

제 7 장

지하수 기초조사

제 7 장 지하수 기초조사

7.1. 개 요

7.1.1. 배경 및 목적

- ☐ 지하수의 효율적이고 체계적인 개발·이용과 보전·관리를 위하여 지하수 기초조사를 통한 수문지질도의 작성 필요
- ☐ 지하수 기초조사는 건설교통부의 주관 아래 관계 행정기관, 지방자치단체 또는 지하수조사 전문기관에서 대행하여 수행할 수 있으며, 이와 같이 여러 기관에서 조사를 수행할 경우 조사항목과 성과물의 차이가 발생할 수 있음
- ☐ 이에, 지하수 기초조사의 성과물을 종합관리하고 표준화된 성과물을 일반인이 널리 사용할 수 있도록 지하수 기초조사 지침 마련

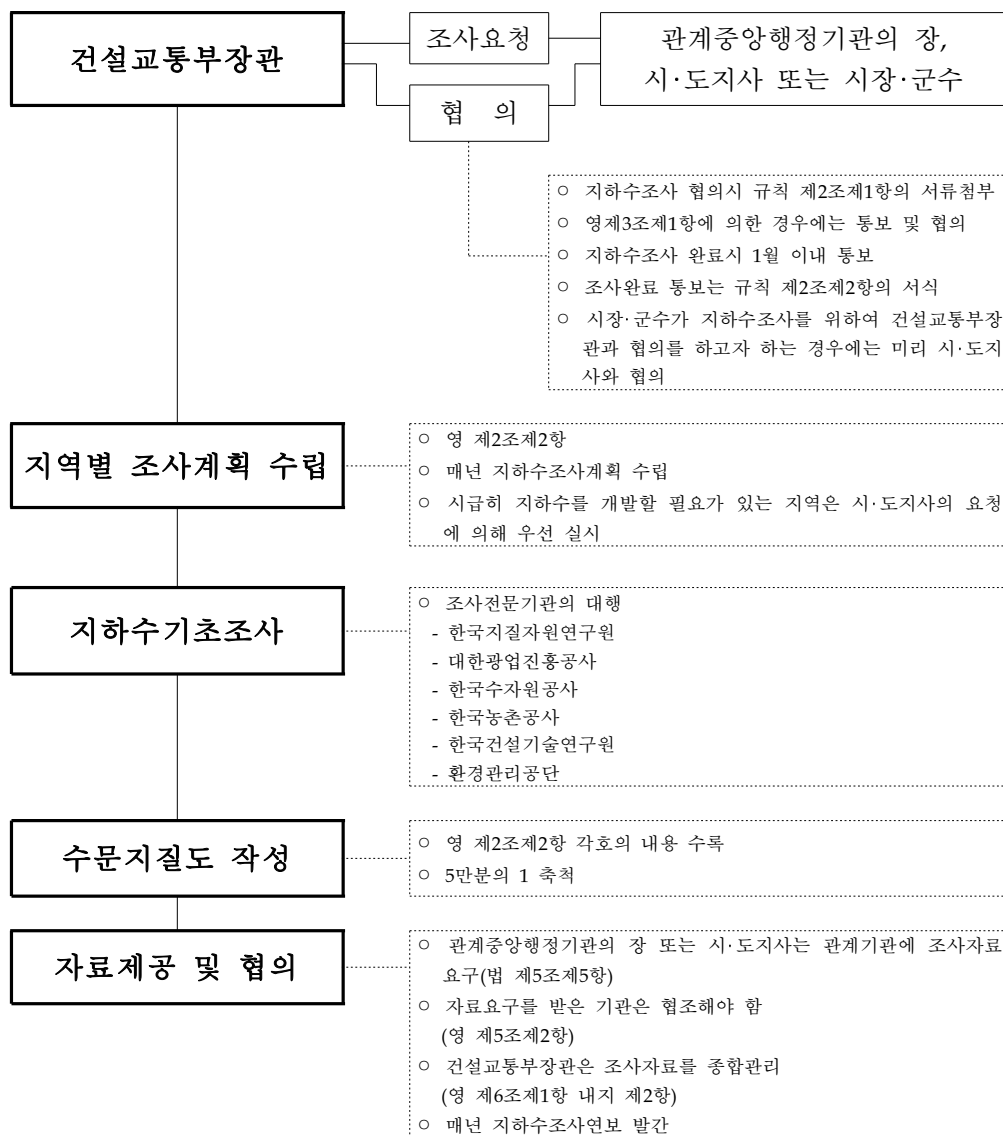
7.1.2. 적용 범위

- ☐ 건설교통부장관이 매년 수립한 지역별 지하수 기초조사 계획에 의거, 선정된 대상지역
- ☐ 지하수를 용수원으로 시급히 개발할 필요가 있는 지역으로서 시·도지사가 건설교통부장관에게 조사를 요청한 지역
- ☐ 관계중앙행정기관의 장이나 시·도지사가 지하수 관련 소관업무의 수행을 위하여 필요한 경우의 대상지역
- ☐ 상습가뭄, 기존 취수원의 취수장애, 수질 불량 등에 따른 물부족으로 지하수 개발·이용이 불가피하거나 시급한 지역 또는 지하수 개발가능량 대비 이용비율이 높거나 지하수 오염이 우려되어 개발이 제한되어야 하는 지역은 우선 실시

7.1.3. 관련법조문

- 지하수법 : 제5조(지하수의 조사)
- 시 행 령 : 제2조(지하수의 조사), 제3조(지하수조사의 협의등), 제4조(조사업무의 대행), 제5조(조사자료의 종합관리)
- 시행규칙 : 제2조(지하수조사의 협의 등), 제3조(지하수조사계획서)

7.1.4. 업무흐름도



7.1.5. 업무 수행 체계

가. 조사 주체

- ☐ 건설교통부장관은 전국의 지하수에 대하여 부존특성 및 개발가능량 등에 관한 기초적인 조사 실시
- ☐ 관계중앙행정기관의 장, 시·도지사 또는 시장·군수는 지하수와 관련된 소관업무의 수행을 위하여 필요한 때에는 지하수의 개발·이용 및 보전·관리를 위한 조사를 할 수 있음
- ☐ 조사업무의 대행
관계중앙행정기관의 장, 시·도지사 또는 시장·군수가 지하수 기초조사를 실시하고자 할 경우에는 지하수관련 조사 전문기관으로 하여금 조사업무를 대행하게 할 수 있음
 - 지하수 조사전문기관
 - 한국지질자원연구원
 - 대한광업진흥공사
 - 한국수자원공사
 - 한국농촌공사
 - 한국건설기술연구원
 - 환경관리공단
- ☐ 지하수에 관한 조사업무를 대행하는 조사전문기관은 조사를 시작하는 날부터 15일 이내에 조사계획을 시·도지사 또는 시장·군수에게 통보하여야 한다.

나. 지하수 조사의 협의 등

- ☐ 관계중앙행정기관의 장, 시·도지사 또는 시장·군수가 지하수와 관련된 소관업무의 수행을 위하여 조사를 하고자 할 경우에는 미리 건설교통부장관과 협의하거나 통보하여야 함
- ☐ 시장·군수가 지하수 조사를 위하여 건설교통부장관과 협의하고자 하는 때에는 미리 시·도지사와 협의를 거쳐야 함
 - 협의하여야 하는 경우
 - 지하수의 수위분포 조사
 - 지하수를 함유하고 있는 지층의 구조와 수리적 특성 조사
 - 지하수의 개발가능량 조사
 - 통보하여야 하는 경우
 - 상기 1)에 해당하지 않는 조사

HELP

- ✓ 사전에 협의 또는 통보함으로써 중복 조사에 의한 예산 낭비를 방지하고 조사의 효율성을 높이는데 목적이 있음

- ☐ 협의시 건설교통부장관에 제출하여야 하는 서류
 - 조사의 목적 및 내용을 기재한 서류
 - 조사하고자하는 지역의 범위 및 면적을 표시한 축척 2만5천분의 1이상의 지형도

다. 조사 완료의 통보

- ☐ 관계중앙행정기관의 장, 시·도지사 또는 시장·군수는 조사를 완료한 때에는 완료한 날로부터 1월 이내에 건설교통부장관에게 그 결과를 통보하여야 함
- ☐ 조사완료 통보는 지하수법 시행규칙 제2조제2항에 의한 별지 제1호서식의 통보서에 조사내역서 또는 용역 보고서를 첨부하여 건설교통부장관에게 제출하여야 함

HELP

- ✓ 지하수기초조사를 실시한 때에는 다음의 사항이 포함된 축척 5만분의 1(부득이한 경우 제외)의 수문지질도를 작성하여야 함
 - 지형 및 지하지질분포
 - 지하수의 수위분포
 - 지하수를 함유하고 있는 지층의 구조와 수리적 특성
 - 지하수의 수질 특성
 - 지하수의 개발가능량
 - 기타 지하수의 부존특성 등에 관한 기초적인 조사를 위하여 필요한 사항
- ✓ 수문지질도는 『지하수 기초조사 및 수문지질도 제작·관리지침』의 기준에 따라 작성하여야 함
- ✓ 첨부하여야 할 조사내역서 또는 용역 보고서에는 보고서와 수문지질도의 전산입력물(CD-ROM 또는 디스켓)이 포함되어야 함

라. 지하수 기초조사계획의 수립

- ☐ 건설교통부장관은 매년 전국의 지하수에 대한 지역별 조사계획을 수립하고 동 조사계획에 따라 기초조사를 실시
- ☐ 다만, 지하수를 용수원으로 시급히 개발할 필요가 있는 지역으로서 관계중앙행정기관의 장과 시·도지사의 요청이 있는 지역은 다른 지역에 우선하여 조사를 실시할 수 있음

마. 자료의 종합관리

- ☐ 건설교통부장관은 전국의 지하수에 관한 조사자료를 종합하여 관계행정기관에 통보하고 일반인이 활용할 수 있도록 하여야 함
- ☐ 전국의 지하수에 관한 체계적인 조사와 조사자료의 효율적인 관리를 위하여 건설교통부장관은 다음과 같은 지하수 조사자료를 종합적으로 관리하고 매년 지하수조사연보를 발행
 - 건설교통부장관이 실시한 전국 지하수에 대한 기초조사 자료
 - 관계중앙행정기관의 장이나 시·도지사가 실시한 지하수 조사자료
 - 시·도지사가 실시한 관할구역내의 지하수 이용실태조사 자료

7.1.6. 지하수 기초조사의 실시

가. 지하수 기초조사의 종류

지하수 기초조사는 조사의 성격 및 내용에 따라 광역 지하수조사와 정밀 지하수조사로 구분, 시행한다.

1) 광역 지하수조사

- ☐ 조사지역 단위
전국을 금강, 한강, 낙동강 및 섬진·영산강 유역권별로 나누어 각각 조사
- ☐ 조사기간
각 권역별로 2년~3년
- ☐ 조사성과
1:250,000 축척의 광역 수문지질 현황도를 작성, 발간하고 지하수관리 기본계획의 수정, 보완에 활용
- ☐ 권역별 조사 우선순위
지하수 이용량이 상대적으로 많으며 가뭄이 빈번하게 발생하는 지역을 우선적으로 실시(섬진강·영산강 ⇒ 낙동강 ⇒ 금강 ⇒ 한강의 순서로 실시)

2) 정밀 지하수조사

- ☐ 조사지역 단위
 - 행정구역 단위를 기본으로 함

HELP ✓ 조사지역 단위는 행정구역을 기본으로 하되 도읍과 유역을 동시에 고려하여야 함

- 해당 지역의 조사면적이 적을 때에는 조사의 효용성을 위하여 인접 시군간의 수문지질 상관성이 높은 경우 또는 기타 인접한 시군을 함께 조사해야할 필요성이 높은 경우에는 인접 시군을 병행하여 조사를 실시할 수 있음

☐ 조사기간 : 2년(1개 지역)

☐ 조사성과

지질 및 지하수위 분포, 대수층의 수리적 특성, 수질과 산출 특성을 종합적으로 조사·분석하여 1:50,000 축척의 수문지질도를 작성 발간하고 체계적인 지하수의 이용관리에 활용

☐ 지역별 조사 우선순위 결정

정밀 지하수조사는 지하수관리 기본계획에서 아래 기준에 의거 지역별 우선순위를 결정하였으며 이에 따라 조사 시행

- 조사지역의 선정기준
 - 지하수보전의 필요성이 높은 지역

HELP ✓ 지하수 개발가능량 대비 이용량 비율이 높은 지역
✓ 기타 지하수오염이 우려되어 개발제한이 필요한 지역

- 지하수개발 필요성이 높은 지역

HELP ✓ 상습 가뭄지역
✓ 용수부족지역으로서 상수도 보급율이 낮은 지역

나. 지하수 기초조사의 내용

지하수 기초조사의 조사 단계는 크게 기본현황조사, 세부조사 및 종합 분석 평가로 구분되며 각각의 세부내용은 표 7.1과 같다. 세부조사의 항목은 조사의 축척과 기존 가용 자료의 정도, 지형, 지질조건 등 대상지역의 여건에 따라 각 단계별로 적절한 조사항목을 선정, 조합하여 『7.2. 지하수 기초조사방법』에 수록된 조사 방법에 의거하여 조사를 실시하며, 각 조사 및 분석은 서로 연관하여 수행한다.

조사에 사용되는 기본도(base map)는 조사의 종류 및 정밀도에 따라 적절한 축척을 사용하되 광역 지하수조사의 경우에는 축척 1/250,000 이상, 정밀지하수조사의 경우에는 축척 1/50,000 이상의 지형도를 사용한다.

표 7.1 지하수 기초조사의 세부 내용

구 분	내 용
기본현황조사	<ul style="list-style-type: none"> · 기존자료 수집, 분석 · 용수시설 및 이용실태 조사 · 원격탐사 · 기상수문조사 · 정천현황조사 · 수질현황 및 잠재오염원조사
세부조사	<ul style="list-style-type: none"> · 지표지질조사 · 지하수위 관측 · 시추조사 · 물리검층 · 지표수 유량조사 · 지구물리탐사 · 지하수질 관측 · 착정조사 · 대수성시험 · 수문지질단위 분류
종합분석, 평가	<ul style="list-style-type: none"> · 지하수 개발가능량 분석 · 지리정보 시스템의 활용 · 수치모델 분석 · 보고서 작성

표 7.2 광역 지하수조사와 정밀 지하수조사의 비교

구 분	광역 지하수조사	정밀 지하수조사
조사성격	○ 유역단위 지하수 관리를 위한 기초조사	○ 지역(시·군)단위의 지하수 개발 및 관리를 위한 기초조사
조사방법	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존자료 수집, 분석 위주 ○ 현장조사 병행 <ul style="list-style-type: none"> - 관측조사 등 실시 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현장조사 위주 <ul style="list-style-type: none"> - 탐사, 시추, 착정 등 포함 - 관측 조사 실시 ○ 기존 자료 수집, 분석 병행
조사단위	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1개 유역권별로 년차별로 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 한강권, 낙동강권, 금강권 및 섬진·영산강권 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연차별 시행계획에 의거, 각 지역별로 실시 <ul style="list-style-type: none"> - 개발이용이 시급한 지역(물부족지역, 가뭄지역 등) - 보전관리 필요성이 높은 지역
조사기간	○ 유역권별로 2년 소요	○ 지역별 2년 소요
조사면적	<ul style="list-style-type: none"> ○ 매년 1개 유역권 범위 : 약 10,000-30,000km² 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 매년 약 3,000-4,000km² 범위 (2년에 약 6,000-8,000km²) - 1개 도엽면적 : 약 600km²
조사빈도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 매 5년마다 반복-보완조사 실시 ○ 조사성과는 전산관리 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1회 조사로 현장 조사 및 수문지질도 작성 완료 ○ 수문지질도 작성이후 제반자료를 전산관리하며 이를 토대로 도면을 수정편집토록 추진
활용분야	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하수관리 기본계획 보완시 기초자료로 활용 ○ 개발이용 및 보전 관리가 시급한 지역을 선정하여 정밀지하수조사 대상지역 등을 제시 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지역별로 지하수 탐사/개발시 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 개발가능 지역, 개발가능량 등 제시 ○ 지하수 개발허가 심의시 기본자료 제공 ○ 지역별 지하수 보전관리 정책 수립에 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 보전관리 필요지역 제시 등
성과도면	○ 광역지하수현황도(1/250,000)	○ 수문지질도(1/50,000)
발간도면수	○ 연간 1도엽	○ 연간 약 5~10도엽

표 7.3 광역 지하수조사 및 정밀 지하수조사의 주요내용

구 분	광역 지하수조사	정밀 지하수조사
주요 조사 내용	<p>1) 자료조사</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 유역권내 인문사회현황 자료 집성 ○ 유역권내 지하수 조사자료 집성 ○ 정천현황조사 ○ 오염원 현황 및 오염사례 조사(자료 조사) <p>2) 지질조사</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 지질조사(지질도분석, 원격탐사 등) ○ 지표환경분석(토양, 식생, 토지이용 등) ○ 물리탐사 <p>3) 수문조사</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 강우, 유출 관측자료 수집, 분석 ○ 하천유량 및 갈수량 측정 <p>4) 관측조사</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 관측자료 수집 및 분석 ○ 장기 지하수 수위·수질 관측 ○ 주요지점 물시료 수질분석 <p>5) 부존특성 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 유역별, 지역별 물수지 분석 ○ 유역·지역별 지하수 개발가능량 분석 <p>6) 종합평가 및 도면 작성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 지하수 유역 관리 모델 분석 ○ 지역별 지하수 부존성 평가 ○ 광역 지하수 현황도 작성 	<p>1) 자료조사</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 대상지역 지하수 자료 집성, 분석 ○ 지하수 관정실태 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 시설, 이용 등에 대한 실사 - 관정위치 측량 ○ 오염원현황 및 오염사례 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 자료조사 및 실사 병행 ○ 불용공실태 조사 <p>2) 지질조사</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 원격탐사 ○ 지표지질조사 ○ 물리탐사 ○ 시추 및 착정조사 ○ 대수성시험 및 평가 <p>3) 수문조사</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 강우, 유출 관측자료 수집, 분석 ○ 하천유량 및 갈수량 측정 <p>4) 관측조사</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 관측자료 수집 및 분석 ○ 지하수 수위·수질 장기 관측 조사 ○ 주요 지점 물시료 수질분석 <p>5) 부존특성 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 소유역별 물수지 분석 ○ 소유역 및 지역별 지하수 개발가능량 분석 <p>6) 종합평가 및 도면 작성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 지하수 모델링 및 지하수계 변화 예측분석 ○ 개발가능지점 제시 ○ 보전관리 필요지점 제시 ○ 수문지질도 작성
도면 작성 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지질분포 ○ 광역 지하수위 등고선 ○ 지하수질 분포 ○ 광역적 오염 취약성 분포 ○ 지하수 정호현황(주요 시설) ○ 관측 현황 ○ 선구조 분포 ○ 토양, 식생, 토지이용 ○ 지표수문 특성 등 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지질분포 ○ 지하수위 등고선 ○ 지하수질 분포 ○ 개발가능지점 분포 ○ 보전관리 필요지역 ○ 지하수 정호현황 ○ 관측 현황 ○ 선구조 분포 ○ 토양, 식생, 토지이용 ○ 불용공 현황 ○ 모델링 분석 결과 등

다. 지하수기초조사 성과물

- ☐ 기초조사 성과품은 보고서, 수문지질도(주도면 및 부속도면) 과 이를 전산 입력한 CD-ROM 또는 디스켓으로 한다.
- ☐ 최종성과품의 인쇄 전에 자문회의를 개최하여 관계전문가의 의견을 수렴하여야 한다.
- ☐ 수문지질도 발간 시 건교부 승인번호를 발부 받아 체계적인 도면관리를 하여야 한다.
 - 보고서 수록 내용
 - 서론
조사의 목적, 조사 방법 및 사용 기술, 조사 위치, 단계별 조사기간
 - 일반사항
인문 및 산업경제, 지형 및 수계, 기후, 식생, 토양
 - 지질
지표지질, 미고결 퇴적층, 암반, 미고결 퇴적층 및 암반간의 수리지질적 연결 관계
 - 관측된 현상에 대한 분류 및 설명
 - 현장설명(지형, 지질 등) 및 지하수의 물리화학적 특성
 - 관측현상에 대한 세부 설명 (용천, 호수, 지하수위, 수위 변동, 자분정, 지하수 유동체계의 함양 및 유출지역, 자연 식생, 토양 습윤도, 인공구조물 등)
 - 관측결과 및 현장탐사에 대한 해석
 - 수리지질학적 관측에 대한 해석 및 수치모델 적용 결과
 - 지구물리탐사에 대한 해석 및 실제 현상과 비교검토
 - 물리검층 및 지질구조에 대한 해석
 - 수질 및 동위원소 분석에 대한 해석 및 비교검토
 - 오염취약성 평가에 대한 설명
 - 종합분석 및 평가
 - 지하수 물수지 분석
 - 수문지질단위 분류 및 지하수 수역 구분
 - 지하수 부존특성 : 지하수 유동특성 및 개발가능량 분석
 - 지하수 수질특성 분석
 - 지하수 오염거동 특성 및 취약성 분석
 - 결론

- 참고문헌

- 부록

- 조사지역 위치도 : 수위/수질 관측지점 위치, 시료채취 위치, 시추 및 착정 위치, 지구물리탐사 위치, 대수성시험 지역 위치
- 수위측정 결과표
- 양수시험 결과도 및 시험결과표
- 지하수의 수질분석 결과표
- 지구물리 탐사 자료
- 물리검층 자료
- 시추 및 착정주상도
- 지표수 유량조사 결과표

○ 수문지질도 및 주제도 작성

수문지질도 및 주제도는 『지하수 기초조사 및 수문지질도 제작·관리 지침』에 의하여 작성한다.

라. 성과물 관리

☐ 도면관리

수문지질도 발간시 건설교통부 발간번호를 부여받고 『지하수 기초조사 및 수문지질도 제작·관리 지침』에 의한 체계적인 도면관리를 하여야 한다.

☐ 성과물 전산입력

본 조사의 최종 성과물은 『지하수 기초조사 및 수문지질도 제작·관리 지침』에 의하여 전산 입력하여 관리한다.

HELP

✓ 지하수 기초조사의 성과물인 수문지질도는 건설교통부와 한국수자원공사에서 개발·운영 중인 『수문지질도 제작관리 시스템』의 데이터베이스로 구축되어 운영 관리된다.

7.2. 지하수 기초조사 방법

7.2.1. 조사 지역 및 기간

조사 지역은 수리지질학적, 수문기상적인 경계조건이 단순 또는 명료하게 설정하여야 하며, 조사 기간은 수문년, 한해기, 비한해기, 다우기, 과우기 등의 주기를 고려하여 조사의 목적을 충분히 달성할 수 있는 기간으로 설정하여야 한다.

현지조사 성과 해석 시 수리지질학적 및 수문기상적으로 명확한 경계가 설정되어 있으면 양질의 해석 결과를 기대할 수 있다. 명확한 경계조건 예로는 분수령(수리지질학적으로 불투수성 구조에 의한 분수령), 하천, 호소, 해양 등을 들 수 있다.

한편, 지표수와 지하수가 반드시 연결되어 있다고는 단정할 수 없으므로 주의가 필요하다. 일반적으로 지하수위는 비한해기, 과우기에 낮으며 한해기, 다우기에 높은 년 변화를 보인다.

7.2.2. 조사 방법 및 내용

지하수 기초조사는 일반적으로 크게 기본현황조사, 세부조사 및 종합 분석 평가 단계로 구분되는데, 조사의 목적과 기존 가용 자료의 정도, 지형, 지질조건 등 대상지역의 여건에 따라 각 단계별로 적절한 조사항목을 선정, 조합하여 조사를 실시하며, 각 조사 및 분석은 서로 연관하여 수행한다.

가. 기본현황조사

조사 지역에 관하여 기존에 조사된 제반 자료를 체계적으로 수집, 정리하여 지하수계의 현상 파악을 위한 기본 자료를 제공하며, 부족한 자료를 명확히 파악하여 세부조사 계획 수립에 이용한다.

□ 기존자료 수집 분석

조사지역의 기상, 수문, 인문 사회 환경, 지형, 지질 등에 관한 기존자료를 검토하고, 해당지역에서의 지하수 이용실태를 파악한다. 조사하여야 할 주요 내용은 다음과 같다.

- 사회 경제적 요인 : 인구, 면적, 주택수, 토지이용, 경지 면적, 문화시설
- 주변지역의 지질학적 조건 및 구조 발달상태
- 지하수계의 경계와 지형학적 조건

- 관정의 제원 및 지하수위
- 오염 시설물 : 폐기물 처리시설 및 지하수 잠재오염원의 위치, 오염 물질의 종류와 양
- 기초도형자료 : 지형도, 지질도, 토양도, 토지이용도, 항공사진, 위성사진 등
- 변화예상자료 : 국토 종합개발 계획, 시설물 배치 예정도, 용수수급 계획

□ 기상수문조사

조사 대상지역 일원의 기상, 우량 및 수위관측소로부터 강우·증발산·온도 등의 기상자료, 우량, 수위 관측자료 및 기타 물수지 분석에 필요한 수문 자료들을 체계적으로 수집한다.

□ 용수 시설 및 이용실태 조사

조사 대상지역 일원에 산재한 용수 시설에 대하여 위치, 시설물 제원, 소유주, 시설 용량, 실 이용량, 수위 및 수질 등 시설 현황과 이용 실태에 관한 자료를 수원별, 이용 목적별로 체계적으로 조사, 목록화하고 그 이용 특성을 분석한다.

□ 정천현황조사

조사대상지역에 기 설치된 정호나 용천에 관한 야외현황조사단계로 물 수요량 예측, 대수층 특성, 개략적인 지하수 부존량 등을 위한 기초자료를 얻기 위해 실시한다.

○ 조사방법

- 현장실사

조사지역내에 분포하는 지하수 개발시설현황을 기존자료를 토대로 직접 조사하여 지하수 이용특성을 분석하는 방법으로 자료의 신뢰도가 높으나 지역이 넓거나 지하수시설이 많은 지역에서는 비용과 시간이 많이 소요되므로 좁은 지역의 정밀조사에 유용하며 넓은 지역에서는 다른 조사와 병행하여 실시하면 효과적이다.

- 설문조사

설문표를 만들어 조사지역 주민에게 나누어 주어 지하수 개발시설 이용자가 직접 작성한 것을 토대로 분석하여 지하수 현황을 조사하는 방법이다. 이 경우에는 넓은 지역을 빠른 기간 내에 조사할 수 있는 장점이 있으나 설문표를 작성하는 사람의 성실도에 따라 자료의 정확도가 달라질 수 있다.

- 청취조사

지하수 개발이용자를 직접 찾아가 그 정호에 대한 정보를 얻는 방법으로 현장실사의 한 방법이 될 수 있다.

- 병용조사

조사 건수가 많은 경우에 유용한 조사 방법으로 먼저 설문조사를 하고 그 결과의 필요에 따라 청취조사, 현장실사를 보충 실시한다.

○ 조사내용

정호현황카드(Well Schedule Form)를 이용하여 각 정호마다 관리현황, 위치현황, 이용현황, 시설현황, 불용공 및 수질현황 등과 같은 제반사항을 조사·기록·보관한다. 정천현황조사 시에는 『제3장 지하수영향조사·심사』 표 3.1 지하수이용실태 현장조사표를 활용할 수 있다.

○ 결과의 활용

조사의 분석결과는 기상, 기온, 지표수 현황, 인문·사회 현황, 상수도 급수현황 등과 연계하여 용도별 수요량, 물 부족량, 지하수 산출특성 및 개발 가능지점, 용도별 지하수 의존도 등의 추정이 가능하며 이 결과들을 종합하여 세부 지하수 조사 및 개발의 기초조사 자료로 쓰인다.

□ 원격탐사

항공사진, 위성영상, 지형고도자료(DEM) 등을 이용하여 지형, 지질, 토양, 식생, 수계 발달상태, 토지이용 및 잠재오염원 현황, 대형 용출수 지점 등 대상지역내 수자원과 관련된 제반 정보를 추출하여 광역적인 수리지질 특성을 파악한다.

- 기본도 : 지형기복도, 고도 분포도 등
- 토지 피복도 또는 토지 이용도
- 리니어먼트(lineament) 분석
- 식생관련 정보 추출
- 토양습도(soil moisture) 분석
- 수계(drainage pattern) 분석

□ 수질 현황 및 잠재오염원조사

조사 대상지역 일원에 걸쳐 지표수 및 지하수의 수질에 관한 기존 조사자료와 수질에 영향을 미칠 수 있는 잠재오염원 현황에 관한 자료를 체계적으로 수집, 분석한다. 특히, 잠재오염원조사의 경우 『지하수의 수질보전 등에 관한 업무처리지침(환경부, 1997)』에서 제시한 주요 오염원을 중점적으로 조사하여야 한다(『제3장 지하수영향조사·심사』 표 3.2 지하수의 잠재오염원 참조).

- 지하수의 수질에 영향을 미칠 수 있는 잠재오염원의 분포를 각 지역별로 조사, 분류하여 수질과 잠재오염원 분포와의 상관관계 분석
- 불용공 현황을 파악하고 관측정으로의 사용 가능성 파악

나. 세부 조사

기본현황조사 결과를 토대로 조사지역의 미고결 퇴적층과 암반층의 지하수 및 오염물질의 분포와 유동상태에 대한 수리지질학적 특성을 규명하여 지하수 자원의 적정개발량 및 규모, 오염된 지하수자원의 치유방법 등을 정립하기 위한 세부자료를 획득한다. 세부조사에서는 대상지역에 대한 기존 가용 자료의 정도, 조사에 따른 예산, 기간, 투입인력 등을 감안하여 간접적으로 수리지질학적 특성을 예측하는 조사 방법과 직접적으로 수리지질학적 특성 자료를 획득할 수 있는 조사방법을 적절히 조합하여 이용한다.

세부조사의 방법에는 지표지질 조사, 지구물리 탐사, 물리 검층과 같은 간접 조사 방법과 수위 관측, 수질 관측, 시추조사, 착정조사, 대수성시험 등과 같은 직접조사 방법이 있으며 그 외에 지표수 유량조사 등이 있다.

□ 지표지질 조사

○ 조사내용

지표지질 조사는 조사지역의 지질조건과 조사지역에 존재하는 대수층 내 지 균열대의 특성 및 발달 상태를 파악하고 그 내용을 지형도에 표시한다. 지표 지질 조사의 세부내용을 요약하면 다음과 같다.

- 충적층을 포함한 미고결 퇴적층의 수평/수직 분포, 퇴적물의 종류 및 입자 크기와 분급상태 등을 조사하여 천부 대수층의 분포 및 지하수의 유동방향, 대수층의 수리상수 등을 간접적으로 예측한다. 천부 대수층의 경우 지형학적으로 확연히 구별되는 지역 중 대표성이 인정되는 곳에서 표토층을 제거하고 투수계수 판정을 위한 입도시험과 필요한 실내토질시험을 실시할 수 있는 충분한 양의 시료를 채취한다.
- 암석층들의 분포 및 연속성, 암상 및 입자 크기와 분급상태, 지층들의 층서적 관계, 단층, 절리 및 기타 균열의 발달상태(분포 및 방향성, 간격, 풍화정도, 이차 충전물의 종류) 등을 조사하여 심부 암반 대수층의 분포 및 지하수의 유동방향, 대수층의 수리상수 등을 예측한다. 특히 암반 대수층은 절리, 파쇄대, 단층 등의 균열대의 발달 상태에 따라 매우 불규칙한 수리적 특성을 나타내므로 상기한 지표지질 조사 결과는 균열체계의 기하학적 분포특성에 따른 수리인자의 불규칙한 분포, 균열의 폭, 크기, 상호 연결 정도 및 균열면의 접촉 면적 변화에 따른 지하수 유동로의 복잡성 등에 관한 정보를 제공한다.
- 미고결 퇴적층과 암석층의 지질, 수리지질학적 연관관계를 지표지질 조사 결과로부터 해석하여, 각 대수층의 특성(자유면/피압/누수 대수층 등)을 밝히고 미고결 퇴적층 지하수의 암반 대수층으로의 유입(충진)

가능성 정도를 예측한다.

- 불투수성 기반암의 수평/수직 분포를 조사하여, 광역적인 지하수 유동의 경계를 규명한다.

○ 조사결과의 활용

이상의 지표지질 조사결과 밝힌 조사지역의 지질 조건과 수리적 특성은 후속 현장조사 및 조사결과 해석 등에 다음과 같은 중요한 정보를 제공한다.

- 미고결 퇴적층과 암반층의 경계 규명을 위한 지구물리 탐사방법의 종류 및 탐사 위치 선정
- 공극율, 균열대의 위치(수직 분포) 등을 밝히기 위한 적절한 물리검층 방법의 선정
- 지질조건, 대수층의 수평/수직 분포 등에 따른 시추방법 및 위치 선정
- 대수층의 수평/수직분포 등에 따른 정호 위치 및 심도 결정
- 대수층의 수리적 특성을 밝히기 위한 시험정 및 관측정의 개수 및 위치 선정
- 조사지역의 수리지질학적 특성(공극의 종류, 균열발달 상태 등)에 의한 초기 수문지질 단위의 설정
- 수치해석을 위한 3차원 초기모델 및 초기입력 자료 선정

□ 지구물리탐사

○ 지구물리탐사의 목적

지표하부에서의 미고결퇴적물의 두께, 지하수면의 깊이, 파쇄대 구간의 위치, 기반암심도 등을 조사하여, ①지하수의 충전경로인 불포화대의 수평/수직 방향의 분포와 연장성, ②미고결 및 암반 대수층의 수평/수직 방향의 분포와 연장성, ③지하수의 유동을 차단하는 불투수층 및 지질구조의 수평/수직 방향의 분포와 연장성 등을 간접적으로 예측하기 위하여 실시한다.

○ 지구물리탐사의 특성

지구물리 탐사는 비용이 비교적 적게 들지만, 먼저 모든 수리지질학적인 조사를 통하여 조사목표를 정확하게 설정하고 각 방법의 특성을 살려서 적절한 정보를 얻을 수 있도록 가장 적절한 조사방법으로 설계되어야 한다. 또한 지구물리 탐사자료는 간접적인 증거만을 제시하므로, 결과를 해석할 때에는 검층자료 또는 시험시추 자료 같은 직접적인 증거자료와 비교 해석하여야 한다.

○ 지구물리탐사의 종류

지하수 조사에 사용할 수 있는 지구물리탐사법의 종류와 적용 대상 및 적용 한계는 다음 표 7.4와 같다.

표 7.4 지구물리탐사법의 종류와 적용 대상 및 적용 한계

구 분	대비물성	적용대상	가탐범위	적 용 한 계
자연 전위 탐사	산화전위, 수소이온농도, 전기전도도	공극내의 지하수 유동	수십m	비저항치가 매우 큰 지역
전기비저항 탐사	전기전도도	대수층, 파쇄대	수m~수백m	지표의 전기 비저항치가 높을 경우
전자 탐사	전기전도도	천부지층 경계, 파쇄대	20m~50m	인위적인 전자기적 잡음이 예상되는 지역
시추공 레이더 탐사	유전율, 전기전도도	지층경계, 파쇄대, 지하공동	약 100m	지하매질의 전기전도도가 매우 높을 경우
지표 레이더 탐사	유전율, 전기전도도	지층경계, 파쇄대, 지하공동	수십m	지하매질의 전기전도도가 매우 높을 경우
탄성과 굴절법 탐사	탄성계수, 밀도	기반암의 심도, 파쇄대, 지하공동	탐사재원 및 지층구조에 좌우	하부층의 탄성과 속도가 상부층에 비해 점진적으로 증가하는 경우
중력 탐사	밀도	광역지질구조	무제한 (이론적)	소규모 구조 파악
방사능 탐사	방사능 원소의 함량	지표지질, 암상경계	암석상부 50cm	항공탐사시 탐사고도를 낮게 유지하지 못할 경우

□ 지하수위 조사

○ 조사목적

지하수위조사는 지하수조사에 있어 가장 기초가 되는 조사로서 지하수의 공간적 분포와 시간적인 변화를 주기적으로 관측하고 관측자료를 정리하여 ①지하수의 부존상태, ②지하수의 수평/수직 유동방향, ③지하수위 변동요인 등을 밝히기 위하여 수행한다.

○ 지하수위 측정방법

지하수위 측정에 있어 가장 선행되어야 할 일은 지하수위를 측정하고자 하는 우물(이하 “관측정”이라 한다)에 측정기준점(M.P. ; measuring point)을 설정하는 것으로서 일반적으로 케이싱의 최상부에 설정, 표시한다. 모든 지하수위 측정이 이 점을 기준으로 실시되므로 측정 기준점에 대해서는 측량을 하거나 1/5,000이상의 대축척의 지형도를 이용하여 좌표 및 표고를 파악, 기록하여 두어야 한다. 지하수위 측정 방법은 인력에 의한 측정과 자기 수위계를 이용한 측정으로 대별할 수 있는 데, 이들에 대하여는 “제5장 지하수관측망 설치 및 운영”에서 상술한 바 있다.

○ 단기일제조사

- 목 적

단기간에 넓은 지역을 대상으로 일제히 수위 관측을 실시함으로써 그 지역의 지하수체의 부존 상황이나 지하수의 거동 상태를 파악하기 위한 조사 방법을 말하며, 지하수 물수지의 파악, 지하수 오염의 경로 추적, 건설공사시 지하수로 인한 영향의 예측 등을 하고자 할 때 많이 실시된다.

- 결과의 활용

수위측정 결과를 정리하여 지하수위 등고선도(Ground water Table Contour Map, Potentiometric Surface Map)를 작성함으로써 지하수체의 연속 상황을 규명하는 동시에 지하수면의 경사에서 지하수의 흐름 방향을 판정할 수 있다. 또한 지하수위 등고선도를 토대로 유선망(Flow nets)을 작성하고 흐름의 패턴을 해석할 수 있으며, 필요한 자료가 얻어지면 유선망에서 투수계수를 유도하는 것도 가능하다.

- 관측지점의 선정

- 지하수위 조사를 위한 관측지점으로는 시추 또는 착정 등을 실시하여 전용 관측정을 만들거나 기존 정호를 관측정으로 활용한다.
- 기존 정호를 활용하는 경우에는 대상 위치에 존재하는 정호를 선택하여야 하며 우물의 바닥에 충분한 담수 깊이가 있으며, 일시적으로 고인 물인지 여부를 확인한다.
- 지하수위 등고선도를 일정한 정밀도로 작성하려고 할 경우에는 관측지점은 가능한 한 등분포하도록 선정하여야 한다. 또한 각 관측지점을 직선으로 연결하여 얻어지는 삼각형의 형태가 정삼각형에 가깝도록 관측지점을 배치하는 것이 이상적이다.
- 관측지점의 수는 많을수록 좋으나 조사 축척과 지하수위 측정에 소요되는 인력, 시간, 비용, 능률 등을 고려하여 결정하여야 한다.

- 관측방법

- 지하수위 관측은 가급적 단시간 내(1주일 이내)에 관측을 완료하여야 한다. 만일 기간이 길어지는 경우에는 지역 내의 어떤 지점에서 순서에 따라 범위를 넓혀가는 방법을 취하여 적어도 인접한 관측 지점 사이에는 수위 측정 시각에 큰 차를 일으키지 않도록 하여야 한다.
- 조사기간 중에 수위에 영향을 주는 강우가 있었을 경우에는 그 조사 성과의 신뢰도가 매우 낮아지므로, 일반적으로 수일간 무강우가 계속되어 대상 지역 대수층 전체의 수위가 비교적 안정된 시기에 수위조사를 실시한다.

- 측정

- 지형도상에 관측지점의 위치를 정확히 기입하고 정호의 제원을 조사용 카드(표 7.5)에 기재하며 정호의 표고를 파악한다.
- 수위 측정의 기준점을 정한다. 통상 케이싱의 최상부 등 측정하기 편한 위치에 있으며 고정된 장소를 선택한다. 지표면에서 기준점까지의 높이를 측정하여 카드에 기입하고 기준점에는 페인트 등으로 표시를 하여 다시 조사할 때 오류가 발생하지 않도록 한다. 기준점에 대해서는 가능하면 측량을 실시한다.
- 최초로 수위를 측정하고 지하수면의 표고(G.W.L)를 산정한다.

표 7.5 지하수위 조사용 카드의 예

[illegible]

- 조사 결과의 정리와 해석

- 지하수위 등고선도를 작성한다. 관측지점끼리 직선으로 양 지점의 지하수면 표고의 차이를 거리를 기초로 비례배분하여 등고선을 이 선상에 교차시킨다.
- 지하수는 지하수위 등고선에 직교하는 방향, 즉 수리구배가 최대인 방향으로 발생한다. 따라서 지하수위 등고선도에서 능선 형태로 표현되는 부분은 지하수가 주변의 낮은 부분으로 발산되는 것을 의미하며, 반대로 골짜기 모양을 나타내는 부분은 주변의 지하수가 집중되는 것을 의미한다.
- 지하수위의 변동실태를 파악하기 위해서는 단기 일제조사를 여러 회 실시하는 것이 필요하며, 수위가 상승하는 계절과 하강하는 계절로 나누어 2회의 조사 결과를 대조시켜 검토하여야 한다.

○ 장기계속조사

- 목 적

지하수위의 변동사항을 연속적으로 관측함으로써 물수지 분석, 지하의 저류량이나 함양 기구의 변화를 추적하기 위하여 실시한다.

- 조사 방법

조사를 위한 전용관측망을 설정하고 자동관측장비를 이용한다.

- 관측망 설정

- 조사지역내에서 대표성을 가진 정호를 선정한다. 조사대상 정호는 가능한 한 전지역에 고루 분포하도록 선정하여야 하며, 측량을 하거나 1/5,000이상의 대축척의 지형도를 이용하여 좌표 및 표고를 파악한다.
- 관측정은 관측용 정호를 신설하거나 기존 정호를 활용한다. 기존 정호를 이용하는 경우에는 정호구조, 주변지질 특성, 시추자료 등을 파악해 둔다.
- 관측정의 구경은 관측기기의 크기에 따라 결정한다. 특히 부자식 수위계를 설치하는 경우에는 부자가 공벽에 닿지 않도록 충분한 구경을 확보하며, 아울러 우물의 수직도 유지에 만전을 기한다.
- 관측정의 대수층 위치를 파악하여 적정지점에 스트레나(스크린)를 설치한다. 또한, 관측대상 이외의 대수층에서 지하수가 유입되지 못하도록 패커를 설치하고 그라우팅을 실시한다.
- 관측정내의 이수나 슬라임을 충분히 제거한 후 일정수위가 회복되면 관측을 시작한다.

- 자동관측기의 설치 및 관리

비, 바람, 습기 등으로부터 기계를 보호하고, 도난 또는 외부인의 무단 조작에 의한 결측 및 오측 발생에 대하여 주의를 기울여야 한다. 또한 자동관측기는 시간이 지나면서 계측치의 오차가 커지는 현상(Drift)을 나타내므로 주기적인 점검과 계기의 재조정(Recalibration)을 실시하여 정확한 관측치를 얻는다.

- 조사 결과의 정리와 해석

장기 계속조사의 결과는 지하수위 변동곡선으로 정리하여 수위 변동의 요인을 분석하는데 이용된다. 지하수위의 변동을 일으키는 주요 요인은 다음 표 7.6과 같다.

표 7.6 지하수위 변동을 야기하는 요인

구 분	대수층 종류		발생원인		영 향 기 간				기후의 영향
	자유면	피압	자연적	인위적	단기	일간	계절	장기	
지하수 함양(지하수면으로의 침투)	✓		✓				✓		✓
증발산 작용 및 식물의 소비	✓		✓			✓			✓
하천 수위 변화	✓		✓				✓		✓
조석 간만	✓	✓	✓			✓			
대기압 변화	✓	✓	✓			✓			✓
외부 하중		✓		✓	✓				
지진	✓	✓	✓		✓				
지하수 채수	✓	✓		✓				✓	
인공 함양	심정주입	✓		✓				✓	
	지표살수	✓		✓				✓	
농업용 관개/배수	✓			✓				✓	✓
사면, 터널 등에서 의 배수 처리	✓			✓				✓	

□ 지하수 수질조사

○ 조사목적

지하수 수질조사는 지하수의 물리, 화학적 특성을 조사하고 시·공간적 분포를 관측함으로써 ①지하수의 수질특성 및 진화, ②지하수오염실태, ③지하수 오염원의 특성 등을 밝혀 지하수계의 특성 파악과 지하수자원의 보전 및 관리의 기초자료를 제공하기 위하여 수행한다.

○ 지하수수질 관측정의 선정

지하수 수질관측정은 ①정천현황조사 결과를 토대로 조사지역내에 분포

지질을 대표하는 지점, ②타용수자원이 대수층으로 유입되거나 대수층의 지하수가 유출되는 지점, ③수질현황 및 잠재오염원조사결과 지하수의 수질오염이 예상되는 지점을 대상으로 선정한다.

○ 시료의 채취

지하수 수질조사를 위한 시료의 채취는 “지하수 수질보전 등에 관한 업무처리지침(1997. 10, 환경부)”에 규정된 방법을 따른다. 한편, 채취된 시료는 정확한 분석을 위하여 수질오염 공정시험방법 중 시료의 보존방법(표 7.7)에 따라 보관한다.

○ 수질분석

수질 분석은 수질오염공정시험방법에 의한다. 한편, 수질조사 항목 중에는 현장에서 시료채취 후 즉시 측정하여야 하는 항목이 있으며 이들의 수질항목과 측정방법은 다음과 같다.

- 수온

수온은 금속 또는 반도체의 전기저항이 온도 변화에 따라 변화하는 성질을 이용한 써미스터(Thermistor) 또는 KSB 5316 유리제 수온 막대온도계를 이용하여 측정한다.

- 전기전도도(EC ; Electrical conductivity)

전기전도도는 용액이 전류를 운반할 수 있는 정도를 말하며, 용액중의 이온세기를 신속하게 평가할 수 있는 항목으로서 전기저항의 역수인 ohm^{-1} 또는 mho로 표현하나 현재는 국제적으로 S(Siemens) 단위가 통용된다. 측정결과는 전기전도도 값에 셀정수(cm^{-1})를 곱하여 시료의 비전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$)로 표기하며, 개략적인 비전도도의 범위는 다음과 같다.

- 증류수 : 0.5 ~ 5.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 강수 : 5.0 ~ 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 담수지하수 : 30 ~ 2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 해수 : 45,000 ~ 55,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 염수 : >100,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

한편, 물에 녹아 있는 고형물질의 총량을 의미하는 TDS (Total Dissolved solids)와 전기전도도 사이에는 다음과 같은 관계가 성립됨이 경험적으로 알려져 있다.

$$\text{TDS}(\text{mg}/\ell) = 0.55 \sim 0.75 \times \text{EC} (\mu\text{S}/\text{cm})$$

전기전도도는 온도차에 의한 영향(약 2%/℃)이 크므로 측정결과치의 통일을 기하기 위하여 25℃의 값으로 환산하여 기록한다.

표 7.7 시료의 보존 방법

측 정 항 목	시 료 용 기	보 존 방 법	최대보존기간 (권장보존기간)
온도	P, G	-	즉시 측정
수소이온농도	P, G	-	즉시 측정
용존산소		-	
전극법	BOD병		즉시 측정
윙클러법	BOD병	현장에서 용존산소 고정 후 암소보관	8시간
BOD	P, G	4℃ 보관	48시간(6시간)
COD	P, G	4℃, H ₂ SO ₄ 로 pH 2 이하	28일(7일)
색도	P, G	4℃ 보관	48시간
부유물질	P, G	4℃ 보관	7일
염소이온	P, G		28일
노말핵산 추출물질	G	4℃, H ₂ SO ₄ 로 pH 2 이하	28일
암모니아성 질소	P, G	4℃, H ₂ SO ₄ 로 pH 2 이하	28일(7일)
아질산성 질소	P, G	4℃ 보관	48시간(즉시)
질산성 질소	P, G	4℃ 보관	48시간
총 질소	P, G	4℃, H ₂ SO ₄ 로 pH 2 이하	28일(7일)
인산염인	P, G	즉시 여과 후 4℃ 보관	48시간
총 인	P, G	4℃, H ₂ SO ₄ 로 pH 2 이하	28일
페놀류	G	4℃ 보관, H ₃ PO ₄ 로 pH 4 이하	28일
시안	P, G	조정 후 CuSO ₄ 1g/ℓ 첨가 4℃ 보관, NaOH로 pH 12 이상	14일(24시간)
불소	P		28일
6가크롬	P, G	4℃ 보관	24시간
크롬	P, G	c-HNO ₃ 2ml/ℓ	6개월
아연	P, G	c-HNO ₃ 2ml/ℓ	6개월
구리	P, G	c-HNO ₃ 2ml/ℓ	6개월
카드뮴	P, G	c-HNO ₃ 2ml/ℓ	6개월
납	P, G	c-HNO ₃ 2ml/ℓ	6개월
망간	P, G	c-HNO ₃ 2ml/ℓ	6개월
비소	P, G	c-HNO ₃ 2ml/ℓ	6개월
니켈	P, G	c-HNO ₃ 2ml/ℓ	6개월
철	P, G	c-HNO ₃ 2ml/ℓ	6개월
수은	P, G	c-HNO ₃ 2ml/ℓ	1개월
알킬수은	P, G	c-HNO ₃ 2ml/ℓ	1개월
유기인	G	4℃ 보관, HCl로 pH 5~9	7일(추출 후 40일)
PCB	G	4℃ 보관, HCl로 pH 5~9	7일(추출 후 40일)
음이온계면활성제	P, G	4℃ 보관	48시간
대장균군	P, G	4℃ 암소 보관	6시간
클로로필a	P, G	GF/C 여과 후 -20℃ 보관	7일

* P : Polyethylene, G : Glass

자료) 수질오염공정시험방법(환경부 고시 제91-85호)

- 수소이온농도(pH)

수소이온농도(pH) 측정에는 유리전극과 비교전극으로 구성되어 양전극간에 생성되는 기전력의 차를 이용한 유리전극법(복합전극법) pH미터 또는 비색세트를 이용한다. pH미터는 임의의 한 종류의 pH 표준액에 대하여 검출부를 물로 잘 씻은 다음 5회 되풀이하여 pH를 측정했을 때 그 재현성이 ± 0.05 이내의 것을 써야하며, 25℃에서의 pH 값으로 환산하여야 한다.

- 산화-환원 포텐셜(Redox Potential, Eh)

산화-환원 포텐셜은 물이 용존성분들을 산화 또는 환원하려는 경향을 측정하는 것이다. Eh 측정기기는 백금 또는 금으로 된 불활성의 금속 전극과 일정한 포텐셜을 가진 전극간의 포텐셜의 차이를 측정하는 것이며 측정치는 milli-volt로 나타낸다.

- 용존산소(DO), 기타 용존 가스

용존 산소는 격막전극법에 의한 측정기를 이용하여 현장에서 채수 후 즉시 측정한다. 기타 CO₂, CO₃, HCO₃, H₂S와 같은 용존 가스 성분은 적정법을 이용하여 현장에서 분석하여야 한다.

○ 수질조사 주기

조사지역의 특성과 목적에 따라 적정한 주기로 실시하되 기본분석항목과 지하수의 주요성분은 1년 이상에 걸쳐 풍수기와 갈수기 또는 계절별로 물 시료를 채취, 분석하여 각 기간별 수질특성을 평가한다.

○ 조사결과의 정리

수질조사 결과는 조사 목적에 따라 필요한 처리·해석을 실시하여 수질시험결과표, 수질 변동도, 수질 분포도 등의 유형으로 정리한다(표 7.8).

표 7.8 수질조사결과의 정리

구 분	내 용
수질시험결과표	시험항목, 시험방법, 채수위치, 채수일, 심도 등을 기록
수질변동도	수질의 시간적(또는 계절적) 변화를 지형도 또는 그래프에 기록
수질분포도	수질의 수평/수직적 분포를 표시
도식적 표현 (Diagram)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농도의 표현 Bar graph, Vector diagram, Pattern(Hexa) diagram ○ 이온의 조성비율의 표현 Tri-linear diagram(Piper diagram) 등

수질시험 결과표에는 시험 항목, 시험 방법, 채수 위치, 채수일, 심도 등 채수지점에 관한 사항, 수질시험 결과치 등을 기록하고, 필요한 경우에는 각 항목별 수질 기준치를 병기한다. 이와 아울러 수질시험 결과표와 대응할 수 있도록 적당한 축척의 지형도에 채수 지점을 표시한 채수 지점 위치도를 작성해 두는 것이 바람직하다. 또한, 염수화의 문제, 지하수 오염조사 등의 경우에는 측정 항목별 농도 분포를 등농도선도로 표시하여 수평 및 수직적인 수질 분포도를 작성하고, 수질의 계절적인 변동, 지하수 추적조사 등 수질의 경시적 변화를 해석하는 경우에는 측정 항목별로 그래프로 표시한 수질 변동도를 작성한다.

한편, 여러 성분에 대한 수질 분석 결과를 단순히 표로만 표시할 경우에는 이해가 어려우므로 주요 성분의 분석치를 도식적으로 표현하여 해석한다. 사용하는 분석 값은 대부분의 경우 meq/ℓ (epm) 단위를 이용하며, 표현의 방법으로는 각 이온의 농도에 의한 것과 각 이온의 퍼센트 조성에 의한 것이 있다. 어느 경우든 간에 일반적으로 다음과 같이 양이온과 음이온을 각각의 3성분계로 취급한다.

· 양이온 : $\text{Na}+\text{K}(+\text{NH}_4)$, Ca, Mg 또는 $\text{Na}+\text{K}$, $\text{Ca}+\text{Mg}$, $\text{Fe}+\text{Mn}$

· 음이온 : HCO_3 , Cl, $\text{SO}_4(+\text{NO}_3)$

농도에 의한 표현법으로는 Bar graph, Vector diagram, Pattern diagram 등이 있으며, 퍼센트 조성에 의한 표현법으로는 Tri-linear diagram 등이 있다.

□ 시추조사

○ 조사목적

시추조사는 직접적이고 정확한 수리지질학적 정보를 얻을 수 있는 방법으로 시추 과정 중에 얻어지는 정보 또는 시추 후 채취한 시료를 분석하여 ①대수층의 성질 및 수직 발달 상황, ②절리 및 파쇄대 등 지질구조의 발달상황, ③지하수위의 심도 등을 파악한다.

○ 조사방법

- 조사목적, 예상 지질조건, 필요한 자료의 정도 등에 따라서 달라지므로 소기의 목적을 달성할 수 있도록 심도 및 굴착방법 등을 적절히 결정하여야 한다.
- 시추공의 구경은 N규격(외경 76mm)을 원칙으로 하며 채취된 토양시료 및 코아는 공변, 심도, 위치, 일자, 채취자, 사업명 등을 기록한 코아상자에 정렬하여 암추감정 후 천연색 사진으로 촬영하여 사진첩에 보관한다. 채취된 코아는 코아상자에 정렬하여 보관하는 것을 원칙으로 하며,

부득이한 사정으로 보관이 불가능한 경우에는 감정 후 처리한다.

- 토양층의 경우 1.5m간격 또는 지층이 변하는 곳에서 KSF 2318 규정에 의하여 표준 관입시험을 실시하고 지층변화 구간의 시료에 대하여는 입도 분석 및 액성·소성한계 시험을 실시한다.
- 암반층의 경우 암질의 변화, 파쇄대의 발달 등 지질여건을 감안하여 Single 또는 double packer system을 사용하여 상향식 또는 하향식으로 구간별로 Lugeon Test를 실시하여 투수성을 평가한다.
- 시추결과는 시추주상도로 작성하며 현장명, 공번호, 좌표, 표고, 공내 자연수위, 천공방법, 케이싱 설치심도, 지층의 Graphic symbol, 심도별 지층상태 및 시료에 대한 설명을 기입한다. 또한, 코아회수율, RQD, 절리의 발달상태, 불연속면의 발달상태, 간격, 충전물, 지하수 유동흔적 등을 기재하여야 한다.

□ 착정 조사

○ 조사목적

지표지질조사, 시추조사, 지구물리탐사, 정천현황조사 결과를 토대로 대표성이 인정되는 지점에 대하여 수리특성 파악을 위한 착정조사를 실시한다.

○ 착정 구경 및 심도

구경은 양수시험이 가능한 규모로 하며 심도는 현장 여건에 따라 정하되 미고결 퇴적층 지하수 정호는 미고결 퇴적층을 완전히 관통하도록 설치하고, 암반 지하수 정호는 반드시 풍화대 하부의 신선한 암반 심도에 설치하는 것을 원칙으로 한다.

○ 설치기준

지하수의 수질보전 등에 관한 규칙 제2조의 규정에 의한 지하수오염방지시설의 설치기준에 준하여 정호를 설치하여야 한다.

○ 굴착방법

굴착방법에는 Cable Tool, 회전식 방법, 충격식 방법, 분사식방법, 오거링 방법 등이 있으며 대상지역의 분포지질, 정호의 구경 및 예상심도 등을 고려하여 가장 효율적인 굴착방법을 선택한다.

○ 결과의 정리

착정결과는 착정주상도로 작성하며 현장명, 공번호, 좌표, 표고, 자연수위, 천공방법, 케이싱 설치심도, 지층의 Graphic symbol, 심도별 지층상태 및 시료에 대한 설명을 기입한다.

□ 물리 검층

○ 조사목적

물리검층이란 시추공 또는 우물 내부에 검층기를 투입, 하강 또는 상승 시키면서 지하 내부의 물리적, 화학적 성질의 변화를 심도에 따라 연속적으로 측정하는 방법으로 ①공극율과 투수성이 높은 구역, ②대수층 내에서 지하수의 전도성 광물의 함량, ③시추공이 통과하는 암석의 종류와 두께, ④파쇄대의 분포 및 연장성, ⑤층서의 상관관계, ⑥지하수의 유동 등을 확인하기 위하여 수행한다.

○ 조사방법

물리검층은 한 가지 방법만으로 수행하지 않고 여러 가지를 동시에 수행하는 것인 일반적이다. 이런 방법들은 대체로 상호 보완적인 역할을 하므로, 검층결과는 여러 종류의 검층표에 근거하며 해석한다. 물리검층의 종류별 설명은 표 7.9에 수록하였다.

○ 결과의 정리

물리검층의 결과는 물리 검층표의 형태로 도시하고 지층의 암상 변화, 균열대의 양상, 상대적인 투수성, 지하수의 유동 방향과 속도, 수질의 수직적 변화 등에 대해 특성을 파악하여야 한다.

표 7.9 물리검층의 종류별 세부 내용

구 분	대비물성	적용대상	가탐범위	적용한계
공경검층	공경	동굴현상, 절리 및 층리의 형태		
자연전위 검 층	자연전위	지층의 두께, 공극, 투수성	공벽으로부터 수-수십 cm	물이 없거나, 케이싱이 설치된 공에는 적용 불가능
비저항 검 층	전기비저항	암상, 공극, 지하수의 전도성광물의 함량	공벽으로부터 수 cm 이내	물이 없거나, 케이싱이 설치된 공에는 적용 불가능
자연감마선 검 층	감마선의 양	세일층의 두께	검출기를 중심으로 하는 구의 반경	대부분의 공에 적용가능
밀도검층	지층 밀도	암상, 파쇄대	공벽으로부터 최대 15 cm	철제 케이싱이 설치된 공에는 적용 불가능
중성자검층	공극률	공극률, 암상	공벽으로부터 최대 60 cm	철제 케이싱이 설치된 공에는 적용 불가능
음파주사 검 층	음향반향율	균열의 연장, 방향, 크기	시추공 벽면	물이 없는 공에는 적용 불가능
시추공 내시경검층	영상	파쇄대의 존재와 방향성, 시추공의 상태	시추공 벽면	공내수가 안정되고 청정한 경우에만 적용가능
온도검층	온도	지하수의 유입, 유출	-18°C~175°C	물이 없는 공에는 적용 불가능

□ 대수성시험

○ 시험목적

대수성시험은 시험정 및 관측정에서 측정된 수위 및 수질변화 자료를 해석하여 대수층 및 균열대의 수리상수(수리전도도, 저류계수, 투수량계수 등), 대수층의 경계 조건, 대수층의 누수 여부 등을 밝히기 위하여 수행한다.

○ 대수성시험의 종류

대수성시험은 양수 실시 여부, 관측정의 설치여부, 일정 양수유인지 여부 등의 조건에 의하여 양수시험, 단계양수시험, 순간수위변화시험 등으로 구분되며, 양수시험 결과의 검증을 위하여 수위회복시험을 실시할 수 있다.

○ 양수시험

착정조사시 설치된 정호 또는 기존 정호를 시험정으로 양수시험을 실시하여 대수층의 수리특성 (수리전도도, 투수량계수, 저류계수, 비양수량 등) 및 정호특성을 분석한다. 동 시험시 인근에 기존 정호가 있는 경우에는 이를 관측정으로 활용하여 수위변화를 함께 측정, 분석한다. 대수층의 특성(자유면/피압 대수층, 미고결층/암반층), 우물의 심도, 경계면의 분포, 우물의 형태 및 조건(우물저장효과, 스킨효과, 스크린구간) 등에 따라 분석방법이 달라지므로 각 분석법을 이용할 때는 분석법에 대한 조건 및 가정에 대해 세심한 주의가 필요하다. 양수시험 결과는 양수시험 결과도, 시험결과표, 해석방법 등에 대해 보고서에 수록하여야 한다.

- 양수시험 일반

- 양수정과 관측정을 설치하고, 양수정에서의 지하수 배출로 인한 관측정에서의 수위변화를 측정하고, 이들로부터 수리상수를 계산한다.
- 양수시험 실시시간은 피압대수층의 경우 대체로 24시간이상이면 충분한 자료를 얻을 수 있으나, 자유면 대수층의 경우에는 충분한 양의 배수를 위하여 3일 이상의 시간이 요구되는 경우도 있다.
- 양수시험시 측정하는 사항은 양수전의 자연수위, 양수 시작과 종료 시간, 양수량, 양수 중의 일정시간별 수위, 양수량 변화시간 등이다.
- 양수시험시 양수되는 수량은 V-Notch, 유량계 등 유량측정장치로 점검하고, 양수정 및 관측정에서 수위변화를 계속 측정, 기록한다.
- 양수시험동안 양수된 지하수가 주변을 통하여 지하로 재유입되지 않도록 각별히 주의한다.
- 양수시험 도중에 펌프의 고장 등으로 시험이 중단된 경우에는 수

위가 원래의 상태로 완전히 회복된 후 처음부터 다시 양수시험을 실시하여야 한다.

- 양수시험을 위해 필요한 장비는 수위측정기, 수위기록대장, 유량측정장비 등이며, 관측요원 및 보조인부가 측정하며 기록한다.

- 양수시험의 순서

- 양수정 굴착이 완료된 후, 양수시험을 실시하기 전에 착정시의 지하수 산출상태에 대한 정보를 이용하여 양수량과 수위강하량의 상관관계를 개략적으로 파악한 후 양수펌프의 규모를 결정한다.
- 시험양수량을 결정하여 제반 양수시험용 장비를 설치한 후 펌프, 수위측정장비 등을 가동하여 시험을 시작한다.
- 양수시험 중에는 V-Notch에서의 일류수심 측정, 유량계의 확인 등을 통하여 일정 양수량으로 양수되고 있는지를 계속 관찰한다.
- 양수시험동안의 양수정 및 관측정에서의 지하수위 강하량을 일정한 시간간격에 따라 측정한다. 한편 먹는물관리법 시행규칙 제5조의 환경영향조사에서의 수위 측정시간 간격은 다음과 같다.

<양수정에서의 수위측정시간 간격>

양수시험 경과시간	측정시간 간격	측정 회수
0.1 - 1 분 사이	0.1분 간격	1
1 - 10 분 사이	1분 간격	2
10 - 100 분 사이	5분 간격	2
100 - 1000 분 사이	50분 - 1시간 간격	2
1000 - 10000 분 사이	5시간 - 10시간 간격	2

<관측정에서의 수위측정시간 간격>

양수시험 경과시간	측정시간 간격	측정 회수
1 - 10 분 사이	1분 간격	2
10 - 100 분 사이	5분 간격	2
100 - 1000 분 사이	50분 - 1시간 간격	2
1000 - 10000 분 사이	5시간 - 10시간 간격	2

- 수위회복시험

- 양수시험 종료시에는 양수기의 가동을 중지하고 각 시험정 및 관측정에서 양수시험과 동일한 수위측정시간 간격으로 수위가 회복될 때까지 회복수위를 측정한다.

- 회복시험 결과를 분석하여 양수시험 분석 결과와 비교 검토한다.
- 단계양수시험(Step-drawdown Test)
 - 양수정에서 정호에 의한 지하수위의 수두 손실을 평가하기 위하여 초기에는 작은 양수율로 양수하다가 점차 단계적으로 양수량을 증가시켜 일련의 시간-수위강하 자료를 얻는 시험방법이다.
 - 단계양수시험은 양수량을 최소한 4단계로 나누어 실시하되, 각 단계별 양수시간은 최소 1시간 이상 지속시켜야 한다(단, 수량에 따라 불가피한 경우 4단계 이하 가능).
 - 양수량은 단계별로 점차 증가시키며 각 단계에서의 양수시 양수량을 일정하게 유지시켜야 한다.
 - 정호에서 양수시 발생하는 수위강하는 대수층에 의한 수두손실과 정호에 의한 수두손실의 2가지로 구성되며 다음 식과 같이 표현된다(Rorabaugh, 1953).

$$S_w = BQ + CQ^n$$

여기서 S_w : 총수위강하
 BQ : 대수층 수두손실
 CQ^n : 정호 수두손실
 n : Q 에 따라 1.5~2.5(일반적으로 2 적용)

- 일반적으로 단계양수시험은 양수시험과 병행하여 실시하며, 정호의 효율과 적정채수량을 파악하기 위하여 수행한다.
- 단계양수시험시 각 단계에서 수위강하 증분 Δs 는 거의 동일 시간 간격에서 결정한다.
- 단공양수시험
 - 관측정을 활용하지 않고 단일 양수정에서 양수에 따른 수위강하를 측정하여 대수층의 특성을 파악한다.
 - 일정한 양수량(Q_1)으로 양수를 하면서 적당한 시간간격으로 수위강하를 측정한다. 측정이 끝나면 양수를 중단하고 수위가 완전히 회복되면 다른 양수량(Q_2)으로 양수를 하면서 전과 같은 시간간격으로 수위강하를 측정하는 시험을 반복한다.
 - 이와 같은 시험을 통하여 S_w/Q (수위강하량/양수량) 값을 구하고 이를 이용하여 투수계수 및 저류계수를 구한다.

- 순간수위변화시험(Slug Test)

시추공에서 일정 양의 물을 순간적으로 제거하거나 주입한 후 지하 수위의 변화를 측정하여 수리전도도를 결정한다. 이 방법은 단순하고 자유면 대수층이나 피압대수층에 모두 적용할 수 있지만, 비교적 지하수면이 얇은 자유면 대수층에서 좋은 결과를 얻는다. 이 방법에서는 시추공의 규격이 수리전도도의 결정에 중요하며, 그 공식은 다음과 같다(Bouwer and Rice, 1976).

$$K = \frac{1}{2Lt} r_c^2 \left(\ln \frac{s_o}{s_t} \right) \left(\ln \frac{r_e}{r_w} \right)$$

여기서, L : 우물스크린의 길이

r_c : 우물케이싱의 반경

s_o : 우물에서 물을 순간적으로 뽑아냈을 때의 수위강하

s_t : 임의의 시간 t 에서의 수위강하

$\ln(r_e/r_w)$: Bower and Rice(1976)가 제안한 경험적인 shape factor

○ 추적자 시험

- 주입공 내의 지하수에 인위적으로 혼합된 추적자를 주입하여 관측공에서 나타나는 농도 변화를 측정함으로써 지질매체의 유효 수리전도도, 유효공극률과 분산지수를 구하고, 2차 공극의 분포가 지하수의 유동에 미치는 영향을 분석한다. 수리전도도 결정 공식은 다음과 같다.

$$K = \frac{nL^2}{ht}$$

여기서, K : 대수층의 수리전도도

n : 공극율

h : 두 우물간의 수두차

L : 두 우물간의 거리

t : 추적자가 다른 관측정에 도달하는 시간

- 추적자시험 방법은 다음과 같다.

- 조사공과 관측공을 N규격으로 굴착하여 조사할 대수층을 관통하도록 설치한다.
- 수리경사도 하부와 수리경사에 수직인 방향에 격자 상으로 관측공을 설치한다.

- 균열 암반을 대상으로 조사시에는 균열방향을 고려하여 그 연장이 예상되는 지점에 관측공을 설치한다.
 - 주입공을 통하여 일정한 농도로 준비된 추적자를 투입하며, 주입 시작 시간과 종료 시간을 기록한다.
 - 관측정에서 지하수 시료를 주기적으로 채취, 분석하여 추적자의 시간에 따른 농도 변화를 기록한다.
 - 시료의 채취 분석은 가능한 추적자의 농도가 증가하였다가 감소하여 원래의 기본 농도에 가깝게 변할 때까지 계속한다.
- 추적자시험에 사용되는 추적자의 종류는 다음과 같다.
- 이온 : Cl^- , Br^- , I^- 등
 - 안정 동위원소 : ^2H , ^{18}O 등
 - 방사성 동위원소 : Tritium, ^{14}C , ^{222}Rn 등
 - 미립자 : 박테리아, 이스트 등
 - 염료 : Rhodamin 등
 - 가스
- 추적자시험의 결과는 다음과 같이 해석한다.
- 측정된 시간과 농도 변화 자료를 이용하여 농도이력곡선 (Break-through Curve)을 작성한다.
 - 농도이력곡선과 주입정, 관측정간의 거리를 이용하여 지하수의 유속(v)을 구한다.
 - 관측정의 단면적과 평균선형유속으로부터 지질매체의 유효공극률을 구한다.
 - 암반 내 2차공극의 방향성, 연결성 등을 확인한다.
- 지하매질 실내분석
- 지질 매체의 고유한 물리적 성질(공극률, 수리전도도)에 대한 현장시료를 실험실에서 시험, 조사한다. 정수위 투수시험 또는 변수위 투수시험을 실시하여 수리전도도를 구하며 Wet- and-Dry 방법으로 물탱크, 오븐, 건조기를 사용하여 매질의 공극률을 측정한다.
- 정수위 투수시험
- 사질토와 같이 투수성이 높은 흙에 적합한 방법으로, 공급되는 물의 수두를 일정하게 유지시키면서 시료를 통과해 나온 물의 양을 측정하여 Darcy의 법칙을 이용하여 수리전도도 k 를 구한다.

$$k = \frac{QL}{Ath}$$

여기서, Q : 시간 t 동안에 시료를 통과해 나온 물의 양

A : 시료의 단면적
 h : 수두의 차이
 L : 시료의 길이

측정시 유의할 점은 시료내의 공기가 완전히 제거되도록 시료가 물로 충분히 포화되어야 한다.

- 변수위 투수시험

투수성이 낮은 흙 시료에 적용하며, 가는 관(stand pipe)을 통해 흐르는 물이 원통형의 시료를 통해 흐르도록 되어 있으며 관의 굵기와 실험 시간에 의해서 수리전도도를 구한다.

$$k = \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

여기서, a : stand pipe의 단면적
 L : 시료의 길이
 A : 시료의 단면적
 h_1 : 시간 t_1 에서 stand pipe내의 수위
 h_2 : 시간 t_2 에서 stand pipe내의 수위

□ 지표수 유량조사

○ 목적

상당기간 강우가 없을 때 하천을 통해 흐르는 유량인 저수량(Low flow)은 바로 대수층 내에 부존된 지하수가 갈수기에 하천을 통해 유출되는 지하수량에 해당된다. 따라서 지표수 유량조사를 실시하여 저수량을 결정하는 것은 물수지분석 단계에 필수적인 자료를 제공한다.

○ 조사방법

지표수 유량 측정지점은 기본현황조사와 지표지질조사 결과를 토대로 수계의 발달 상황, 지질 분포 및 구조 등을 고려하여 선정하여야 하며, 측정은 비강우기를 위주로 실시하고 측정 기간은 최소 1년으로 한다. 유량 측정지점에 대하여는 하천 횡단측량을 실시하여 유출단면을 정확히 결정하여야 하며, 유량 측정 방법으로는 유량언에 의한 방법 또는 하천 단면을 이용한 방법을 사용한다.

□ 수치모델 분석

장기적인 관점에서 지하수계의 양과 질의 변화를 예측하기 위하여 수행하며, 경우에 따라서는 대수층의 특성을 나타내는 수리상수를 예측, 확인하

기 위하여 사용된다.

- 개념화

전술한 여러 조사를 통하여 획득한 수리적 특성자료에 근거하여 조사지역의 지하수계를 단순화(simplification)시켜 3차원적으로 모식화 한다.

- 모델의 개발/선정

기 개발되어 타당성 검증이 된 모델 중에서 조사지역의 지하수계를 적절히 표현할 수 있는 지하수 및 오염물질의 유동모델을 선정하여 사용한다.

- 보정

초기입력 자료들을 사용하여 시뮬레이션 된 모델의 결과(일반적으로 수위)는 현장에서 관측된 지하수위 자료를 사용하여 보정한다. 이 단계에서 모델의 효율성을 나타내기 위하여, 초기의 각 입력 자료가 최종결과에 미치는 영향을 민감도 분석(Sensitivity Analysis)을 통하여 분석한다.

- 검증

보정된 모델은 다른 시점에서의 변화된 초기 입력자료와 새로운 실측자료를 사용하여 검증한다. 이때, 적절히 검증된 지하수모델은 미래시점에서의 지하수위 및 오염물질의 분포 변화를 예측하는데 사용될 수 있으며, 경우에 따라서는 초기 입력자료 중 불확실성(uncertainty)이 높은 실측자료(예; 증발산량, 충전량, 누수량 등)와 경계조건의 적합성 등을 역(逆)으로 검증하는데 사용하기도 한다. 검증에 실패한 모델은 초기 입력자료 및 주변경계 설정의 타당성을 재검토하고 개념화의 단계부터 다시 시작하여야 한다.

- 분석, 예측

이상의 보정과 검증을 거친 모델을 이용하여 목적에 따라 지하수계의 유동, 오염물질의 이동 등에 대한 분석을 실시함과 아울러 미래에 예측되는 수문학적 상황에 대한 지하수계의 반응을 예측함으로써 적절한 대처방안 마련의 기초 자료를 제공한다.

□ 지리정보시스템의 이용

지리정보시스템(Geographic Information Systems)은 지도와 다양한 형태의 정보를 결합한 것이다. 따라서 GIS기법을 적용하여 지하수와 관련된 제반 자료를 집성, 표준화하여 데이터베이스를 구축하면 각종 분석과 도면 작성 등의 업무를 보다 효율적으로 수행할 수 있다.