



지하수 환경영향평가

01. 지하수환경이란?

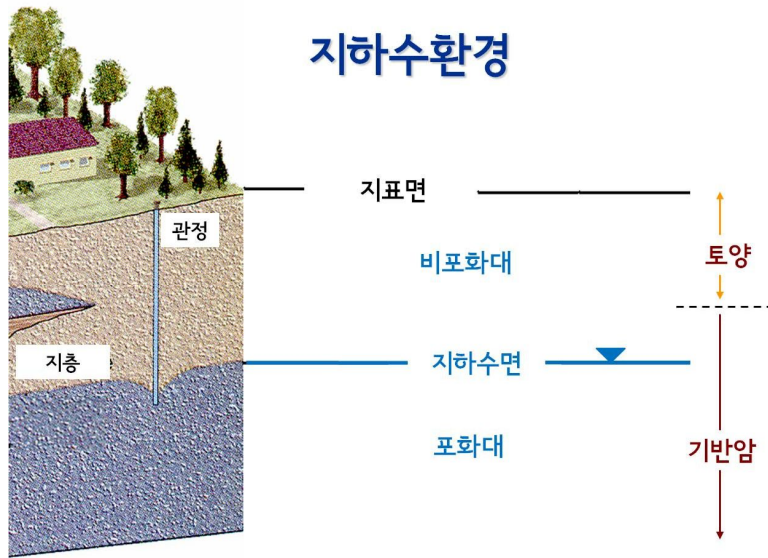
1. 지하수환경의 정의와 구성

도시화, 산업화를 목적을 위한 국토개발사업은 인간의 삶에 편의성을 제공하는 동시에 수자원과 생태환경적 측면에 다양한 영향을 끼칠 수 있다. 그 중에서도 눈에 보이지 않는 지하수환경은 일단 훼손되면 회복이 어려운 만큼 지하수환경에 영향을 끼치는 개발사업을 계획할 때에는 지하수환경의 올바른 이해를 바탕으로 한 정확한 환경영향평가가 수행되어야 한다.

지하수환경이란 지표면 아래에 존재하는 토양 및 암석 등의 지질학적 지층으로 ‘지하환경’ 또는 ‘지반환경’으로도 지칭한다. 지표아래 모든 지층에는 입자 사이 또는 절리 등의 빈 공간이 존재하는데 이를 ‘공극’이라고 하며 이러한 공극은 물 또는 공기로 채워져있다. 이렇듯 자연상태의 지하수환경은 물을 보유하거나 흘려갈 수 있게 하는 공극이 존재하는 지하의 모든 지질학적 지층으로서 토양이나 암석과 같은 매체, 공극, 물, 공기 등으로 이루어져 있다.

지하수환경은 공간적으로 물에 의한 포화여부에 따라 불포화대와 포화대로 나뉘게 되고, 이를 나누는 기준위치는 수압과 기압이 동일한 면인 ‘지하수면’이 된다. 지표면에서 지하로 땅을 파내려가다 보면 지하수가 나오는데 그 곳이 곧 지하수면이다. 이 때 그 심도를 ‘지하수면 심도’라고 한다. 지표면과 지하수면 사이의 지층은 물과 공기로 채워져 있는데 이 영역을 불포화대라고 하고 지하수면 아래의 물로 포화된 영역을 포화대라고 한다. 지하수면과 인접한 불포화대에는 표면장력에 의해 물기둥이 올라와 포화대가 형성되는데 이를 ‘모세관대’라고 하며 물로 포화가 되어있으나 불포화대의 일부로 본다.

지층의 포화 여부에 따라 불포화대의 물을 ‘토양수’, 포화대의 물을 ‘지하수’로 구분하고 물로 포화된 포화대만을 지하수환경이라고 보는 경우도 가끔 있는데, 지하수 관정 개발 또는 지반 굴착, 지하 내 시설물 설치 등으로 인한 지하수 유동의 변화는 물에 의한 포화여부에 상관없이 지하의 모든 환경에 영향을 미치게 되므로 지표면 아래에 존재하는 모든 자연환경을 ‘지하수환경’이라고 정의하는 것이 바람직하다. (<그림> 지하수환경의 정의와 구성)



<그림> 지하수환경의 정의와 구성

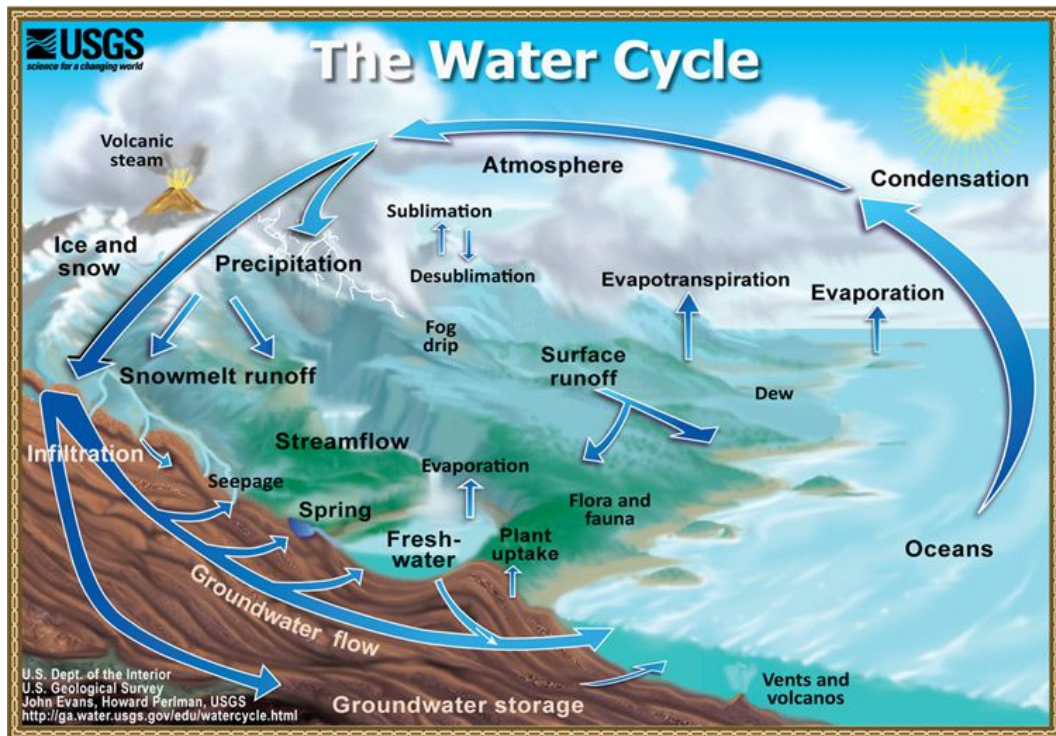
문제> 토양은 지하수환경과 별개의 환경이다.

정답> X

해설> 토양과 기반암(암석)을 구분하는 기준은 그 형성에 기여한 지질학적 과정의 차이일 뿐, 토양과 암석 모두 지표면 아래에 있는 지질학적 지층이므로 토양은 지하수환경에 포함됨

2 수문순환과 지하수

수문순환은 지구상의 물의 형성 및 산출, 그리고 그에 따른 수자원의 개발 및 관리, 물환경 관리를 이해하는데 가장 기본이 되면서도 중요한 개념이다. 수문순환이란 태양에너지에 의해 지구상에서 물이 끊임없는 이동하는 움직임을 의미하는데, 그 시작과 끝을 규정할 수 없다. 식물, 토양, 바다, 호수 등에서 물이 대기로 증발하고 증발된 수분은 비나 눈 등의 강수로 지표에 떨어진다. 이는 식물과 지표를 거쳐 지하로 침투하는데, 이때 침투량을 초과하면 강우가 지표를 따라 흐르는 지표유출(surface runoff)이 발생한다. 지하로 침투한 물은 지하수가 되어 불포화대 내에 토양수분(soil moisture)을 형성하고 지하수면까지 흘러들어가 포화대에 이른다. 포화대의 물은 경사면의 샘이나 하천 또는 호수, 바다의 기저유출(baseflow)로 지하수유출(groundwater discharge)이 일어난다. 지표유출이나 지하수유출로 하천으로 배출된 물은 바다로 흘러들어가 증발이 일어나 다시 수문순환을 하게 된다. (<그림> 수문순환)



<그림> 수문순환 (출처: <http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>)

이러한 수문순환을 통해 지구상의 지하수가 형성된다. 지구상의 물은 대부분(97.5%) 염수(saline water)로 바다에 있으며 담수(fresh water)는 2.5%에 불과하다. 그 담수의 대부분(69%)은 빙하 및 만년설로서 인간이 경제적으로 이용하기 어렵다. 인간이 가용할 수 있는 수자원 중 하천 또는 호수 등의 지표수는 담수 자원 중 0.1%이고 나머지 약 30%는 지하수의 형태로 땅 밑에 존재한다. 따라서, 눈에 보이지는 않지만 지하수의 관리는 수자원 관리 측면에서도 매우 중요하다고 할 수 있다.

인간의 개발사업은 이러한 자연적인 수문순환에 교란을 일으키는 행위로서 지하수환경에도 영향을 미친다. 예를 들어, 지하수함양 및 지하수 유출, 지하수 분포 등에 영향을 미치는 토지굴착, 지하 구조물 설치 등을 수반하는 사업이나 하천사업, 지하수 개발이용사업 등이 해당된다. 이 외에도 지상 또는 지하에 지하수오염유발시설물의 설치를 수반하는 사업 등도 해당된다.

지속가능한 지하수환경 보전을 위해서는 개발사업에 의한 지하수함양 및 지하수 유출, 지하수 분포, 지하수 수질 등에 미치는 영향을 평가하고 그 변화를 최소화할 수 있는 방안 모색이 필요하다.

3. 대수층과 지하수

지하수 개발이용과 관련하여 가장 중요한 개념이 ‘대수층’이다. 대수층은 지하수 흐름이 일어나는 매질로서 지하수환경의 대표적인 핵심개념으로 지하수환경영향평가 수행 시 지하수

와 함께 직접적인 조사대상이 된다. 대수층과는 달리 지하수의 흐름이 매우 낮은 가압층의 분포 또한 지하수환경을 평가하는데에 중요한 영향인자이다. 대수층과 가압층의 정의와 특성, 이에 해당되는 대표적인 지질학적 지층의 종류는 다음과 같다.

대수층(aquifer)

대수층이란 라틴어로 ‘물 운반자’라는 뜻으로 일반적인 수두구배 하에서 상당량의 물을 투과(이동)시킬 수 있는 투수성이 좋은 포화된 지질학적 지층을 가리킨다(from Groundwater, 1979). 여기에 경제학적 의미를 부여하여 우물이나 샘(spring)에서 경제적인 취수가 가능할 만큼 충분한 양의 물을 저장하거나 투과시킬 수 있는 포화된 지층(암석 또는 퇴적물)으로 정의하기도 한다(from Applied Hydrogeology, 2000). 일반적으로 대수층은 포화된 지층을 가리키지만 지하수면의 변동으로 포화대의 두께가 계속 변하는 지층의 경우에는 대수층의 공간적 범위를 지정하기 어려우므로 이 경우에는 포화여부와 상관없이 투수성이 좋은 지층을 가리켜 대수층이라고 부르기도 한다.

대수층 역할을 하는 지층에는 자갈, 모래 등의 미고결 퇴적물로 구성된 충적층, 역암, 사암 등의 퇴적암, 석회암, 절리가 발달된 화강암 또는 변성암(fractured rocks), 화산암, 풍화된 화강암 또는 편마암, 쇄설성 퇴적암 등이 해당된다.

가압층(confining layer)

대수층과는 달리 물의 투수성이 매우 낮은 지층을 가압층이라고 한다. 가압층에서는 투수성이 낮아 경제적인 지하수 산출이 용이하지는 않지만 아주 느린 속도로 지하수가 흐르고 있다. 가압층은 난대수층(aquiclude), 준대수층(aquitard), 비대수층(또는 불투수층)(aquifuge)으로 분류한다. 난대수층은 점토질의 지층으로 많은 양의 물을 저장하고 있으나 투수성이 좋지 않아 우물이나 샘에서 경제적인 산출이 불가능한 저투수성 지층이다. 준대수층은 투수성이 매우 낮은 지층으로 느리지만 수직적인 흐름으로 상부에서 하부대수층으로 물을 이동시키는 누수 가압층(leaky confining layer)이 이에 해당된다. 비대수층은 투수성이 전혀 없는 지층으로 자연상태에서는 거의 찾아보기 힘들다. 요즘에는 난대수층, 준대수층, 비대수층으로 구분하지 않고 모두 ‘가압층’으로 지칭한다. 점토나 셰일, 절리가 없는 결정질암 등이 이에 해당된다.

대수층은 그 위치와 형태에 따라 특성이 조금씩 다른데, 대표적으로 자유면 대수층, 피압대수층, 주수대수층의 형태로 존재한다. 각각의 특성과 지하수 산출형태는 다음과 같다.

자유면 대수층 (Unconfined, phreatic aquifers)

대수층의 상부면이 불포화대로 대기과 접해 있는 대수층을 자유면 대수층이라고 한다. 자유면 대수층은 상부의 불포화대를 통해 지하수가 함양된다. 자유면 대수층에 설치된 지하수관정에서 관측되는 지하수위는 곧 지하수면의 위치를 나타내며 이 때 지하수면의 심도 변화는 자유면 대수층의 포화대의 두께 변화를 지시한다.

피압 대수층 (Confined, artesian aquifers)

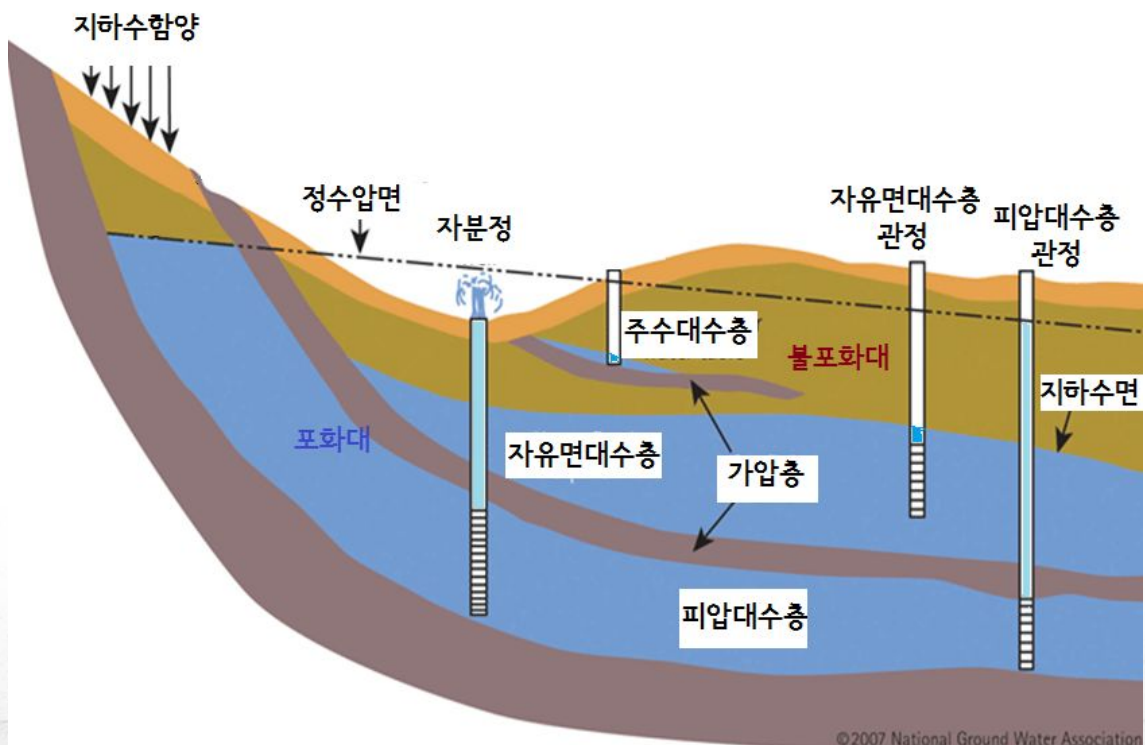
대수층의 상부면이 불투수층에 의해 막혀있는 대수층을 피압대수층이라고 한다. 이 경우 대

수층 상부가 불투수층으로 막혀있기 때문에 일반적으로 대수층이 지표면과 맞닿는 지형적으로 높은 곳에서 강우가 직접 침투되는 과정을 통해 지하수함양이 일어난다.

피압대수층의 상부에 있는 불투수층은 가압층(confining layer)의 역할을 하게 되어 이 대수층에 설치한 지하수관정에서 관측되는 지하수위는 정수압면(potentiometric surface)으로 가압층에 의한 상부압력에 의해 대수층의 상부면보다 높아지게 된다. 만일 정수압면이 지표 고도 높은 경우, 이 피압대수층에 설치한 관정에서의 지하수위는 지표면 위로 올라오게 되어 펌프의 도움 없이 지하수가 자분하게 된다. 이를 자분정(artesian well)이라고 한다. 한편, 피압대수층에서의 지하수위는 정수압면을 나타내므로 포화대의 두께와 관련이 없고 피압대수층의 두께는 항상 일정하다.

주수 대수층 (perched aquifers)

불포화대 내에 국지적으로 렌즈상의 저투수층이 존재할 경우 저투수층의 상부에 지하수 포화대가 형성되는데 이를 주수대수층이라고 한다. 주수대수층 하부에는 불포화대가 분포한다. 주수대수층은 점토층의 패치가 잘 발달하는 화산암 지대에서 주로 형성된다.



<그림> 대수층의 종류와 지하수 산출 형태

(출처: http://www.ngwa.org/Fundamentals/use/PublishingImages/aquifer_types.gif)