항을 확인하여야 한다.

- 1) 시료채취 장비, 시료용기, 방부용액, 증류수, 운송용기의 선정
- 2) 각 시료에 대한 분석종류와 분석방법, 검출한계, QA/QC 절차
- 3) 시료의 체적, 시료 보존방법, 시료 포장, 시료 운반, 및 대기시간

- 4) 시료 분석 소요시간
- 5) 시료 분석 결과의 보고방법과 피보고자
- 6) 분석 실험실에 시료 도착 예정시각을 연락하는 방법

최근 수질분석에 있어서 QA/QC (Quality assurance/Quality control)의 중요성이 강조되고 있다. QA/QC는 정확한 분석자료를 얻기 위하여 매우 중요하다. 또한 QA/QC 기록은 자료의 신빙성을 높여주고, 장기 사업에 있어서 수집자료의 일관성을 부여하며, 자료수집 과정의 기록을 제공한다. 현장 QA/QC를 위하여 최소 5가지의 시료가 수집될 수 있다. 이들은 water blank, field equipment blank, field matrix spike, split field sample 및 applied chemical 이다.

지하수 시료채취 현장에는 발전기 운전, 펌프나 시료 채취장비의 승강, 오염제거 작업 등을 위하여 최소한 한명의 지질기술자나 화학자인 시료채취 책임자와 이를 보좌할 한명의 기능인력이 있어야 한다.

표 3은 시료 채취 및 분석계획시 고려되어야 할 사항들을 보여주고 있다.

표 3. 시료 채취 및 분석계획시 고려되어야 할 사항

구분	고려 사항
1) 시료 채취	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 채취 빈도</li> <li>○ 감시우물 내 고인 물 제거방법</li> <li>○ 채취 장비</li> <li>○ 채취시 유량</li> <li>○ 장비 청소 방법</li> <li>○ 현장 감시 대상 항목</li> <li>○ 현장 관측 기록</li> </ul>
2) 시료 취급	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시료 용기 및 보존시약</li> <li>○ 현장 여과</li> <li>○ 시료의 표시</li> <li>○ 시료의 보관</li> <li>○ 시료의 안전</li> <li>○ 시료의 수송</li> </ul>
3) 시료 취급 기록	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시료 인계 인수 기록부 유지</li> </ul>
4) 실험실 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 분석방법 결정</li> <li>○ 하청 분석 실험실 결정</li> <li>○ 각 수질 항목의 분석방법 기술</li> <li>○ QA/QC 기록</li> <li>○ 보고 방법 및 절차</li> </ul>

표 4. 미국 Ohio 주립대학교 MSEA 사업의 지하수 시료 채취 기록표  
Ohio MSEA-WATER SAMPLING RECORD

Well # \_\_\_\_\_ Depth/Port# \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_  
 Peristaltic or N2 pump (circle one) Protocol # \_\_\_\_\_  
 Analysis \_\_\_\_\_ Preservation \_\_\_\_\_ Sampler \_\_\_\_\_  
 Duplicates (#) \_\_\_\_\_ QA-QC spike # \_\_\_\_\_ Field Equipment Blank \_\_\_\_\_  
 (check if applies)

Weather \_\_\_\_\_

Time	Water Level (ft)	Volume Pumped (gal)	Pumping Rate (gpm)	Temp (°C)	SpC (mmhos/cm)	pH	Eh (mV)	DO mg/1	Notes

Remarks :

표 4는 미국 Ohio 주립대학교에서 시행하고 있는 MSEA (Management Evaluation Systems Area) 사업의 지하수 시료 채취 기록표이다. 이 사업은 영농계통이 지하수질에 미치는 영향을 규명하기 위한 장기간 연구 (1차로 1990년에서 1994년까지 5년간)이며, 관측우물은 한 우물에서 여러 깊이에 설치된 port로부터 시료를 채취할 수 있는 최신장비인 Waterloo multilevel groundwater monitoring system을 사용하였고, 시료채취 장비로는 peristaltic pump나 N<sub>2</sub> gas-drive pump를 사용하였다. 여기에 나타난 수질 항목들은 현장에

서 관측하여야 되는 것들로서, 시료 채취 시각, 지하수위, 고인 물 제거량, 양수율, 수온, 전기전도도, 산화환원전위 (redox potential), 및 용존산소량이다.

표 5는 대표적인 시료 채취장비의 종류 및 특성을 보여주고 있다. 시료 채취장비는 지하수 시료의 통합성을 고려하여 선정하여야 한다. 채취장비는 시료의 압력변화, 온도변화, 교란, 및 기체나 액체의 유입 등이 최소화 될 수 있도록 선정하여야 한다.

표 5. 시료 채취장비의 종류 및 특성

Device	Description
Open bailer	Open top. Bottom sealed or fitted with foot valve. Available in wide range of rigid materials. Unlimited sampling depth. Variable sample volume.
Point-source Bailer	Check valve at both top and bottom. Valves are opened by cable operated from ground surface. Unlimited sampling depth. Variable sample volume.
Syringe samplers	Sample container is lowered into sampling installation. Stainless steel, Teflon, glass, polyethylene are used. Unlimited sampling depth. Max. 750 ml sample volume.
Gear-drive pump	Electric motor rotates a set of Teflon gears to pump drive the sample up the discharge line. Stainless steel, Teflon, Viton are used. Max. 60 m sampling depth. Max. 30 l/s flow rate.
Gas-drive samplers	Gas (air, oxygen, nitrogen, etc.) pressure applied to water within sample chamber forces sample to surface. Teflon, PVC, polyethylene are used. Max. 90 m sampling depth. Max. 13 l/s flow rate.
Bladder pump	Flexible bladder within device has check valves at each end. Stainless steel, Teflon, Viton, PVC, silicone are used. Max. 120 m sampling depth. Max. 30 l/s flow rate.
Suction lift (Peristaltic) pump	Self priming vacuum pump is operated at ground surface and is attached to tubing which is lowered to the desired depth. Tygon, silicone, Viton, Neoprene, Teflon are used. Max. 7.5 m sampling depth. Variable flow rate.
Helical rotor pump	Water sample is forced up discharge line by electrically driven rotor-stator assembly. Stainless steel, EPDM, Teflon, Viton are used. Max. 40 m sampling depth. Max. 20 l/s flow rate.
Centrifugal pump	Electrically driven impeller accelerates water within the pump body, forcing the sample up discharge line. Stainless steel, rubber, brass are used.

#### 4. 대수층 시험

대수층의 물리적 특성을 조사하기 위한 양수시험은 오염된 지하수를 처리하기 전에 미리 실시하여야 한다. 양수시험은 충분한 양수율로 장시간 실시하여 충분한 수위저하가 발생하도록 하여야 한다. 양수시험시 양수정과 관측정의 수위는 정기적으로 관측하여야 한다.

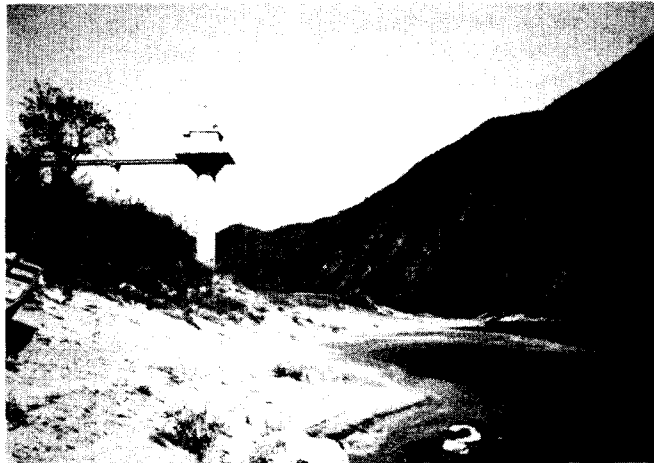
양수시험에 필요한 인력은 양수시험 기간, 관측정의 수 등에 따라서 다르다. 양수시험의 초기단계에는 관측빈도가 높기 때문에 각 관측정마다 한 사람씩 배치하여 수위관측을 하도록 하던지, 자동 수위 기록기를 설치하여 수위관측을 하여야 한다.

양수시험 기간은 대수층에 따라서 다르며, 8시간에서 5일 정도의 범위를 가진다. 이 기간동안 양수 펌프는 연속적으로 작동하여야 하며 수위변동도 관

측하여야 한다. 펌프가 정지된 후에도 양수시험 시작 전 수위로 회복되는 수위변동도 관측하여야 한다. 양수시험 기간동안 현장에 직원을 계속적으로 상주시켜야 하며 필요한 경우에는 주야간 교대로 배치하여야 한다.

#### 5. 요약

지하수 자원의 효율적인 이용과 보전을 위하여 필수적인 합리적인 수질감시를 위하여 지하수 수질 감시 사업의 계획수립 방법, 감시정 설치 방법, 지하수 수질 시료채취 방법 및 대수층 시험방법 등에 대하여 간단하게 소개하였으며, 또, 감시정 설치와 시료채취시에 필요한 장비 및 소모품 목록과, 시료 채취 장비의 종류와 특징을 소개하였다. 앞으로 지하수 관련 분야에 종사하는 분들에게 조금이라도 도움이 되었으면 하는 마음이다.



영춘

강 하류에서 바라본 영춘 TM 수위관측소(1991-10-21 KICT 촬영)  
평상시는 관측소 밑부분이 수면과 많이 떨어져 있음. 90년 홍수시 침수된 높이가 관측소의 하단부 그늘진 부분까지라고 함. 당시의 저류량이 엄청난 양이었음을 추측할 수 있음.