

1. 지하수와 수리지질학

- 1.1. 물과 인간
- 1.2. 지각수의 분류
- 1.3. 통기대에서 물의 유통
 - 1.3.1. Hysteresis
 - 1.3.2. 거시적 공극 유통
 - 1.3.3. 모관 현상
 - 1.3.4. 포화 유통
- 1.4. 지하수의 정의
 - 1.4.1. 지하수란?
 - 1.4.2. 수리지질학
- 1.5. 지하수의 중요성
- 1.6. 물의 순환
- 1.7. 수수지
- 1.8. 공극
- 1.9. 대수층
- 1.10. 가압층

그림

- 1-1 지각수의 분류
- 1-2 모관 현상
- 1-3 주수의 보기
- 1-4 물의 순환
- 1-5 1차공극과 2차공극
- 1-6 대수층과 가압층

표

- 1-1 모관 현상에 의한 물높이
- 1-2 지하수의 식별기준
- 1-3 담수의 분포
- 1-4 유통과 순환기간

1. 지하수와 수리지질학

1.1. 물과 인간

물은 가장 기본적이고, 흔하며, 독특한 자원으로써 우리의 인간에 미치는 영향은 상상할 수 없을 정도로 광범하고 다양하다. 물의 화학식은 H_2O 로, 한 개의 산소가 2 개의 수소와 비 대칭적으로 결합한 소위 수소결합(hydrogen bonding)을 이루고 있으며, 수소-산소-수소가 이루는 각은 105° 이다. 물이 가지고 있는 이와 같은 비 대칭적 배열 때문에 물 분자는 전기적으로 비 균형 상태이고 이 때문에 극성(polar charecteristic)을 가지고 있다.

물은 흔히 완전 용매(universal solvent)라 하는데 이는, 정도에 차이는 있지만, 어떤 물질이든 물에 녹지 않는 것이 거의 없고, 또 어떤 액체도 물보다 많은 물질을 녹일 수 없다.

물은 어떤 액체보다 높은 기화열을 가졌다. 다시 말하면 적은 양의 물을 증발시키는데 많은 양의 열 에너지가 필요하다. 태풍, 토네도(tornado) 등이 자연과 인간 생활에 막대한 영향을 주는 것은 물이 기화 할 때 흡수한 많은 에너지를 방출하기 때문에 일어나는 현상이다. 물의 큰 열 용량 때문에 바다, 호수, 큰 강 주위에는 내륙 지방에 비해 극단적인 기온 변화가 덜하다.

지역에 따라 지구 대기에는 0.02-4% 가량의 물을 포함하고 있다. 이 수분이 지표에 내리는 모든 강우의 원인이 되고, 또 이 수분이 태양으로부터 오는 자외선을 어느 정도 차단하며 태양의 열을 흡수하여 다시 우주로 방출하기도 한다. 또한 지열의 방출을 막아 지구의 온도를 어느 한계 안에서 유지할 수 있도록 돕는다.

물 분자의 극성은 물이 어느 액체보다 큰 표면장력(surface tension)을 가지는 원인이 되기도 한다. 따라서 물의 표면을 뚫고 들어가기 어렵고, 또 이 때문에 수증기가 응결하면 물방울이 된다.

다른 액체와 달리 물은 $4^\circ C$ 에서 비중이 가장 높다. 이 때문에 추운 지방의 강이나 호수는 아래서부터 얼지 않고 위 부분이 비교적 얇은 얼음으로 덮인다. 만일 물의 이와 같은 성질이 안이면 겨울철에 강이나 호수에서 생물활동이 거의 불가능 할 것이다.

추운 지방에서 연중 기온은 여러 차례 빙점을 오르내린다. 암석에 있는 작은 균열에는 대부분 물이 들어 있고 이 물은 해마다 약 70번 가량 얼었다 녹았다 한다. 물은 어는 동안에 팽창하고, 이때 압력은 207,000 kPa(kilo pascals)이나 되기 때문에 아무리 경고한 암석이라도 결국은 부서지게 된다. 이와 같이 물에 의해 부서진 암석 조각은 물에 의해 운반되고 물에 의해 퇴적되어 새로운 암석을 형성한다.

모든 생물은 물 없이는 살수 없고, 인간의 문명과 복지 또한 물 없이는 있을 수 없다. 한 사람이 하루에 마시는 물은 약 2 L 정도이고, 한 사람이 하루에 쓰는 물의 양은 생활 수준에 따라 국가마다 매우 다르다. 서방 선진 국가에서는 한 사람이 하루에 0.2-0.4 m³ 정도의 물을 쓰고 있다.

우리 몸은 체중에 약 75%가 물로 되어 있다. 이물은 우리 인체를 유지하는데 없어서는 안되는데, 이는 체온을 유지하며, 호흡기능을 돕고, 내분비선의 기능을 도우며, 음식을 소화시키고 움직이는 매듭에 윤활유 역할을 하기도 한다.

영양분이 물에 녹아 있기 때문에 식물이 섭취 할 수 있고, 모든 동물과 물고기가 물이 없이는 살 수 없다. 따라서 물은 우리가 먹는 식품 생산에 중요한 역할을 하고 있다.

인간은 물 주변에서 정착하기 시작했고, 모든 문명 문화 발전이 물의 위치와 밀접한 관계를 가지고 있다. 물은 교통에 뿐 아니라 휴식(recreation)에도 중요한 역할을 하고 있다.

오늘날 인간은 비교적 자유 자재로 언제 어디든지 필요한 양의 물을 얻을 수 있게 되었다. 고도의 기술 발달로 강우량을 어느 정도 조절할 수 있는가 하면, 저수지를 건설하거나 자연적인 지하수 저류 지를 인공적인 물의 저장과 개발의 목적으로 이용하기도 한다. 그러나 불행하게도 많은 사람들이 물의 물리적, 화학적 성질을 잘 알지 못하고, 그 때문에 물의 개발, 오염, 보존 등에 관련된 많은 문제를 일으키고 있는 실정이다.

1.2. 지각수(subsurface water)의 분류

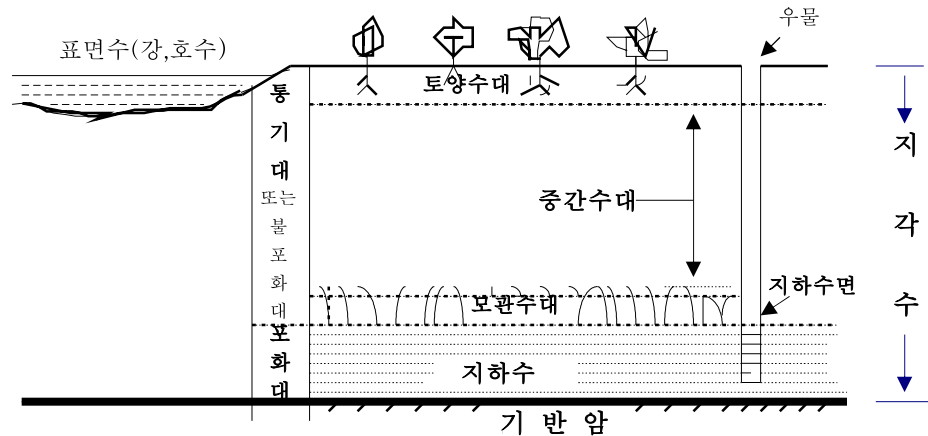


그림 1-1 지각수의 분류

지하에 있는 물을 통틀어 지각수라 하고, 이는 지표 상에 있는 모는 물을 표면수(surface water)라 하는 것과 대응하는 말이다. 지각수는 흔히 두 가지로 구분하는데 이는; (1) 지하의 공극 또는 빈 공간을 물과 함께 공기가 차지하고 있는 통기대(zone of aeration) 또는 불포화대(unsaturated zone)의 물과, (2) 공극이 전적으로 물에 의해서만 채워져 있는 포화대(saturated zone)의 물이다. 이들 중에서 오직 포화대의 물만이 우물이나 샘을 통해 흐를 수 있고 우리에게 필요한 양의 물을 공급할 수 있기 때문에, 수리지질학에서 정의하는 엄밀한 의미의 지하수(groundwater)란 이와 같이 포화대에 있는 지각수만을 가리킨다.

통기대는 위로부터; (1) 토양수대(soil water zone), (2) 중간수대(intermediate zone) 그리고 (3) 모관수대(capillary water or fringe)로 분류한다. 모관수대의 맨 밑이 포화대와 접하고 있는데, 이때 통기대와 포화대 사이의 경계를 이루고 있는 면을 지하수면(water table)이라 한다.

토양수대는 지표면에서 2-3 m 깊이까지이며, 대부분의 식물 성장은 이대에서 이루어진다. 이 대에는 유기물이 많고, 식물 뿌리가 사방으로 퍼져 있을 뿐 아니라 썩은 나무 뿌리 또는 벌레등에 의해 생긴 빈 공간이 많아 물을 많이 저장하고 또 비교적 자유롭게 유통시킨다.

토양수대 바로 밑이 중간수대 인데, 여기에 있는 물은 중력에 의해 서서히 아래로 흐르기도 하고 또 분자력에 의해 한 곳에 장기간 머물기도 한다. 중간수대의 물은 너무 깊어서 식물이 쉽게 쓸 수 없고 또 증발되지도 않으므로 좀처럼 지표면으로 다시 돌아가지 않는다.

통기대의 맨 아래부분을 모관수대라 한다. 이곳의 물은 물과 물, 그리고 물과 암석사이의 인력에 의해 존재하고, 암석 내부의 작은 모관 때문에 물이 중력에 대항해서 암석입자 사이에 붙어 있거나 모관 현상에 의해 위로 흐르기도 한다. 따라서 모관수대나 그 바로 위에 있는 물의 압력은 대기압보다 낮은 상태에 있다.

포화대와 통기대(또는 불포화대)의 특성을 요약하면 아래와 같다.

포화대의 특성:

- (1) 지하수면 밑에서 생긴다
- (2) 모든 공극은 물로 채워졌고 물의 함유량은 공극율과 같다
- (3) 유체의 압력은 대기압보다 높고, 압력수두는 언제나 0보다 높다
- (4) 전체수두는 내압수두계를 이용해서 측정한다
- (5) 투수계수는 일정하고 압력수두에 의해 변하지 않는다

통기대의 특성:

- (1) 지하수면과 모관수대 위에서 생긴다
- (2) 공극의 일부만이 물로 채워졌고 수분함유량은 공극율보다 적다
- (3) 유체의 압력은 대기압보다 낮고 압력수두는 0보다 낮다
- (4) 전체수두는 표면장력 계를 이용하여 측정한다
- (5) 투수계수와 수분함유량은 압력수두의 함수이다

1.3. 통기대에서 물의 유통

통기대에서 물의 유통은 4 과정에 의해 이루어지는데 이는; (1) hysterics, (2) 거시적 공극(macropore)에서 유통, (3) 모관 현상 그리고 (4) 포화(saturated) 유통이다.

1.3.1. Hysteries

Hysteries 현상은 불포화대 안에서 수분이 토양 입자들에 접촉되어 있을 때 일어난다. 이 현상의 특징은 수분이 현미경적 공극을 통해 토양 입자들 사이를 유통한다는 점이다. 불포화대에서 물의 유통을 나타내는 수식은,

$$\Phi = \psi(\Theta) + z \quad (1-1)$$

여기서, Φ = 전체 포텐셜(불포화 유통의)

$\psi(\Theta)$ = 수분 포텐셜{흡입(suction)으로 인한}

z = 고도수두

물의 유통은 압력경사에 의해서 이루어지고, 흡입력(suction force; centibar/cm³)은 불포화 상태의 투수계수에 작용하는 음성적 압력수두 때문에 생긴다. 통기대가 포화 상태로 되면 토양의 음성적 압력수두 즉, 흡입력은 감소되어 모든 공극이 물로 채워져서 결국 흡입력이 없어지게 되고 따라서 흡입력 = 0이 된다. 다시 토양으로부터 수분이 빠져서 불포화 상태가 되면, 이때 음성적 압력수두는 증가하고 따라서 흡입력도 증가하게 된다.

1.3.2. 거시적 공극(macropore) 유통

거시적 공극 유통은 표면수가 토양의 균열 또는 거시적 공극으로 흘러 들어갈 때 생긴다. 이와 같은 수직적 유통은 모든 공극이 물로 채워져서 국부적으로 포화 상태가 될 때까지 계속된다.

토양이나 미고결 퇴적층에서 수직뿐만 아니라 수평으로 발달된 균열이나 빈 간격은 흔히 볼 수 있는 현상이다. 이들은 주로 식물의 뿌리나 동물의 활동에 의해서 생긴 것이며, 때에 따라 깊이가 수 m 까지 이른다. 또한 이와 같은 공간은 흔히 다른 입자성 퇴적물로 채워져 있어서 이들을 통해 물이 쉽게 유통하여 결국 포화대에 이르게 된다.

1.3.3. 모관(capillary) 현상

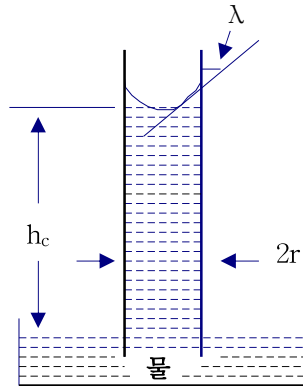


그림 1-2 모관 현상

그림 1-2는 우리가 흔히 사용하는 모관 현상의 한 실험이다. 지름이 작은 유리관을 물통에 세우면 물이 그 유리관을 통해 위로 올라가 물통의 수면보다 높아지는 소위 모관 현상이 일어난다. 이 현상은 분자력(molecular force)과 표면장력(surface tension)에 의해 생기며, 이 두 힘이 유리관 안의 물기둥의 무게와 평형을 이룰 때까지 계속된다.

단위 길이의 유리관에 작용하는 표면장력을 τ 라 하면 전체 단면에 미치는 표면장력은, 즉 위로 끌어올리는 힘 F_u 는 아래와 같다.

$$F_u = 2\pi r \tau \cos \lambda \quad (1-2)$$

또한, 유리관 안에 물기둥의 중량 때문에 아래로 작용하는 힘 F_d 는,

$$F_d = \pi r^2 h_c \rho_w g \quad (1-3)$$

물이 어느 높이 까지 올라간 후 정지하려면 $F_u = F_d$ 가 되어야 함으로,

$$2\pi r \tau \cos \lambda = \pi r^2 h_c \rho_w g \quad (1-4)$$

여기서, r = 유리관의 반지름

τ = 표면장력(20° C인 물의 경우 0.07 g/cm)

λ = 유리관의 벽과 물 사이의 접촉 각 (순수한 물의 경우 0°)

h_c = 물기둥의 높이

$\rho_w g$ = 물의 중량 (1g/cm³)

위의 식을 h_c 로 정리하면 아래와 같고, 이는 모관현상 때 유리관의 지름과 물기둥의 높이의 관계를 나타낸다.

$$h_c \approx \frac{0.15}{r} \quad (1-5)$$

모래나 점토입자 사이의 공극은 위에서 말한 모세관의 지름과 비슷한 크기이므로 모관 현상과 같은 원리에 의해 물이 지하수면으로부터 위로 올라가 지하수면 바로 위에 모관수대를 이루게 된다. 이때 모관 현상에 의해 위로 올라가는 물의 높이는 모세관의 지름, 즉 간극체의 경우 공극의 크기에 따라 달라지게 된다. 따라서 모관수대의 물높이는 모래나 자갈 보다 점토(clay)나 침적토(silt)와 같은 작은 입자성 물질로 이루어진 퇴적물 안에서 더 높다. 그 이유는 구성 입자가 작을수록 이들 입자 사이에 생기는 공극의 크기가 작기 때문이다.

표 1-1은 모관수대에서 물체에 따라 모관 현상에 의해 올라가는 물의 높이의 예이다.

물체	물기둥의 높이 (mm)
모래	
굵은 모래	125
중간 모래	250
가는 모래	400
침적토	1,000

표 1-1 모관 현상에 의한 물높이

1.3.4. 포화(saturated) 유통

포화 유통은 불투수성의 지층이 투수성이 높은 지층에 포함되어 있을 때 이룬다. 불포화대에서 중력에 의해 아래로 흐르는 물이 불투수층에 의해 저지되어 국부적으로 포화대를 이루는 경우가 있다. 그로 인해 소위 주수(perched groundwater)가 형성되고, 이 주수의 유통을 포화 유통이라 한다. 따라서 이와 같은 유통은 불포화대 안에서 이러 나며, 이때 부분적으로 포화된 퇴적물은 흔히 렌즈 모양을 이룬다.

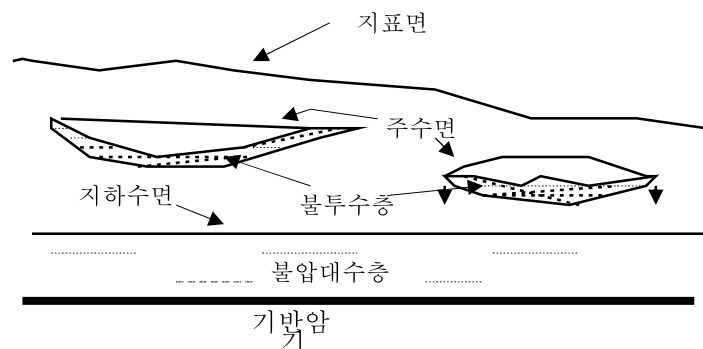


그림 1-3 주수의 보기

때에 따라서 이와 같은 렌즈는 매우 광범한 영역을 차지하기도 하여 불포화대에서 대수층과 같은 역할을 하기도 한다. 주수에는 지속적으로 함양(recharge) 되는 영구 주수와 강우 시기에만 생기는 일시적인 주수가 있다.

주수가 형성되는 대표적인 조건은:

- (1) 불투수성의 점토층이 투수성이 높은 모래층에 포함되어 기반암과 같은 역할을 하여 점토층 위 부분에 지하수면을 이루는 경우
- (2) 투수성이 높은 퇴적물이 불투수성 지층 바로 위에 싸여서 위로부터 내려온 물을 수집하여 포화된 경우
- (3) 균열성의 지층에 물이 고여 더 이상 아래로 흐를 수 없는 경우

1.4. 지하수의 정의

1.4.1. 지하수란?

넓은 의미의 지하수란 지층이나 암석 내부에 함유하고 지하에 있는 모든 물을 의미한다. 그러나 보다 엄밀한 의미의 지하수란 정수압(hydrostatic pressure)이 대기압(atmospheric pressure)과 같거나 그보다 큰 상태에 있는 지하의 물로써 오직 포화대에 존재하는 물만을 말한다. 이와 같은 정확한 정의는 지하수를 다른 지하의 물, 즉 모관수대 또는 토양에 함유되어 있는 물과 구별하는데 도움이 된다. 지하수는 그 기원에 따라 해양수, 천수, 선천수, 변성수, 암장수, 화산수, 심성수, 그리고 초생수 등으로 분류한다.

해양수(marine): 바닷물이 최근에 암석이나 바다와 접하고 있는 미고결의 퇴적물에 침입한 물이다.

천수(meteoric): 최근에 대기중의 물의 순환에 일부였던 지하수를 말한다.

선천수(connate): 퇴적암이나 분출화성암(extrusive igneous rock)이 형성될 당시 공극내에 잡혀 있는 물을 말한다. 선천수는 최소한 몇 백만 년간 대기와 접촉한 일이 없는 물이다.

변성수(metamorphic): 선천수의 일종으로 변성암의 형성과정에 암석에 잡혀있던 물을 말한다.

암장수(magmatic): 지하에 존재하는 마그마 내에 포함 되어 있는 물, 또는 이것이 마그마 본체에서 분리되어 다른 곳으로 이동된 물을 말하며 치녀수라고도 한다.

화산수(volcanic): 암장수의 일종으로 암장수가 얇은 곳에서 생성되었으면 이를 화산수라 한다.

심성수(plutonic): 암장수의 일종으로 암장수가 깊은 곳에서 생성되었으면 이를 화산수라 한다.

초생수(juvenile): 처음으로 물의 순환에 참가하는 물을 말하며, 마그마, 화산 또는 우주에 기원을 둔 새로운 물로서 이를 처녀수 라고 도 한다.

위에서 분류한 지하수를 식별하는 기준을 요약하면 아래 표와 같다.

지하수의 종류	화학적 성분	동위원소	온도
천수	표면수와 기반암의 화학성분에 의해 결정.	표면수와 같거나 비슷함	정상
해양수	바닷물과 거의 같거나 바닷물보다 Ca가 많음	바닷물과 거의 같음	정상
선천수(Cl 형)	바닷물에 비해 I, B, SiO ₂ , N, Ca가 많고, SO ₄ 와 Mg가 적다	$H^2/H^1 \leq$ 바닷물 $O^{18}/O^{16} >$ 바닷물	정 상 이 거 나 약간 뜨겁다
변성수	바닷물에 비해 CO ₂ 와 B가 많고, Cl이 적다	$H^2/H^1 \leq$ 바닷물 $O^{18}/O^{16} >$ 바닷물	정 상 이 거 나 뜨겁다
암장수	비교적 Li, F, SiO ₂ , B, S, CO ₂ 가 많고, I, Br, Ca, Mg, N이 적다	$H^2/H^1 <$ 바닷물 $O^{18}/O^{16} >$ 바닷물	매우 뜨겁다

표 1-2 지하수의 식별기준

위의 과학적인 정의와 같이 지하에서 물이 어떤 환경에 있느냐에 따른 구별도 중요하지만 그 보다는 이 지구상의 모든 물이, 비록 그것이 대기 중에 있던, 지표면에 있던, 또는 지하에 있던, 우리 인간의 생존과 매우 밀접한 관계가 있음을 인식하는 것이 매우 중요하다. 그 이유는 환경에 의한 물의 구분은 인위적인 것이며, 자연에서 이들은 서로 연결되어 밀접한 관계를 가지고 있고 어떤 한 상태에서의 변화는 다른 상태의 물에 직접적인 영향을 주기 때문이다.

지하수의 흐름을 자연상태 그대로의 관찰하기는 매우 어렵다. 땅을 파거나 지하에 구멍을 뚫어 드러다 볼 수는 있지만 대부분의 경우 뚫거나 파는 과정에서 우리가 관찰하려는 자연 상태를 변경하거나 파괴하게 된다. 아주 정밀한 전자기구를 사용하여 지하를 탐지하기도 하지만, 이와 같은 간접적인 탐지로 얻은 정보는 극히 부정확하고 불완전하다. 그 때문에 지하수의 생성과 흐름은 최근까지 정확히 알지 못하고 있는 실정이어서 많은 사람들의 호기심의 대상이 되고 있다.

이와 같은 호기심을 해결해 주는 것이 소위 수리지질학 이라는 학문이다. 수리지질학은 흔히 geohydrology 또는 ground water hydrology 등의 여러 가지 호칭이 있으나 가장 보편적으로는 hydrogeology라 불린다.

1.4.2. 수리지질학

수리지질학을 정의하면:

수리지질학은 지하수를 연구하는 지구과학의 한 분야로써 물리학, 생물학, 화학, 수학 등의 원리를 적용하여 지하수의 생성, 유동, 수질변화 등을 연구하고 이 물이 우리 인간에게 그리고 인간이 지하수에 미치는 영향을 파악하여 이를 선용하고 보호하는데 도움을 주는 학문이다.

지하수를 연구하는 목적 중 가장 중요한 것은 수자원 개발을 위한 지하수의 지역적 분포와 수질을 파악하는 것이다. 어떤 지역에 우리가 쓸 수 있는 지하수의 양과 그 지하수의 수질을 정확히 알므로써 신빙성 있는 물 공급이 가능하며, 또한 지나친 개발과 오염 때문에 생기는 여러 가지 환경문제를 피할 수 있고 그 지역의 장기 계획을 세우는데 도움이 된다.

지하수를 연구하는 다른 목적은 지하수로 인한 지질토목(geotechnical) 적 문제를 해결하는데 있다. 이와 같은 예로서 댐에서의 누수, 터널에 흘러 들어오는 지하수 제거, 광산 또는 건축 기초공사지 에서 지하수의 배수 문제 등을 들 수 있다. 그 외에도 지표면의 침강, 지형의 불안정 등은 지하수에 의한 압력과 관련되며 이러한 문제는 지하수의 역학적 원리를 적용함으로써 해결 할 수 있다.

어떤 형태의 지질학적 과정도 지하수와 관련되지 않은 것이 없다. 예를 들면, 모든 지형학적 과정, 석회암 지대의 지형 형성, 광물의 형성과 축적, 유전의 발달과 석유의 유동 등등 모두가 지하수와 밀접한 관계가 있다. 특히 최근 연구결과에 의하면 지층의 습곡과 단층현상, 또 이로 인한 지진 현상 등도 그 지역의 지하수로 인한 수압과 밀접한 관계를 가졌고, 지하수의 압력을 조절함으로써 이와 같은 자연 재해를 어느 정도 예방할 수 있음이 알려졌다.

1.5. 지하수의 중요성

분포	부피 (km ³)	비율 (%)
빙 하	24,000,000	84.945
지 하 수	4,000,000	14.158
호 수	155,000	0.549
토 양 수	83,000	0.294
대기수증기	14,000	0.049
강 물	1,200	0.004

표 1-3 담수의 분포

곳에 따라 양과 질에 많은 차이는 있지만 지하의 물은 지표의 어느 지점이든 지하로 구멍을 파면 얻을 수 있다. 이와 같이 지하수는 지하에 공극(pore)이 있는 곳이면 어느 곳이든 존재하는데, 이 지하수가 인간에게 얼마나 중요한가는 강, 하천, 호수 등 우리가 흔히 접하는 물의 양과 지하수의 양을 비교함으로써 쉽게 알 수 있다.

바닷물이나 지구 내부 깊숙이 있는 물은 많은 양의 광물질 또는 염분을 포함하고 있어 우리의 일상 용도로 적합하지 않다. 따라서 이와 같은 물을 제외하고 담수만의 분포를 살펴보면 표 1-3과 같다.

이 표에 의하면 빙하가 가장 많은 양의 담수를 차지하고, 둘째로 전체 담수의 약 14%를 지하수가 차지함을 볼 수 있다. 액체상태의 담수만을 생각하면, 지하수가 지구상에 전체 담수의 약 94%를 차지하고 있음을 알 수 있다.

지하수는 표면수에 비해 아래와 같은 장단점을 가지고 있다.

지하수의 장점:

- (1) 보편적으로 병의 원인이 되는 세균이 없어 정제할 필요가 없다
- (2) 계절에 관계없이 온도가 비교적 일정 하다
- (3) 무색 투명하다
- (4) 화학적 성분이 비교적 일정 하다
- (5) 단기 기후 변화에 관계없이 양이 일정 하다
- (6) 방사성 또는 생물학적 오염의 우려가 적다
- (7) 어느 지역에서나 쉽게 개발 할 수 있다

지하수의 단점:

- (1) 많은 지역이 고결된 암석으로 되어 있어 필요한 양의 지하수를 얻을 수 없다
- (2) 일반적으로 지하수가 표면수보다 많은 양의 용존고형물(dissolved solids)을 가지고 있어 특정 용도에 부적합하다
- (3) 지하수 개발에 드는 비용이 표면수 개발에 드는 비용보다 많다

1.6. 물의 순환(hydrological cycle)

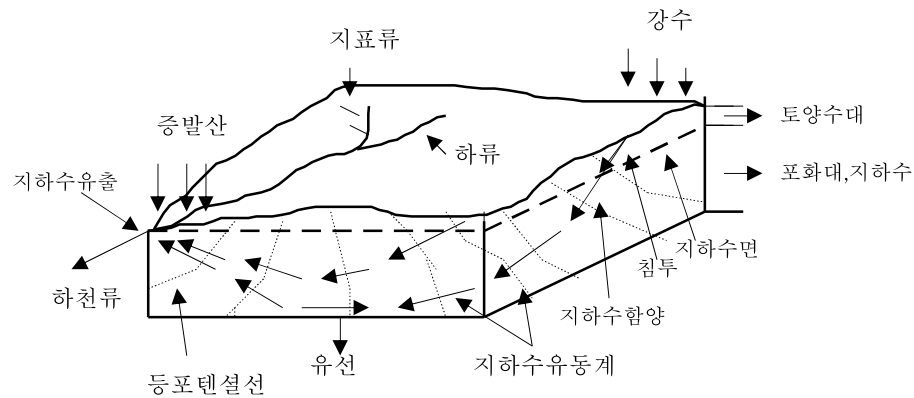


그림 1-4 물의 순환

대기, 지표면, 지하에서 물의 계속적인 유동을 물의 순환이라 한다. 수자원의 생성, 개발, 관리를 이해하려면 물의 순환에 대한 개념을 이해하는 것이 중요하다.

그림 1-4에서와 같이 실제 물의 순환은 시작도 끝도 없지만 편리상 지표면과 해수면에서 물의 증발산으로부터 시작한다고 가정한다. 증발산된 수증기는 구름이 되고, 이 구름은 비, 눈, 안개, 우박 등의 형태로 바다나 육지로 다시 내려온다. 육지에 도달한 물은 먼저 지표면과 식물을 젖게 한 다음 지하로 서서히 침투한다. 이때 침투율은 지표면의 상태, 토양의 함수량, 강우의 강도와 기간(intensity and duration) 등에 따라 다르며, 이 때문에 같은 지역이라도 침투율이 항상 같은 것은 아니다. 어떤 지역에서 강수량이 침투율을 능가 할 때 남은 부분의 강수량이 지표류(surface runoff)로 흐르게 된다.

지하에 침투한 물은 맨 먼저 토양의 결핍된 수분을 보충하고, 남은 물은 서서히 중간대와 모관수대를 거쳐 포화대에 이른다. 포화대에 도착한 물은 수평 또는 수직 방향으로 흐르다가 샘, 강, 호수, 바다 등에 있는 지하수 유출구를 통해 다시 지표면으로 나오게 된다.

지표면에 유출된 지하수는 그 일부가 다시 증발산 하여 대기로 올라가고 나머지는 하천, 호수 등을 이루기도 하지만 궁극에는 바다로 흘러서 그곳에서 다시 증발함으로써 끝없는 물의 순환이 반복된다.

지하수는 물의 순환의 한 과정이며, 각각의 과정마다 물의 흐르는 율이 다르다. 대표적인 과정에서 물의 유통율과 순환기간을 요약하면 표 1-4와 같다.

과정	유통율	순환기간 (년)
대기수분	100km/(일)	0.027
표면수	10km/(일)	0.031
지하수	1m/(일)	280
빙하	1m/(일)	8,000

표 1-4 유통과 순환기간

1.7. 수수지(water balance or budget)

지정된 시간과 장소에서 물의 순환을 관찰하면 그 시간에 그 장소를 출입하는 물의 양 즉, 수수지를 측정할 수 있다. 어느 지역이든 일정한 기간에 들어온 물의 양(W_I)은 같은 기간에 그 지역으로부터 나간 물의 양(W_O)과 같아야 하는데, 만일 들어온 물의 양과 나간 물의 양이 같지 않으면 이는 그 지역에 저장된 물의 증가 또는 감소를 의미한다.

즉,

$$W_I - W_O = \frac{dS}{dt} \quad (1-6)$$

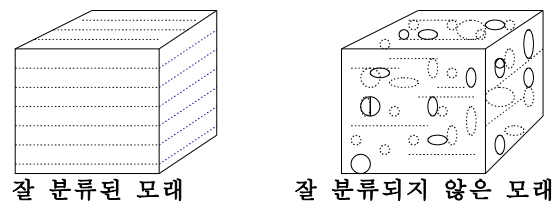
여기서, W_I = 들어온 물(강우량 + 표면수 + 지하수)

W_O = 나간 물(표면수 + 지하수 + 증발산)

dS = 저장량의 변화(표면수 + 지하수)

1.8. 공극(pore)

(a) 1차공극



(b) 2차공극

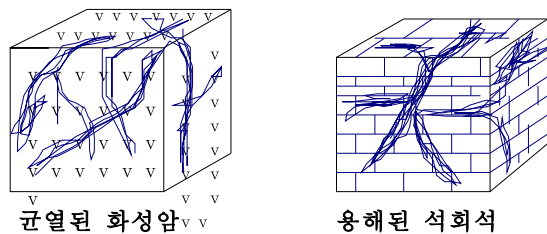


그림 1-5 1차공극과 2차공극

앞에서 말한바와 같이 지구상의 어디 든지 적당한 깊이의 구멍을 파면 지하수를 발견 할 수 있다. 그 이유는 지하의 모든 물질이 어느 정도의 공극 또는 빈 공간을 가지고 있기 때문이다. 하지만 중요한 것은 단순한 지하수의 존재 여부가 아니고 이중 얼마의 양을 우리가 쓸 수 있느냐 하는 문제이다.

지하의 물질은 고결상태에 있거나 미고결상태에 있다. 이중 미고결상태의 물질은 여러 가지의 모양, 크기, 성분 등을 가진 광물 또는 암석 입자들의 혼합물이며 이들 입자 사이에 빈 공간을 1차공극(primary pore)이라 한다.

1차공극의 예로서 강이나 하천 근처 낮은 지역에서 볼 수 있는 모래나 자갈층의 공극을 들 수 있다. 그 외에도 충적, 빙하, 풍적 등의 퇴적물이 계곡에 누적되어 있으면 이들은 지하수 생성에 가장 적합한데, 그 이유는 이들의 1차공극이 많기 때문이다.

고결된 물질은 여러 종류의 광물질이 열, 압력 또는 화학작용에 의해 서로 응결된 것이며, 지하수를 논할 때 이들을 흔히 기반암이라 한다. 기반암 중에 원래 미고결 퇴적물이 얻던 것이 고결된 퇴적암과 용해상태로부터 응결된 화성암 등이 있고, 이들이 가지고 있는 빈 공간은 용해나 균열에 의한 것이며 이들을 2차공극(secondary pore)이라 한다. 석회암, 백운석, 혈암, 사암, 역암 등은 지하수 생성에 중요한 역할을 하는데 이는 용해 또는 균열에 의한 2차공극을 많이 가지고 있기 때문이다.

지하수 생성에 적합한 대표적인 지지학적 물질이 가지고 있는 공극의 종류를 열거하면 아래와 같다.

- (1) 미고결의 모래나 자갈 사이의 1차공극
- (2) 사암(sandstone)을 이루고 있는 모래 입자 사이의 1차공극
- (3) 혈암(shale)을 이루는 입자 사이의 1차공극
- (4) 변성암과 화성암의 전리나 균열과 같은 2차공극
- (5) 현무암(basalt)의 냉각균열과 같은 2차 공극
- (6) 석회석의 용해공동(solution cavity)과 같은 2차공극
- (7) 용암(lava)이나 현무암의 냉각 기포와 같은 2차공극
- (8) 석회석의 균열과 같은 2차공극
- (9) 절리(joint)나 단층(fault)에 의한 2차공극

1.9. 대수층(aquifer)

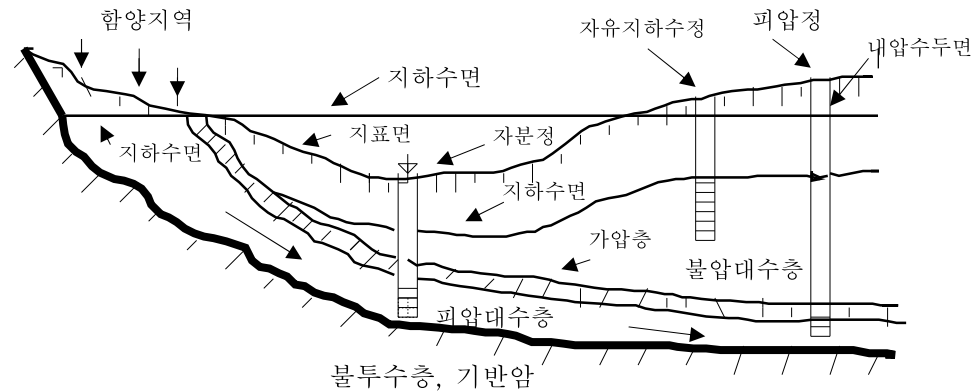


그림 1-6 대수층과 가압층

지질학적 물질 중에서 공극이 풍부하여 많은 양의 물을 저류할 수 있고, 또 그 물질을 통해 물이 비교적 쉽게 유통할 수 있기 때문에 우물이나 샘을 통해 우리에게 필요한 양의 지하수를 공급할 수 있는 간극체(porous media)를 대수층이라 한다.

대수층은 물에 의한 포화 상태에 따라 두 가지로 분류하는데; (1) 대수층의 일부만이 물에 의해 포화되어 있고 지하수면이 대수층 안에서 위 아래로 자유롭게 오르내릴 수 있는 불압대수층(unconfined aquifer)과 (2) 대수층 전체가 물에 완전히 포화되었고 대수층의 위 경계가 불투수성의 가압층(confining layer)으로 덮여 있는 피압대수층(confined aquifer)이다.

불압대수층에 완공한 우물을 자유지하수우물이라 하고, 우물 안의 지하수면은 그 지역의 대수층의 지하수면을 나타내고 있다. 피압대수층에 완공한 우물은 피압우물(artesian well)이라 하고, 이런 우물 안의 지하수면은 대수층의 위 경계면 보다 높으며 때에 따라서는 지표면 위로 올라와 소위 자분정(flowing well)을 이루기도 한다. 이때 피압대수층의 지하수면을 내압수두면(piezometric surface)이라 한다.

1.10. 가압층(confining layer)

앞에서 설명한 대수층에 반해 가압층이란 어떤 지층이 투수성이 아주 낮아서 이와 인접하고 있는 대수층으로부터 물이 흘러나오거나 대수층으로 흘러 들어가는 것을 저지하는 지층을 말한다.

가압층은 이들의 투수성과 함수성에 따라 아래와 같이 분류한다.

난대수층(aquiclude): 점토층과 같이 다공질의 지층으로 많은 공극을 가지고 있어 많은 양의 지하수를 함유 할 수는 있지만 물을 통과시키는 투수성이 낮아서 우물이나 샘에 충분한 물을 공급할 수 없는 지층을 말한다.

비대수층(aquifuge): 균열이 없는 화강암과 같이 공극율도 낮고 투수성도 나빠서 지하수를 보유하지도 또한 유통시키지도 않는 지질학적 물질을 말한다.

반대수층(aquitard): 사질 점토층과 같이 지하수를 함유할 수는 있으나 투수성이 빈약해서 지하수의 유통이 어렵고 따라서 우물이나 샘에서 지하수를 유출하기가 어려운 지층을 말한다. 그러나 상당한 두께를 가진 반대수층은 많은 양의 지하수를 저류하고 있어 때에 따라 중요한 수자원으로 사용될 수도 있다.