

## 제8장 지하수

양재만 · 김종경

### 8.1 수자원으로서의 지하수

물은 지구상에 존재하는 모든 생물에게 없어서는 안될 생명의 원천으로 고대로부터 지금까지 인간생활과 밀접하게 연관되어 있다. 고대 인류의 문화 발달지를 더듬어 보면 기름진 땅에 큰 하천이 흘러 관개가 용이하고 물이 풍부한 곳이었다. 고대 생활의 근간이었던 농업과 모든 인간 생활에 있어서 물은 필수적인 요소이며, 이는 주로 하천 등의 지표수로부터 취득하였다.

그러나 강수량의 시기적·지역적 편중은 강수량에 직접적으로 영향을 받는 지표수의 안정적인 용수 공급의 어려움을 발생시켰으며, 이를 해결하기 위하여 지하수의 개발이 시작되었다. 인구의 증가와 산업 발달로 지하수의 이용량이 나날이 증대되었고 이에 따른 지하수의 무절제한 개발은 여러 가지 환경상의 문제점들을 야기시키기 시작하였다.

지구상의 물은 대기권, 수권, 암석권의 3대 권역 사이를 끊임없이 연속적으로 순환한다. 대기중의 수증기가 강우 또는 강설의 형태로 지표에 도달하여 그 중 일부가 대기권으로 직접 증발하거나 식물에 의해 증산되고 일부는 지표로 유출되어 하천수, 호소수 등의 지표수를 이루게 된다. 또한 증발산되거나 지표유출되는 물을 제외한 나머지 강수량은 지하로 침투되어 토양수를 이루게 되며 이들 토양수 중의 일부는 중간유출되어 지표수로 합류되거나 다시 지하로 침투되어 대수층에 도달하여 지하수를 이루게 된다. 이들 육지부에 형성된 지표수와 지하수는 지하침투와 지표유출 등의 형태로 상호교류작용을 반복하면서 유출되어 최종적으로 바다에 합류된다. 한편 지상과 지하의 물은 증발산 작용 등으로 다시 수증기화하여 대기권으로 복귀되어 구름을 형성하고 다시 강수로 지표에 도달한다. 이러한 지구상의 물순환을 고려할때 지하수의 유입원이라 할 수 있는 강수의 특성은 지하수의 부존특성을 결정짓는 중요한 요인이다.

우리나라의 강수는 경년변화(經年變化)가 큰 편으로 한국건설기술연구원의 연구보고에 의하면 1959년부터 1988년까지 30년간의 연평균강수량은 내륙지방이 1,262mm이며 주요 도시를 포함하면 1,274mm인 것으로 나타났다. 연강수량의 최저치와 최고치는 각각 754mm와 1,683mm로서 거의 연평균 강수량에 달하는 930mm의 변동폭을 보이며, 연중 강수시기별로 강수량의 분포를 보면 다우기(多雨期)인 6월~9월에 총강수량의 2/3가 집중되고 10월부터 익년 3월까지의 총강수량의 1/5에 불과하여 다우기의 강수량이 과우기(寡雨期)의 2배 이상을 차지한다. 이와 같은 강수의 지역적·계절적 편중은 수자원의 지역간 불균등 공급, 하천 유출량의 계절적 편중, 하천 유량의 심한 계절변동 등을 야기시켜 효

올적인 지표수 관리에 어려움을 야기시킨다.

### 8.1.1 지하수 부존과 산출특성

지하수는 지층 내에 형성된 공간인 공극(pore)내에 저류된다. 공극의 체적과 수리적 특성은 지층의 구조(structure), 조직(texture) 등에 의해 결정된다. 공극은 지층의 성인에 따라 1차 공극과 2차 공극으로 구분되는데, 1차 공극은 지층의 형성과 동시에 형성된 것으로서 미고결퇴적물의 공극, 현무암 등과 같은 화산암에 생긴 기공(vesicle), 용암 튜브(lava tube), 냉각절리(cooling joint) 등이 이에 속하며, 2차 공극에는 지층 형성 후 발달한 단층, 절리 등의 단열구조(斷熱構造)와 탄산염암의 용해 공동 등이 해당된다.

퇴적기원의 1차 공극은 퇴적물과 이웃한 입자간의 공간을 말하며, 퇴적 당시에 형성된 것으로서 입자의 분급도(sorting), 원마도(roundness)가 양호하면 공극율(porosity)이 상대적으로 커서 지하수 부존에 양호한 조건을 형성한다. 화성기원의 1차 공극은 화성암 형성 시 만들어진 공극으로서 상당 규모의 기공과 용암튜브 등이 수직절리에 의해 서로 연결되어 나타남으로써 지하수 유동 및 저류에 양호한 조건을 형성한다.

절리 및 단층 등의 2차 공극은 구조작용에 의하여 형성된 것으로서, 이들의 간격, 연속성, 심도, 교차점 및 틈새 등은 지하수 저류에 절대적인 영향을 미친다. 또한 우리나라에 분포하는 암석의 대부분을 차지하는 결정질암에서 매우 중요한 지하수 저류지 역할을 한다.

용해공동과 같은 2차 공극은 화성암과 변성암에서 물과 광물의 화학반응에 의하여 형성된 공동과 석회암내에 형성된 공동으로 구분된다. 특히, 석회암 내에 발달된 용해공동은 층리 또는 단열구조를 따라 침투한 지하수가 암석과 화학적 풍화작용을 일으켜 형성한다.

지하수는 지각을 이루는 모든 광물에서 산출되는데 지하수를 함유하는 물질 즉, 매체의 수문지질학적 조건에 따라 그 부존상태가 제한을 받는다. 지각물질은 미고결 또는 고결상태로 구분되며, 심도와 공극특성에 따라 지하수의 산출특성이 달라진다. 미고결물질은 다공질 매체로서 충적층 지하수를 형성한다. 고결물질 즉 암반은 화성암, 퇴적암 및 변성암으로 구성되어 있는데, 특히 화성암과 변성암은 결정질암으로서 수문지질학적으로 유사한 특성을 가지며 암반지하수를 형성한다.

#### 가. 충적층 지하수

충적층 지하수는 지질시대로 보아 제 4기 충적세 이전에 이루어진 암석이 풍화, 침식, 운반과정에 의하여 퇴적된 충적 퇴적물로서 지층이 구성되어 있고 현재도 계속 퇴적되고 있는 미고결 상태의 변성퇴적층 내에 부존되어 있는 지하수를 말한다.

계곡 또는 하상의 충적대수층은 모래, 자갈, 점토 등으로 구성되어 있어 공극율과 투수성이 양호하며, 지표수나 강수가 직접 유입되므로 많은 양의 지하수가 부존되어 있다. 평야지대의 충적 대수층은 대체로 점토질이 많아 투수성이 불량한 경우가 많으나 부분적으

로 구하도를 따라 투수성이 양호한 대수층이 형성되기도 한다. 산사면이나 그 인근에 발달한 붕적층은 암석의 쇄설물로 구성되어 있어 대체로 투수성이 양호하다.

#### 나. 풍화대 지하수

암반이 오랜 시간 동안 기계적·화학적 풍화작용을 받으면 암반 상부에 풍화대를 형성하게 된다. 암반의 풍화진행 정도가 클 경우 수리적으로 미고결 퇴적물과 같은 수리적 특성을 나타내게 되며 천층지하수(淺層地下水)를 부존시키게 된다. 국내에서는 암반 풍화대 내의 지하수를 충적층 지하수와 같이 취급하는 경향이 크다.

기반암의 상부에 형성되는 풍화대는 지표수로부터 직접 충전이 일어나 중요한 대수층을 형성한다. 풍화대는 기반암의 종류에 따라 수문지질학적 조건이 달라지는데, 구성 입자가 굵고 장석질이 적은 산성 관입화성암(화강암류)에서는 풍화가 활발히 진행되어 풍화대가 깊게 발달하며(우리나라의 경우 최고 30~40m), 점토질이 적어 투수성이 양호한 대수층이 형성된다. 그러나 염기성 화성암, 세립 퇴적암, 편암, 석회암 등에 형성된 풍화대는 점토질이 많이 함유되어 있고 두께가 얇기 때문에 투수성이 낮다.

#### 다. 암반 지하수

우리나라의 암석은 지질시대가 오래된 것이 대부분이며, 따라서 결정도 및 변성도가 높아 신기 퇴적암의 공극, 화산암의 냉각절리(節理), 현무암의 기공 등 1차 공극을 제외하고는 대부분 단열구조, 용해공동 등의 2차 공극에 의해 대수층이 형성되며 지하수가 부존된다. 또한 동일 암종이라 하더라도 2차적 구조의 발달에 따라 지하수 산출량의 변화폭이 매우 크기 때문에 각 수문지질단위 분포면적에 의한 지하수의 부존성 평가가 매우 어렵다.

결정질암은 대부분의 화성암 및 변성암을 포함하며, 화산암을 제외한 대부분의 암석에서는 단층, 절리 등 단열구조에 의한 2차 공극 대수층이 형성되어 있다. 일반적으로 단열구조는 주로 단층대, 습곡축부에 발달되어 있으며 양호한 대수층으로서의 역할을 한다. 화산암의 경우 현무암과 안산암에는 1차 공극으로 각각 기공 및 용암튜브와 냉각절리를 가짐으로써 좋은 대수층이 발달되어 있다.

중생대 이전의 경우 퇴적암은 완전한 숙성작용에 의해 1차 공극이 거의 발달되어 있지 않으나, 제 3기 이후의 퇴적암은 숙성작용을 덜 받아 1차 공극의 발달이 양호한 편이다. 퇴적암이 호층을 이루는 경우에는 층리를 따라서 지하수의 유동이 일어나기도 한다. 석회암, 백운암, 석고와 같은 퇴적 탄산염암은 용해성이 높아 균열이나 간극을 따라 용해가 진행되어 수 cm에서 수백 m 규모의 용해공동이 발달되어 매우 양호한 대수층을 형성하기도 한다.

#### 8.1.2 한반도의 지질과 지하수

한국의 지질은 섬캄브리아 이언(Eon)의 지층에서부터 신생대 지층에 이르기까지 다양하게 분포한다. 이들 지질 단위별로 지하수 부존 특성을 알아보기 위하여 지질시대, 암석

의 종류, 암상, 지형, 공극의 형태 및 세부 수리지질 특성 등을 대표적인 설정 기준으로 하여 우리나라의 지질을 크게 표 8.1과 같이 8개의 지질단위로 구분할 수 있으며, 이는 미고결퇴적물(충적층), 다공질화산암, 신기퇴적암, 비다공질화산암, 관입화성암, 고기 퇴적암, 석회암 및 변성암 등이 이에 속한다.

표 8.1 지질별 지하수 부존특성

구 분	수문지질단위	투수계수 (m/day)	투수량계수 (m <sup>2</sup> /day)	저류계수	지하수산출량 (m <sup>3</sup> /day)	지하수 부존성
충적층지하수	미고결퇴적물	5~200	50~2,000	10 <sup>-1</sup> ~10 <sup>-2</sup>	100~3,000	대
암반층지하수	다공질 화산암	0.1~500	10~10,000	10 <sup>-1</sup> ~10 <sup>-3</sup>	1,000~5,000	대
	신 기 퇴 적 암	0.01~200	0.5~1,500	10 <sup>-1</sup> ~10 <sup>-5</sup>	10~2,000	중
	비다공질화산암	1~100	5~50	10 <sup>-4</sup> ~10 <sup>-6</sup>	10~1,000	중
	관 입 화 성 암	0.01~1.0	5~500	10 <sup>-4</sup> ~10 <sup>-6</sup>	50~1,500	중
	고 기 퇴 적 암	0.1~10	5~200	10 <sup>-4</sup> ~10 <sup>-5</sup>	50~2,000	중
	석 회 암	10~500	10~10,000	10 <sup>-1</sup> ~10 <sup>-5</sup>	100~5,000	대
	변 성 암	0.1~10	1.0~50	10 <sup>-4</sup> ~10 <sup>-6</sup>	50~500	소

**가. 충적층지하수(미고결 퇴적물)**

본 퇴적물은 지질시대로 보아 제4기 충적세 이전에 이루어진 암석이 풍화, 침식, 운반 과정에 의하여 퇴적된 충적 퇴적물로서 현재도 계속 퇴적되고 있는 미고결 상태의 현생 퇴적물이다.

본 퇴적물은 주로 큰 강이나 하천변, 또는 골짜기 및 평야 지대를 따라 넓게 분포되는데 지형의 특징에 따라 곡간평야, 충적평야, 해안평야, 범람원, 선상지, 삼각주, 분지 등으로 분류된다.

한강, 금강 등 10대 강의 하천 연안에 27,390km<sup>2</sup>(전 국토 면적의 약 28%)에 걸쳐 4~10m 두께로 넓게 분포하며 계곡 또는 하상에 퇴적된 충적층은 모래, 자갈, 점토 등으로 구성되어 있어 공극률과 투수성이 양호하고, 강우나 지표수가 직접 유입되므로 상당량의 지하수가 부존되어 있는 대수층을 이룬다. 평야에 퇴적된 충적층은 대체로 점토질이 많아 투수성이 불량한 경우가 많으나 부분적으로 구하도를 따라 투수성이 양호한 대수층을 형성하기도 한다.

일반적으로 미고결 퇴적물에서의 지하수 수위는 지표면에 가깝게 상승되어 있어 지표수가 대수층에 도달되는 시간이 짧으므로 지하수의 수질은 바로 지표 오염원의 영향을 받으며 이로 인하여 생활용수로 부적합한 지역이 많다.

**나. 암반층 지하수**

암반층 지하수는 다음의 7개의 지질단위로 구분하는데 다공질화산암, 신기퇴적암, 비다

공질화산암, 관입화성암, 고기퇴적암, 석회암, 변성암 등이 그것이다.

첫째, 다공질화산암은 제 4기에 분출한 화산암류로서 제주도, 울릉도, 독도와 내륙의 경기도 전곡리 일대에 분포하는 현무암, 안산암, 조면암류를 포함하는 단위이다. 본 화산암의 지하수 부존을 지배하는 주 요인은 주로 기공과 2차 단열대에 의한 것으로 일반적으로 막대한 양의 지하수가 부존된다. 제주도의 화산암에 분포하는 지하수는 지질 및 지형 조건으로 인하여 특이한 부존 형태를 보이는데, 지하수 부존을 결정하는 수문지질학적인 주 요인은 절리와 화산쇄설물, 크링커, 용암터널 등의 투수성 요소와 조면암, 안산암, 점토층 등의 불투수성 요소로 구분된다. 이러한 제주도의 지하수는 석회암 지대에 발달된 동혈수(洞穴水)와 같이 지하의 용암터널이나 2차적인 단열대로부터 막대한 양의 지하수가 부존 유동하고 있음을 알 수 있다.

둘째, 신기퇴적암은 제 4기 해성퇴적암과 제 3기층군을 포함한다. 이들은 주로 해안변에 퇴적된 반고결 천해성-비해성 쇄설 퇴적암인 화성쇄설암 및 응회암과 제 3기층군인 셰일, 사암, 역암, 이암과 화산암류로서 응회암, 안산암, 현무암 및 석영조면암 등이 포함된다. 이들 지하수 부존을 지배하는 공극형태는 1차공극과 2차 단열대로서 자유면 대수층과 피압대수층 내에 부존된다. 본 지질단위의 지하수 수질은 반고결암 지하수의 전형적인 수질특성을 보이며, 부유성 물질이 포함되어 있어 주로 공업용 및 농업용으로 이용되고 있다.

셋째, 비다공질화산암은 백악기때부터 분출한 비다공질의 화산암류를 포함한 것으로 우리나라 지층으로는 경상계의 화산암류가 이에 해당된다. 주 분포암석은 안산암, 유문암 및 응회암과 현무암 등으로 구성된다. 백악기 분출화산암류는 제 4기 화산암류와는 그 분출 산상이 판이하여 제 4기의 화산암이 다공성인데 비하여 본 암은 비다공성이며, 그 분포 지역도 백악기 화산암류는 주로 경상분지와 옥천지대 내 그리고 그 주변의 백악기 퇴적분지와 남해안을 따라 산지를 이루며 분포한다. 본 화산암류는 비다공성으로 인하여 1차 공극구조가 빈약하여 제 4기 화산암에 비하면 공극이 발달되지 않아 지하수의 함양과 유동은 주로 2차 공극의 지배를 받는다.

넷째, 관입화성암은 백악기 불국사화강암과 주라기 대보화강암, 그리고 시대 미상의 중성, 염기성 관입화성암을 포함하며, 전 국토의 약 19%를 점유한다. 주로 지하 심부에서 결정화된 심성암으로서 1차 공극구조는 거의 발달되어 있지 않아 암석 자체의 입자 내에서의 지하수 함수는 이루어지지 않고, 2차 공극 구조인 수평 및 수직 절리나 단층 등의 단열 구조선을 따라 지하수가 유동한다. 본 관입화성암의 조암광물은 주로 석영, 장석, 운모 등으로 구성되어 있으며, 석영은 모래로, 장석과 운모는 점토로 풍화되어 대체로 양호한 대수층을 형성해 준다.

다섯째, 고기퇴적암은 제 3, 4기의 반고결 신기퇴적암에 대비되는 백악기 이전에 퇴적된 천해성-비해성 쇄설 고결 퇴적암으로서 주 구성암석은 규질사암, 알코스사암, 석회암, 역암, 실트, 셰일 등이다. 본 퇴적암 단위의 내부에 발달된 성층면과 하부 단열대 내에서

의 지하수 유동은 화성암체보다 양호하며, 특히 Marl 구조를 갖는 지층에서는 투수량계수가 크고 산출량이 많은 편이다.

여섯째, 석회암은 조선누층군 중 오르도비스기의 대석회암층군에 해당되는 암석군으로서 해성 탄산염 퇴적암과 쇄설성 퇴적암으로 구성되어 있으며, 주 구성암석은 괴상석회암, 백운암질 석회암, 백운암 및 이질석회암이며 석회질 세일, 세일 및 규암층이 협재되기도 한다. 석회암 대수층은 다짐작용과 재결정작용에 의하여 암석자체의 투수성은 극히 낮을 뿐 아니라 1차 공극구조가 발달되지 않아 지하수 부존을 기대하기 어려우나, 2차적으로 형성된 단열대와 지하수와의 용해작용에 의해 형성된 카르스트 지대에는 막대한 양의 지하수가 부존되기도 한다. 본 대수층의 지하수는 중력에 의해 서서히 지하로 침투되면서 석회암을 용해시켜 수직 또는 수평 동굴을 형성하는데, 수직동굴에서는 지하수의 유동 속도가 빨라 기존 동굴의 용식작용을 촉진하여 오랜 지질 시대 동안 동굴의 형태와 지하수 유동로를 변화시키기도 한다.

일곱째, 변성암은 선캠브리아기의 육괴와 고생대의 변성퇴적암류로 구성된다. 선캠브리아기의 육괴는 층서적으로 기반을 이루고 있는데 경기와 영남지역에 넓게 분포하며 크게 편마암복합체와 변성퇴적암류로 구성된다. 또한 고생대의 변성퇴적암류는 시대 미상의 옥천누층군과 조선누층군 중 캠브리아기의 양덕층군 및 이와 대비되는 것으로 보이는 변성퇴적암류와 호남탄전의 평안누층군이 포함된다. 위의 변성암류 중 편마암이나 화강편마암은 암석 자체의 투수성이 불량하고 투수량계수도 낮은 편이다. 그러나 이들 암석은 지질시대로 보아 가장 고기의 암석으로 지질시대를 거치면서 큰 지각변동으로 인한 암석 내의 파쇄대 및 단열대 등은 좋은 지하수 유동로가 되기도 하여 비교적 신선한 지하수를 개발할 수 있다. 그러나 편암, 각섬암, 천매암 등은 운모나 장석의 영향으로 파쇄대나 열리 또는 편리면에서 불투수성인 점토층이 협재되어 지하수의 부존이나 유동을 방해하는 역할을 함으로써 화강편마암류에 비하면 투수성이나 산출량이 현저히 낮다.

### 8.1.3 지하수 부존량과 개발가능량

수자원 총부존량은 일반적으로 전 국토에 내린 강수의 총량으로 표시한다. 이 중에서 지하수 부존량은 강수가 지하에 침투되어 지층의 공극 내에 저류된 지하수포장량과 강수가 지하로 침투되어 순환하는 양의 개념인 지하수함양량 등의 개념으로 정의되는데, 이는 지층의 투수성·저류성 등 지층의 수리지질 조건 등에 영향을 받는다. 지각물질은 미고결 또는 고결상태로 구분되며, 심도와 공극 특성에 따라 지하수의 부존 및 산출 특성이 달라진다. 미고결물질은 다공질 매체로서 총적층 지하수를 형성하며, 고결물질, 즉 암반은 화성암, 퇴적암, 변성암으로 구성되는데, 화성암과 변성암은 결정질암으로 수문지질학적으로 유사한 특성을 가지며 암반지하수의 부존에 중요한 역할을 한다.

건교부 자료에 의하면 1996년 현재 우리나라의 수자원 총량은 연간 1,267억톤이며, 이 중에서 45%인 570억톤은 증발산에 의해 대기로 귀환되고 나머지 55%에 해당하는 697억톤은 하천으로 유출된다. 이 하천유출량 중에서 81%인 564억톤은 하천으로 직접 유출되

는 양이고 19%인 약 133억톤은 기저유출되는 양으로 추정하고 있다.

‘지하수 부존량’의 개념은 대수층내 부존된 지하수 총량의 개념으로 지하수의 안정적 개발 개념이 고려되지 않아 수자원의 개발·이용과 보전·관리를 위한 지표로서의 활용성은 낮다. 따라서 지하수 채수시 수문학적인 장애가 발생되지 않고 안정적으로 개발 가능한 양인 ‘지하수 개발 가능량’을 산정하여 지표로 활용함이 타당하다. ‘90년대에 들어서면서 정부, 유관기관 및 학계에서는 우리나라 지하수의 체계적이고 합리적인 개발·이용 및 보전·관리의 필요성을 깊이 인식하고 관련 정책 수립을 위한 기본 지표로서 지하수 개발가능량을 추정하게 되었다.

지하수 개발 가능량의 산정방법은 물수지 분석법, 기저유출 분석법, 지하수관리 분석법, 해석적 방법 등이 있으나 우리나라의 경우 관측자료의 부족으로 물수지 분석법과 기저유출 분석법이 보편적으로 사용되고 있다. 일반적으로 지하수 개발 가능량의 산정방법은 연구자와 연구기관의 추정방법에 따라 다소의 차이가 있는데, 우리나라의 경우 지하수 개발 가능량은 연간 약 130~140억톤 정도로 추정하고 있다.

우리나라의 지하수 개발가능량은 표 8.2의 건설교통부(1995)의 경우, 총 132.7억톤/년으로, 이 중에서 이를 유역별로 추정하면 한강유역이 35.5억톤/년으로 가장 많으며 다음이 낙동강 유역(28.3억톤/년), 서해안 유역(18.8억톤/년) 순으로 나타났으며, 영산강 유역이 3.3 억톤/년으로 가장 적은 지하수 개발가능량을 지닌 것으로 나타났다.

표 8.2 지하수 개발가능량

연구자 또는 연구기관	산정결과 (억톤/년)	강우량에 대한 비율 (%)	추정 방법
선우중호(1992)	100~150	7.9~11.8	Cheremisinoff(1988)기준 물수지법
한정상(1995) 이천복(1994)	228	18	물수지법(건설부 통계편람)
최병수(1992)	143	11.3	함양량의 70% 적용
한국수자원공사 (1993)	136.3	10.6	지하수 저장량의 변화량은 순환량에 해당된다는 물수지법 적용
건설교통부 (1994)	137.8	10.7	기저유출분석법(안정율 70% 적용)
건설교통부 (1995)	132.7	10.3	기저유출분석법(안정율 70% 적용)
이동률(1995)	64.8	7.8	지하수감수곡선 이용 강수시의 지하수 유출량 고려

## 8.2 지하수 개발의 변천

### 8.2.1 지하수 사업의 발전과정

우리나라 지하수 개발의 역사는 고대 삼국시대로 거슬러 올라간다. 삼국유사(三國遺事)에 의하면 『신라시조 박혁거세 5년 정월(BC 53년)에 하늘에서 용이 한 우물에 나타나

오른쪽 겨드랑이에서 여자 아이를 낳으시니 촌의 노파가 이를 거두어 양육하였다하여 아  
기 이름을 알영(闕英)이라 하고, 그 우물을 알영정이라 부르게 되었다 한다』라고 기술하  
고 있으며, 이 알영정은 문헌상에 기록된 우리나라 최초의 우물로 기록되어 있다. 삼국시  
대의 기록에서는 왕궁과 도성에 못(池)을 설치하거나 우물들을 주로 이용한 흔적을 엿볼  
수 있는데 동명왕 25년(B.C. 12년) 2월에 궁궐 안에 있는 우물물이 용솨음쳐 넘쳐 흘렀으  
며, 백제 비류왕 13년(A.D. 316년) 4월에는 왕도(지금의 경기도 광주)의 우물들이 넘쳐  
흘렀고, 신라 30대 문무왕 14년(A.D. 674년)과 신라 35대 경덕왕 17년(A.D. 758년)에 궁  
궐 안에 큰 못을 팠으며, 백제 30대 무왕 35년(A.D. 634년) 3월에는 연못을 궁궐 남쪽에  
팠다는 기록들이 그것이다.

이외에도 고려 숙종 및 인종때인 중세의 고려사절요에 의하면 『인종 14년(A.D. 1136  
년) 6월 1일 청주 땅의 평지에서 물이 용출하여 가옥 180동이 표류되었다』라고 기술하  
고 있다.

앞서 말했듯이 고대로부터 도성에 못을 파거나 샘 또는 우물 등 지하수를 이용한 흔적  
을 엿볼 수 있으나 중국이나 서양에서 처럼 착정기술에 대한 기록은 찾아볼 수 없다. 조  
선왕조실록에 의하면 서기 1445년(세조 원년) 8월에 충청, 전라, 경상도의 도체찰사(都體  
察使) 정약의 계본(啓本) 내용 속에 관할 부읍성 또는 현읍성 내에 있는 샘과 우물의 개  
소수에 관한 기록은 찾아볼 수 있으나 우물을 설치한 사람과 그 방법은 불분명하다. 또한  
1752년(영조 28년) 4월 병조판서 김상로가 함경도 읍성을 이주하려고 위치를 선정한 후  
우물을 10개소 파서 지하수를 확보하였다는 기록이 있다.

프랑스를 비롯한 외국에서 서기 1100년에 이미 근대적인 방법으로 지하수 개발을 위한  
굴착방법을 발전시킨 것과는 달리 우리나라에서는 일제치하인 1936년 중앙시험소에서 공  
업용수 개발을 목적으로 근대적인 지하수 조사가 최초로 시행되었다. 그 후 제 2차 세계  
대전의 발발과 광복, 그리고 오늘날에 이르기까지 60여년간 다양한 형태의 지하수 사  
업이 추진되면서, 용수수요의 증대에 따른 개발의 양적팽창과 더불어 관련 학문, 탐사  
및 개발기술 분야에 눈부신 발전을 이룩하였는데, 이 과정은 다음의 여섯 단계로 구분할  
수 있다.

#### 가. 도입단계 (1936년~1962년)

이 기간 중에는 팔목할만한 지하수 개발 실적은 없었으나 이 땅에 지하수 사업이 최초  
로 도입되었고, 또 이를 사업으로 정착시키기 위한 움직임이 눈에 보이지 않게 일고 있었  
던 시기이다. 1936년 공업용수 개발을 목적으로 우리나라 최초의 소구경 시추 및 착정조  
사가 이루어졌다. 곧이어 1940년 일제는 농업용수개발 5개년 계획을 수립하고, 조선총독  
부 농림국 소속 지하수 기술자를 중심으로 1940~1943년 기간 중에 수리 불안전담과 산  
간지역 천수담(天水畓)에 대한 1차 지하수조사를 실시하였으나 지하수 부존성 파악에 실  
패하였다. 이듬해인 1944년 2차 조사에서는 하천변 및 평야부를 대상으로 조사를 실시하



여 상당한 효과를 거두었으나 일본의 패망으로 보고서가 발간되지 못하고 중단되었다. 그 후 1945년 광복과 더불어 1948년 대한민국 정부수립, 1950년 6·25사변 발발 등 사회적으로나 경제적으로 대혼란기를 맞게되어 1962년까지는 지하수사업이 정부의 관심을 끌지 못하였다.

#### 나. 초기개발단계 (1963년~1970년)

1963년 부터 정부에서는 수자원 개발에 대한 필요성을 인식하고 지하수 자원의 개발가능성 검토에 눈을 돌리게 되었고, 때맞추어 1964~1965년 2년에 걸친 연속적인 가뭄과 1967~1968년 또 한차례의 큰 가뭄을 계기로, 선진국의 지하수 기술 도입을 적극적으로 시도하는 한편, 급기야는 가뭄대책을 위해 지하수 개발을 전담할 지하수개발공사를 설립하게 된 시기이다.

1963년 미연방 지질조사소의 수리지질기술자가 USOM/K의 요청에 의거 농업용수 개발을 목적으로 지질분포와 암석생성 시기에 따른 지하수 개발가능 지역을 구분하는 광복 이후 최초의 체계적인 지하수 조사를 시행하였으며, 처음으로 우리 기술진에 의한 한해대비 농업용 지하수사업을 착수하였고, 전천후 농업용수원 개발계획 수립, 선진국의 지하수 기술 도입, 지하수 업무 담당기구 개편과 한발대책 특별지시, 지하수 개발단 창단, 「지하수 개발공사」 설립, 「농업진흥공사」 설립 등이 이루어졌다.

#### 다. 정비단계(1971년~1975년)

이 기간은 정부의 한해대책 농업용수 개발 계획의 일환으로 1968~1970년까지 개발한 시설물에 대한 관리가 소홀하여 이용불가능한 관정이 날로 증가하자 이들 관정의 기능을 점검·확인하고 정비하는 한편 시설관정에 대한 관측조사가 시행되었으며, 제주도를 비롯한 도서지방의 지하수 부존성 조사, 지하수 시설물 일제 점검 실시, 관정 점검정비 등이 이루어진 시기이다.

#### 라. 재개발단계(1976년~1980년)

이 시기는 1960년대 말 대대적인 지하수 개발에 따른 졸속시공의 여파로 1971~1975년까지 5년간은 제주도 암반관정 개발을 제외한 육지부 지하수 개발은 일단 중지하고 시설관정 점검정비 및 관측조사만을 시행해오다가 1976년 폐기관정에 대한 대체시설을 목적으로 지하수 개발이 재개된 시기이다. 또한 폐기관정 대체시설 사업은 항구적인 한해대책 사업으로 확대 시행되었으며, 원예주산단지의 용수원 개발을 위한 지하수 개발사업 등이 이루어졌다.

#### 마. 성숙개발단계(1981년~1990년)

정부는 가뭄 상습지역의 농업용수는 지하수 개발로 우선 확보한다는 방침을 정하고, 이를 강력하게 추진할 전담부서 설치의 필요성을 인지하여 1981년 11월 농수산부 농지국에 지하수 업무를 전담할 수리과(水利課)를 신설하였다. 우리나라에서는 처음으로 중앙부서

에 지하수를 전담하는 과(課)가 태동된 것이다.

1981년 5월 이양기 가뭄이 극심하여 저수지가 고갈되는 등 심각한 사태가 발생하였다. 또한 같은 해 7월에는 농업용수 수리시설 내한(耐旱) 능력조사를 시행한 결과, 당시 통계상의 수치로는 수리안전답률이 86%에 달하는 것으로 되어 있었으나 조사결과 실제 수리답률이 68%에 불과한 것으로 확인되었다. 이에 따라 전국의 수리답률을 90%까지 제고시킬 목적으로 1981년 9월 농업용수개발 10개년 계획을 입안하게 되었고, 이때 수맥조사, 항구지하수 개발, 소형관정개발 등을 지하수개발 계획으로 반영·확정하였다.

한편 민간 부문에 있어서도 70년대부터 시행된 지하철 1호선 공사를 비롯한 각종 대형 건설공사의 호황을 계기로 연약지반 처리나 지하 토류벽 처리를 위한 최신기술 공법 도입이 활발히 진행되었고, 1980년대 중반에 조성된 먹는물 개발과 온천수 개발분야 편성, 지하 굴착장비 또한 대구경화, 고심도화하여 암반 굴착능력 200m 이상의 최신형 장비가 보편화되기 시작하였다.

또한 산업구조의 급격한 변화, 경제의 고도 성장에 따른 생활 및 공업용수 수요의 급증과 국민의 기존 상수도에 대한 불신감 등으로 인하여 대체수자원으로서의 지하수에 대한 의존도가 한층 더 높아짐에 따라 민간업체에 의한 지하수 개발도 활발하게 이루어져 용수원 확보에 크게 기여한 반면, 무계획적이고 무분별한 개발로 인한 환경재해 방지를 위한 체계적인 보전관리의 필요성이 대두되기 시작하였다.

#### 바. 보전관리단계(1991년~현재)

지난 1991년~1995년까지 5년 동안 개발한 관정은 총 196,801공으로써 해마다 약 39,000여 공씩 개발된 셈이며 1994년의 경우 연간 4억여톤의 지하수를 이용하는 등 그 이용량이 크게 증가하였다. 또한 지하수 관련 민간업체도 우후죽순처럼 생겨나 전국 550여개의 보링그라우팅 업체가 아무런 규제없이 지하수를 개발할 경우 지하수자원의 보전 관리에 문제점이 발생할 수 있다는 우려와 함께 지하수 자원의 합리적인 관리를 위한 『지하수법』, 『먹는물 관리법』 등 관련법을 제정·공포하고 무절제하게 시행되어온 지하수 개발을 제도권 안에서 시행하게 되었다. 또한 자원으로서의 지하수의 중요성을 인식하고 이에 대한 효율적인 이용을 위한 보전·관리의 필요성이 크게 부각된 시기이다.

#### 8.2.2 지하수 개발공법의 발전

지하수 이용은 초기에 자연상태의 샘인 용천수로부터 시작하였으며, 점차 용수수요가 증가됨에 따라 우물건설의 필요성이 대두되기에 이르렀다. 우물건설은 간단한 손도구의 이용에서부터 현대의 자동화된 시추기의 이용으로까지 발전하여 왔다.

시추의 역사는 고대 이집트 시대까지 거슬러 올라간다. 이집트인들은 피라밋 건설에 있어서 보석을 이용한 일종의 빗트를 기구에 부착하여 암석을 굴착하였다. 또한 고대 중국인들은 5세기 경에 근대적 착정기와 유사한 나무로 만든 교란식 시추기(churn driller)를

사용하여 식염을 얻기 위해 우물을 판 사실이 전해온다. 고대 중국에서 부터 유래된 충격식 시추는 일본으로 전해져 상총굴이라는 대나무의 탄성을 이용한 관개용수용 우물파기 공법으로, 프랑스로 전해져서 롯데시추로, 영국과 미국에 전해져서 와이어 로프 시추로 발달하였다. 근대적 의미의 시추공법은 이러한 충격식 시추와 회전식 시추로 나뉘며, 이들은 오랜 시간 동안 변천을 거쳐 오늘에 이르고 있다.

현대적인 충격식 시추기는 1853년 미국인 드레이크(Drake)에 의해 처음 고안되었으며, 그 후 미국에서는 1859년 이래 유전의 착정에 많이 사용되었으나 점차 자취를 감추어 오늘날에는 연암층의 우물, 토목공사 기초조사 등에 일부 사용되고 있는 실정이다. 근래에 주종을 이루는 회전식 시추공법은 1862년 프랑스에서 루돌프 루소(Rudolphe Leshot)가 다이아몬드를 이용한 비트를 고안하면서 부터 활성화 되었다.

### 가. 충격식 착정법

와이어로프 혹은 롯데끝에 붙여놓은 무거운 비트의 충격에 의해 지층을 파쇄시키고 충격을 가할때마다 약간씩 회전하며 작업한 결과 원통형을 이루며 굴착이 되도록 하는 방법이다.

- 1) 상총굴 : 일본의 상총지방에서 관개용 우물을 굴착할 때 사용한 방법으로 둥근 철봉 파이프 끝에 대나무쪽을 매달고 로프와 연결하여 굴착기구의 중량을 이용하여 인력으로 암반에 충격을 주어 굴착하는 것이다
- 2) 와이어로프 착정(파커슨 착정) : 와이어로프와 그 하부에 연결된 무거운 굴착기구를 규칙적으로 들어올린 후 중력에 의해 낙하시킴으로서 암석에 충격을 주어 굴착하는 방법이다.
- 3) 각 롯데 착정 : 와이어로프 대신 철각롯데를 계속 연결하여 사용하는 것으로 충격력이 강하여 유전 또는 탄전 조사에 이용하였다.

### 나. 회전식 착정법

회전식 착정법(Rotary drill)은 충격식 착정법을 보완 발전시킨 공법으로 롯데 하단에 설치된 비트에 적당한 압력을 주면서 회전시키고, 유체(물 혹은 머드)를 주입 순환시켜 가며 지층을 원통형으로 굴진하는 공법을 말한다.

- 1) 순환공법 : 롯데에 순환수를 주입하여 착정공과 롯데 사이로 유체를 순환시키는 방법이다.
- 2) 역순환공법 : 롯데를 통하여 스라임과 유체가 배출되도록 순환시키는 굴착방법이다.
- 3) 쇼트볼 착정법 : 유체 대신 작은 철구슬을 주입하여 암석과 철구슬의 파편이 서로 마찰하도록 하여 암반을 파쇄하는 방법이다.

위의 방법 중 기술발전이 많이 이루어진 것은 회전식 착정법으로, 이때 사용하는 비트의 종류에 따라 메탈크라운비트 굴착, 다이아몬드비트 굴착, 윙(wing)비트 굴착, 트리콘

(tricone)비트 굴착 등으로 나눌 수 있으며, 순환수의 종류(청수, 이수 등)에 따라 몇가지로 분류하기도 한다.

이 회전식 착정법은 충적층을 대상으로 할 때 가장 적합한 공법으로 1960년대부터 많이 시공한 농업용 기계관정인 충적관정은 대부분이 텡비트를 사용한 로터리 드릴공법을 이용하였다. 메탈크라운 비트와 다이아몬드 비트는 로터리 드릴공법에 의한 암반지하수 개발에 사용하였으며, 제주도 지역은 지질 특성상 현재까지 로터리 공법을 사용하고 있다.

#### 다. 회전 충격식 착정법

이 공법은 충격식과 회전식의 장점을 결합하여 발전시킨 것으로 회전굴착 착정법 중 가장 현대적인 방법이다. 회전식에서 사용하는 유체 대신 고압공기를 이용하며, 다량의 고압공기를 드릴로트를 통하여 회전하는 드릴비트의 구멍으로 고속으로 분출시키면서 비트상단에 설치된 에어함마를 작동시켜 회전하고 있는 비트가 연속적으로 지반과 충돌하도록 함으로써 지반을 파쇄시키며 착정하는 공법이다.

코아상태가 아닌 암반이 파쇄되면서 착정이 이루어지므로 지질파악이 어려운 단점이 있으나, 착정작업에 의하여 파쇄된 슬라임과 지하수가 고압공기와 함께 지상으로 배출되어 착정작업이 진행되는 과정 중에도 지하수의 양을 확인할 수 있는 장점을 지니고 있다. 또한 고압공기와 에어함마를 사용함으로써 착정에 소요되는 시간이 짧은 것도 장점이다. 착정에 소요되는 시간이 짧은 관계로 장비의 이동조립이 간편하도록 장비에 기동력을 주기 위하여 장비와 부속물을 트럭에 탑재한 것이 많다. 이 공법에 의한 착정 가능 깊이의 판단은 로트와 비트를 공저로부터 지상으로 끌어올릴 수 있는 장비의 인양(Pull back) 능력과 굴진용 함마를 작동시키고, 파쇄된 슬라임을 배출시킬 수 있는 적절한 압력(Down pressure), 즉 공기압축기 능력에 의한다. 따라서 지하수 개발심도와 구경을 결정하고 이에 적합한 장비를 선택하는 것이 경제적이다. 우리나라에서 시공하는 대부분의 암반지하수는 이 공법에 의해 시공하고 있으며, 공기압을 증폭시켜 공기압축기의 능력을 배양시킬 수 있는 공기부스터를 이용하기도 한다. 현재 인양능력이 가장 큰 AQ-3000 착정기는 공기부스터를 부착하게 되면 1,200m까지 굴진이 가능하다.

#### 8.2.3 지하수 시설물의 발전

근대적 의미의 지하수 개발이 시작되기 이전까지는 주로 인력이나 간단한 도구를 이용하여 우물이나 샘의 형태로 지하수를 개발·이용하여 왔으나, 1963년 공업용수 개발을 목적으로 소구경 시추 및 착정조사가 최초로 이루어진 이후 지하수 개발이 급격히 발전하였다. 우리나라 지하수 이용 시설물의 변천과정을 지하수 사업의 발전 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

##### 가. 석축우물

인력으로 지층을 파내려가서 지하수가 유입되도록 하고 무너지지 않도록 돌을 쌓은 우

물형태로써 지하수 개발공법이 발전되고 산업발전과 함께 지하수 오염문제가 대두됨으로써 지금은 거의 이용되지 않고 있다.

#### 나. 타설관정

충적층 지하수를 대상으로 끝이 뾰족한 철관( $\phi$ 1내외)을 사용하여 철관 하부에 1~3m 정도의 구간에 구멍을 뚫어 지하수가 유입될 수 있도록 한 후 지상에서 부터 철관을 조금씩 회전시키면서 타입하는 개발공법이다. 대수층의 물을 수동식 펌프로 퍼올리는 우물로 주로 가정에서 우물대신 개발·이용되었던 형태이다. 이렇게 충격식으로 하는 방법과 중량을 가하여 철관을 회전시키며 지하에 타입, 관정을 형성토록 하는 방법이 있다. 이와 같은 방법으로 만들어진 우물은 수위가 높아 중력에 의해 흡입 양수가 가능한 지역에 설치하는 것이 효과적이다.

#### 다. 인력관정

인력으로 간단한 도구를 사용하여 기존 샘을 확장하거나 우물을 파는 것으로 구경 1~2m, 길이 1.5m 규격의 흙관에 구멍을 뚫어 지표에 세우고 그 안에 사람이 들어가 인력으로 파내어 흙관을 연결, 삽입하여 설치하는 대구경 관정이다. 깊이는 5m 내외가 일반적이며 깊은 것은 30m 정도 되는 것도 있으나 수명이 길지 않아 지금은 거의 없어진 상태이다. 주로 자유면 대수층을 대상으로 개발하였으나 지역에 따라 피압대수층도 있을 수 있으며 지표와 가까운 곳은 돌을 쌓고 그 하부는 막파기를 한 경우가 많다

#### 라. 소형관정

대수층이 양호한 지역에 굴착기계를 이용하여 우물을 파고 우물 스트레나 주변에 잔자갈 또는 왕모래 등을 채워 모래 등의 유입을 억제하는 이용시설 형태로 타설관정의 스트레나에 모래가 유입되어 수명이 짧은 단점을 해소하였다.

#### 마. 기계관정

착정장비에 의한 우물개발로서 인력관정에 대비되는 말이다. 착정구  $\phi$  14~20인치, 우물자재는  $\phi$  8~12인치 구경의 파이프와 스트레나를 삽입하고, 착정 공벽과 우물자재 사이를  $\phi$  5mm 정도의 잔자갈로 채워 지층의 모래 유입을 방지한 관정이다. 양수 시설은 1970년대 초까지는 디젤엔진에 원심펌프를 연결하여 양수하였으나 1970년대 후반부터는 전동펌프를 이용하고 있다.

#### 바. 집수정

인력관정을 확대하여 시공한 것으로서 3.5m의 철근 콘크리트 집수정 내에서 구경  $\phi$  75mm, 길이 15~30m, 착정공 18개 또는 36개의 방사상 수평착정을 한 후 스트레나(Strainer)를 설치하여 5,000~10,000m<sup>3</sup>/일의 지하수를 이용하는 시설(그림 8.1)이다.

석축우물과 같은 원리의 우물로 1960년대까지는 농업용수 보조수원으로 개발하였으나

1980년대에 와서 집수정 하단에 수평착정에 의한 집수관 설치공법이 도입되면서 방사상 집수정으로 많이 보급되었다.

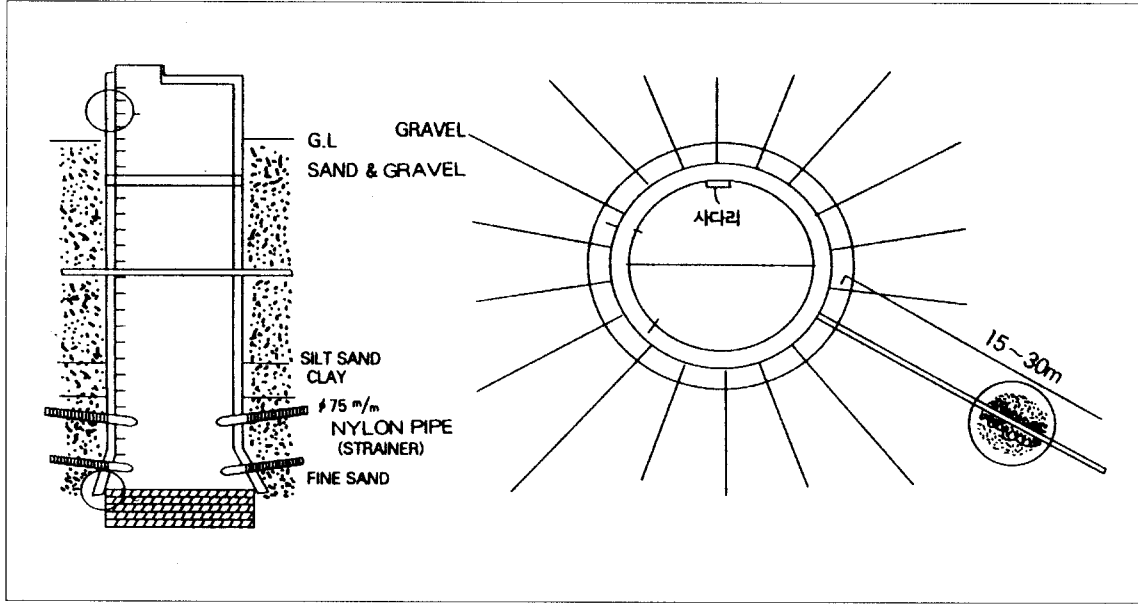


그림 8.1 집수정

### 사. 집수암거

하천의 복류수를 다량 채수하기 위하여 횡으로 관 우물로서 하천부지 혹은 하천유로 밑에 유공관을 매설하여 다량의 지하수를 집수하는 시설이다. 모래, 자갈층으로 된 하상을 관 후 콘크리트 유공관을 묻고, 관 주위에 자갈을 충분히 채워 모래가 들어오지 않도록 한다. 관자재는 구경  $\phi 0.6 \sim 1.5\text{m}$ 의 흡관 상부측에  $\phi 5\text{mm}$  정도의 구멍을 일정한 간격으로 뚫고 인력 및 장비로 지층을 파내어 집수관 주위에 자갈을 덮어 이물질 유입을 방지한 형태이다

집수암거를 도수방법에 의해 구분하면 자연유입식과 양수식이 있으며, 관의 배치 방법에 따라 단선식과 복선식이 있다. 집수공의 형상은 원형이 보통이며, 관의 직경이 1,000mm 이하의 것은 구멍의 지름이 20mm, 관의 직경이 1,000mm 이상인 경우 구멍의 지름은 30mm 정도이며, 구멍의 수는 1m<sup>2</sup>당 20~40개가 표준이다. 다량취수를 위한 토목시공방법의 하나이나 관매설 심도의 제한성과 토사유입 등 유지관리의 문제점으로 방사상집수정으로 대체되어가고 있다.

### 아. 지하댐

유역내 수자원의 효율적인 이용을 위하여 지하에 물막이 벽을 설치함으로써 지하수 유로를 차단하여 가뭄때 저장된 물을 활용할 수 있도록 하는 시설로 물막이 벽은 그라우

텅 공법이나 절개공법으로 불투수층벽을 만들어 물막이벽 내부에 저장된 물을 취수할 수 있는 우물시설(그림 8.2)이다.

일반적인 지하수개발·이용시설의 구조는 그림 8.3에 나타내었다.

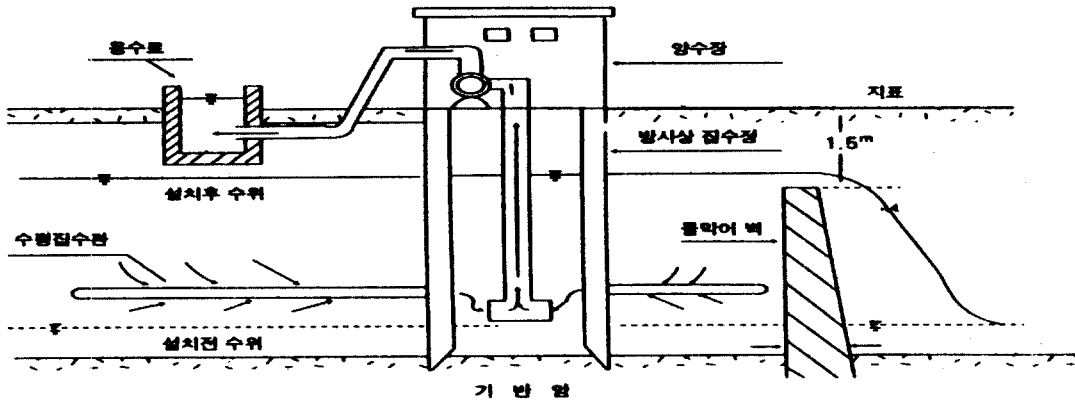


그림 8.2 지하댐 단면도

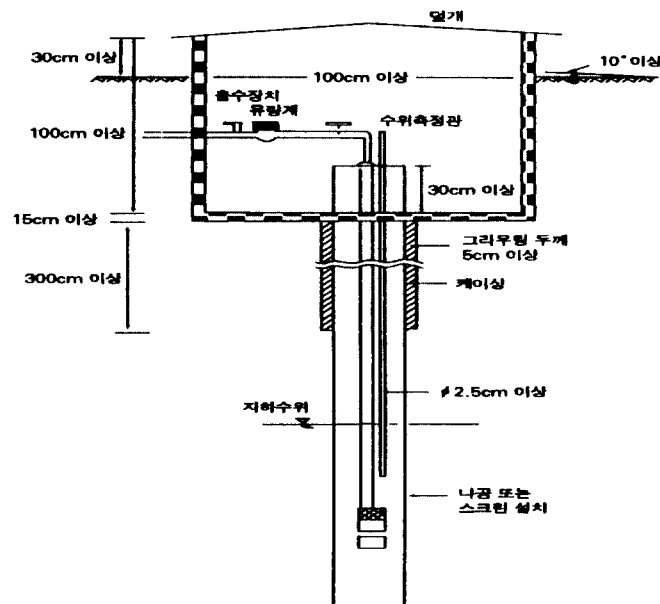


그림 8.3 지하수 개발·이용시설 구조도

## 8.3 지하수 개발 현황

### 8.3.1 지하수 조사 실적

우리나라의 지하수 조사는 과거 현장에서의 지하수 부존과 개발가능성 파악을 위한 조사를 주로 실시하여 왔다. 그러나 산업의 발달과 더불어 지하수의 오염문제가 심각해짐에 따라 지하수는 수자원의 일부로 인식되고 이에 대한 보전과 관리의 측면이 강조되면서 지하수 조사의 범위가 확대되었다. 또한 지역적으로 분산되어 있는 관측정들을 연계한 지하수 관측망을 설치 운용하는 방향으로 발전하고 있다. 또한 우리나라 지하수 조사는 일반 민간인 주도의 조사가 시행되기도 하였으나 조사자료의 수집이 어렵고, 거의 대부분이 정부의 주도하에 시행되었으므로 본 절은 정부 관련 기관인 농어촌진흥공사, 한국자원연구소, 한국수자원공사, 대한광업진흥공사 등의 주요 조사실적에 대하여 조사용도별로 기술하고, 현재 일부 지구에서 설치 운영하고 있는 지하수 관측망 조사에 대해 기술하고자 한다.

#### 가. 농업용 지하수 조사

농업용 지하수의 조사는 벼농사 위주의 우리나라 농업에 있어 용수 공급의 유일한 방법인 저수지나 보 등의 이용이 1962년과 1964년에 영남지방의 극심한 가뭄으로 인해 불가능해 지자 1965년 6월 전천후 농업용수개발 계획이 수립되었고, 같은 해 8월부터 지하수 개발 가능성 파악을 위하여 지하수 조사가 착수되었다. 이는 지질분포와 지하수 부존성과의 관계, 수계별 지하수 개발 가능성, 도별 지하수 개발 가능성 등의 파악을 목적으로 이루어졌으며, 예비조사, 지표지질조사, 물리탐사, 시추조사, 착정조사, 양수시험 등으로 구분하여 단계별로 조사되었다.

1960년대에는 지하수 산출 특성에 대한 조사가 이루어졌는데, 주로 자유면 지하수에 대한 조사였으나, 1967년에 최초로 경북 포항시의 피압 지하수 조사가 이루어짐으로써 대수층 상부에 불투수층이 분포하고 지하수량이 풍부한 경우 피압대수층이 자분함이 밝혀졌다.

1966년부터 1968년까지 현무암 지대인 제주도를 대상으로 용출수를 조사하였으며, 그 결과 제주의 4개 지구(귀엄, 동부, 대정, 강정지구)에 총 1.83톤/초의 지하수가 용출됨이 조사되었다.

한편 1966년에 원자력연구소에서는 일반조사에서 나타난 지층판단 자료와 비교하고 지하수의 유향, 유속 및 지층별 공극률을 측정하여 지질구조를 확인하는 등의 보완조사를 목적으로 동위원소를 이용한 지하수조사를 양산, 고양지구 및 제주도 북서부 지역에서 실시하였다. 그 결과 조사 목적을 달성하지 못한 경우도 있었으나 현재 동위원소에 의한 지하수 유동 해석의 기초적인 작업이 이루어졌다는 점에서 의의가 크다.

1970년에 농업진흥공사(현 농어촌진흥공사)는 농업용수 개발사업의 일환으로 지하수



조사를 착수하였으며, 1971년에는 「제주도 광역지하수 조사사업」으로 확대되어 본도 전역에 대한 지하수 부존상태와 개발가능성을 파악하기 위한 지하수조사를 시행하였다.

당시 제주도의 용수문제는 농업용수 뿐만아니라, 생활용수 해결이 시급한 실정이었으며, 해안부락 몇 개소를 제외하고는 우기 중에만 흐르는 지표수를 낮은 곳에 모아 두었다가 갈수기나 평상시에 음료수로 사용하는 매우 비위생적인 상태였다. 이러한 절박성이 감안되어 제주도 전체에 걸쳐 지하수 부존여부를 밝히기에 이른 것이다.

본 조사에는 농업진흥공사 지하수 전문직원 23인이 투입되었으며, 자문위원으로 서울대학교 교수 4인이 참가하였다. 조사결과 제주도는 지하수 포장량(약 340톤)이 풍부하여 지하수로 용수문제를 근본적으로 해결할 수 있음을 확인하였다. 그 결과로 정부의 제주도 관광종합개발계획(1973년)이 수립되었고, 농림부의 제주도 지하수개발사업계획이 수립되어 연차적으로 지하수 개발을 확대시행하게 되었다.

1980년대에 들어서면서 수리시설 내한능력을 조사한 결과 1980년 현재 총 담면적 중 수리안전담은 68%에 불과하여 주기적인 가뭄 도래시는 물부족으로 인하여 긴급 가뭄대책을 시행할 수 밖에 없는 것으로 조사되었다. 이에 정부에서는 1982년부터 1991년까지 10년간에 수리 안전담률을 90% 선까지 제고시키기 위해 농업용수 개발 10개년 계획을 수립하고 농어촌진흥공사에서 수맥조사를 시작하였으며, 1996년까지 조사실적은 총 계획 114천ha 대비 72천 ha로 실적율은 약 63%이다.

#### 나. 생활용 지하수 조사

1995년의 지하수조사연보에 의하면, 국립지질조사소(현 한국자원연구소)에서 1963년부터 1964년까지 부산시 송도동과 구포동 일대의 음용수원 확보를 위한 지하수 조사 및 제주도 남부지역 일원에 대한 음용수원 확보를 위한 암반지하수 조사 및 화학분석을 시행한 것으로 기록되어 있다.

1970년대에 들어서면서 용수난이 심각한 도서지역에 대한 경제적이고 효율적인 지하수 개발의 가능성과 개발방법을 강구하기 위하여 농업진흥공사 기술진에 의해 제주도와 서남해안 도서지역에 대한 지하수조사가 시행되었다. 그 결과 서남해안 도서지역 7,000ha에 대한 지표지질조사, 423점의 전탐조사, 23공의 시추조사, 13공의 착정조사가 이루어졌다.

1980년대에는 제주도의 수자원 부존 현황 및 용수 개발 공급방안을 위한 제주도 종합수자원조사가 1981년부터 1982년까지 시행되었고 1988~1990년에는 제주도와 울릉도의 지하수 부존 특성과 용수개발 공급방안을 제시하기 위한 지하수 조사가 한국수자원공사에 의해 실시되었다.

1990년대에는 산업발달과 더불어 농어촌 지역에도 수질오염이 심각해지면서 지표수나 소형관정 등을 수원으로 하는 간이상수도의 오염문제가 대두되자 1992년 농어촌진흥공사는 암반지하수를 개발하여 농어촌 마을에 청정용수 공급을 위한 농어촌 생활용수 개발 시범사업을 제주도를 제외한 전국의 53개 지구, 795ha에 대한 지구답사, 지표지질조사,

저주파탐사(30,219점), 전기탐사(1,209점) 등을 시행하였다.

또한 한국수자원공사에서는 제주도 중산간 지역의 용수공급을 위한 상위 지하수 개발 기본계획과 실시설계를 위하여 물리탐사 및 시추조사, 수질시험 및 경제성 분석을 1992년부터 1993년까지 실시하였고, 본도 광역상수도 기본설계와 실시설계를 위한 지하수 조사를 1994년부터 1995년까지 시행하였다.

#### 다. 공업용 지하수 조사

공업용수는 1969년 초까지 각 공장에서 개별적으로 소규모의 지표수나 얇은 우물로 충당하여 왔으므로 지하수 조사가 거의 이루어지지 않았으며, 경제개발 계획이 추진됨에 따라 공업용수의 수요가 급증되어 한강유역 합동조사단이 한강 유역 지하수 조사를 실시한 결과 한강 유역의 지하수 이용량은 약 3.29억톤이며, 이중 공업용수가 50% 정도 이용된 것으로 추정하였다.

1970년대의 경우 1973~1974년에 경주 보문단지의 용수공급을 위한 조사가 이루어졌으며, 1977~1979년에 한국자원연구소에서 반월공업단지의 용수공급을 위한 조사, 대구 금호강 유역, 대전 갑천 유역, 경기 김포읍 일원, 전남 보성군 일대 등에 대한 수문지질조사를 실시하였다.

1980년대 이후 농공단지의 조성을 위한 지하수 조사가 농어촌진흥공사 주도로 이루어져 단지 내 지하수 부존성 조사 및 개발가능량 파악을 위한 지하수 조사가 시행되었다.

#### 라. 온천조사

우리나라의 온천은 삼국시대부터 생활의 일부로 여겨져 왔으나 이에 대한 조사는 1920년대부터 이루어졌다고 할 수 있다. 동래, 온양, 유성 등의 기존 온천에 대한 연구가 이 시기에 이루어졌다. 해방이후 온천조사 및 연구는 1960년대 후반부터 시작되어 최근에 이르기까지 활발한 조사가 이루어지고 있다.

농어촌진흥공사에서는 1990년부터 1995년까지 경북 문경 일원의 농촌관광단지에 이용할 수 있는 심층 지열수의 부존상황 규명과 이의 개발을 위한 지질 및 지체구조 조사, 지화학 및 지구물리탐사, 지온조사, 시추조사, 물리검층 등을 한국자원연구소와 공동 수행한 결과 28~30℃의 온천수의 부존 가능성이 매우 큰 것으로 판명되어 개발 성공하였고, 또한 1993년부터 1994년까지 전북 정주시 용산동 일대의 용산관광단지 개발계획에 의한 관광용 지하수 확보를 위한 조사결과 25~30℃의 미온천수 개발 가능성이 높은 것으로 나타났다.

대한광업진흥공사는 1992년 경기도 안성군 일원, 1992년~1993년 경북 울산군 상북면 일원, 1993년 전북 김제시 일원, 1994년 경기 양평군 개군면 일원 등에 대한 온천수 부존 가능성 조사를 실시하였다.

### 마. 지하수 관측망 조사

우리나라에 지역적으로 분산되어 있는 관측정들을 연계하여 연속적이고 정기적인 지하수위 및 수질을 관측하여 지하수의 부존 및 유동특성과 배경수질을 파악, 규명하는 조사방법을 관측망 조사라 한다.

초기에는 주로 수동관측이 이루어졌다. 그러나 관측정의 수가 증가하고 측정 시간 간격이 좁아짐에 따라 점차 자동관측이 이루어지고 있는데 이는 현장에 지하수위와 수질(수온, 전기전도도, 수소이온농도 등)을 측정할 수 있는 자동관측기기를 설치하여 자동관측을 하고 있으며, 현재에는 현장에서 지하수위, 수온, 전기전도도(Electric Conductivity), 수소이온농도(pH) 등을 자동측정하여 모뎀을 통해 그 자료를 전송함으로써 원격지에서도 지하수 자료를 취득할 수 있다. 뿐만아니라 관측지역의 모든 관측정에서 동일시간에 지하수위 및 수질을 측정하고 그 결과를 모두 모뎀을 통해 중앙의 Host Computer로 전송함으로써 중앙에서의 관측지역에 대한 통제 및 동시 분석이 가능함으로써 지하수 관측의 많은 발전을 가져왔다.

제주도에서는 기 개발된 관정의 과잉채수로 인한 해안지역의 염수침입과 지하수위 강하, 생활하수 및 축산폐수에 의한 수질오염, 해안 용출수량의 감소현상 등이 점차 증가됨에 따라 지하수 관측의 필요성이 대두되었다. 이에 지하수 자원의 효율적인 개발·이용 및 보전·관리를 위한 장기관측망 조사계획이 수립되었고, 본 조사계획에 의거 놓여준진 흥공사는 1991년 조사를 착수하여 2000년까지 총 96개소를 설치할 계획이며, 1996년까지 51개소를 설치하였다.

또한 지하수의 효율적인 이용을 위하여 지하수에 대한 기본 조사를 실시하고 그 결과 지하수 관측을 위한 지점을 선정 후 지하수 관측망을 설치하고 있다. 서울시의 경우 서울시 지하수 관측망 기본조사가 1995~1996년에 걸쳐 시행되었으며, 1997년에는 서울시 지하수 관측망 설치에 대한 실시설계를 완료하였다.

한편 건설교통부에서는 지하수 장애를 사전에 방지하고 이를 토대로 지하수 자원의 효율적인 이용과 관리를 위한 합리적인 개발계획과 보전계획을 수립하고자 '국가관리 지하수관측망' 구축사업을 1995년에 착수하였으며, 2001년까지 310개소의 지하수 관측망을 구축할 계획이다.

### 8.3.2 지하수 개발 실적

건교부에서 발행한 지하수조사연보(1996년)에 의하면 1995년말 현재 우리나라의 지하수 시설은 총 763,646개소로 연간 약 26.23억톤의 지하수가 이용되고 있다(표 8.3).

지하수 개발은 1971년 이후 지속적인 증가 추세를 보이는데, 연도별로 지하수 개발공수를 누적한 결과 1970년대 이후 지수함수적인 증가 경향을 나타내고 있다. 연도별 지하수의 개발 추세를 3단계로 구분하면 다음과 같다.

첫단계는 1970년대로 이시기에는 지하수 개발이 점차 증가하기 시작하여 년평균 7,200공의 지하수가 개발된 시기이다. 초기에는 연간 5,000공 이내의 지하수 개발이 이루어졌으나 중반기 이후 그 수가 증가하여 연간 10,000공 이상의 지하수 개발과 3천만톤 이상의

지하수가 이용되는 등 지하수 개발이 가속화되기 시작하였다.

두번째 단계인 1980년대는 급격한 지하수 개발이 이루어진 시기로 년평균 약 37,000공의 지하수 개발이 이루어졌다.

세번째 단계인 1990년대는 지하수 개발이 둔화되는 시기로 지하수의 보전·관리의 필요성이 대두되고 지하수법 및 관련법의 제정에 의한 지하수 개발 규제가 강화되면서 지하수 개발이 감소하는 경향을 보이고 있다.

한편 부분적으로 지하수 개발공수가 크게 증가하는 연도가 있는데 이는 당해년도의 강수량이 적어 가뭄으로 인한 용수부족이 발생하여 많은 지하수 개발이 이루어졌던 해이다. 특히 94년의 경우 전체적으로 개발이 둔화되는 경향속에서도 60,400공이라는 연간 최대의 개발공수와 407.8백만톤이라는 이용량을 보였는데, 이는 5월부터 8월의 강수량이 평년 대비 영남지방은 35.7%, 호남지방은 63.4%로 가뭄정도가 심각한 결과였다. 이와 같이 5월부터 8월까지의 강우량이 평년보다 크게 부족한 해(1982년, 1992년, 1994년 등)에는 많은 지하수 개발이 이루어졌다.

지역별 지하수 이용시설은 지하수 사용량이 제일 많은 전라남도가 164.6천공으로 전국의 21.6%의 시설이 설치되어 있다. 그 다음은 전라북도가 144천공(18.9%), 충청남도가 120.3천공(15.8%)을 보유하고 있으며, 그 외 지역은 10% 미만이며 제주도가 3.3천공(0.4%)으로 가장 적은 시설을 보유하고 있다.

또한 도시지역 보다는 농어촌 지역에 활발한 지하수 개발이 이루어졌는데, 서울 등 6대 도시와 나머지 지역을 비교할때 6대 도시지역의 관정 시설은 약 50천공으로 전국의 6% 수준에 불과하다.

표 8.3 연도별 지하수 개발현황

개발년도	연도별 개발현황		개발년도	연도별 개발현황	
	개소수	이용량 (백만톤/년)		개소수	이용량 (백만톤/년)
1970년 이전	74,376	226.3	1984년	40,128	105.1
1971년	2,616	5.2	1985년	46,438	115.7
1972년	4,797	13.4	1986년	35,177	94.6
1973년	3,495	9.2	1987년	43,100	115.3
1974년	4,626	17.5	1988년	38,853	115.6
1975년	12,629	18.6	1989년	47,314	132.8
1976년	7,395	20.1	1990년	51,796	140.6
1977년	5,441	16.6	1991년	31,213	115.8
1978년	12,204	29.2	1992년	38,914	136.7
1979년	12,472	30.6	1993년	29,211	136.6
1980년	27,839	54.3	1994년	60,400	407.8
1981년	17,788	54.9	1995년	37,063	299.3
1982년	38,550	102.1	총계	763,646	2623.0
1983년	39,811	109.0			

### 8.3.3 지하수 용도별 개발실적

1995년까지 개발된 총 763,646공의 지하수는 용도별로 생활용수, 공업용수, 농업용수, 기타 등으로 구분할 수 있다(표 8.4).

생활용 지하수는 가정용, 일반용, 학교용, 민방위용, 군사용, 공동주택용, 간이상수도용, 상수도용, 농업·생활겸용 등의 시설을 말하며, 시설수는 463,406공으로서 전체의 60.7%를 차지한다.

공업용 지하수는 국가공단, 지방공단, 농공단지 및 자유입지업체 등에서 개발하여 사용하는 시설을 말하며, 시설수는 10,914공으로서 전체의 1.4%를 차지하고 있다.

농업용 지하수는 전작용, 답작용, 원예용, 수산업용, 축산업용, 양어장용 등의 시설을 말하며, 시설수는 286,448공으로서 전체의 37.5%를 차지하고 있다.

기타용수는 대부분 온천용과 먹는샘물의 수원으로 개발되는 시설을 말하며, 그외에 용도의 구분이 불가능한 경우를 포함한다. 기타에 포함되는 시설수는 2,878공으로 전체의 0.4%를 차지한다.

표 8.4 지하수 용도별 개발현황

구 분		계	생활용수	공업용수	농업용수	기 타
시설 현황	개소수	763,646	463,406	10,914	286,448	2,878
	비율(%)	100.0	60.7	1.4	37.5	0.4

## 8.4 지하수의 이용과 유지관리

### 8.4.1 지하수 이용현황

1995년말 현재 우리나라의 지하수 이용량은 약 2,623백만톤/년에 이르며 이를 용도별, 지역별로 구분하여 파악하면 표 8.5와 같다.

용도별로는 생활용수, 공업용수, 농업용수, 기타로 구분되는데, 1995년 현재 생활용수로의 이용비율이 전체의 51.0%인 1,338.6백만톤/년으로 가장 많고 다음이 농업용수(1,018.5백만톤, 38.8%), 공업용수(211.1백만톤, 8.1%)의 순으로 나타났다(지하수 조사연보, 1996).

생활용 지하수의 지역별 이용량은 경상남도 지역이 연간 194,901.3천톤(14.56%)으로 가장 많으며, 인천광역시가 11,209.2천톤(5.31%)으로 가장 적다. 또한 서울시와 5개 광역시를 포함한 6대 도시 지역에서의 생활용수 이용량은 연간 173,296.9천톤으로 전 생활용수 이용량의 12.95%를 차지하며 나머지는 경기, 강원 등의 농어촌 지역에서 이용하고 있는 것으로 나타났다.

공업용 지하수의 지역별 이용량은 경상북도 지역이 연간 42,704.5천톤(20.23%)으로 가

장 많으며, 인천광역시가 2,033천톤(0.96%)으로 가장 적은 이용량을 보였다. 6대 도시지역의 공업용 지하수 이용량은 연간 29,092.1천톤으로 전 공업용수 이용량의 13.78%를 차지하여 비교적 높은 이용비율을 나타낸다.

농업용 지하수의 지역별 이용량은 전라남도 지역이 연간 269,179.6천톤(26.4%)으로 가장 많으며 서울특별시가 392.5천톤(0.04%)으로 가장 적은 것으로 나타났다. 6대 도시지역의 농업용수 이용량은 연간 17,694.7천톤(1.74%)으로 매우 낮은 이용률을 보였다.

**표 8.5 지하수의 용도별 이용현황**

(1995년말 현재, 단위:백만톤/년)

구 분		계	생활용수	공업용수	농업용수	기 타
이 용 현 황	년이용량	2623.0	1,338.6	211.1	1,018.5	54.8
	비율(%)	100.0	51.0	8.1	38.8	2.1

전국을 서울특별시와 5개 광역시 및 9개도로 구분하여 1995년 기준 지역별 지하수 이용현황은 표 8.6과 같다.

**표 8.6 지역별 지하수 이용량 현황**

(단위 : 억톤/년)

구 분	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
이용량	26.2	0.4	0.63	0.37	0.16	0.34	0.35	2.65	0.91	2.13	3.27	3.55	4.27	2.76	2.96	1.46
비율 (%)	100	1.5	2.4	1.4	0.6	1.3	1.3	10.1	3.5	8.1	12.5	13.5	16.3	10.5	11.3	5.5

서울특별시의 경우 25개 구 중에서 영등포구(6.7억톤/년)에서 가장 많은 지하수를 이용하고 있으며, 다음으로 강서구, 중랑구 등 7개 구에서 연간 2억톤 이상의 지하수를 이용하고 있는 것으로 나타났다. 용도별로는 생활용수로의 이용비율이 가장 높았으며, 다음은 공업용, 기타, 농업용 순으로 나타났다.

부산광역시를 비롯한 5개 광역시의 경우 부산광역시에서는 해운대구와 기장군, 대구광

역시에서는 달성군, 인천광역시에서는 용진군, 광주광역시에서는 북구, 대전광역시에서는 중구에서의 지하수 이용량이 가장 많았다.

나머지 9개 도의 지역별 지하수 이용량은 전라남도가 연간 427,018.9천톤으로 가장 많이 이용하고 있으며, 다음은 전라북도로 355,308.5천톤을 이용한 것으로 보고되었다. 9개 도 중에서 가장 적게 지하수를 이용하고 있는 지역은 강원도 지역으로 연간 91,149.2천톤을 이용하고 있는 것으로 보고되었다.

지역별 지하수 이용현황 중 6대 도시지역은 모두 생활용수의 이용비율이 가장 높았으며, 대전이 84.4%로 가장 높고, 다음이 서울(83.92%), 부산(82.39%), 인천(69.86%) 등의 순으로 나타났다. 6대 도시지역을 제외한 9개 도 지역의 경우 경기도, 강원도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 제주도 지역 등은 생활용수의 이용비율이 높았으나 충청북도와 전라북도, 전라남도 등 3개 지역은 농업용수로의 이용비율이 가장 높게 나타났다.

또한 표 8.7의 유역별 지하수 이용현황을 보면 국토면적의 65%를 차지하는 5대강 유역의 지하수 이용량은 연간 13.6억톤으로 전국의 52%를 차지하며, 나머지 48%인 12.6억톤이 서해안을 비롯한 해안지역에서 이용되고 있다.

표 8.7 유역별 지하수 이용량 현황

(단위 : 억톤/년)

구 분	전 국	한 강	낙동강	금 강	섬진강	영산강	서해안	남해안	동해안	제주도
이용량	26.2	3.4	4.5	3.2	1.1	1.4	6.4	3.0	1.8	1.5
비 율 (%)	100	13.0	17.2	12.2	4.2	5.3	24.2	11.4	6.9	5.5

1996년 건교부의 지하수 조사연보 자료를 기초로, 임의의 지역에서의 지하수 이용이 적정한지에 대한 평가를 가능하게 하는 지역별 지하수 개발가능량에 대한 이용량의 비율(표 8.8)을 살펴보면 최소 3.8%(강원도 지역)에서 최대 70.9%(광주광역시)로 개발가능량을 초과하여 이용하고 있는 지역은 없으나 지역별 차이는 크게 나타났다.

서울을 비롯한 6대 도시지역은 평균 45.58%, 이를 제외한 나머지 지역은 21.4%로, 6대 도시 지역의 개발가능량에 대한 이용량의 비율이 2배 이상 높은 것으로 나타났다. 이에 비해 강원(3.8%)과 경북(13.1%)지역의 비율은 낮게 나타났는데 이는 우리나라의 지형을 고려할때 주로 고도가 높은 산지지역으로 지하수 부존량이 많고 개발가능량도 많은 반면 인구밀도가 낮아 이용량이 적기 때문인 것으로 판단된다.

표 8.8 지역별 지하수 개발가능량에 대한 이용량 비율

구 분	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
비율 (%)	100	41.1	69.4	38.8	14.0	70.9	39.3	18.6	3.8	18.9	28.7	35.5	31.2	13.1	19.4	23.7

단위면적(km<sup>2</sup>)당 지하수 이용량(표 8.9)은 전국 평균 연간 25.5천톤/km<sup>2</sup>을 이용하는 것으로 나타났다 (1995년 12월 현재). 지역별로는 부산이 83.5천톤/년·km<sup>2</sup>로 전국 평균치의 3배 이상에 달하는 최고치를 나타냈으며 제주, 광주, 서울 및 대전 등의 순으로 나타났고 강원이 5.5천톤/년·km<sup>2</sup>로 전국 평균의 1/5 수준으로 최저치를 나타냈다.

표 8.9 지역별 단위면적당 지하수 이용량

(단위 : 천톤/년·km<sup>2</sup>)

구 분	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
단위면적당 이용량	25.5	67.1	83.5	41.3	16.8	68.4	65.5	26.1	5.5	28.7	39.1	44.2	36.0	14.5	25.6	80.1

전체 공급용수에 대한 지하수의 비율(표 8.10)을 보면 용수의 거의 전량을 지하수에 의존하고 있는 제주도를 제외하면 충북과 전남이 18.5%, 15.3% 순으로 높으며, 서울, 인천이 각각 1.6%, 3.1%로 낮게 나타났다. 이는 상하수도 시설이 잘 되어 있고 주로 생활용수 수요가 높은 도시지역의 경우 낮게 나타났는데, 서울을 포함한 6대 도시지역은 평균 6.95%이고 상하수도 공급율이 낮고 농업용수 등을 많이 이용하는 그 외 지역들은 평균 12.1%로 전국 평균치 보다 높게 나타났다. 이는 지하수 이용비율이 도시지역보다는 농어촌 지역에 상대적으로 많음을 의미한다.

표 8.10 지역별 단위면적당 지하수 이용량 비율

구 분	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
이용량 비율 (%)	10.8	1.6	7.95	7.3	3.1	9.7	12.1	8.6	8.0	18.5	12.4	14.5	15.3	8.6	10.6	100



## 8.4.2 지하수 유지관리

### 가. 지하수 보전관리

지하수는 지층 내에 부존되어 있거나 그로부터 산출되는 물로 지층 내를 끊임없이 이동하는 자연적 산물이며, 인공적으로 경계를 설정할 수 없는 자원이기도 하다. 더우기 지구의 3권을 순환하는 수문학적 순환계의 일부이며, 강수에 의해 지속적으로 보충되는 순환자원이지만 지표수보다는 재생기간이 비교할 수 없을 만큼 길다. 따라서 적정량 이상의 채수가 이루어질 경우 지하수위 강하가 지속적으로 발생하여 지반이 침하되며 지하수계 본래의 정화능력을 상실하게 된다. 특히 암반지하수의 경우 수량회복에 오랜 시간이 소요되고 오염된 수질은 회복이 거의 불가능하므로 무분별한 개발이용은 지양하여야 할 것이다.

우리나라에서는 1960년대말 가뭄극복을 위한 지표수 대체수단으로 지하수 개발을 시도한 이후 1980년대에 이르러 산업화, 도시화 과정에서 많은 양의 지하수가 개발·이용되어 왔다. 이로 인하여 다른 자원의 개발과 마찬가지로 지하수의 개발과 이용에도 환경적인 측면에서의 문제점이 발생되고 있는데, 이는 크게 다음의 3가지로 구분할 수 있다.

첫째, 지하수 원수자체와 이용 목적과의 적합 여부에 대한 문제로, 지하수 자체의 수질 성분이 지하수 개발 목적에 적합하지 않아 지하수 이용을 크게 제약하는 경우이다.

둘째, 지하수 오염에 대한 문제로, 지표의 다양한 점오염원과 비점오염원으로부터 오염물질이 지하로 유입되어 대수층으로 유입 확산되어 지하수의 이용에 지장을 초래할 뿐 아니라 이를 처리하기 위해 막대한 시간과 비용이 요구되는 경우이다.

셋째, 지하수의 환경재해에 관련된 문제로, 지하수의 과잉양수, 토목 구조물과 지하 공간시설 건설 등으로 지하수 흐름이 차단되거나 유로가 변경되므로서 수량고갈, 지반의 침하와 함몰, 해수침입과 오수유입 등 각종 지하수 환경재해를 유발한다는 점이다.

이러한 문제점으로 부터 지하수를 보전하기를 위해서는 지하수의 수위변동과 수질변화에 대한 정기적이고 연속적인 자료의 취득이 기본적으로 요구된다. 현재 환경부에서는 전국 260개 지역의 780개 지점을 매년 2회에 걸쳐 지하수 수질기준 15개 항목에 대해 개황조사를 실시하고 있으나 이러한 일시적인 수질검사로는 우리나라 지하수의 수질을 대표하는 자료를 취득하기 어렵다. 또한 토양오염과 관련하여 지하수 오염이 우려되는 지역에 대한 조사가 이루어지고 있으나 이 역시 일시적인 자료 취득에 불과하다. 따라서 지하수의 수량과 수질을 종합적으로 항시 관측할 수 있는 측정망의 구축이 우선되어야 하며 이는 전 국토를 대상으로 각 지역의 수문지질학적인 특성 및 인문환경적인 특성을 고려하여야 하며, 구축된 지하수관측망은 국가 지리정보시스템(GIS)과의 연계를 통하여 지하수 정보를 각 산업분야에 활용토록 해야 할 것이다.

또한 지하수의 환경보전 및 관리 측면에서 다음과 같은 대책 수립이 요구된다. 먼저 지하수의 밀집개발, 과잉양수, 유동장애, 수위강하를 방지하기 위하여 신규개발 시설에 대

해서는 사전에 전문기관의 조사 또는 환경영향조사를 시행하여야 하고 기존시설 역시 지하수 이용에 대한 제도적, 법적인 제한조치가 이루어져야 한다. 다음으로 지하수 시설에 대한 오염방지 시설의 설치와 지하에 설치한 모든 시추조사공, 지하수 개발 실패공 및 미사용 폐기관정에 대한 오염물질의 유입·확산 방지를 위한 시공이 요구된다. 또한 지하수는 한 장소에 정체되어 있지 않고 대수층을 통하여 끊임없이 유동하는 자원이므로 지하수 고갈이 예상되는 지역이나 지하수 오염이 예상되는 지역에 대한 지하수 보전구역을 설정하여야 한다. 특히 잠재 오염원이 존재하거나 지하수 오염이 확인된 지역에서는 오염원을 기준으로하여 지하수 수리경사 상부와 하부 지역에 오염관측망을 구축하고 주기적인 수질 변동을 확인하여 오염지역을 설정함과 동시에 처리방안을 수립하여야 한다. 마지막으로 하수도망, 쓰레기, 산업폐기물 매립장 등 특정 오염원에 대한 격리대책을 수립하고 오염지역의 정화처리 기술을 발전시켜야 한다.

#### 나. 지하수 시설물 유지관리

지하수의 보전·관리를 위해서는 기존 관정 시설의 관리 및 기타 시설에 대한 유지관리가 동시에 이루어져야 실제적인 지하수 관리가 이루어질 수 있다. 지하수 시설물이란 관정, 양수기, 양수장, 송수로 및 이용시설을 총칭하며 이외에도 양수를 위한 전기시설, 배수로 등의 부대시설이 있다.

수원공 시설인 관정의 장애는 수위저하, 지반침하, 수질오염, 수질변화 등이 있다. 수위저하는 지하수의 유입공 부위에 이물질 유입 등에 의한 경우, 지하수의 유입부근 지층의 자연적 및 인위적 변화에 의한 경우, 인근 우물설치에 의한 대량 유출이 발생하는 경우 등에 의해 야기되며 심할 경우에는 지반침하 등으로 장애가 발생한다. 또한 외적인 조건에 의해 우물자재의 파손 또는 관정 내의 이물질 투입으로 매몰되어 유공관의 기능을 저하시키거나 양수기의 장애를 일으키는 경우가 있다. 이의 재발현상을 억제하기 위하여 적정양수량을 유지함으로써 관정주변의 대수층 파괴로 인한 이물질의 유입을 막는 것이 요구되며 또한 행정적으로 관리책임자를 지정하고 관정 관리대장을 비치 정리하고 관정 관리 및 점검을 실시하는 것 등이 요구된다.

수질의 오염은 지반변동으로 염수침입, 과잉양수 등에 의한 오수의 유입으로 발생할 수 있으며, 특히 산업화에 따른 수질오염이 날로 심화되는 추세이다. 또한 일시적인 수질오염은 지상의 우량 변화, 조석간만의 차 등에 의해 발생하기도 한다.

양수기, 양수장 및 이용시설의 기능 훼손 및 손상은 부품의 내구성 단축, 무리한 작동으로 인한 고장, 홍수유입시 점토 부착에 의한 슬라임, 산화부식, 손질부실에 의한 기계작동의 장애 등이 있으며, 이밖에도 정전, 도난, 유실, 화재 등의 요소에 의해 본래의 기능을 다하지 못하는 경우 등이 있다. 따라서 양수장비의 관리책임을 철저히 하기 위하여 책임자를 지정하고 관리대장을 비치하여 점검을 주기적으로 실시하는 등의 유지관리가 요구된다.

지하수 시설물의 기능을 내구수명이 다하는 일정 기간까지 건전하게 유지관리 하기 위해서는 부품의 대체와 기간시설의 개보수가 필수적으로 뒤따라야하며, 그 밖의 자연 또는 인위적 요인에 대한 우발적 장애에도 대처하여 항상 빈틈없는 대책이 강구되어야 한다.

이러한 지하수개발에 의한 관정 및 양수장비의 유지관리는 먼저 시설물에 대한 성능을 장기간 지속적으로 유지하는 측면과 더불어 노후한 시설물에 의한 지하수 오염의 방지 측면, 지하수 수량 및 수질을 보전하여 물을 합리적으로 급수하는 물관리측면, 시설과 물을 효율적으로 이용하고 관리함으로써 이용자의 경제적 부담을 최소한으로 적게하는 운영관리적인 측면 등 지하수 이용의 효율을 극대화시킬 수 있는 방안이 될 것이다.

## 8.5 지하수 수요전망과 발전과제

### 8.5.1 지하수의 수요전망

우리나라 수자원의 원천인 강수량의 지역적·계절적 편중으로 인한 물부족을 해결하기 위하여 용수수급의 주된 수단이었던 댐 건설이 지역사회의 반대, 보상비의 증가 등으로 인한 적지부족 및 건설여건의 악화 등으로 인하여 수자원의 개발 여건은 점점 어려워지고 있으며, 2000년 이후에는 댐 건설 가능성이 거의 없을 것으로 전망되어 댐으로부터의 용수 공급능력의 확대는 어느 정도 한계에 도달할 것이며, 갈수시에는 하천유량 감소로 인한 수질오염이 심각해져서 취수원으로 하천수를 사용하는 것도 어느 정도 한계에 달해 있다.

지하수는 짧은 공사기간과 값싼 공사비, 맑은 수질과 가뭄에 견디는 내한 능력 등의 잇점에도 불구하고 지표수의 보조수원으로만 인식되어 왔으나, 날로 증가하는 용수수요를 충당하고 댐과 하천수의 용수공급의 한계를 극복하기 위해서는 지하수의 개발 확대가 불가피하며, 수자원 편재로 물 부족 지역에 대한 대처수단 및 예비수원으로써 지하수의 개발이 요구된다.

우리나라의 지하수 함양량은 학자들간에 다소 차이는 있으나 대략 연간 205~228억톤, 개발가능량은 연간 약 130~140억톤으로 추정하고 있다.

건설교통부(1996)의 자료에 의하면 현재 건설중인 6개 댐을 1999년까지 계획대로 완공하고, 2011년까지 28개의 신규댐을 단계별로 건설하여 댐의 용수공급 비율을 현재의 39%에서 50%로 제고시키는 한편 지하수공급량은 2001년까지 2,534백만톤/년, 2011년까지 2,977백만톤/년으로 계획하고 있다.

그러나 1995년 12월 현재 우리나라의 지하수 이용량은 연간 2,623백만톤으로 2001년까지의 건설교통부 공급계획량을 이미 상회하고 있고, 지난 1985년부터 1995년까지 11년간의 지하수개발공수가 대략 413,000공, 이용량이 1,695백만톤에 이르고 있음을 감안한다면 2011년에는 최소한 연간 4,000백만톤 이상 이용될 것으로 전망된다.

선진국의 경우(표 8.11), 경제가 발전함에 따라 지하수 이용량은 증가일로에 있으며, 일

본, 대만, 미국, 프랑스 등의 지하수 이용량은 총 용수 이용량의 19~20% 수준에 달하고 있다. 이에 비해 우리나라는 1995년 12월 현재 8.6%로 매우 낮은 수준이다. 또한 앞으로 우리나라의 경제발전 에 따른 용수 수요의 증가를 고려할 때 지하수 이용량도 더불어 증가할 것으로 전망된다. 따라서 우리나라도 지하수 이용률을 선진국 수준으로 제고하여 향후 물부족 사태에 대비하여야 할 것이다.

이와 같은 관점에서 볼 때 2000년대에는 지하수의 이용이 활발하게 될 것이며, 또한 2001년도 기준 타 공공재 예비율(예: 전력의 경우 20%)을 고려할 때 용수 예비율을 이 수준으로 상향시키기 위해서는 지하수 개발 중대 이외에는 대안이 없다고 판단되며, 1995년말 현재, 지하수 개발가능량(133억톤/년)이 1996년 현재 댐 용수 공급량(116억톤/년)을 상회하므로 장래 지하수 개발의 가능성은 상당히 크다고 볼 수 있다.

표 8.11 외국의 지하수 이용현황

(단위 : 억톤/년)

국 명	수자원총량	용수이용량 (A)	지하수이용량 (B)	비율(% (B/A))
일 본	6,600	1,100	200	18
대 만	990	191	42	22
미 국	63,980	6,205	1,241	20
프 랑 스	4,400	370	70	19
한 국	1,267	302	26	9

### 8.5.2 지하수 발전과제

지하수는 비가시적인 지하의 대수층 내에 부존되어 있어, 이를 합리적으로 이용하기 위해서는 지하 대수층의 정확한 산출특성이 먼저 규명되어야 한다. 또한 지하수는 지표수와 연계하여 지하수 관련법에 따라 이용·보전되고 있으나 지역적으로 지하수 고갈과 수질 오염 등이 발생되고 있어 지하수의 조사·개발을 체계적으로 추진해야 할 필요가 있을 뿐만 아니라 보전구역을 지정하여 보전·관리의 기능을 강화할 필요성이 대두되고 있다.

따라서 지하수의 개발에 대한 합리적인 방향을 제시하기 위하여 먼저 지하수법의 제정 및 개정 내용을 검토한 뒤, 지하수 자원의 최적관리 방안을 살펴봄으로써 지하수의 발전 과제를 제시할 수 있을 것이다.

지하수의 효율적인 개발·이용과 적절한 보전·관리를 통한 공공의 복리증진과 국민경제의 발전에 이바지하고자 1993년 12월 법률 제 4599호로 「지하수법」을 제정하였다. 이는 산업의 발달과 인구증가에 따른 각종 생활하수·공장폐수·축산폐수 및 농약에 오염된 지하수가 고도 산업화에 따른 용수수요의 급증으로 아무런 규제없이 무분별한 개발

· 이용으로 인하여 발생된 여러 가지 지하수 장애에 효과적으로 대처하고 지하수를 보전·관리하기 위한 목적으로 제정되었으며, 1997년 1월에는 기존 지하수법을 개정하여 지하수의 개발·이용에 대한 신고제를 허가제로 변경하고 개발허가 신청시 지하수영향조사를 실시하여 지하수영향조사서를 작성하도록 하는 등 지하수 개발에 대한 규제를 더욱 강화하였다. 또한 건교부에서는 효율적인 지하수 관리를 위한 기본방향과 원칙을 제시하는 지하수관리 기본계획을 수립 발표하였다.

본 관리계획의 목적은 수자원의 장기 종합계획과 연계하여 지하수 이용계획을 수립하고 지하수 고갈과 오염 등을 방지할 수 있도록 지하수 보전계획을 수립하여 합리적인 지하수 관리를 도모코자 하는데 있으며, 이는 크게 지하수조사 및 이용계획과 보전·관리계획의 두 가지로 구분할 수 있다.

첫째, 지하수조사는 지하수의 이용과 보전·관리가 시급한 지역부터 우선하여 기초조사를 시행하며, 개발가능량의 범위 내에서 필요시 계획적으로 개발·이용하되 보전 위주로 관리하며, 암반지하수는 음용수 위주로 개발·이용하고 기타용수로의 사용은 가급적 억제하는 것을 기본방향으로 하고 있다. 지하수 기초조사는 5년 마다 4대 권역별로 조사를 시행하여 분석하고 이를 종합 수록한 지하수 현황도(1/250,000)를 작성하는 광역 지하수조사, 지역단위별로 지하수위, 수질, 대수층 분포, 관정시설 및 오염원현황, 대수층의 수리상수, 지하수 개발가능량 등을 조사하여 이를 종합적으로 분석·수록한 수문지질도(1/50,000)를 작성하는 정밀 지하수조사로 구분하여 추진하도록 하는 시행안과 지표수 공급이 어려운 지역에 대한 대체수자원의 개발타당성 조사, 지하수 침투·함양, 오염방지 및 복구, 분쟁조정방안 등에 대한 연구수행 등의 시행안을 포함한다. 지하수 이용계획으로는 수자원 장기 종합계획과 연계하여 지하수 이용계획을 수립하고 시군별로 지하수 이용 계획을 수립하며 철저한 사전조사를 통한 농어촌 용수개발을 추진하고 지표수와 지하수를 연계하여 개발하는 것 등을 내용으로 하고 있다.

둘째, 보전·관리 계획은 다음의 내용을 포함한다. 시·도지사는 필요한 조사를 시행하여 광역적인 지하수 보전구역, 국지적인 지하수 보전구역, 해안의 지하수 보전구역으로 구분하여 보전구역을 지정·관리하고, 오염원 및 수질현황 파악과 수질측정망 설치 운영 등을 통한 지하수 수질 보전대책을 수립하며, 지하수 관리 체계 정비 및 인력 전문화, 지하수 자료의 종합관리 등을 포함한다. 또한 지하수법 제 17조 및 제 18조와 관련하여 지하수 수위 및 수질의 변동을 주기적으로 파악할 수 있는 국가 관리 관측망 310개소와 지역관리 관측망 약 10,000개소(시·군별 30~40개소)를 2001년까지 설치·운영하도록 하고 지하수 교육 및 홍보를 적극적으로 실시토록 하였다.

우리나라 지하수 자원의 효과적인 조사·개발과 선량한 보전·관리를 위해서는 지하수법을 바탕으로 다음 사항을 고려하여 범 국가적인 관리체계를 구축하여야 한다.

첫째, 방대한 기존 자료의 체계적인 수집·정비를 통해 지역별·용도별 지하수 자원의

개발·이용현황 조사가 선행되어야 하며, 기존자료 및 가용자료에 대한 종합적인 D/B화가 요구된다.

둘째, 지역별 지하수 자원의 수질특성 조사, 지역별·암종별 지하수 산출특성 및 부존량조사, 지역별·계절별 지하수위 변동특성 조사, 기존의 가용지하수 수문, 수리지질 특성자료에 대한 정량적인 분석과 산출특성에 대한 규명이 이루어져야 한다.

셋째, 지하수 수위관측망, 지하수 수질관리망·광역관리망·오염유형별 관리망 등 지속적·광역적인 관리망 설정 운영 시스템 구축이 요구된다.

넷째, 각종 조사결과를 토대로 전국을 대상으로 지표수와 연계한 범국가적인 지하수 자원 관리가 필요하며 이를 위해서는 중앙 및 지방 행정기관에 지하수 자원의 개발·이용·보전·관리를 전담하는 전문기구가 설치·운영되어야 한다.