

1. 서론

특정지역의 지하수에 대한 실태파악과 예측 그리고 지하수 관리와 보전을 위하여 지하수 조사가 필요하다. 지하수조사는 조사목적과 현장조건에 따라 그 방법이 다르기 때문에 지하수 조사 방법이 조사를 필요로 하는 목적에 맞게 실시 되어야하고 조사의 결과가 목적에 유용하게 이용될 수 있어야한다. 따라서 조사목적과 현장조건에 부합되는 방법에 따라 조사를 수행하는 것이 중요하기 때문에 지하수조사 방법의 체계화가 이루어져야한다. 우리나라에서는 지하수와 관련된 법령이 많아 법 체제가 혼란스러우며 이 법들의 지하수조사에 대한 내용이 미비한 실정이다. 본 연구에서는 우리나라 지하수조사 방법의 미비점을 보완하는데 참고가 될 수 있게 하기 위하여 우리나라, 일본, 미국과 유럽의 지하수 조사 예를 다음과 같이 나라별로 구분하여 살펴 보고자한다.

우리나라의 수자원 계획은 1960년대 이전에는 이수위주의 수자원개발이 주축이 되었고, 주요 사업으로는 농업용수의 확보와 수력발전을 위한 단일목적댐의 건설을 들 수 있다. 1962년에 시작된 제1차 경제개발 5개년 계획의 추진과 더불어 우리나라에서도 다목적댐의 개발이 시작되었으며, 1967년 다목적댐의 건설사업을 입안, 집행, 관리할 수 있는 한국수자원개발공사의 창립과 더불어 다목적댐 개발을 본격적으로 추진할 수 있게 되었다. 즉 이러한 다목적댐 개발은 국토종합개발계획과 수자원장기종합계획 등 정부계획에 의하여 추진되어 왔다. 표 1.1은 수자원개발계획의 추진경위를 보여 주고 있다.

표 1.1 수자원 개발계획의 추진경위

구분	계획기간	계획기준	수원
수자원종합개발 10개년 계획	1966~1975	다목적댐 개발	지표수
4대강 유역 종합개발계획	1971~1981	다목적댐 개발	지표수
수자원 장기 종합개발기본계 획	1981~2001	댐개발 및 치수사업	지표수
수자원 장기 종합계획	1991~2011	수자원 개발 및 관 리	지표수
수자원 장기 종합계획 (수정 · 보완)	1997~2011	환경친화적 수자원 개발 및 관리	수자원 개발의 다변화

상기 표에서 알 수 있듯이 우리나라 수자원개발의 기본방향은 다목적댐의 건설에 의해 지표수를 개발하는데 있다고 할 수 있다. 우리나라 주요 하천의 하상계수가 300 이상임을 감안하면 우리나라와 같이 강수의 시간적 분포가 매우 큰 지역에서 수자원개발을 위한 대상은 댐건설에 의한 지표수임을 누구도 부인할 수 없다. 또한 홍수기(6월21일~9월20일)에 전체 강수량의 2/3가 집중되기 때문에 홍수피해 절감방안에 대한 대안으로 다목적댐 건설이 필수적이다.

그러나 1990년대 중반에 들어와 다음과 같이 댐 건설에 대한 여건이 악화되었다.

첫째, 지역주민의 반대이다. 댐을 건설하게 되면 대규모 수몰지의 발생으로 인한 생활기반상실, 댐 인근 지역의 생태계 변화, 많은 이주민의 발생, 주변지역의 개발제한 등이 동반되기 때문에 지역주민의 반대가 지속적으로 발생하고 있다.

둘째, 보상비의 증가이다. 물가 및 지가의 상승과 주민의식의 민주화로 인한 댐 보상비의 급격한 상승으로 최근 댐 개발에 소요되는 예산의 70% 이상이 보상비로 이루어지고 있는 실정이다. 따라서 수자원 개발단가가 급등하여 표 1.2에서 알 수 있듯이 횡성댐의 경우 소양강댐보다 개발단가가 약 30배 증가하는 등 투자재원을 원활히 조달하는 것도 당면과제로 대두되고 있다.

표 1.2 댐별 수자원 개발단가

구분	소양강댐(1973)	임하댐(1992)	횡성댐(1996)
개발단가(원/m ³)	3.3	40.3	101.3

셋째, 댐 개발 적지의 감소이다. 많은 댐의 건설로 인하여 댐 개발의 적지가 감소되고 있고, 또한 일부 댐 개발의 적지는 농업용댐 등 단일목적으로 축소 또는 계획되고 있어 확보 가능한 수자원을 더 이상 개발하지 못하는 경우도 발생하고 있다.

넷째, 시민단체의 반대이다. 최근 1, 2년간 영월댐을 둘러싼 논쟁은 언론의 주요 관심사가 되어왔다. 시민단체(환경운동연합 등)의 강력한 댐 건설 반대가 제기되었고 또한 댐 건설에 대한 찬반양론이 정부(건설교통부, 환경부)내에서도 통일되어 있지 않은 뿐 아니라 지역주민들 사이에서도 의견 통일이 이루어지지 않았다. 이와 같이 영월댐의 건설에 대한 논의는 아주 복잡한 양상으로 전개되어 그 향방이 주목된다.

이러한 댐 개발 여전 악화에도 불구하고 우리나라 수자원개발의 기본방향은 다음과 같은 논리를 바탕으로 지표수 위주의 수자원 개발에서 크게 벗어나지 못하고 있다. 인구의 증가와 산업의 발달로 수자원의 수요가 증가하고 있는 오늘날에 있어서 한정된 수자원의 효율적인

활용이 더욱 필요한 시점이다. 그러나 수자원의 보전을 위한 댐 건설의 적지가 점차로 감소함과 더불어 토지자원의 효용과의 상충 및 경제성의 제고 그리고 댐건설에 따른 수몰지주민에 대한 이주대책 등 경제적·사회적 부담이 증가됨에 따라 다목적으로 계획되지 않으면 안되게 되었다. 따라서 오늘날의 물 관리 환경에서 단일목적의 수자원개발은 의미가 없으며, 모든 댐건설은 다목적 저수지의 개발로 연결되어야 한다.

이상에서 살펴본 바와 같이 수자원의 시간적 공간적 불균형을 극복하기 위한 댐건설의 타당성은 충분히 입증된다고 할 수 있다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 최근 들어 급격히 악화된 댐건설 여건을 감안해 볼 때, 수자원개발에 관한 기본정책의 변화가 있어야 한다고 판단된다. 다행히도 건설교통부의 수자원장기종합계획(1997~2011)에 의하면 지표수 위주의 수자원개발을 지향하고 수자원 개발의 다변화를 계획의 추진전략중 하나로 설정하고 있다. 즉 앞으로의 수자원개발은 지표수개발과 병행하여 지역 특성에 맞게 지하수, 우수의 활용, 해수의 담수화 등에 의하여 수행하도록 되어 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 최근 들어 지하수도 수자원의 일부라는 인식이 점차 확대되고 또한 그에 대한 중요성이 인정되고 있다. 이러한 인식의 전환은 지하수 조사 특히 하상퇴적층에서 강변여과수에 대한 조사로 이어지게 되었다. 따라서 본고에서는 최근들어 활발히 진행되고 있는 강변여과수에 대한 조사내용을 살펴보고자 한다. 또한 실제로 강변여과수를 개발하여 지방상수도로 이용하고 있는 지역과 공업용수도로 이용하고 있는 지역에 대한 지하수 조사가 어떻게 이루어 졌는지를 살펴보고자 한다. 이러한 사례 검토를 통하여 강변여과수 개발을 위한 바람직한 조사방향에 대하여 논의하고, 지하수개발이 활성화되기 위한 방안을 제시하고자 한다.

일본에서는 1925년경부터 제2차 세계대전 종전 직전까지 지하수이용량이 꾸준히 늘어나다가 패전으로 인하여 지하수이용량이 급감하였다. 그후 빠른 속도로 진행된 경제 부흥과 함께 지하수이용량 또한 급격히 증가하였다. 지하수이용이나 보존대책을 위한 지하수조사나 연구없이 지하수를 사용함으로써 지하수의 과잉양수를 초래하였다. 지하수의 과잉양수는 지하수위를 지나치게 저하시켰고 대규모 지하수재해가 발생하였다. 예상치 못한 재해를 겪은 일본은 지하수이용에 대한 경각심을 가지게되었고 지하수조사 연구가 활발하게 되는 계기가 되었다.

본 연구에서는 일본에서 수행된 지하수 조사사례를 黑部市가 시의 장래 물이용 방안을 검토하기 위하여 수행한 黑部川 선상지 지하수 조사(黑部市, 1991)에 대하여 살펴봄으로써 우리나라의 지하수조사 방법의 문제점을 파악하고 개선하는데 참고가 되게 한다.

미국과 영국의 지하수조사 사례와 지침 및 지하수 현황을 검토하기 위하여 미국과 영국의 지하수 조사기관인 미국지질조사국(USGS)과 영국지질조사국(BGS)에서 시행하였던 사례를 분

석하였다. 미지질조사국은 1990년부터 지금까지 미국 전역에 대한 지하수문학의 특성파악을 위하여 미지질조사국에서 수집한 조사자료 및 다른 조사기관의 자료들을 활용하여 지하수지도(Ground Water Atlas)를 발간하여 왔다. 이 지하수지도는 많은 수문지질학자들이 다년간 조사한 내용을 요약하고 있으며, 광역적 조사내용을 포함하고 있기 때문에 미국의 지하수 수문학 및 조사에 관하여 전반적인 이해를 하는데 많은 도움이 될 것으로 판단되어 지하수지도에 제시된 내용들을 본 고에서 검토하였다. 그리고 영국지질조사국 수문지질부는 지하수의 현장조사, 지하수자원평가, 지하수관리, 지하수오염 및 지화학 등의 여러 지하수분야에 대한 조사/연구활동을 통하여 기술보고서 및 수문지지도를 발간하였다. 이들 조사 성과물 중에서 영국 전역을 23개의 수역으로 구분하여 발표한 큰 축척의 수문지지도에 제시된 조사내용을 분석하였다. 본 고에서 검토한 사례들은 광역적 규모의 지하수조사에 관한 사례들로 한정되었으며, 미국과 영국의 지하수조사기관들의 지하수자원 평가를 위한 지하수조사에 관한 전반적인 경향을 파악하고자 하였다.

2. 우리나라의 지하수조사

국내의 지하수 조사는 주로 양적인 측면에서 관개용수 개발에 치우쳐 있고 일부 생·공용 수 개발은 제주도 및 도서지역에서의 암반지하수나 용출수를 개발하기 위하여 주로 실시하였다. 최근들어 하천변 충적층에서의 강변여과수 개발을 위한 기초조사들이 활발하게 이루어져 왔다. 여기서는 강변여과수 개발을 위하여 수행된 지하수 기초조사 사업의 개요를 살펴보고 또한 실제 지방상수도 또는 공업용수도의 수원으로 이용하기 위한 지하수 조사사업의 주요 내용을 검토하고자 한다.

2.1 금강유역

2.1.1 과업명

하상퇴적층 여과방식에 의한 금강수도 취수개선 방안 조사·연구; 한국수자원공사(1996)

2.1.2 과업의 개요

- 연구기간: 1996.2~1996.12(11개월)
- 연구목적
 - 산업의 발전과 인구증가에 따른 산업폐수 및 생활하수의 하천유입 증가로 상수원수인 금강 수질이 악화됨
 - 세사의 과다유입에 의한 정수처리 계통 효율저하 및 각종 수질사고 빈발 및 처리단가 증가
 - 개선방안의 일환으로 하상 퇴적층을 통하여 취수, 오염을 저감시킴으로서 양질의 수원개발과 안정적인 취수원으로 활용하는 방안을 검토하는데 그 목적이 있음.

2.1.3 연구내용

- 하상퇴적층의 분포, 두께 및 투수성 조사
- 하천 유황, 기상현황, 지하수 수질, 하천수질조사
- 비저항 탐사(Wenner법)
 - 1차탐사: 측점 200m, 탐사심도 50m, 측점당 15회 측정
제방으로부터 100~200m 떨어진 곳
 - 2차탐사: 1차탐사 해석결과 충적층의 심도가 깊고 전기비저항이 낮은 곳을 지구별로 2개 소 선정, 측선간격 20m로 격자망을 구성(정동지구, 자왕지구)

■ 시추조사

- 지구별 NX Size로 4개씩 8개공 시추
- 천공후 직경 50mm의 PVC Casing설치
- 하부구간에 Strainer 설치

■ 쟁정조사

- 쟁정공을 구경 16"로 풍화대까지 천공
- 풍화대 상부에서부터 하부대수층 12m 구간에 Strainer를 설치 나머지는 10" 백관 Casing설치
- 물리검증: 전기검증, 자연방사능검증, 지하수유속검증
- 수준 및 다각측량
- 대수성 시험 및 현장수리분산시험
- 장기 수위수질 간접시험

2.1.4 연구결과

- 연구대상지역(정동 및 자왕지구)의 기반암은 백악기의 흑운모화강암이며 제4층인 하상퇴적층이 이를 부정합으로 피복하고 있음.
- 정동지구의 층적층의 층후는 23m 내외, 포화대수층의 두께는 15m 내외로, 상부는 주로 실트질모래나 점토질실트로 하부는 주로 2~10cm까지의 자갈을 포함하는 모래층으로 심도가 깊어질수록 자갈 및 모래입자의 크기가 점차 커지는 것으로 나타남.
- 자왕지구의 층적층의 층후는 19.5m 내외로 포화대수층의 두께는 11m이며, 대수층은 주로 세립에서 중립의 모래 2~8cm크기의 자갈이 혼재된 지층구성을 보이고 있음.
- 대수성시험결과 층적층의 투수계수는 정동지구 8.40×10^{-2} cm/sec, 자왕지구 7.56×10^{-2} cm/sec임
- 정동지구의 대수층에 대한 수리분산시험 결과, 수리분산지수(α)는 0.41m였으며 유효공극률(θ)은 0.119(주입된 추적자가 방사상으로 이동되지 않은 것으로 보아 주변대수층은 매우 불균질하며 또한 이방성을 지닌 것으로 판단됨)
- 지하수/지표수 수질을 분석한 결과, 두 지역의 지하수 화학적 성질은 주로 강물과 지하수간의 혼합작용, 층적층과 지하수간의 이온교환반응에 의해서 지배되며, 특히 환원적 환경에서 진행되는 철, 망간의 용해·침전반응과 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 의 환원반응이 중요하게 다루어져야 할 것으로 판단됨.
- 층적층 및 하상퇴적층에 대한 흡착실험 결과, 무기물질인 NH_4^+ 에 대해서는 프로인드리

히 흡착특성을 나타내었고, 유기농약류인 alachlor와 NH_4^+ 에 대한 충적층의 자연효과는 비반응용질에 비해 각각 약 20배와 8~30배 정도였음.

- 장기 수위수질간섭시험을 통해 두 지역의 양수정으로부터 채수된 지하수의 수질을 분석해 모았을 때, 일부 항목을 제외하고는 먹는물 수질기준을 대체로 만족하였음.
- 개발방안 검토결과 특수집수정에 의한 개발보다는 수직정호에 의한 개발이 유리한 것으로 나타났으며, 하천에서 수직으로 100m 떨어진 지점에서 하천을 따라 100m 정호 간격으로 수직정호를 설치할 때 개발가능량은 최대 허용수위강하량에 따라 정동지구에서 $36,000\sim61,000\text{m}^3/\text{day}$, 자완지구에서 $19,000\sim30,000\text{m}^3/\text{day}$ 로 나타났음.
- 수질분석결과와 개발가능량으로 볼 때 강변여과수에 의한 취수는 수질사고시 비상취수원으로 이용하거나, 평상시 하천수와 혼합사용을 통하여 회석효과를 도모하는 것이 타당할 것으로 판단됨.
- 본 조사결과는 좁은지역에서 짧은 기간에 이루어진 조사·연구 성과를 토대로 한 것으로 향후 실제 개발을 위해서는 지하수 특성상 기존 지하수의 유입에 의한 수질변화효과, 배경수질분포, 양수에 따른 수질변화 등에 대한 정확한 분석, 하천 수질 변화에 대한 강변여과수 수질변화의 관계와 항구적으로 개발, 취수하였을 경우 주요 성분별 변화양상에 대한 장기적인 검토가 선행되어야 함.
- 연구대상지역외에 금강 상, 하류의 하상퇴적층 분포지역에 대한 추가조사와 함께 기타 개발방안에 따른 급수방법, 용수단가 비교 등에 대한 경제성 검토가 이루어져야 하겠음.
- 지속적인 조사·연구를 통한 기술 축적으로 인공함양을 비롯하여 연구 개발지역 특성에 맞는 강변여과수 시스템의 개발이 요구됨.

2.2 낙동강 유역

2.2.1 과업명

강변여과수 개발 타당성 조사; 경남 창원시(1997)

2.2.2 과업의 개요

- 창원시 용수는 낙동강 표류수를 주공급원으로 하고 있는 마산권 공급분중 일부를 배분받고 있으나 배분량의 한계와 원수인 낙동강의 수질오염 및 수질사고시 취약성 등을 개선하기 위해 강변의 대수층에 장시간 자체 정화능력을 이용하여 오염물질을 제거한 후 취수하는 방식에 대한 타당성 조사

2.2.3 현지조사내용

- 지표지질조사(북면, 동읍, 대산면)

현지답사와 암석자료를 분석하여 전기비저항탐사 대상지점 선정자료로 활용

- 전기비저항 탐사

- 전기비저항을 이용한 수자원 부존상태 및 지하지질 상태 등을 유추 시추 및 착정지점 선정자료로 활용

- 북면지역의 충적층 두께: 44.5~46.5m로 추정

- 대상면 충적층 두께: 55m 이상으로 추정

- 시추 및 착정조사(시추 8개소, 착정 1개소)

- 대수층 두께: 10.7~16m

- 모래 및 점토질모래, 자갈로 구성

- 대수층 분포위치: B.G.L 25~40.5m

2.2.4 시험정 설치 및 대수성시험

- 대산면 갈저리에 설치

- 외경 400mm, 케이싱 지름 250mm, 깊이 39m, 펌프 25HP

- 강변에서 거리 250m

- 양수량: $1,800\text{m}^3/\text{일}$, 특수계수: $31.1\text{m}/\text{일}$, 개발가능량: 1공당 $2,880\text{m}^3/\text{일}$, 지하체류시간: 약 83일

2.2.5 장기양수시험 및 수질조사

- 장기 양수시험

- 양수기간: 60일

- 평균양수량: $1,608\text{m}^3/\text{일}$

- 시험정 수위강하량 최대 5.34m(관측정은 8.2m 떨어진 곳에서 최대 0.82m)

- 수질시험

표 2.1 표류수와 강변여과수에 대한 수질시험 결과

구 분	과망간산 칼륨소비량	일반세균	증발 잔류물	색도	망간	철	암모니아성 질소	질산성 질소
음용수 기준	10mg/ℓ 이하	100 CFU/ml이하	500mg/ℓ 이하	5도이하	0.3mg/ℓ 이하	0.3mg/ℓ 이하	0.5mg/ℓ 이하	10mg/ℓ 이하
표류수	11.8	6,390	275	17.7	0.07	0.06	0.15	2.37
강변 여과수	1.98	261	234	19.2	3.12	0.59	0.10	0.11

2.2.6 모델링 및 수자원 평가

- 강변여과수 개발로 인한 주변 수리권에 미치는 영향을 모의운영하여 적정개발 방안을 도출하기 위해 시행
 - 수직정호에 의한 취수시 2016년까지 $240,000 \text{ m}^3/\text{day}$ 개발하기 위해 200m 간격 2열씩 배치하는 것이 안전함.
 - 개발가능연장 11km 구간에서 약 $338,000 \text{ m}^3/\text{day}$ 을 개발할 수 있음.

2.2.7 결론

- 장점
 - 본 조사지역의 수리 지질은 총대수층의 깊이가 33.0~40.0m로 분포되어 있으며 주대수층 (자갈 및 모래층)이 12.5~16.0m로 대수층 최하부에 위치하고 있어 강변여과수 개발에 적정한 수리지질 분포를 보이고 있음.
 - 연중 수온의 변화가 적으므로 (겨울철에 강물보다 수온이 높음) 겨울철 정수처리 공정에서 발생할 수 있는 암모니아 문제를 해결할 수 있음.
 - 낙동강 폐놀사고 같은 돌발적인 사고시 강변의 충적층이 완충작용을 해주므로 안전함
 - 대장균과 일반세균의 양이 직접 취수할 때마다 월등히 작아서 소독 부생성물에 대한 문제점 발생여지가 적음
 - 부유물질은 강변여과과정에서 거의 제거되어 기존 공정에서 용접·침전시 발생하는 슬러지 처리비용을 줄일 수 있음
 - 용해성물질의 경우 장시간의 강변체류중 흡착, 침전 및 미생물에 의한 분해에 의해 제거되어 하천 표류수에 비해 DOC가 60~70%감소됨
 - 상류의 대규모 댐에서 원거리 수요지까지 관로로 이용하는 현재의 광역상수도 체계는

하천을 건천화시켜 환경오염을 유발시키는 방식이나 강변여과수 개발은 수요지에서 충적층을 이용해 정수장까지 단거리 이송시켜 사용한 후 하수처리해서 방류하는 시스템이므로 친환경적임.

■ 문제점

- 배후지(인근마을)와의 거리가 너무 가까울 경우 지하수 수위저하로 인해 민원발생의 여지가 있으므로 양수량 결정시 주의해야 함.
- 지하수오염에 대비하여 개발 유역을 보호구역으로 지정하는 등 대상지역을 토양오염을 유발하는 시설의 개발을 억제해야 함.
- 하천 표류수에 비해 철·망간의 농도가 높으므로 이에 대한 대책이 필요함. 본 과업에서는 폭기후 급속여과 및 활성탄 여과를 제시하였음.

■ 종합의견

- 대수성시험, 오염저감능시험, 수질시험 및 모델링 결과 $240,000 \text{ m}^3/\text{day}$ 개발이 가능한 것으로 판단됨.
- 본 결과는 시험정 1공에 대한 자료와 60일간이라는 양수시험에서 도출되 것으로 추후 시험정을 몇 개 더 설치해서 시험을 장시간 실시한후 개발량과 정수처리공정을 수정보완해 나가는 작업이 필요하리라 사료됨.
- 강변여과수 개발은 직접 취수하는 방안보다 개발사업비 및 유지관리비는 많이 소요되나, 하천 표류수보다 양질의 원수확보로 정수단계를 줄여 생산단가를 줄일 수 있으며 시민의 맑은 물 수요욕구를 충족시킬 수 있어 타당성이 충분히 있는 것으로 판단됨.

2.3 속초시 쌍천 유역

2.3.1 과업명

속초시 쌍천취수원 개발에 따른 수리지질연구 용역 보고서; 속초시(1998)

2.3.2 연구목적

속초시 상수도 취수원으로 쌍천 하류구간에 수직차수벽과 우물장(취수정 군정)을 설치하여 1일 $43,000\text{m}^3$ (도문1 및 2 취수시설 $25,000\text{m}^3/\text{일}$, 금회증설 $16,000\text{m}^3/\text{일}$ 및 위생처리장의 취수정 $2,000\text{m}^3/\text{일}$)의 천부 지하수를 장기적으로 채수 이용할 때 발생가능한 다음과 같은 제반 악영향을 사전에 예측, 진단하고 문제 발생시 그 예방 및 저감 대책을 강구함.

- 지하차수벽 하부에 분포된 기반암 구간중 투수성 파쇄대와 투수성 구간

- 차수벽 하부의 기반암에 발달되어 있는 파쇄대나 기타 투수대를 통해서 염수(해수)가 쌍천의 대수층으로 역상승할 가능성
- 양양군과의 접경지점에 차수벽 미시공한 구간(32m)으로 염수(해수)침입 가능성
- 차수벽 설치로 인한 상류구간의 지하수위 상승과 대수층에서 지하수 채수로 인해 인근 지역에 미치는 제반 악영향
- 짐수정에서의 적정 채수 가능량 산정과 그에 대한 문제점 발생시 그 저감대책

2.3.3 연구내용

- 기존자료 수집 분석 검토
- 지표지질조사
- 정천현황조사
- 지구물리탐사
- 유선망 분석과 현장수리지질 특성화 연구
- 실내 및 현장수리분산시험
- 지하수관리망 운영과 수질변동 연구
- 지하수 유동과 오염물질 거동 모델링 및 악영향 예측
- 향후 대책

2.3.4 결론 및 대책

- 해수침입과 과도한 지하수위 강하 방지 및 수자원 활용을 극대화하기 위하여 양양군측과 제2층의 차수벽 하부의 차별 풍화대 구간은 해수침입 방지 및 수자원 확보 측면에서 무조건 시공하여야 하고 수직차수벽 하부의 풍화암 등 기반암 파쇄대의 차수를 하여야 할 것으로 사료됨. 언급한 시공이 늦어질 경우 금번 조사시 현 수직차수벽 인근 구간에 발달되어 있는 것으로 규명된 암반파쇄대와 수직차수벽 미설치 구간(양양군 접경지 32m 구간) 및 수직차수벽 하부 차별 풍화대 구간에 감시정 4개조를 설치해서 지속적인 지하수의 수질 변화와 우물장 운영으로 발생하는 수위변화를 감시할 것을 제안함.
- 평수기에 쌍천 취수장에서 $43,000\text{m}^3/\text{day}$ 의 용수를 취수하더라도 별문제 없으나 속초시 지역의 최대무강수 지속일수(83일간)동안에는 안전율을 감안하여 평수년의 채수량에서 $11,000 \pm 1,000\text{m}^3/\text{day}$ ($9,500 \times 1.2$)을 감한 $32,000 \sim 33,000\text{m}^3/\text{day}$ 을 이용함이 지하수의 최적관리에 부합되는 최적 채수량이며 이 기준을 평년의 갈수기에도 적용할 것을 권고함.
- 금번에 실시한 전산모사를 위시한 연구는 우물장 일대에만 국한된 직접 지하지질 특성

자료만을 이용해서 분석한 결과이므로 속초시 쌍천 취수원의 장기적이며, 효율적인 관리를 위해서는 추후 상류지역의 수리지질 특성자료가 확보되는 대로 수정·보완되어야 할 것임을 부언함.

- 민원지역의 지하수의 변동과 강수량과의 상관관계를 검토한 바,
 - 도문동 정연교씨의 경우: 지면표고는 EL+3.818m이고, 연구기간동안(98. 6. 2~5) 연속 강수량이 114.7mm 발생했지만 지하수위는 전반적으로 EL+3.504m로서 지표면 보다 0.314m 하부에 형성됨.
 - 182-4의 비닐하우스인 경우: 연구기간동안 114.7mm의 강수량이 발생한 경우에도 지하수위는 모두 저면보다 0.245m 낮았음.
 - 따라서 차수벽 설치로 인한 지하수위 상승으로 인해 지반이 침수되었다고 볼 수 없다고 판단됨.

2.4 동해시 전천 유역

2.4.1 과업명

동해 공업용수도 사업 실시설계 보고서; 한국수자원공사(1999)

2.4.2 과업의 목적

본 과업은 상습적인 물부족을 겪고 있는 북평산업단지 및 동해시의 전천지역의 지하수를 개발하여 기존 달방댐계통 광역상수도와 연계하여 공급함으로써 동지역의 안정적인 용수공급을 도모하기 위하여 동해 공업용수도 사업의 사업수행에 필요한 기본 및 실시설계를 시행하는데 목적이 있음.

2.4.3 과업의 범위 및 내용

본 과업은 기시행된 '동해안 북부지역 지표수 및 지하수 연계개발 예비타당성조사'('96년 수공) 성과를 종합적으로 검토하고 그 결과에 따라 동해 공업용수도 사업시행에 필요한 현지조사, 지하수조사, 취수시설(심정)과 관로시설의 기본 및 실시설계에 따른 제반 관련업무를 수행하는 과업으로서, 그 주요내용은 다음과 같음.

가. 예비타당성조사 성과검토

나. 지하수조사

- 지하수위 관측조사

- 전기비저항 탐사
- 시추 및 측정조사
- 대수성 시험
- 지하수 영향평가
- 다. 현지조사
 - 측량조사: 관로노선측량, 지형현황측량, 표지주 설치
 - 지질 및 토질조사: 시추조사, 표준관입시험, 실내시험
 - 보상조사: 기초조사, 현지조사
 - 기타 필요한 사항조사
- 라. 기본설계
 - 기초현황조사
 - 용수수요 조사
 - 용수공급 기본계획
 - 시설물 계획
- 마. 실시설계
 - 취수 및 관로시설
 - 기계 및 전기설비
 - 계측제어 및 통신설비
 - 사업집행계획
- 바. 각종 인·허가서류 및 심의자료 작성

2.4.4 사업개요

가. 사업의 필요성

- 지역적 개발 잠재력에 따른 동해시의 산업시설 확장 및 관광개발사업과 활발한 경제활동으로 인한 인구증가로 용수수요 대처방안 수립
- 장래 용수수요에 대비한 장단기 용수공급 대책을 수립하여 효율적인 용수확보 방안과 공급대책 수립

나. 공급수원: 동해시 전천지하수

다. 사업개요

- 목표년도: 2006년
- 사업내용: 지하수 관정 16공, 관로 5.4km

- 사업기간: 1998년 ~ 2001년
- 총사업비: 5,970백만원(국고: 5,507백만원, 수공: 463백만원)
- 급수지역: 북평산업단지 및 동해시

라. 용수배분계획

표 2.2 동해시 용수수요 전망

구분		1997	2001	2006	비고
총인구(인)		103,201	119,000	134,000	
급수인구(인)		96,000	111,900	128,600	
급수보급율(%)		93.0	94.0	96.0	
1인1일 급수량(ℓ)	평균	433	400	430	
	최대	540	500	540	
용수 수요량 (m ³ /일)	생활용수	51,800	56,000	69,400	북평산업단지
	공업용수	800	5,800	19,500	
	선박용수	1,600	4,300	4,600	
	관공용수	3,000	3,600	4,300	
	계	57,200	69,700	97,800	
기존시설용량 (m ³ /일)	달방댐	40,000	40,000	40,000	
	지방상수도	38,000	38,000	38,000	
	계	78,000	78,000	78,000	
과△부족량		20,800	8,300	△19,800	

표 2.3 동해시 용수배분계획

구분	용수배분계획			
	달방댐계통 광역상수도	동해 공업용수도	지방상수도	계
계	40,000	20,000	38,000	98,000
북평산업단지	-	19,500	-	19,500
동해시	40,000	500	38,000	78,500

마. 시설물 계획

본 사업에 의해 건설되는 시설물은 다음 표 2.4와 같음.

표 2.4 시설물 개요

시설물	시설개요	비고
1. 수원시설	시설용량: $Q=21,000\text{m}^3/\text{일}$	
1) 위치	동해시 전천하류	
2) 취수원	전천유역 지하수	
3) 심정제원		
■ 개발공수	16공(예비2공 포함)	
■ 공당개발량	$1,500\text{m}^3/\text{일}$	
■ 심정펌프	$1.1\text{m}^3/\text{분} \times 24 \sim 30\text{mH} \times 11\text{Kw} \times 16\text{대}$	
■ 심정구조물	폭 2.0m × 길이 4.0m × 높이 2.0m × 12개소	
4) 건축	4개동	
5) 지하수 관측설비	1식	
6) 기계설비	심정펌프 배관 1식	
7) 전기 · 계장설비	1식	
2. 도수시설		
1) D.C.I.P	D200mm ~ D500mm, L=5,431m	
2) 강관	D500mm, L=16m	

바. 사업의 효과

본 동해 공업용수도 사업의 시행으로 인한 직 · 간접적인 효과는 다음과 같다.

- **직접효과:** 상습적인 용수부족 현상을 겪고 있는 북평산업단지 및 동해시에 맑고 깨끗한 물을 풍부하게 공급하여 단기적인 용수공급 부족을 해소하고 물 걱정없는 북방전진기지 도시로 건설할 수 있음.
- **간접효과**
 - 지하수 수자원을 개발 활용하므로서 수자원의 효율적 개발 및 재분배
 - 수도시설의 효용을 극대화
 - 깨끗한 지하수를 공급하므로 국민의 보건위생에 기여
 - 기존 및 계획산업단지에 공업용수 공급으로 지방경제에 기여

표 2.5 사업의 효과

구분	1997년	2006년	비고
총인구(인)	103,201	134,000	
급수보급율(%)	93.0	96.0	
급수인구(인)	95,963	128,600	
시설용량(m ³ /일)	78,000	98,000	
1일1인당 급수량(ℓ)	434	430	일평균

- 상수도 공급으로 인한 생활 및 문화수준의 향상
- 고용창출로 인한 지역경제 활성화

3. 일본의 지하수조사

3.1 지하수의 순환장

3.1.1 지형면

지하수순환을 결정하는 조건은 구동력, 함양량, 순환장의 3종류이다. 고기후와 고수문조건이 구동력과 함양량에 크다란 영향을 미친다. 즉, 해면의 저하는 구동력을 강화시키며 강수량의 변동으로 함양량은 많이 변한다. 우리나라에서는 주 대수총이 충적층과 홍적층이기 때문에 이들지층의 퇴적구조 즉 순환장의 조건은 고수류의 작용에 의해 결정되어져있다. 따라서 광역지 하수유동조사를 위한 고수문해석의 목적은 과거의 수류의 작용을 염두에 두고 현재의 지하수 순환장의 조건을 규명하는 것이다. 黑部川선상지와 그 주변지역의 지형개념도가 그림 3.1에 나타나있다. 이 지역에는 시대를 달리하는 몇 개의 선상지가 있으며 현 선상지면(G), 포산면(U), 선견야면(F), 전택면(Ma), 12관야면(J1, J2), 봉산면(T)등의 지형면이 남아있다. 이 그림에는 원지형면의 형을 나타내기 위하여 10m 간격의 등고선이 기입되어 있다. 오우산 력층으로 구성되어있는 구릉(K)와 이 지역의 기반을 구성하는 제3계 및 중생계의 산지(B)에는 모두 원 지면이 남아 있지 않아 수계가 기입 되어있다. 그림 중의 W 및 Br 번호는 보링 주상도의 위치를, N 및 K는 전기 탐사지점을 나타낸다.

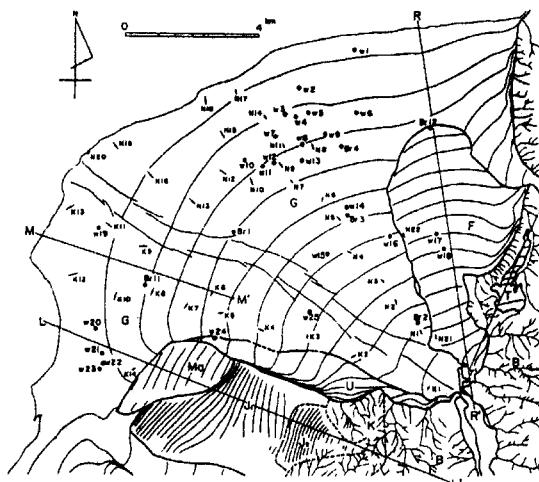


그림 3.1 지형개념도

복원한 구 선상지면의 천분율로 나타낸 경사는(그림 3.2), 현 선상지면이 10-11인 반면에, F면은 19, Ma 면은 34, J1 면은 63, J2 면은 94이며, 고위의 면일수록 급 경사이고 원 지형 면의 개척도 진행되고 있다. T면의 경사는 rr'단면에서는 38이나 최대 경사 방향에서는 J1 면의

경사와 가까운 값을 가진다.

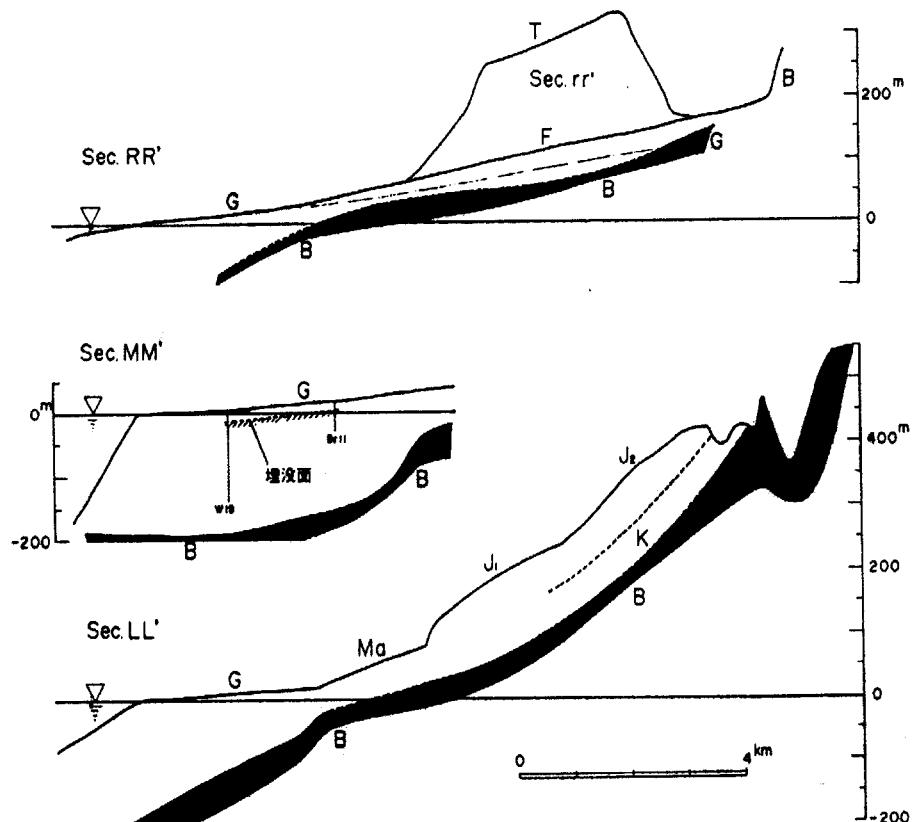


그림 3.2 지형면 종단면도

3.1.2 해저곡과 선견야 단구

그림 3.3은 1/25,000 연안해역 지형도 후부도폭을 원도로 하여 작성한 G면의 10m 간격의 등고선과 해저 등심선을 나타낸 것이다.

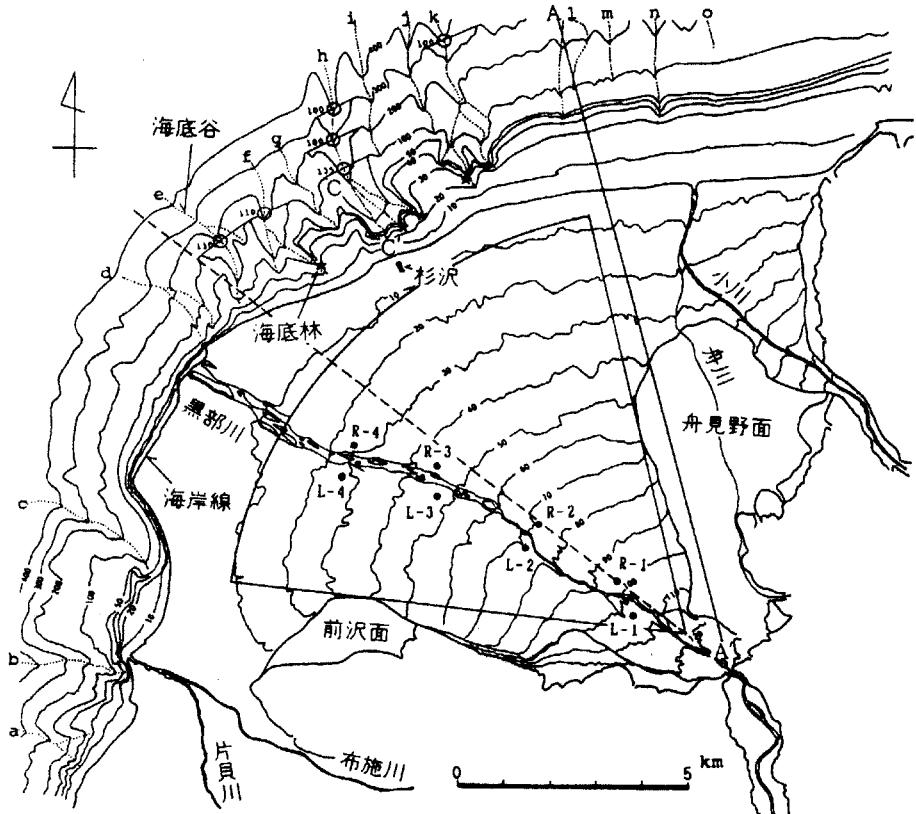


그림 3.3 黑部川 선상지와 해저지형

3.2 하도 물수지

하도 물수지의 결과를 도시하면 그림 3.4와 같다. 타원에 나타난 마이너스 숫자는 각각 구간의 실수량을 의미하며 단위는 m^3/sec 이다. 이때의 黑部川은 선상지의 전구간에서 지하수를 함양하고 있으며 총함양량은 $14 m^3/sec$ 였다. 이 값은 $1,210,000 m^3/day$ 로 黑部川으로 부터의 지하수함양량이 대단히 큼을 알 수 있다.



그림 3.4 유량분포도

3.3 지하수면의 형태와 변동

3.3.1 측수조사

혹부천 선상지의 지하수유동을 규명할 목적으로 1989년 11월, 1990년 5월과 8월의 3회에 걸쳐 지하수위의 일제조사를 하였다. 측점의 총수는 85지점이다(그림 3.5). 또한 이 지역에는 건설성 및 부산면의 지하수위 관측정이 16곳에 설치되어 있어 이를 관측정 자료도 이용하였다.

3.3.2 조사방법

먼저 1989년 여름에 과거에 수행한 지하수조사 자료를 기초로 하여 예비조사를 실시하였다.

측수조사는 우물의 지하수위측정, 우물물의 수온, 전기전도도, pH등의 측정 및 일반 수질 분석용의 채수를 하였다. 측수를 한 곳은 가정용 우물, 자분정, 자연용수 및 지하수위 관측정 등이다.

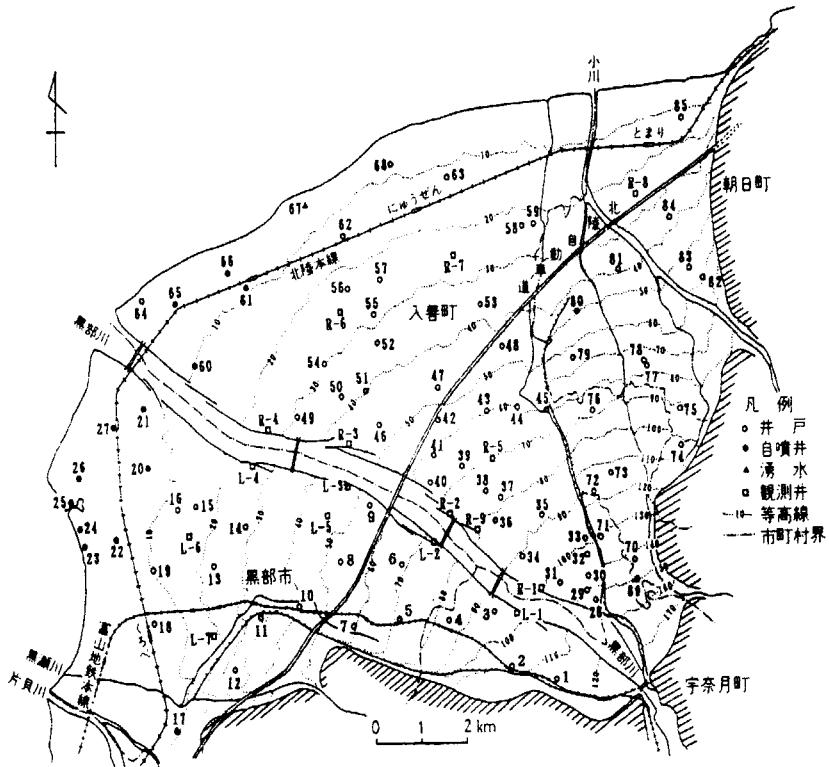


그림 3.5 관측점의 분포도

3.3.2 조사방법

먼저 1989년 여름에 과거에 수행한 지하수조사 자료를 기초로 하여 예비조사를 실시하였다.

측수조사는 우물의 지하수위측정, 우물물의 수온, 전기전도도, pH등의 측정 및 일반 수질 분석용의 채수를 하였다. 측수를 한 곳은 가정용 우물, 자분정, 자연용수 및 지하수위 관측정 등이다.

3.3.3 지하수위 분포

측수를 한 1989년 11월, 1990년 5월과 8월의 3회의 지하수 조사결과로부터 작성한 지하수면 도중 2개가 그림 3.6-3.7에 나타나있다. 각각의 지하수면도는 70-90개소의 측수지점을 기초로 하여 그린 것으로 지하수동고선과 함께 지표면의 등고선도 그려져 있어 쉽게 지하수면 형상을 읽을 수 있다.

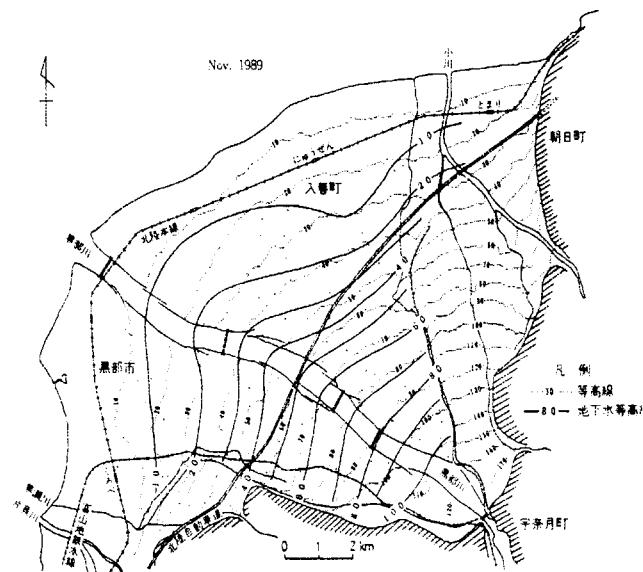


그림 3.6 1989년 11월의 지하수면도

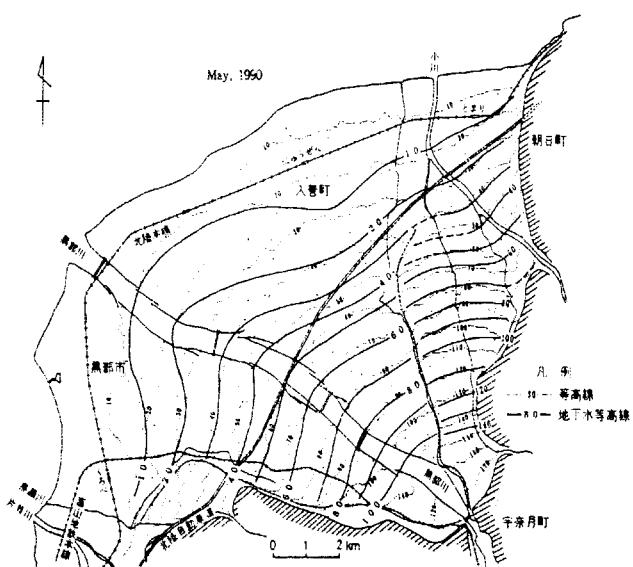


그림 3.7 1990년 5월의 지하수면도

3.3.4 과거의 지하수면도

1941년 8월에 지하수조사를 하여 지하수면도를 그린 이후 지금까지 20매 가까운 지하수면도가 작성되어 있다. 여기서는 이들 지하수면도에 대하여 순차적으로 개략적으로 살펴보고 黑部川 선상지의 지하수 상황을 개관한다. 먼저 1941년 8월의 지하수면도(그림 3.8)를 살펴보면 전반적으로 지하수 등고선은 선상지면의 지형 등고선과 거의 비슷한 형상을 하고 있다. 따라서 본 지역에는 그 당시에 지하수위의 저하가 없고 선상지의 지하수는 자연상태 그대로 존재하였다는 것을 알 수 있다.

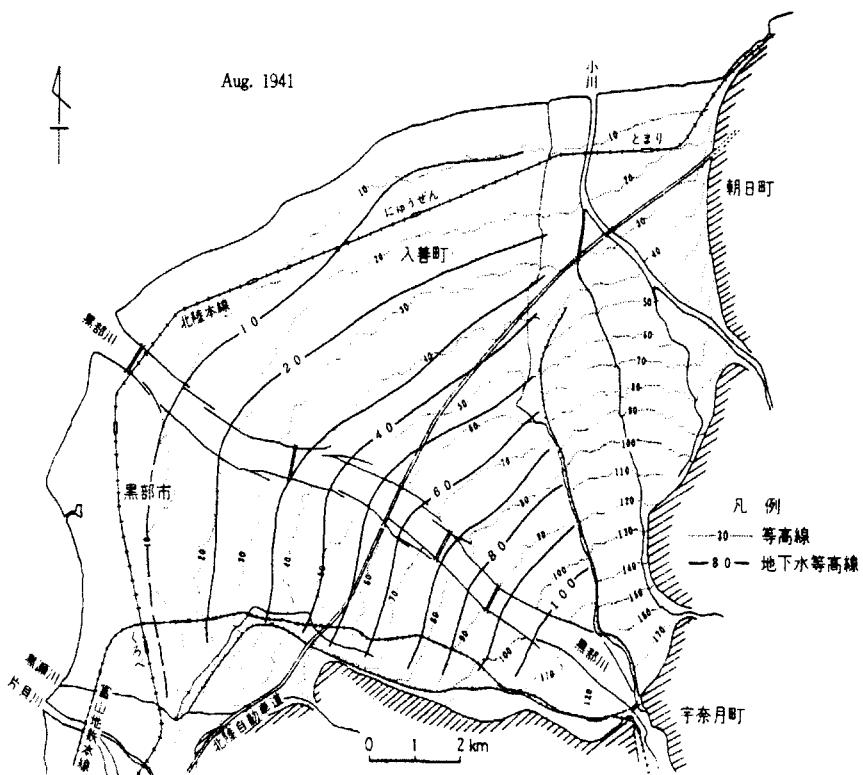


그림 3.8 1941년 8월의 지하수면도

3.3.5 지하수위의 경년변화 및 계절변화

그림 3.9는 黑部川 선상지에 설치되어 있는 관측정의 1977년 이후의 지하수위의 경년변화를 살펴보기 위하여 선상지에 점재하는 7개의 관측정에 대하여 나타낸 것이다.

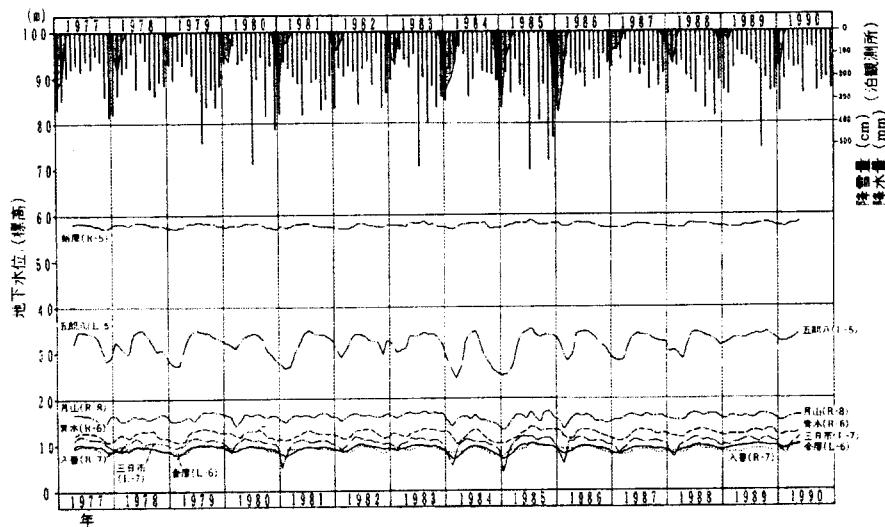


그림 3.9 지하수위의 경년변화

3.4 수질

3.4.1 지하수의 수질조사

수질조사의 목적으로 먼저 들 수 있는 것은 지하수의 지구화학적인 특질을 규명하기 위한 것이다. 지하수중에 함유된 각종의 용존성분의 기원, 수치, 지하수의 연대측정 등이 있다. 다음으로 대수층의 지질과의 관련, 지하수 유동경로의 추정, 수질오염 등도 포함된다.

3.4.2 黑部川 선상지의 지하수의 수질

채수는 1989년 11월 28일 - 12월 1일, 1990년 5월 22일 - 23일, 1990년 8월 28일의 계 3회 실시하였다. 측수지점의 위치는 그림 3.4.1에 나타내었다. 현장에서의 관측항목은 지하수면 깊이, 감수심, 수온, pH, RpH, 전기전도도이다. 본 지역의 수질의 경향을 규명하기 위하여 Key-diagram을 작성하였다. 그림은 각각 채수 시기별로 작성하였다.

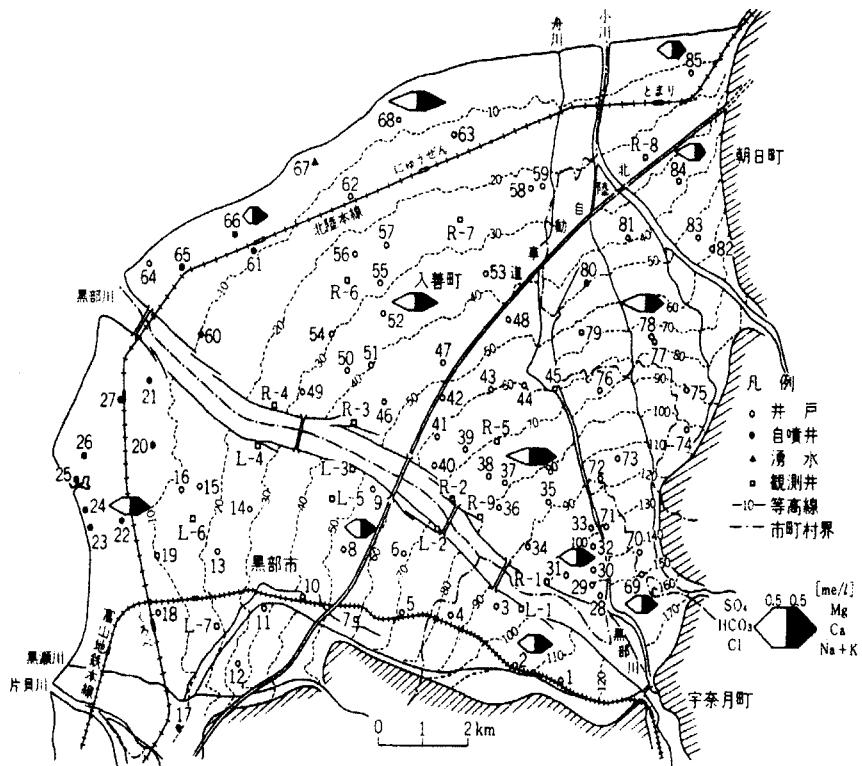


그림 3.10 지하수의 pattern diagram

3.5 지하수 이용

선상지 전지역으로부터의 공장에 의한 양수는 1971년에 약 $89,000 \text{ m}^3/\text{day}$ 였다. 1988년 12월에는 $149,715 \text{ m}^3/\text{day}$ 였다. 공장에 의한 양수량의 공간분포를 알기 위하여 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 메쉬의 도면에 표시하였다. 수도용 지하수의 양수는 $11,100 \text{ m}^3/\text{day}$ 이고 소설용 지하수양수는 $5090 \text{ m}^3/\text{day}$ 이며 사용 용도별 양수량의 지역적분포를 도면으로 나타내었다.

3.6 지하수온의 실태

3.6.1. 지하수온 조사

지하수온은 지하수유동 해명을 위한 우수한 추적자의 하나로 이것을 지하수조사에 이용하는 것은 대단히 유용한 수단이다. 본 장에서는 黑部川 선상지의 지하수온 실태를 조사하였다.

3.6.2 관측정 · 우물의 위치

지하수조사를 한 우물 등의 위치를 나타낸 것이 그림 3.5이나 그 중 관측정 만을 열거한 것이 그림 3.11이다.

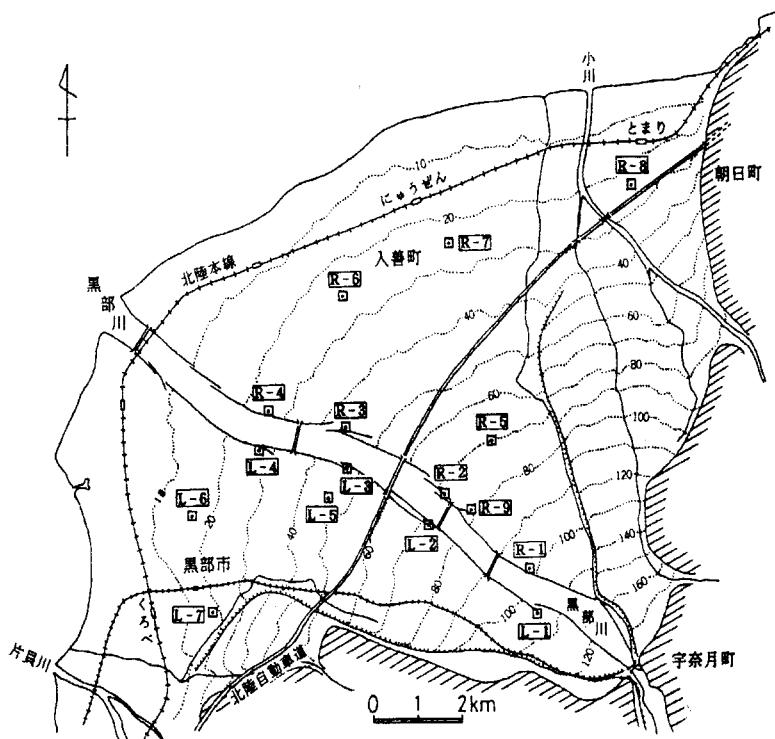


그림 3.11 관측정의 위치도

3.6.3 수온의 평면분포

우물의 측수조사시에 측정한 지하수온을 평면 분포로 나타낸 중 하나가 그림 3.12이다.

3.6.4 각 관측정별 지하수온 연직 프로파일

각각의 관측정에 대하여 지하수온의 연직 프로파일과 지질주상도를 나타낸 것이 그림 3.13이다.

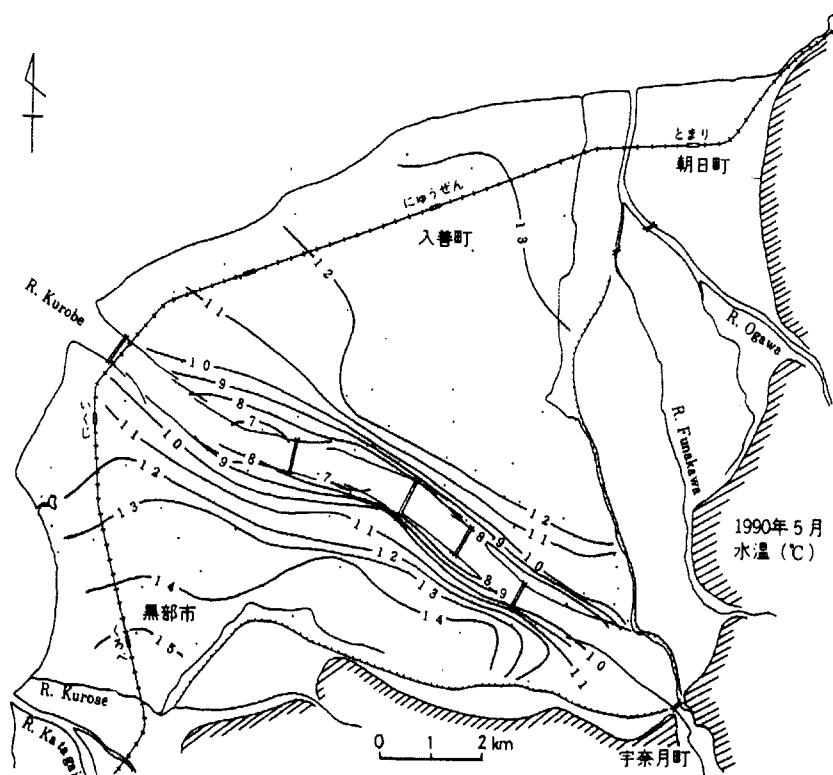


그림 3.12 1990년 5월의 지하수온 평면 분포도

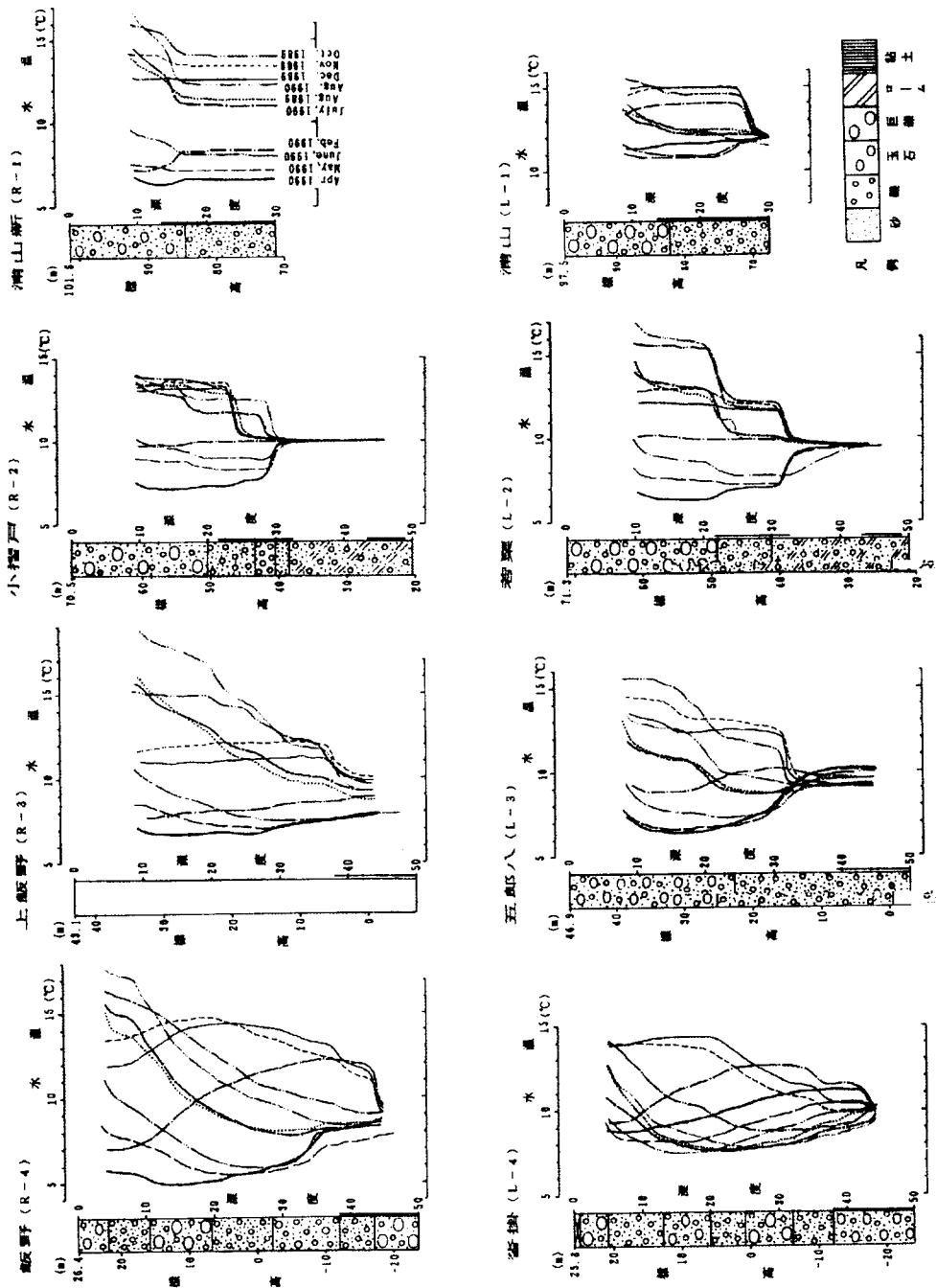


그림 3.13 黑部川 연안의 관측정의 지하수온 연직 프로파일

3.7 안정동위체에 의한 지하수유동해석

3.7.1 강수 및 하천수의 안정동위체비

조사지역의 지하수 중 안정·방사성 동위체 분석용의 채수는 천정호, 자분정, 용수에서 21개소, 관측정 11개소, 黑部川, 소천의 계 32개소에 대하여 하였다(그림 3.14).

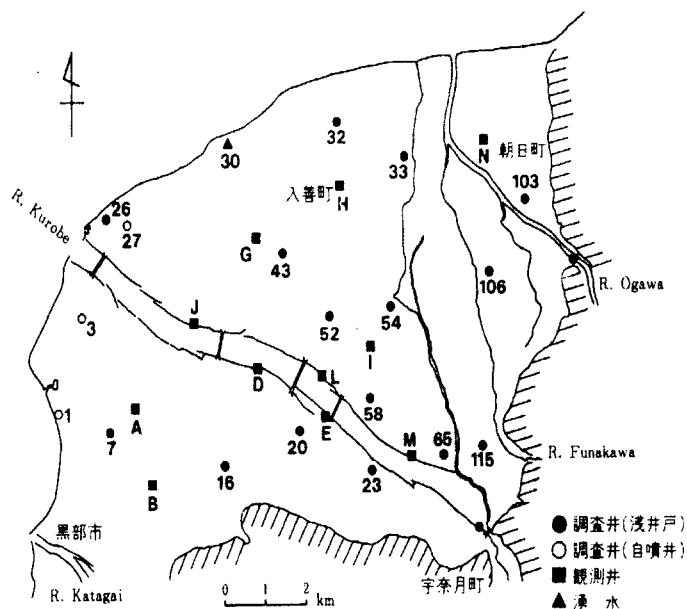


그림 3.14 환경동위체 분석용 채수지점

3.7.2 선상지 지하수의 안정동위체비 분포

본 지역의 지하수의 안정동위체 분석 결과로부터 $\delta^{18}\text{O}$, δD 의 등치선도를 그림 3.15와 그림 3.16에 나타내었다.

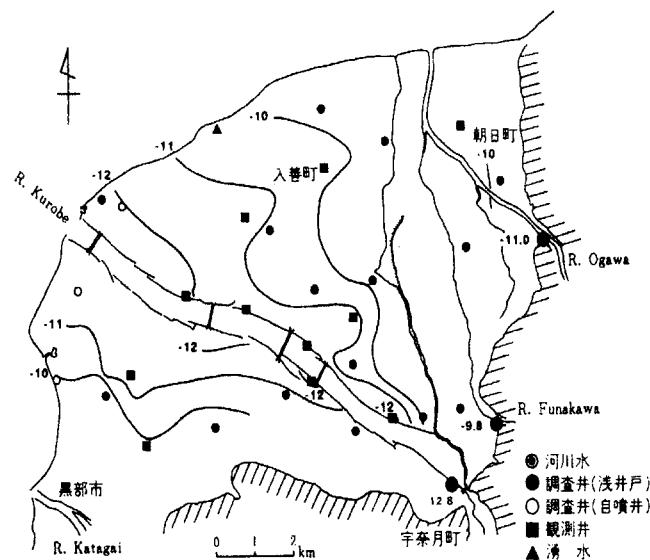


그림 3.15 선상지지하수의 $\delta^{18}\text{O}$ 분포도(단위: ‰)

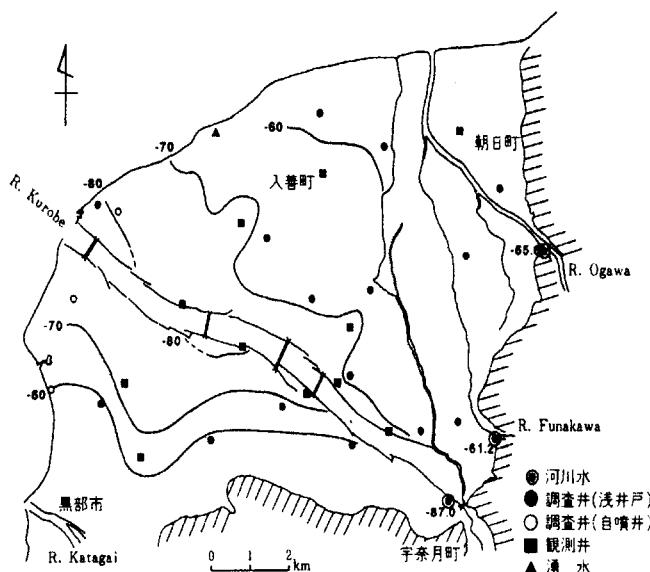


그림 3.16 선상지지하수의 δD 분포도(단위: ‰)

3.8 트리티움에 의한 지하수 유동해석

3.8.1 강수중의 트리티움농도

트리티움을 이용하여 지하수의 체류시간 해석을 하기 위해서는 입력이 되는 강수중의 트리티움 농도의 변동자료가 필요하다. 그림 3.17에 본지역의 트리티움 농도자료가 작성되어 있다.

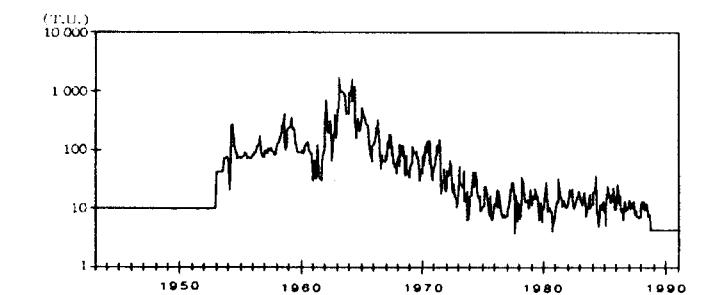


그림 3.18 黑部川 선상지의 강수의 트리티움 농도 경시변화
추정치

3.8.2 지하수중의 트리티움 농도

트리티움 농도의 측정은 선천을 제외한 안정동위체비의 측정을 행한 31지점의 지하수, 하천수에 대하여 행하였다. 그림 3.18은 천충지하수의 트리티움 농도분포를 나타낸 것이다.

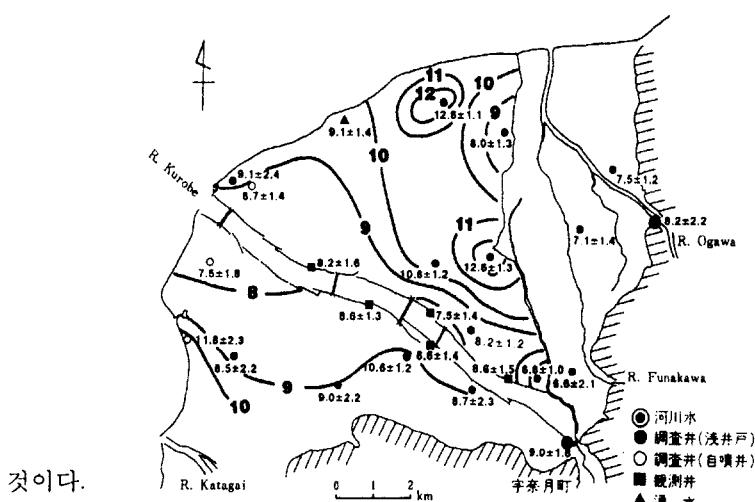


그림 3.18 천충지하수의 트리티움 농도분포(단위: T.U.)

3.9 지하수 유동 3차원 정상 시뮬레이션

3.9.1 시뮬레이션 결과

계산에는 그림 3.19의 격자를 사용하였다. 상부경계는 그림 3.19에 나타낸 1971년 5월 측정의 지하수면을 이용하였다.

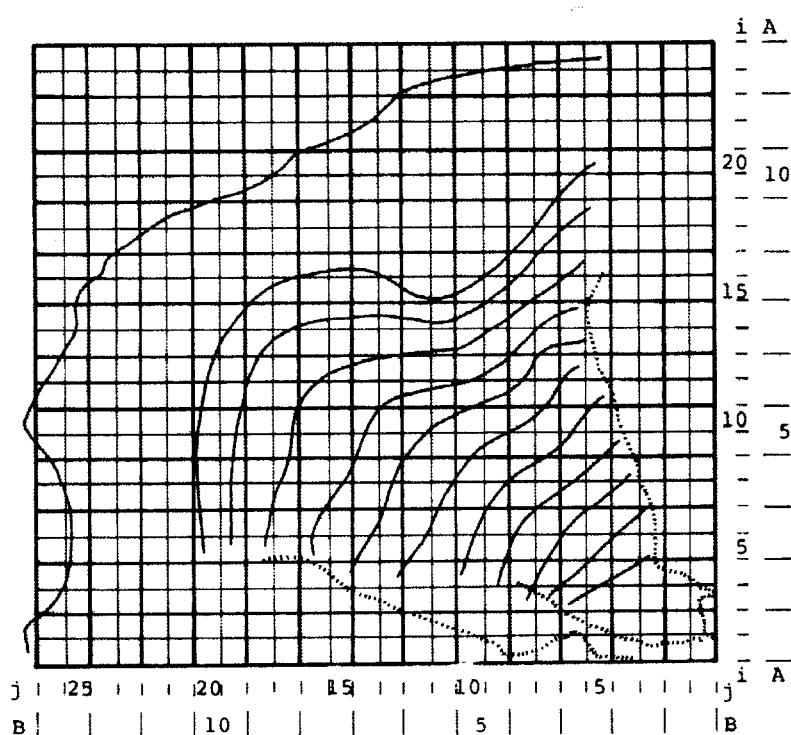
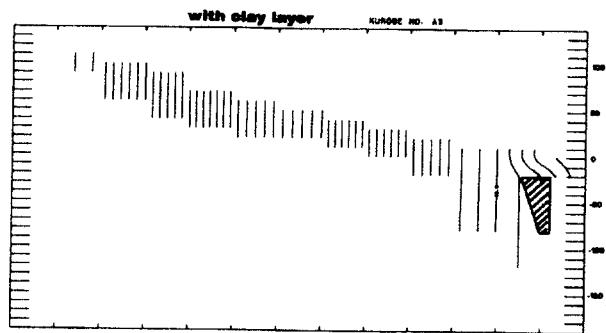
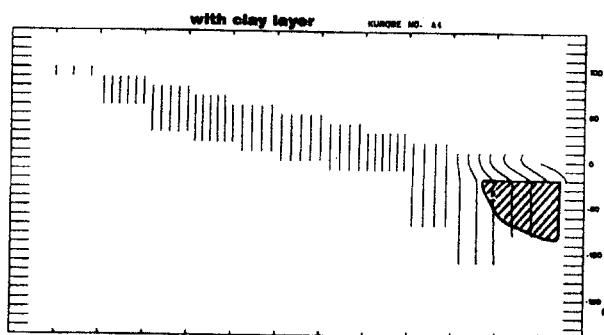


그림 3.19 1971년 5월의 지하수면 등고선도 및 모델영역

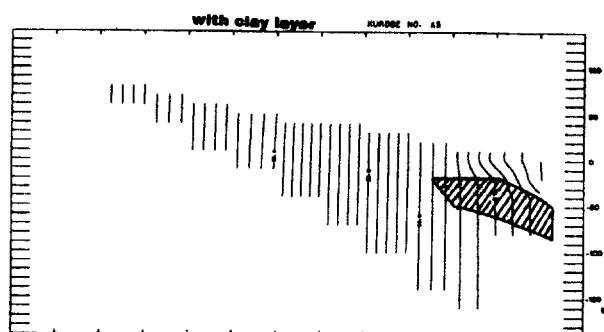
그림 3.20은 시뮬레이션 결과의 일부를 나타낸 것이다.



(1) 粘土層あり, 東西A03断面



(2) 粘土層あり, 東西A04断面



(3) 粘土層あり, 東西A05断面

그림 3.20 연직2차원 단면 포텐셜 분포(점토층을 고려한 경우)

4. 미국 및 영국의 지하수 조사

4.1 미국지질조사국의 지하수 조사 프로그램

지하수는 미국에서 중요한 자연자원의 하나로서 미국인구의 절반인 1억3천만명이 지하수를 음용수로 사용하고 있으며, 모든 주가 지하수를 이용하고 있다(그림 4.1). 그리고 미국 공공용수의 40% 정도 및 많은 양의 관개용수가 지하수에 의해 공급되고 있다. 또한 그림 4.2에 보여진 것처럼 지하수는 하천의 유량을 유지시키며, 호수, 습지 등의 지표수 생태계를 유지시켜 주는 중요한 기능을 하고 있다.

미국지질조사국(USGS)은 지하수/지표수 조사 및 연구개발 활동을 통하여 지하수 수문학의 발전에 중심적인 역할을 하여 왔으며, 특히 조사방법과 원리의 개발 및 지하수의 현명한 이용과 보전을 위하여 미국 전역의 주요 대수총에 대한 특성파악에 기여하여 왔다.

미국에서의 지하수에 대한 관심은 초기단계에서는 주로 지하수의 개발에 초점이 맞추어졌지만, 지하수의 개발이 광역화하고, 성숙단계로 접어들게 됨에 따라서 과잉양수, 수질악화, 지하수자원의 공평한 배분문제 등에 관심이 집중하게 되었고, 또한 지하수가 지표수체의 수량, 수질, 생물 및 생태학적 측면에 미치는 영향의 중요성을 인식하게 되었다. 그러므로 현재에는 지하수의 장기적인 공급가능성, 지하수이용에 따른 환경영향파악, 지하수질의 보호 등에 관한 조사평가 활동을 통하여 지하수자원의 지속적인 이용을 도모하고 있다.

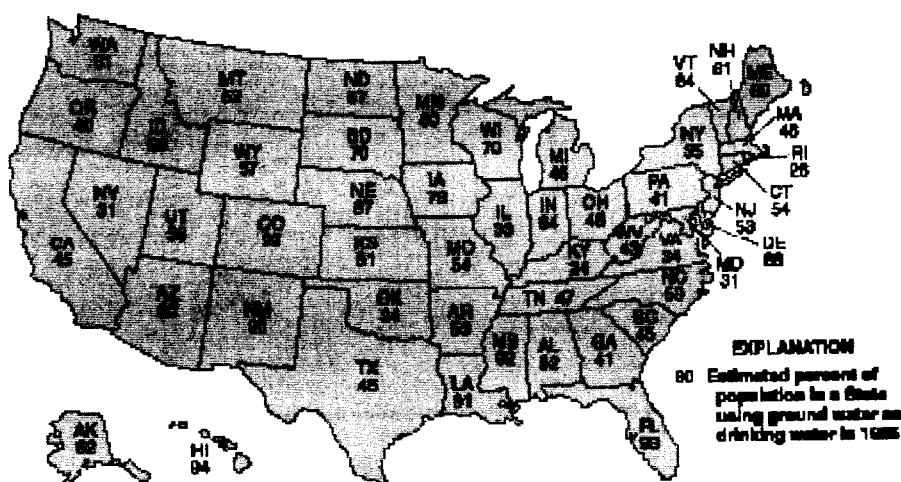


그림 4.1 지하수를 사용하는 인구비율 (USGS).

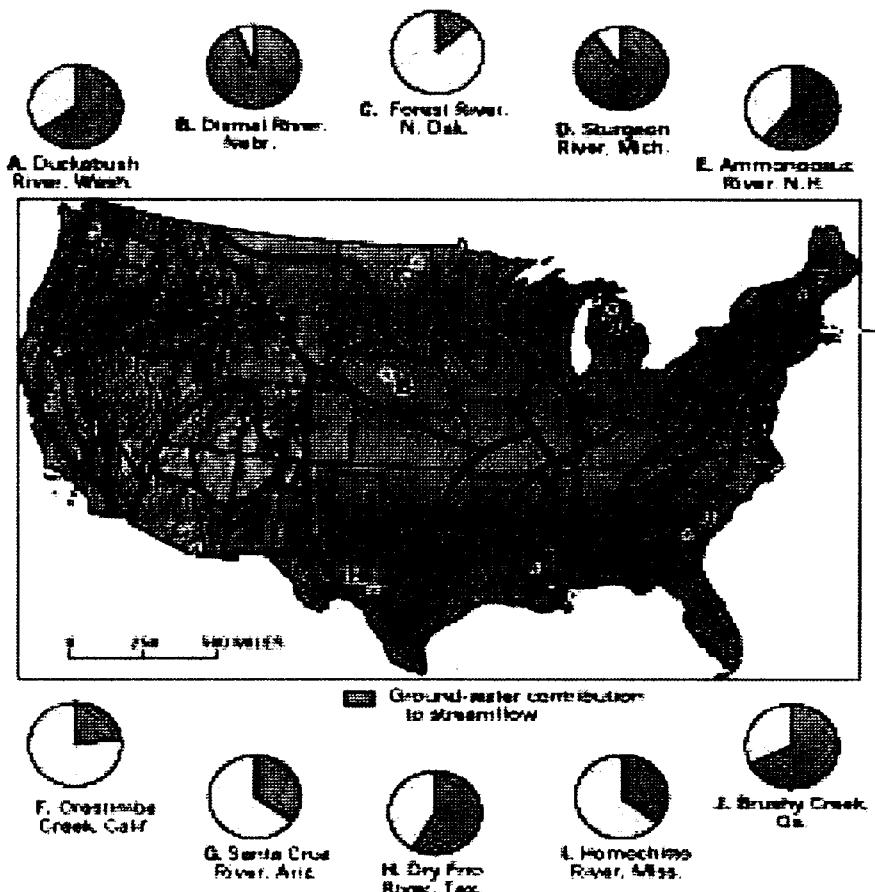


그림 4.2 미국의 10개 하천에서 지하수가 하천유량에 기여하는 비율

미국에서의 지하수 프로그램들 중에서 미국 전 지역을 대상으로 하여 종합적인 조사를 실시한 프로그램은 RASA (Regional Aquifer-System Analysis) 프로그램이다. RASA 프로그램은 1978년에 시작하여 1995년에 종료되었으며, 미국 전역을 25개의 지하수역으로 구분하여 조사를 실시하였다 (그림 4.3). RASA 프로그램은 개개 대수층에 대한 수문학적, 지질학적, 지화학적 골격을 정의하고 특성을 평가하였으며, 지하수계에 관련된 자료들을 정리하고, 지하수 개발이 지하수 시스템에 미치는 영향을 규명하는 목적을 가지고 실행되었다. 따라서 이 프로그램의 조사결과는 지하수자원의 광역적인 평가 및 효율적인 관리에 적용될 수 있으며, 국지적 규모에서의 세부적인 지하수조사를 위한 기초자료로서 활용될 수 있다. RASA 프로그램으로부터 1105개의 보고서가 발간되었으며, 이를 보고서의 목록과 RASA 프로그램의 전반적인 설명은 USGS의 홈페이지에 정리되어 있다.

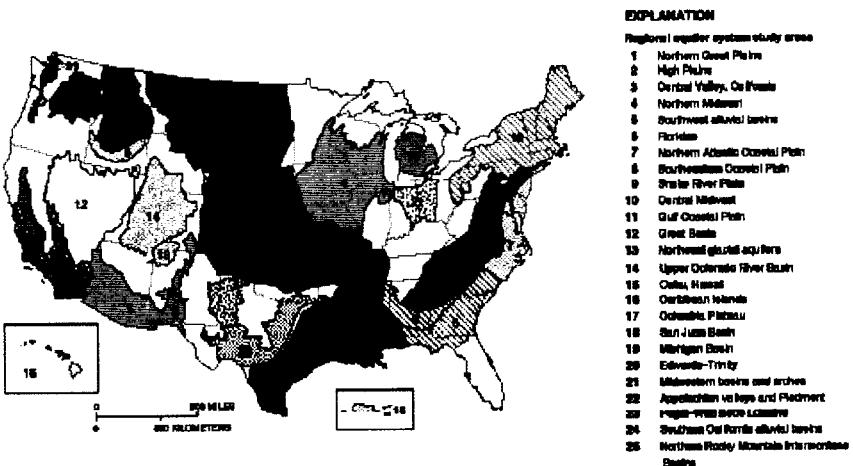


그림 4.3 RASA 프로그램에서 구분된 대수층 구역.

4.1.1 지하수지도 (Ground Water Atlas) 조사 사례

미지질조사국에서 조사하여 발간한 지하수지도는 RASA 프로그램의 조사결과들과 미국내의 다른 연방기관, 주정부 및 지방의 물 관련기관들에서 조사된 자료들을 수집하여 미국 전역의 주요 대수층에 대한 위치, 범위, 수문학적, 지질학적 특성에 관한 자료를 종합적으로 조사·정리한 유용한 자료이다.

그림 4.4에 보여진 것처럼 미국 전체를 13개의 권역으로 구분하였으며, 개개 권역은 2개 이상의 주를 포함하고 있다. 지도, 단면도, 도표, 그래프, 사진 등을 활용하여 개개 권역에 대한 주 대수층의 수문지질학적 특성을 묘사하였다. 지도는 대수층의 위치와 범위, 대수층의 두께, 수두분포, 수질특성 등을 나타내고, 상관도표는 대수층을 구성하는 지층 및 복잡한 대수층의 세분화된 구조를 나타내며, 수문지질 단면도는 대수층과 지질의 관계, 지하수 유동방향 등을 나타내고, 수문곡선은 강수 및 지하수개발량의 변화에 따른 지하수위의 증감 양상을 표시하며, 파이도표를 이용하여 양수된 물의 이용량 및 화학적 성분비를 나타내었다.

지하수지도는 미국에서 많은 수문학자들이 다년간 수행한 지하수조사를 요약하고 있으며 수문, 지하수유동, 지하수수질, 지하수이용, 지질 등에 관련된 주요 요소들의 특징을 제공하기 때문에 정책입안자, 수자원 계획자/기술자, 수문학자 등이 필요로 하는 관련자료로 이용하거나 다른 나라의 수문학자들이 미국의 지하수 시스템을 이해하거나 검토하는데 유용한 자료로 활용될 수 있다. 지하수지도는 광역적 규모의 조사이므로 지하수개발 가능지점 선정, 과잉개발 및 염수침입 지역의 추정, 지하수오염 가능지점 평가 등의 정밀한 조사와 작은 축척을 요

구하는 문제들은 지하수지도의 조사결과와 부가적인 정밀조사를 통하여 수행할 수 있다.

총 13개의 구역으로 구분되어 있는 지하수지도에 조사된 세부내용을 검토하기 위하여 구역 11(그림 4.4 참조)을 선택하여 조사내용들을 아래에 검토하였다. 구역 11은 Delaware, Maryland, New Jersey, North Carolina, West Virginia, Pennsylvania, Virginia 등의 7개 주로 구성되어 있으며, 조사된 주요 내용들은 다음과 같다.

(1) 연평균 강우량 분포: 그림 4.5에 제시된 것처럼 30년간의 강우자료를 이용하여 등우선을 도시함. 강우량은 산악 고지대 지역과 해안 지역들이 가장 많은 강우량을 나타냄.

(2) 연평균 유출량 분포: 그림 4.6에 나타난 것처럼 연평균 유출량은 강우량분포와 유사한 경향을 보임.

(3) 지형적 구분: 지형, 암석, 물보유 특성 등에 따라서 the Coastal Plain, the Piedmont, the Blue Ridge, the New England, the Valley and Ridge, the Appalachian Plateaus, the Central Lowland. 등의 7개 지역으로 구분함 (그림 4.7).

(4) 주대수층의 분류: 수문학적 특성, 지질학적 특성, 대수층 연결상태, 지형적구분 등에 따라서 5개의 주대수층과 세부적인 대수층으로 구분함 (그림 4.8).

(5) 지질학적 특성: 주요 암석단위의 분포를 나타내는 지질도 및 지질단면도 (그림 4.9)

(6) 지하수 수질특성: 지하수에 용해되어 있는 화학적 성분들의 농도를 비율로 나타내거나 또는 농도의 공간적 분포 특성을 파악함 (그림 4.10(a)은 모래와 자갈로 구성된 Surficial 대수층의 화학적 평균농도의 예를 나타내며, 그림 4.10(b)은 위치별 농도분포를 나타냄).

(7) 지하수 양수특성: 지하수 양수량 및 양수지역분포, 주대수층별 양수량 등을 파악함. 1985년에 천2백만톤/일 (2,600백만 갤론/일) 정도 채수되었으며, 이중에서 약 33%가 공공용수로 사용됨 (그림 4.11).

(8) 수문지질환경: 수문지질단면도를 파악함 (그림 4.12는 Surficial 대수층의 동서와 남북을 가로지르는 단면도).

(9) 대수층으로 유입되는 함양특성 및 유출 특성을 파악함 (그림 4.13에 나타난 Surficial 대수층에서 함양은 상류지역의 유출, 강우에 의한 침투 및 인접한 암반층으로부터 유입 등으로 구성되고, 갈수시에는 하천수가 대수층으로 침투하고, 지하수는 증발산에 의한 유출 및 인접 암반층으로의 유출이 발생되며, 함양량이 감소됨).

(10) 주 대수층 및 세부 대수층에 대한 우물의 산출특성을 파악하였고, 우물산출특성과 지질사이의 관계를 설명함.

(11) 지하수 용도별 이용량을 산정하여 지하수 용수이용 특성을 파악함 (그림 4.14).

(12) 개개 대수층에 대한 투수량계수 분포, 지하수 수두분포 및 지하수유동 경향을 파악함
 (그림 4.15는 Chesapeake 대수층에 대한 투수량계수 분포로서 $500 - 20,000 \text{ ft}^2/\text{d}$ 정도의 범위를 가지며, 특히 대서양에 인접한 지역들의 투수량계수가 큰 값을 보이며, 그림 4.15는 등포텐 설면과 지하수유동 경로를 나타냄).

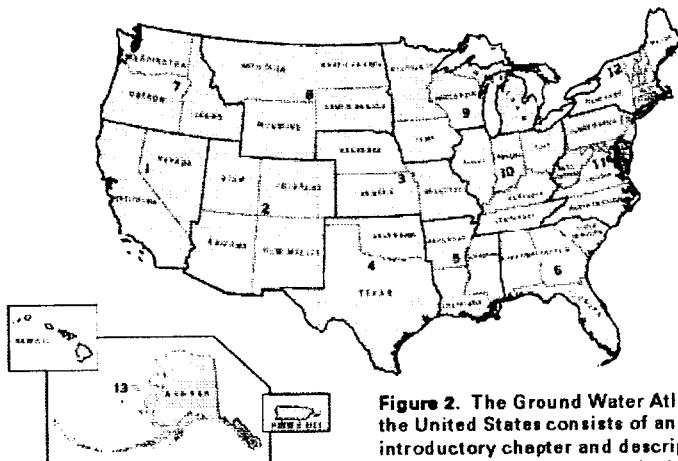


Figure 2. The Ground Water Atlas of the United States consists of an introductory chapter and descriptive chapters that discuss the principal aquifers in 13 multi-State segments.

EXPLANATION

Hydrologic Atlas Chapter	Content	Segment number
730-A	Introduction and National summary	—
730-B	California, Nevada	1
730-C	Arizona, Colorado, New Mexico, Utah	2
730-D	Kansas, Missouri, Nebraska	3
730-E	Oklahoma, Texas	4
730-F	Arkansas, Louisiana, Mississippi	5
730-G	Alabama, Florida, Georgia, South Carolina	6
730-H	Idaho, Oregon, Washington	7
730-I	Montana, North Dakota, South Dakota, Wyoming	8
730-J	Iowa, Michigan, Minnesota, Wisconsin	9
730-K	Illinois, Indiana, Kentucky, Ohio, Tennessee	10
730-L	Delaware, Maryland, New Jersey, North Carolina, Pennsylvania, Virginia, West Virginia	11
730-M	Connecticut, Maine, Massachusetts, New Hampshire, New York, Rhode Island, Vermont	12
730-N	Alaska, Hawaii, Puerto Rico, U.S. Virgin Islands	13

그림 4.4 지하수지도에서 구분된 구역

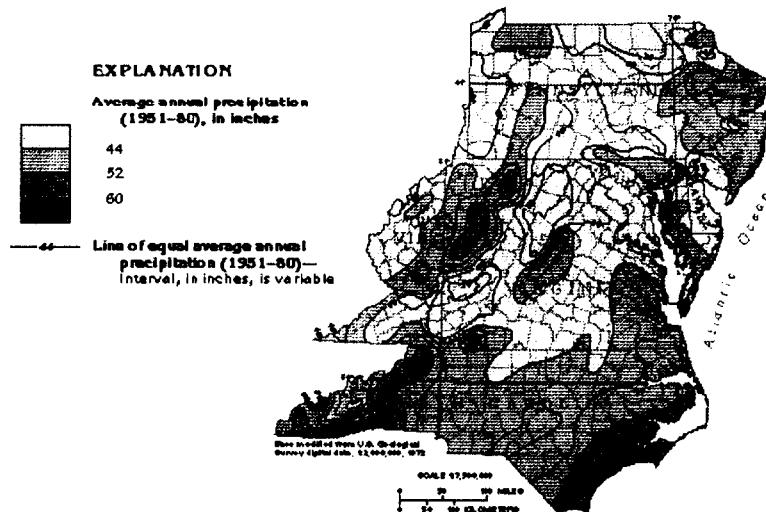


Figure 1. Average annual precipitation (1951-80) is greatest in the areas of high altitude on the western side of the segment and near the coast.

Modified from U.S. Geological Survey, 1986, National water summary 1985—Hydrologic events and surface-water resources: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2300, 506 p.

그림 4.5 연평균 강우량분포

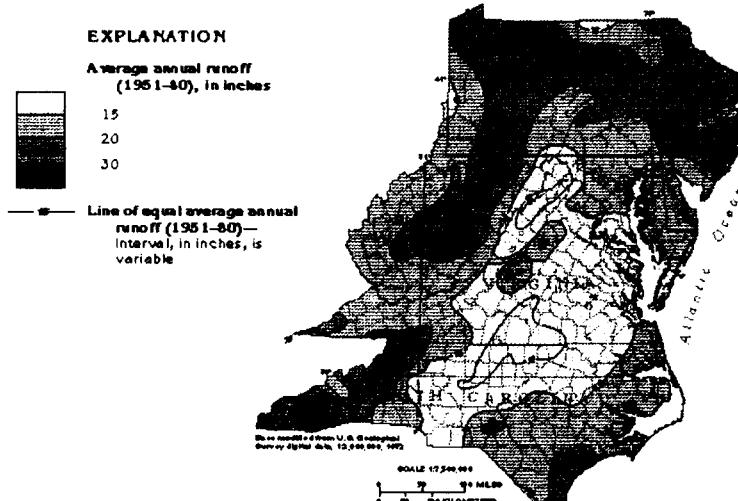
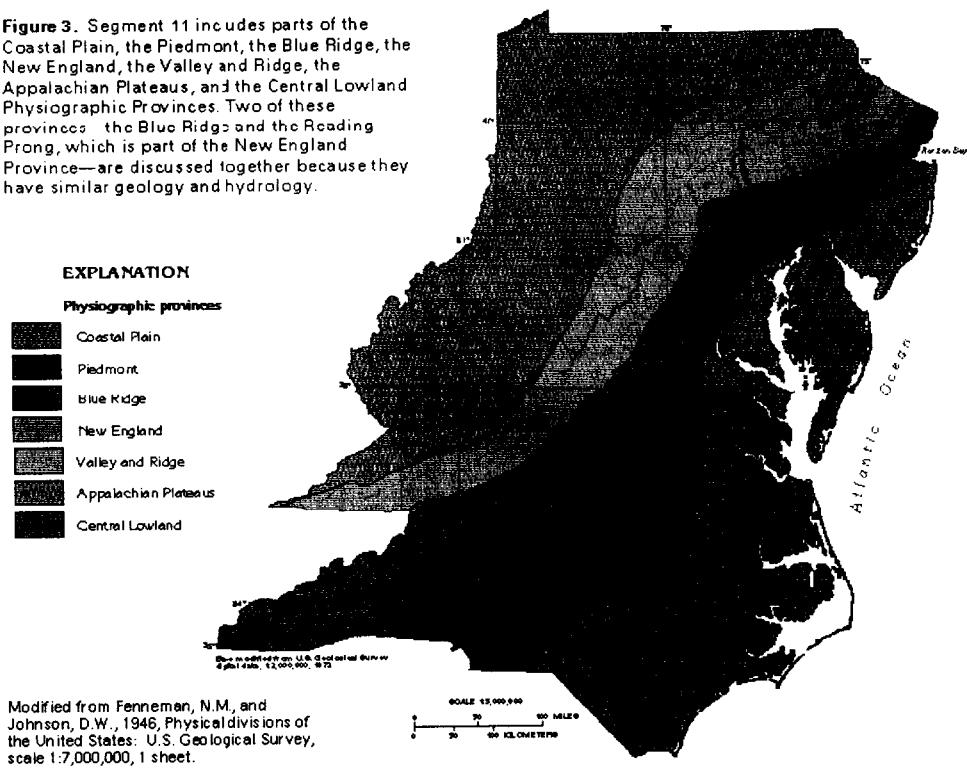


Figure 2. The patterns of average annual runoff from 1951 to 1980 are similar to those of precipitation.

Modified from Cobett, W.A., Croczyk, D.J., and Krug, W.R., 1987, Average annual runoff in the United States, 1951-1980: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-710, scale 1:7,500,000, 1 sheet.

그림 4.6 연평균 유출량분포

Figure 3. Segment 11 includes parts of the Coastal Plain, the Piedmont, the Blue Ridge, the New England, the Valley and Ridge, the Appalachian Plateaus, and the Central Lowland Physiographic Provinces. Two of these provinces—the Blue Ridge and the Roanoke Prong, which is part of the New England Province—are discussed together because they have similar geology and hydrology.



Modified from Fenneman, N.M., and Johnson, D.W., 1946, Physical divisions of the United States: U.S. Geological Survey, scale 1:7,000,000, 1 sheet.

Figure 6. Unconsolidated deposits of Quaternary age are on the northern and western parts of Segment 11. Glacial outwash and alluvium along major stream valleys are mostly sand and gravel, that form productive local aquifers. Deposits of till in areas once covered by continental glaciers and fine-grained glacial-lake deposits are not aquifers.

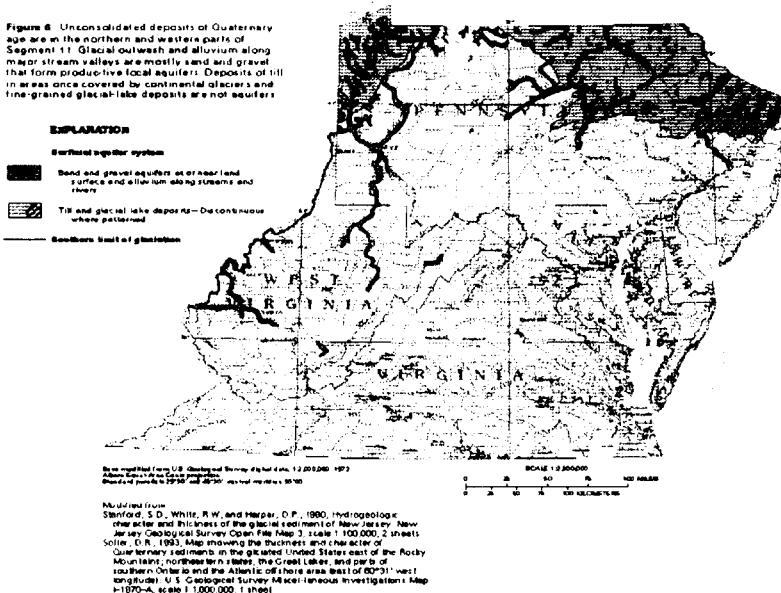


그림 4.7 구역 11의 지형적 구분.

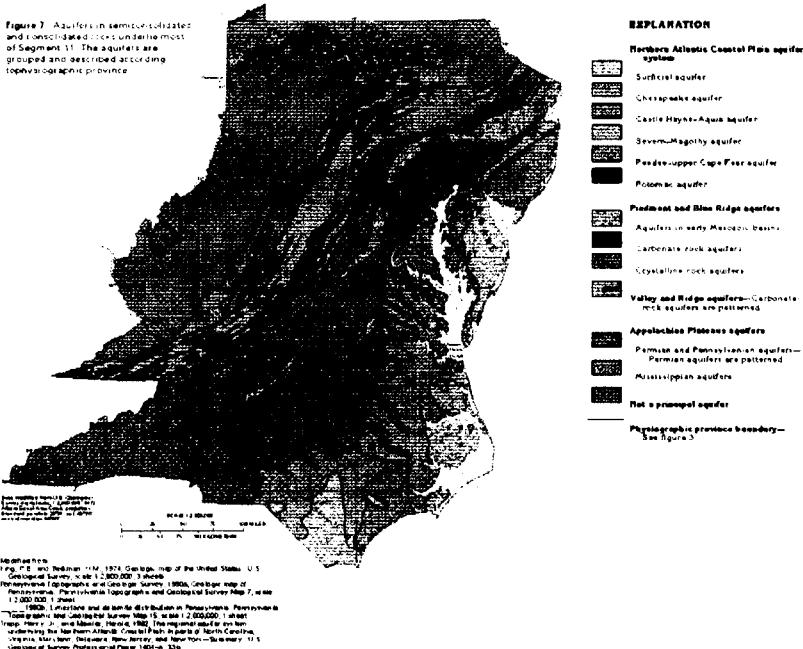


그림 4.8 주요 대수층 분포.

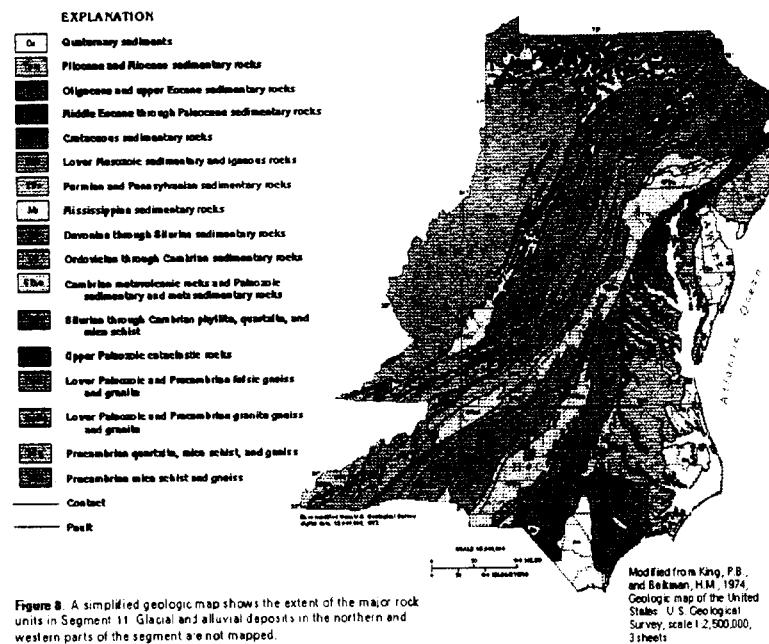


Figure 8. A simplified geologic map shows the extent of the major rock units in Segment 11. Glacial and alluvial deposits in the northern and western parts of the segment are not mapped.

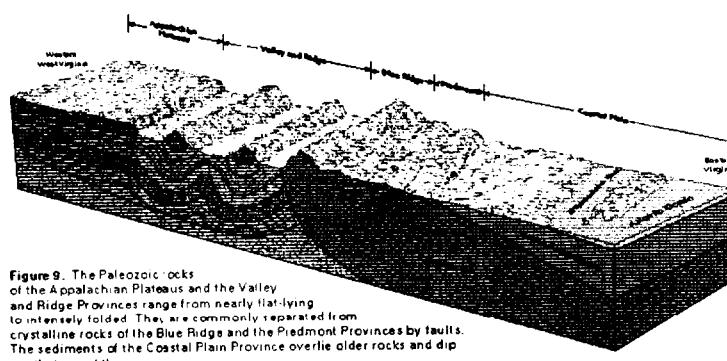


Figure 9. The Paleozoic rocks of the Appalachian Plateau and the Valley and Ridge Provinces range from nearly flat-lying to intensely folded. They are commonly separated from crystalline rocks of the Blue Ridge and the Piedmont Provinces by faults. The sediments of the Coastal Plain Province overlie older rocks and dip gently toward the ocean.

그림 4.9 지질도 및 지질단면도

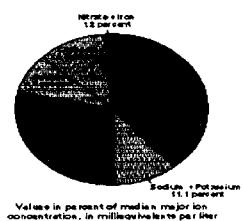
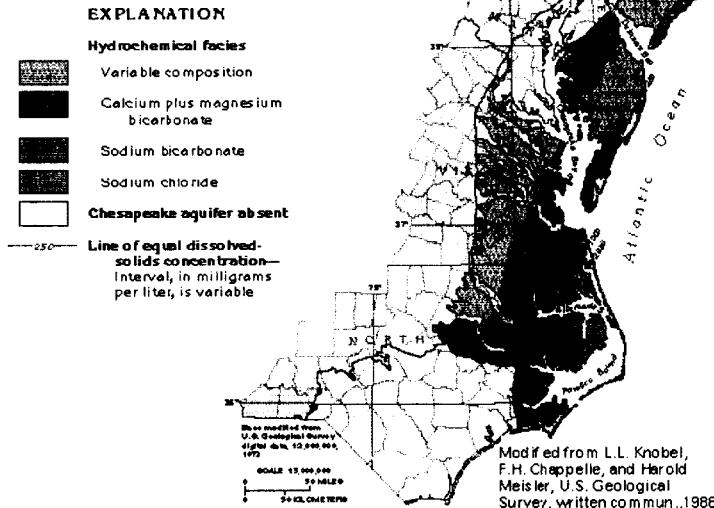


Figure 16. The median concentrations of dissolved chemical constituents in water from the sand and gravel aquifers of the surficial aquifer system show that the water is a calcium bicarbonate type.

Modified from:
 Roth, D.K., Engelke, M.J., Jr., and others, 1981, Area 4, eastern coal province, Pennsylvania, Ohio, and West Virginia (Upper Ohio River, Shenango River, Mahoning River, Beaver River): U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Open-File Report 81-313, 62 p.
 Enke, J.A., Rutherford, S., and Downs, S.C., 1982, Hydrology of Area 9, eastern coal province, West Virginia (Kanawha River, Coal River, New River, Elk River): U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Open-File Report 81-902, 63 p.
 Herb, W.J., Shaw, L.C., and Brown, D.E., 1981a, Hydrology of Area 3, eastern coal province, Pennsylvania (Lower Allegheny River, Kiskiminetas River, Mahoning Creek, Redbank Creek): U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Open-File Report 81-537, 62 p.
 —, 1981b, Hydrology of Area 5, eastern coal province, Pennsylvania, Maryland, and West Virginia (Youghiogheny, Monongahela, Tygart Valley, and Cheat Rivers): U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Open-File Report 81-538, 92 p.
 Herb, W.J., Brown, D.E., Shaw, L.C., and Becher, A.E., 1983, Hydrology of Area 1, eastern coal province, Pennsylvania (West Branch Susquehanna River, Sinnemahoning Creek, Upper Juniata River, Clearfield Creek): U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Open-File Report 82-223, 78 p.
 Herb, W.J., Brown, F.D., Shaw, L.C., Stoner, J.D., and Feibinger, J.K., 1983, Hydrology of Area 2, eastern coal province, Pennsylvania and New York (Middle Allegheny River, French Creek, Clarion River): U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Open-File Report 82-447, 93 p.
 Friel, E.A., Ehlike, S., Hobbel, W.A., Ward, S.M., and Saylor, C., 1987, Hydrology of Area 8, eastern coal province, West Virginia and Ohio (Little Kanawha River, Hocking River, Ohio River): U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Open-File Report 84-483, 78 p.

(a)

Figure 32. The hydrochemical facies of water in the Chesapeake aquifer change progressively seaward from a variable-composition facies to a sodium chloride facies. Dissolved-solids concentrations in the water increase in a seaward direction.



(b)

그림 4.10 지하수 수질 농도

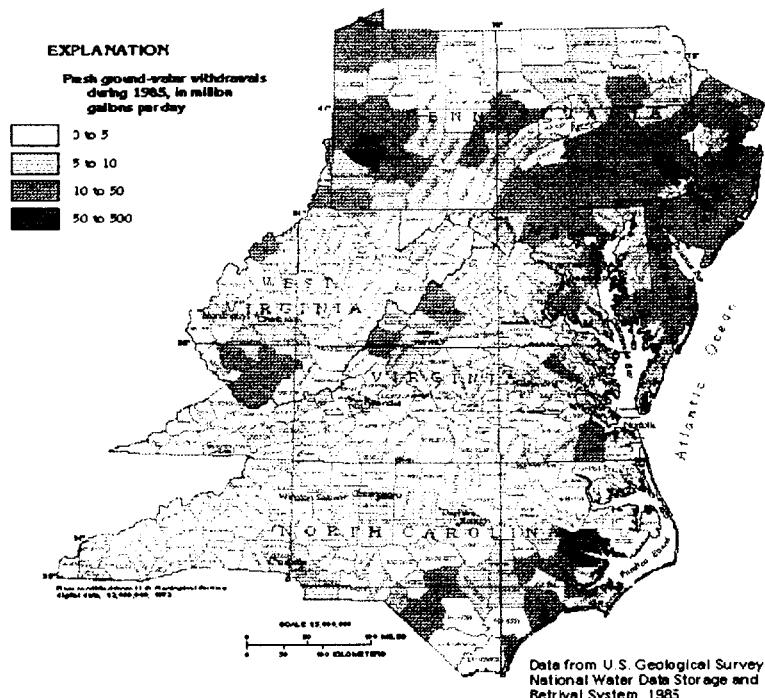


Figure 10. Fresh ground-water withdrawals during 1985 generally were greatest in counties with large populations or with industries that require large volumes of water.

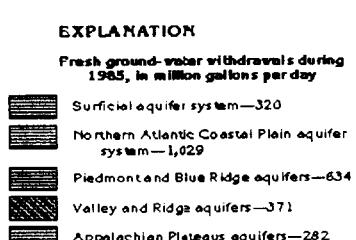
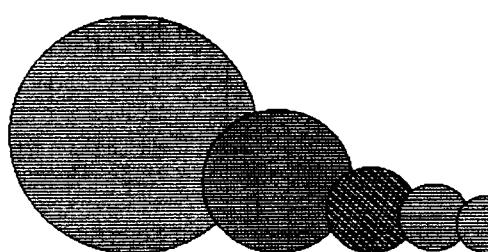
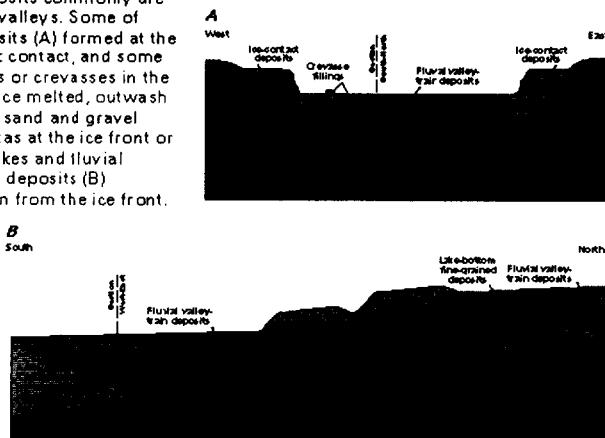


Figure 11. Total withdrawals of ground water were about 2,600 million gallons per day during 1985. The Northern Atlantic Coastal Plain aquifer system yielded about 40 percent of the fresh ground water withdrawn. Aquifers of the Piedmont and the Blue Ridge Physiographic Provinces were the second most-used aquifers.

그림 4.11 지하수 양수특성

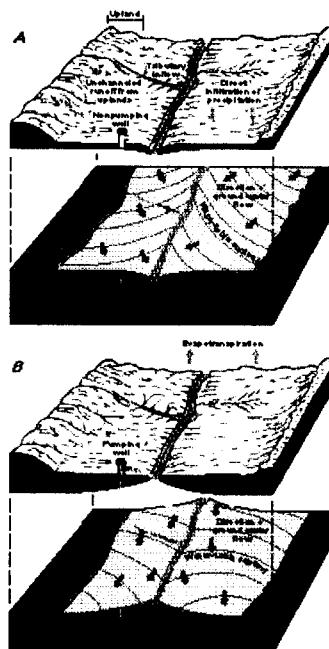
Figure 14. Coarse-grained glacial deposits commonly are in bedrock valleys. Some of these deposits (A) formed at the ice-bedrock contact, and some filled cracks or crevasses in the ice. As the ice melted, outwash formed deltas at the ice front or in glacial lakes and fluvial valley-train deposits (B) downstream from the ice front.



Modified from Lyford, F.P., 1986, Northeast glacial regional aquifer-system study, in Sun, R.J., ed., Regional aquifer-system analysis program of the U.S. Geological Survey—Summary of projects, 1978–1984: U.S. Geological Survey Circular 1002, p. 162–167.

그림 4.12 대수층 단면도.

Figure 15. Recharge to valley-fill aquifers is from multiple sources, and, during periods of normal precipitation, is adequate to maintain aquifer water levels above those of streams (A); water moves from the aquifer to the stream. During droughts, discharge by seepage to adjacent bedrock, evapotranspiration, and withdrawals from wells, coupled with a decrease in recharge, can lower aquifer water levels until flow is reversed and water moves from the stream to the aquifer (B).



Modified from Rosenschein, J.S., 1988, Region 18, Alluvial valleys, in Beck, William, Rosenschein, J.S., and Seaber, P.R., eds., Hydrogeology: Geological Society of America, The Geology of North America, v. 0-2, p. 165–175.

그림 4.13 Valley-Fill 대수층에 대한 함양 및 유출 특성 모식도.

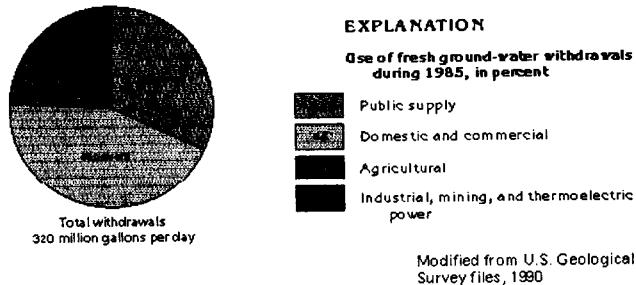
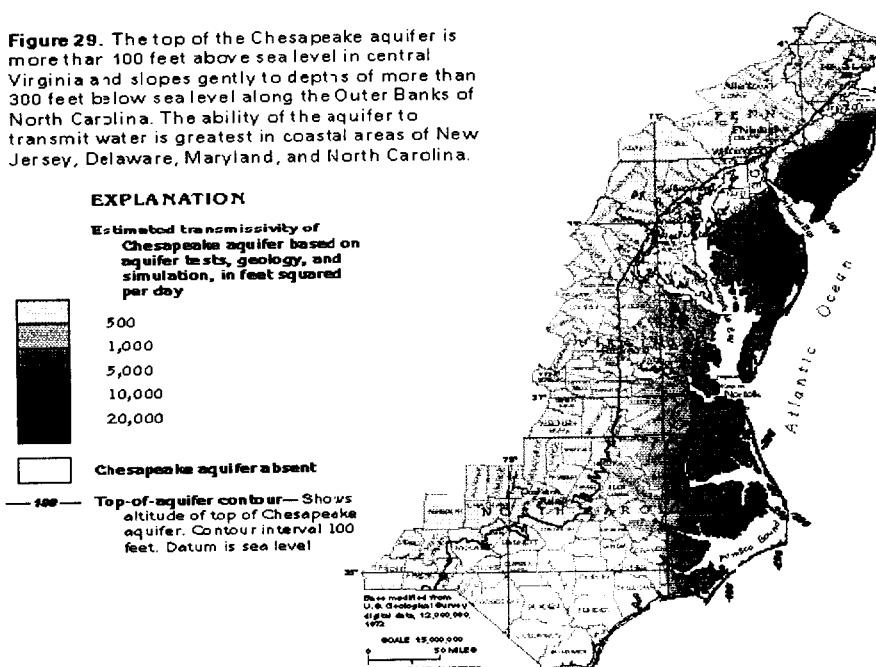


Figure 17. Most of the freshwater withdrawn from the surficial aquifer system in Segment 11 during 1985 was used for domestic and commercial purposes and public supply.

그림 4.14 Surficial 대수층에서 용수별 지하수 이용량.

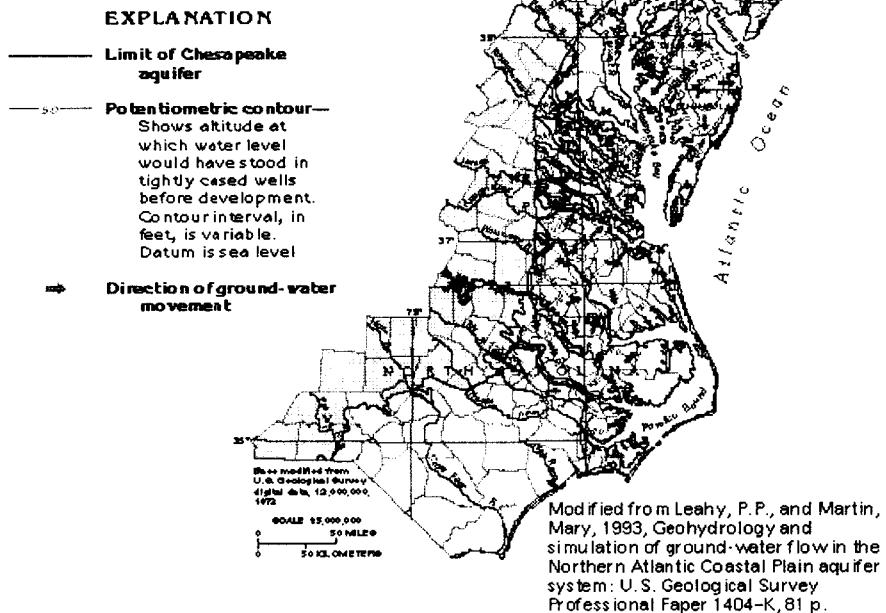
Figure 29. The top of the Chesapeake aquifer is more than 100 feet above sea level in central Virginia and slopes gently to depths of more than 300 feet below sea level along the Outer Banks of North Carolina. The ability of the aquifer to transmit water is greatest in coastal areas of New Jersey, Delaware, Maryland, and North Carolina.



Modified from:
 Meissner, Harold, 1989, The occurrence and geochemistry of salty ground water in the Northern Atlantic Coastal Plain: U.S. Geological Survey Professional Paper 1404-D, 51 p.
 Trapp, Henry, Jr., 1992, Hydrogeologic framework of the Northern Atlantic Coastal Plain in parts of North Carolina, Virginia, Maryland, Delaware, New Jersey, and New York: U.S. Geological Survey Professional Paper 1404-G, 55 p.
 Trapp, Henry, Jr., and Meissner, Harold, 1992, The regional aquifer system underlying the Northern Atlantic Coastal Plain in parts of North Carolina, Virginia, Maryland, Delaware, New Jersey, and New York—Summary: U.S. Geological Survey Professional Paper 1404-A, 33 p.
 Winzer, M.D., Jr., and Coble, R.W., 1996, Hydrogeologic framework of the North Carolina Coastal Plain aquifer system: U.S. Geological Survey Professional Paper 1404-I.

(a)

Figure 30. Before ground-water withdrawals began, water moved through the Chesapeake aquifer mostly along short flow paths from high to low altitudes and discharged to streams. Some of the water, however, moved along longer flow paths and discharged to estuaries, sounds, and the Atlantic Ocean.



(b)

그림 4.15 Chesapeake 대수층에 대한 투수량계수 분포도 및 지하수유동 경로.

본 고에서는 지하수지도의 다른 구역들에 대한 조사내용을 세부적으로 검토하지 않았지만, 위에서 검토한 11구역의 조사내용과 개략적으로 유사하다고 판단되며, 개개 구역의 수문지질 특성과 당면하고 있는 지하수문제의 특성에 따라서 증발산량, 지반침하특성, 염수침입특성, 물 수지분석, 비산출율, 관개지역특성, 용존고형물농도 등의 파악을 위한 항목들이 추가될 수 있으며, 지하수지도에 관한 자세한 조사내용은 미국지질조사국의 지하수지도 홈페이지에 제시되어 있다.

4.2 영국의 지하수 조사 및 현황

4.2.1 지하수 현황

영국에서의 지하수이용은 대수총분포 특성 및 지표수개발의 용이성과 경제성 등에 따라서 많은 편차가 존재하며, England와 Wales에서는 지하수공급량은 총공공용수 공급량의 약 1/3을 점유하고 있으며, Northern Ireland에서는 7%, Scotland에서는 약 3% 정도를 점유하고 있다 (그림 4.16). 특히 영국 동남부지역은 지하수에 대한 의존이 높은 지역으로서 지하수이용량이 총용수공급량의 40-50%를 상회하고 있다.

영국에서의 년간 지하수 채수량은 24억톤/년 정도이며, 이 채수량의 약 85%는 두 개의 주 대수총인 Chalk 대수총(60%) 및 Permo-Triassic 사암대수총(25%)으로부터 얻어진다. 영국의 주대수총은 주로 저지대에 분포하며, 그림 4.17은 중요한 대수총 분포를 나타낸다. 주요 대수총으로는 Chalk 및 Permo-Triassic 사암 대수총이외에 Jurassic 석회암, Lower Greensand 대수총 등이 있다.

Chalk 대수총은 부드럽고 흰색을 나타내는 석회암으로 높은 공극율을 나타내지만, Chalk의 입자가 아주 미세하기 때문에 공극내의 물의 유동은 매우 미미하며, 비산출율은 1% 정도로 매우 낮다. 그러나 Chalk 대수총은 균열망의 발달로 인하여 높은 투수성을 나타내어 개개우물의 산출량이 $10,000,000 l/d$ 이상을 나타낼 수 있다.

Permo-Triassic 사암은 사막환경조건에서 기원된 적색의 사암으로 두꺼운 퇴적지역에서 발견된다. 높은 공극율(0.3)과 비산출율(20 - 30%)을 나타내며, 지하수 흐름은 주로 다공성 지층을 통하여 흐르고, 사암내의 균열은 지하수의 투수성을 증진시키는 역할을 한다. Permo-Triassic 사암은 투수성이 매우 높아서 $5,000,000 - 10,000,000 l/d$ 의 높은 산출율을 나타낸다.

Jurassic 석회암은 비교적 단단한 석회암으로 낮은 비산출율을 나타내지만 용해된 균열망이 넓게 발달되어서 높은 투수성을 나타낸다. Lincolnshire 석회암지역은 단일 우물당 가장 많은 산출율을 나타내는 지역으로 하나의 우물로부터 $30,000,000 l/d$ 이상의 초기 산출율을 나타내었다.

Lower Greensand 대수총은 동부의 Chalk 대수총의 측면에 위치하며, 비산출율은 10 - 20%정도이고, Permo-Triassic 사암보다 산출율은 작지만, 투수성은 보통으로서 지하수개발이 가능하다.

영국의 대수총은 모래/자갈같은 층적대수총이 주요 대수총이 아니고, 균열망이 발달된 석회암과 사암이 주 대수총을 구성하는 특징이 있다.

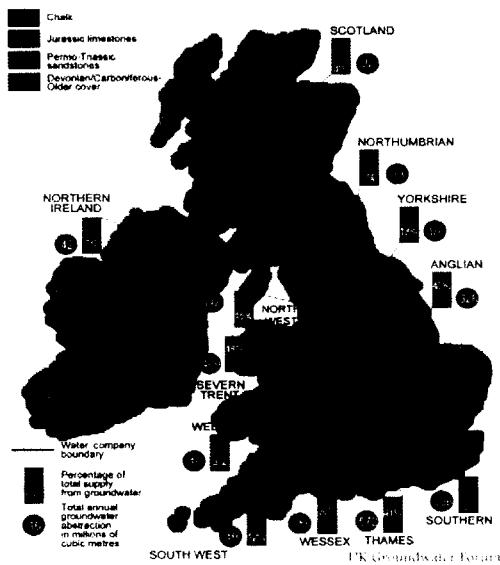


그림 4.16 영국에서의 지하수 개발량 분포

(UK Groundwater Forum)

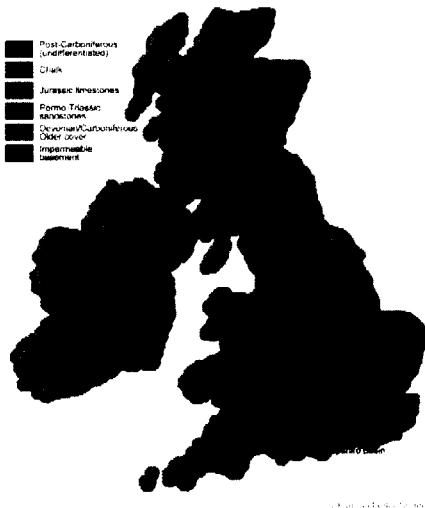


그림 4.17 영국의 주요 대수층 분포

4.2.2 지하수조사 사례

영국의 지하수조사 사례로는 영국지질조사국(BGS, British Geological Survey)에서 수행한 수문지질도의 조사내용을 검토하였다. 그림 4.18에 보여진 것처럼 23개의 지역으로 구분하여 개개 대수층에 대한 광역적인 규모의 수문지질도가 BGS에 의해 발간되었다. 수문지질도의 축척범위는 1:25,000 - 1:625,000으로 지역에 따라서 차이가 있으며, Carnmenellis granite(Index: 21) 지역과 Jersey(Index: 22) 지역은 1:25,000이고, England & Wales(Index:1)와 Scotland(Index:18)의 수문지질도는 1:625,000 축척이며, 나머지 지역들은 주로 1:100,000 축척으로 되어 있다.

본 고에서는 축척 1:125,000의 Southern East Anglia(Index:5) 수문지질도에 제시된 내용들을 검토하였다. 수문지질도는 두 장으로 구성되며, 첫 장은 수문학적, 지질학적 특성을 포함하고, 두 번째 장은 지질학적 구조 및 수화학적 특성을 다루고 있다. 첫 장에 포함된 주요 내용들은 다음과 같다:

(1) 축척 1:625,000의 작은 지도에 지형기복의 범위 및 50mm 간격의 등우선으로 평균강수량 분포를 나타냄 (그림 4.19)

(2) 주 대수층의 우물에서 관측된 9년 동안의 지하수위 변동경향 및 유효강우량의 변동을 파악함 (그림 4.20). 여기서 유효강우는 강우량에서 증발산량을 제외한 것을 의미한다.

(3) 수문지질학적 특성은 표류층과 암반층으로 구분하여 표류층은 Alluvium, Valley Gravels, Sands and Gravels, Boulder Clay 등으로 세분하고, 암반층은 Crag, Upper and Middle Chalk, Lower Chalk, Lower Greensand, West Walton Beds로 구분하여 수문지질도 상에 표시하였다. 그리고 개개 층에 관하여 조사된 수문지질학적 특성들은 다음과 같다: 지층 분포특성, 대수층 두께, 우물산출량 및 산출특성, 투수성 범위, 총경도 범위, 염소이온농도 범위.

(4) 수문지질도에는 선과 기호를 사용하여 지표수특성, 지하수특성, 지질특성 및 기타 인위적인 요소들을 표시하였다.

- ▶ 지하수특성: 10m 간격의 등포텐셜선, 지하수 분수령
- ▶ 지질특성: 표류층과 암반층의 경계, 단층
- ▶ 지표수 특성: 주 건조 계곡부의 진로, 항류하천, 간헐하천의 진로, 인공수로의 진로, 갈수기간에 염소이온농도가 1000 mg/l를 초과하는 하천, 공공용수 취수구, 유량관측소 위치(평균유량 및 유역면적이 표시됨), 지표수분수령, 용천, 호수, 저수지, 습지위치
- ▶ 인위적 요소: 우물위치, 공공용수 공급우물, 관측우물, 용수공급 관로, 채석장, 굴착갱

(5) 지층특성, 포화대수층의 범위 및 등포텐셜선이 표시된 단면도

그리고 두 번째 장에 포함된 주요 내용들은 다음과 같다:

- (1) 지질구조 등고선: 지하수가 개발될 수 있는 지층의 범위를 나타내며, 이를 등고선으로는 Chalk 대수층의 노두표면 등고선, Chalk 대수층의 암반상층면의 등고선, London Clay층 위에 위치하는 Crag 기저층의 등고선, Lower Greensand 대수층의 상층부 등고선, chalk 대수층내에 존재하는 매몰천의 개략적인 진로, 표류층의 두께 및 표류층의 50m 이상을 시험하는 시추공의 위치
- (2) 지하수가 개발될 수 있는 Chalk, Crag, Drift, Lower Greensand의 개개층에서 허가된 우물 양수위치 및 양수량
- (3) 염소이온 농도분포 및 총 경도를 나타내는 등농도선

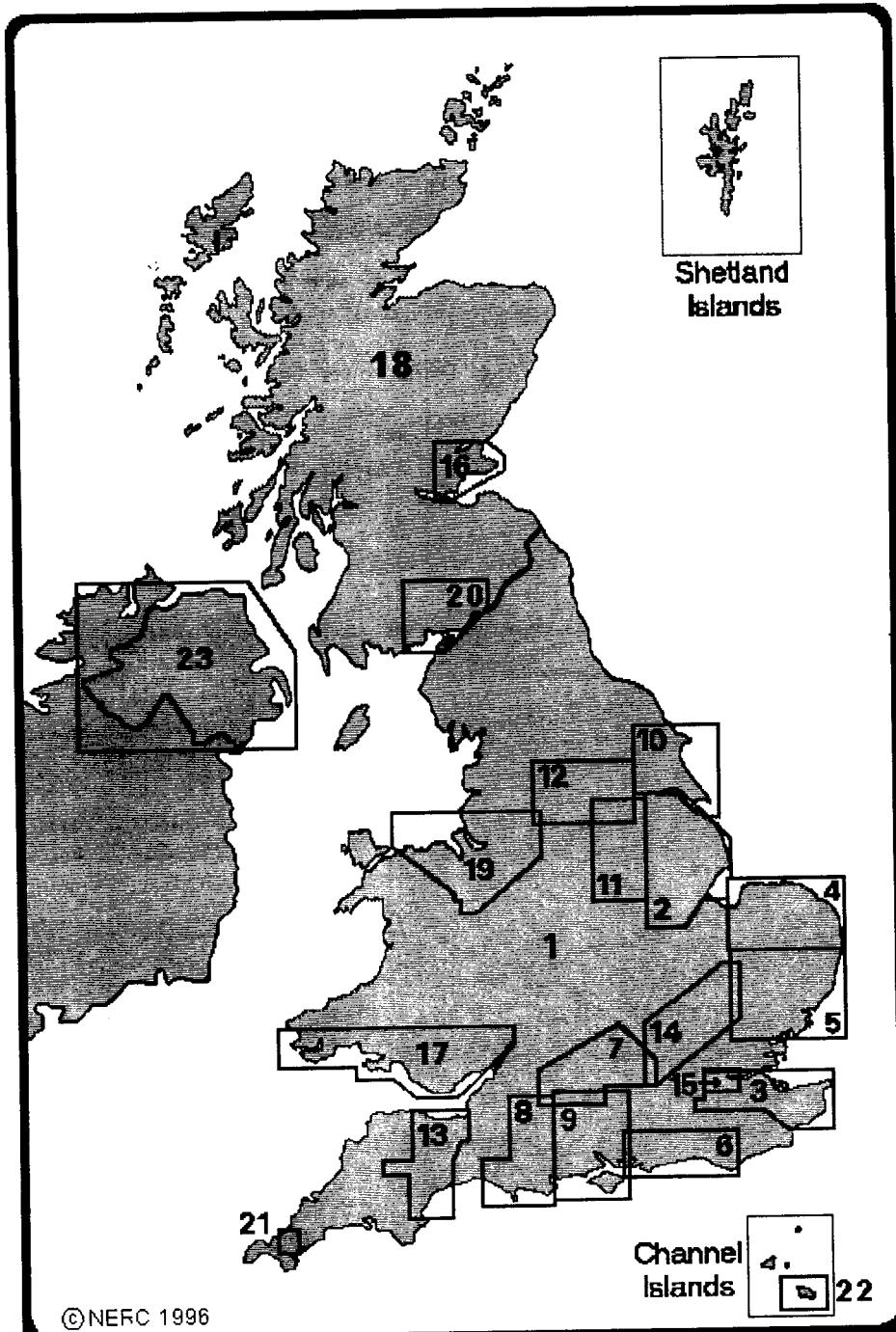


그림 4.18 영국의 수문지질도의 조사대상지역

Relief and average annual rainfall (1941–1970)

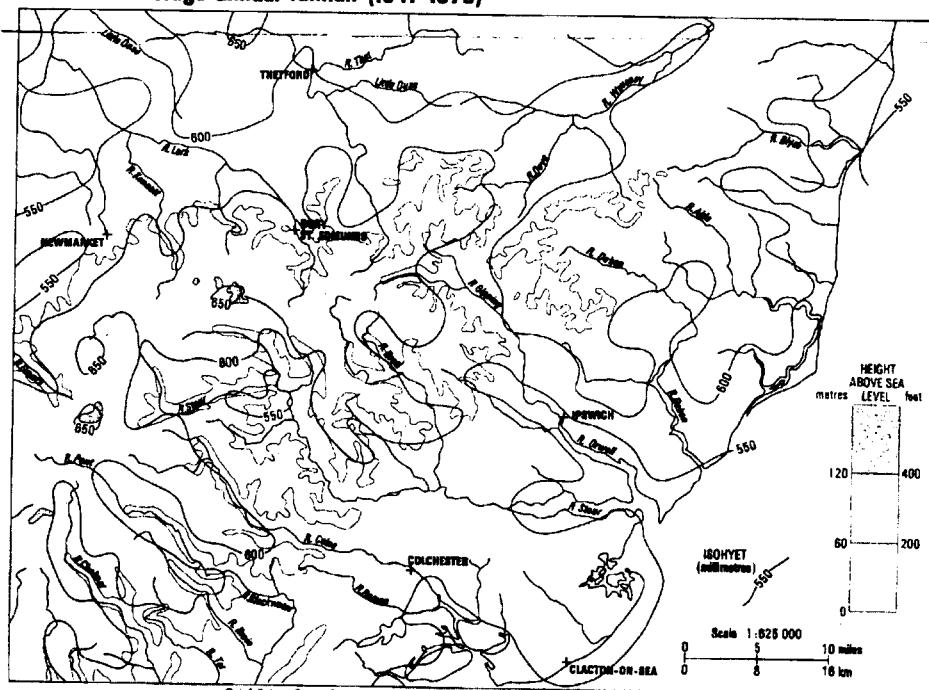


그림 4.19 지형기복 및 강수량 분포

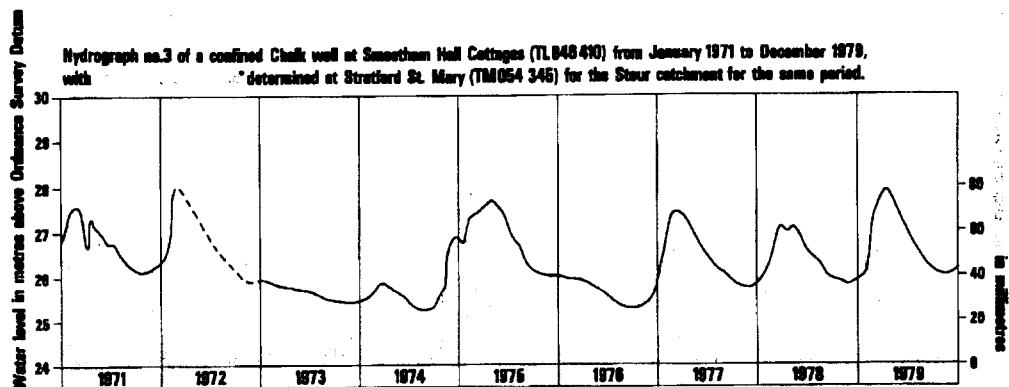


그림 4.20 지하수위 곡선 및 유효강우

5. 결론

우리나라 자연환경조건에 적합한 지하수 조사의 체계적인 수립 및 지침 마련을 위한 사전단계로서 본 고에서는 우리나라, 일본, 미국과 영국의 지하수 조사기관에서 수행하였던 조사사례를 검토하였다.

우리나라에서는 지하수법이 제정(1993년)되면서부터 지하수 보전관리의 시대에 접어들었다고 많은 보고서에서 언급하고 있다. 그러나 우리나라 지하수관리 기본계획(1996)에 의하면 우리나라 지하수 개발가능량이 약 137억m³/년이고, 연간 지하수 사용량이 약 30억m³으로 전체 수자원 이용량의 약 10%를 차지하고 있다. 여기서 주목할 점은 지하수 개발량이 해마다 증가하고 있다는 사실과 아직까지 지하수 개발의 여지가 비교적 충분하다는 사실이다. 따라서 서론에서 살펴본 바와 같이 지표수개발이 이제 그 한계에 점점 다다르고 있기 때문에, 향후 수자원개발의 방향에서 지하수의 비중이 점점 더 커질 것은 자명하다. 최근들어 그 관심이 증폭된 강변여과수에 대한 자료수집 차원의 기초조사와 실제 개발하여 이용하기 위한 조사를 앞에서 개략적으로 살펴보았다. 이를 통해 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다.

첫째, 지하수에 대한 기초조사는 지표하에 대한 조사에 치중되어 있다. 지하수는 지하에서 흐르는 물이기 때문에 지질에 대한 조사는 분명 필수적이다. 그러나 이는 나무는 보고 금을 보지 못하는 것이다. 즉 지하수는 수자원의 일부로 수문학적으로 지표수와 연결되어 있다는 사실을 간과하고 있다. 따라서 지하수 특히 강변여과수를 개발할 경우 대부분의 수원이 하천 수임을 감안한다면, 지하수 기초조사에 반드시 포함되어야 할 사항은 하천유량의 측정, 강수량의 측정 등과 같이 기초적인 수문조사이다. 그러나 기존의 대부분 강변여과수에 대한 기초조사는 지표수 수문조사에 대해서는 언급조차도 없는 설정이고, 따라서 이러한 조건하에서는 수자원에 대한 정확한 평가를 기대하기는 어려울 것이다.

둘째, 수자원 평가 특히 적정 지하수 개발가능량의 산출에 대한 근거가 부적절한 경우가 많다. 기존의 보고서에서 수자원에 대한 평가는 지하수 모의 프로그램인 MODFLOW를 이용하여 지하수 개발가능량(또는 적정 개발량)을 산정하거나 또는 물수지를 분석하여 지하수 함양량 또는 기저유출량을 산정하여 이를 지하수 개발가능량으로 산정하고 있다. 물론 이러한 기법은 수문학적으로 틀린 것이 아님은 분명하다. 그러나 여기서 주목해야 할 점은 어떤 방법 또는 기법을 이용하느냐가 중요하지 않고, 얻고자 하는 결과에 필요한 기초자료를 충분히 확보하여 이용하였는지가 중요하다. 즉 기존의 지하수 개발가능량을 산정하는 과정에 지표수에 대한 고려는 전혀 없었고 고려하였다 하여도 극히 형식적인 차원에서 이루어 졌다는 사실을 간과해서는 안 될 것이다. 따라서 부적절하게 설정된 수자원량에 의한 용수수급계획은 상황에 따라 예산낭비를 야기시킬 수도 있고 해당 기관의 혼돈을 초래할 수 있기 때문에, 수자원에

대한 평가는 충분한 기초자료를 확보하여 신중히 수행되어져야 할 것이다.

셋째, 수자원의 구성요소는 분명 지표수와 지하수이다. 효율적인 수자원의 이용을 위해서는 지표수와 지하수는 분리되어 계획될 수 있는 것이 아니고, 서로 보완의 관계에서 계획되어야 할 것이다. 홍수기에는 지표수를, 갈수기에는 지하수를 보다 많이 이용하는 기법 즉 지표수와 지하수의 연계운영을 도입하는 것이 바람직할 것이다. 그러나 우리나라에서는 아직 연계운영에 대한 개념정립이 명확하게 이루어지지 않은 실정이지만 현재 그에 대한 연구들이 수행되고 있다. 연계운영의 기법에 대한 연구 수행시 분명히 고려해야 할 사항으로는 미국의 연계운영 기법을 그대로 우리나라에 도입할 수 없다는 점이다. 왜냐하면 미국의 경우 대수충의 두께가 수 km에 이르는 지역도 존재하지만 우리나라의 경우 대수충은 주로 하천변에 분포하고 있고 그 두께가 몇십 m에 이르기 때문에, 우리나라에서는 우리의 실정에 맞는 지표수-지하수 연계운영 기법을 개발하여야 할 것이다.

넷째, 최근들어 댐개발 적지의 감소, 환경단체의 반대, 지역주민의 반대 등에 의하여 댐개발이 점점 더 감소되고 있는 실정이다. 따라서 수자원공사에서 수행하는 광역상수도 또는 공업용수도의 수원을 댐개발에만 의존하는 기존의 수자원정책은 이제 수정되어야 할 것이다. 지하수는 더 이상 '보조'수자원이 아닌 수자원의 구성요소라는 인식에 바탕을 두어 지하수 개발에 의한 수원확보 방안도 기존의 수자원 정책에 포함하여 함께 비교 검토해야 할 것이다. 이를 위해서는 우리나라 충적층에 대한 광범위한 기초조사를 수행함은 물론이고 지하수개발 예정지 인근에 존재하는 하천에 대한 기초조사도 충실히 이루어져야 할 것이라 사료된다.

일본에서는 1961년부터 작성된 수리지질도가 1999년 현재까지 축척 1/25,000~1/100,000의 도면으로 41개소에 대하여 작성되어 있으나 지하수조사는 지지체 별로 조사가 필요지역에서 수행되고 있다. 본고에서는 일본 黑部市의 지하수조사사례를 살펴보았다. 본시에서 수행한 지하수조사는 그 목적이 해당지역의 물 이용방안을 마련하기 위한 것이다. 이는 우리나라에서 수행하고 있는 지하수 조사 목적과 크게 다르다. 우리나라에서도 지역에 따라 이와같은 목적으로 지하수조사를 할 수 있어야 할 것이다. 본 지역에서 수행한 지하수 조사방법은 지하수 실태를 규명하는데 필요한 여러가지 방법들을 사용함으로서 조사정도를 향상시키고 있다. 우리나라에서 지하수조사를 수행할 시에 검토해야 할 사항이나 항목들의 선정에 본 지하수조사방법은 많은 도움을 줄 수 있으리라 여겨진다.

미국지질조사국과 영국지질조사국은 오랫동안 전체 국토를 대상으로 지하수조사를 수행하여 왔으며, 조사/평가 기술의 연구개발에 많은 투자를 하여왔다. 이들 국가들의 수문지질학적 환경이 우리와 다를 수 있지만, 이들 기관들이 수행한 조사사례 및 기법들은 우리나라에 적합한 지하수조사기법의 확립을 위해 유용한 기초자료가 될 것으로 판단된다.

본 고에서 검토한 USGS 및 BGS의 조사사례는 광역적 규모의 지하수조사 사례로서 일반적 지하수자원의 평가에 적용될 수 있으며, 본 고에서 검토하지 않은 소규모 지역에 대한 정밀지하수 조사에 관한 사례들은 USGS 및 BGS에서 발행한 많은 보고서들을 검토하여 정리할 수 있다. 지하수조사는 조사목적, 조사대상 규모 및 특성, 시스템의 복잡성, 사용자원 등에 따라서 다양한 조사가 시행될 수 있기 때문에 조사목적의 달성에 필요한 자료가 무엇인지를 검토·평가하고, 조사목적에 부합되는 조사가 되기 위해서는 지하수 수문학에 대한 충분한 전문 교육, 지식, 경험을 가진 조사자가 조사를 수행하여야 한다. 그리고 지하수자원평가를 위한 광역 지하수조사에서 파악되어야 하는 필수항목들은 대수충 수리특성(투수성 및 저류성), 함양 특성, 개발가능량, 수질특성 등을 포함하여야 하며, 미국과 영국에서의 지하수조사는 수문학, 지질학, 지구물리, 지화학/수화학, Mapping 기술 등의 여러 학문분야의 기술이 연계되어 종합적인 조사가 수행되고 있다고 판단된다.

참고문헌

- 강원 속초시 (1998). 속초시 쌍천취수원 개발에 따른 수리지질연구 용역 보고서.
- 건설교통부 (1996). 우리나라 지하수관리 기본계획.
- 건설교통부 (1997). 수도정비 기본계획 보고서.
- 경남 창원시 (1997). 강변여과수 개발 타당성 조사.
- 한국수자원공사 홈페이지.
- 한국수자원공사 (1994). 생·공용수 중심 용수이용현황 자료 조사집.
- 한국수자원공사 (1994). 전국 용수이용현황 자료집.
- 한국수자원공사 (1996). 수도관리연보.
- 한국수자원공사 (1996). 하상퇴적층 여과방식에 의한 금강 수도 취수개선 방안 조사·연구.
- 한국수자원공사 (1997). 미래수자원 전망에 관한 연구.
- 한국수자원공사 (1998). 다목적댐 운영 실무편람.
- 한국수자원공사 (1999). 강변여과 및 인공함양 방법을 이용한 영산강 수원개발 기본조사.
- 한국수자원공사 (1999). 동해 공업용수도 사업 실시설계 보고서.
- 환경부 (1997). '96 상수도 통계.
- 환경부 (1998). '97 상수도 통계.
- 黑部市 (1991). 黑部川扇狀地地下水調査報告書. p169.
- USGS의 홈페이지 (<http://water.usgs.gov/ogw/rasa/> /html/TOC.html).
- 미국지질조사국의 지하수지도 홈페이지(wwwcapp.er.usgs.gov/publicdocs/gwa/).