

단 보

地下水부존 메카니즘 및 개발·보전에 대한 小考

A Note on Aquifer Characteristics for Groundwater Exploitation and Protection

(金永琪 : Kim, Young Ki)

경북대학교 지질학과

지하수는 토층(土層)이나 암반(岩盤)의 내부에 부존(賦存)하고 있는 물을 말한다. 지하수는 비순환수(非循環水)와 순환수(循環水)로 구분하고, 비순환수 일지라도 수순환(水循環)에 참가하게 되면 순환수가 된다. 비순환수에는 광화수(鑛化水), 화석수(化石水), 암장수(岩漿水)등이 있다. 이런 지하수를 선천수(先天水, connate water)라 한다.

광화수(mineralized solution water)는 양적으로 적지만 광물의 광화작용(鑛化作用)과 관계가 있다. 화석수(fossil water)는 과거에 있어서 하천, 호수등의 물이 지층내에 폐쇄되어 있는 것으로 유전지하수(油田地下水)등이 대표적이다. 암장수(magmatic water)는 마그마(magma)내에 포함하고 있는 수분, 또는 이것이 마그마 본체로부터 분리하여 다른 곳으로 이동된 것을 말하고, 선천수가 처음으로 수순환에 참가한 물을 초생수(初生水, juvenile water)라 한다. 이는 광천(鑛泉), 온천(溫泉)에 관련된다.

순환수(hydrologic cycle water)는 지하수

의 대부분을 차지한다. 지하수의 자연적인 요인 및 인위적인 요인에 의한 양적변화는 더욱 큰 물의 순환계의 양적인 변화 일부를 구성하고, 계속 순환하는 것이다. 강수(降水), 증발산(蒸發散), 지표류(地表面流), 침투류(浸透流), 지하수유출(地下水流出)등이 그 주요 과정이다.

지하수는 강수, 표류수에 의해 함양되고, 함양기구에는 통기대(通氣帶, zone of aeration)를 통하여 간접적으로 일어나는 것과, 포화대(飽和帶, zone of saturation)에 직접 일어나는 것이다. 강수는 주로 전자에 속하고 표류수는 후자의 기구에 속한다. 통기대를 통과하는 운동은 토양표면을 통과하는 침투(浸透, infiltration)가 있고, 토양수대(土壤水帶, soil water zone) 및 중간대(中間帶, intermediate zone)를 통과하는 투과(透過, percolation)가 있다. 그래서, 모관대(毛管帶, capillary zone)에 달하여 포화대에 들어가면 물은 중력작용에 의해 유동한다. 통기대의 물운동은 불연속성(不連續性)이고, 포화대의

물운동은 연속성(連續性)이다. 포화대의 상한(上限)에 대응하는 면(面)을 지하수면(地下水面, ground water table)이라 한다. 즉 유동하는 상한의 면을 말한다(자유지하수).

지하수면 이하의 지층간극은 물로 포화되고, 수두(水頭, hydraulic head)[水位]가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 천천히 이동한다. 지하수는 수문순환의 한 형태이다.

물의 순환을 어느지역(地域) 혹은 어느기간(期間)에 한정하여 그 범위내에서 출입(함양, 유출)을 양적으로 검토 하는 것을 물수지(水收支, water balance)라 한다. 일반적으로 물수지의 내용은 대상, 범위에 따라 아주 다양하다. 특히 지하수의 개발(開發), 보전(保全) 문제의 해결에 있어서는 전 지구적인 규모로서의 물수지 보다도 지역이란 한정된 범위에서 상세한 물수지기구(水收支機構)가 요구된다. 즉 정밀도가 높은 관측, 조사자료에 바탕으로한 구체적인 해명이 필요하게 된다.

지하수의 저류(低流, storage)와 유동(flow movement)은 지하수 존재의 기본을 이룬다. 지하수체의 존재(저류)는 지하수체에 함양(涵養, recharge) 되는 양과 여기에서 유출(流出)되는 양(量)과 평형(平衡)을 이루고 있고, 유동은 그 균형(均衡)을 증대하는 물의 이동인 것이다. 일반적으로 저류량(貯留量)은 함양량(涵養量)이나 유출량(流出量)보다도 훨씬 많다. 그러한 함양량, 유출량을 무시하여 저류량이 불변(不變)인 정적(靜的)인 것으로 생각하고 취급하는 것은 큰 잘못이다.

최근에 양수(揚水)-생수, 온천 및 각종 지하수 개발-등에 의한 인위적인 유출이 과대하게 되고, 이에 따른 보급함양량이 증대

하여지면 정적인 생각으로는 설명하기 어렵게 된다. 저류량의 감소는 함양량에 따른 유출량의 증대인 것이고, 이것이 지하수위를 저하시키는 꼴이 된다. 이 지하수위 저하는 각종 지하수 개발의 지표(指標)가 되는 것에 반하여, 각종 지하수장해(地下水障害)의 지표가 된다. 따라서 물수지(水收支, water balance)가 더욱 중요시 된다.

지하수 장해는 지하수의 오염, 지반침하(地盤沈下), 지하산소(地下酸素)의 결핍, 하천의 수위저하(水位低下), 기상조건(氣象條件), 표토(表土)의 수분함유량(水分含有量)의 감소 등을 말한다.

지하수체에서 인공적으로 혹은 자연적으로 방출되는 것을 유출(discharge)이라 부르고 있다. 자연적인 유출은 천(泉)이 대표적이고, 기타 하천, 호수, 습원(濕原)등의 배출도 포함된다. 증발산(蒸發散)도 물수지의 입장에서 보면 유출의 부류에 속한다. 인공적인 유출은 우물(well)에서의 양수가 그 대표적이다. 최근에는 인공적인 유출이 물수지에 미치는 영향이 클뿐만 아니라 자연적인 요인과는 비교가 되지 않을 정도로 중요도를 증가시키고 있다.

또 지하수는 공급원의 수량(水量)에 따라 지하수면이 자유로이 상하로 이동하는 지하수체가 있다. 이런 지하수를 자유면지하수(自由面地下水, free groundwater)라 하고, 대기와 직접 접하고 있다. 지하수면을 갖지 않는 지하수체가 있다. 상한(上限) 및 하한(下限)의 경계가 불투수성 지층(不透水性地層)으로 되어 있고, 일반적으로 대기압 이상의 압력을 갖는 지하수이다. 이런 지하수체를 피압지하수(被壓地下水, confined groundwater)라 한다.

지하수는 미고결층(未固結層, unconsolidated layer) 및 고결층(固結層, consolidated layer)의 간극을 통하여 유동한다. 따라서, 간극이 아주 없거나 아주 미약하여 유동하기 어려운 토층 및 암층이 있고, 간극이 아주 커서 투수능력(透水能力)이 좋은 토층 및 암층이 있다. 투수능력이 거의 없는 토층 및 암층을 불투수층(不透水層, impermeable layer)이라 하고, 투수능력이 좋은 층을 투수층(透水層, permeable layer)이라 한다. 불투수층 일지라도 점토층(粘土層)과 같이 간극률(間隙率, porosity)은 크고 투수성이 나쁜 층을 난투수층(難透水層)이라 하고, 지질시대가 오래된 암석과 같이 간극률도 적고 투수성도 나쁜것을 비투수층(非透水層)이라 한다. 또, 함수는 되나 빈약한 투수성이므로 유동이 어려운 층이고, 자유로이 산출(產出)할 수 없으나, 평가(評價)할 수 있는 충분한 두께를 갖는 투수층이 이웃(상, 하위층)에 놓이게 되면 주요한 지하수저류대(地下水貯溜帶)가 될 수 있어서 이 층을 반투수층(半透水層)이라 한다(예. 사질점토층).

지하수를 평가할 수 있고, 산출할 수 있는 토층 및 암층을 대수층(帶水層, aquifer)이라 한다. 즉, 함수층(含水層, water bearing formation)을 말한다. 대수층으로서 개발되고 있는 90%정도는 자갈, 모래로 된 지층이다. 그러나, 우리나라는 미고결층의 심도가 얕아 대수층 발달이 미약하여 고결층(암반)을 대상으로 한 지하수 개발이 활발하다.

지하수는 다른 수자원(水資源)과 비교하여 여러가지 이점(利點)을 가지고 있는 동시에 결점도 가지고 있다. 지하수 이용도(利用度)에 따라 조건이 달라진다. 공장에서는 하계(夏季)의 기온보다 훨씬 낮은 온도가 유

리하고, 농업용(農業用)일 경우에는 저온(低溫)이 곤란하다.

수질(水質)은 지하수의 가장 주요한 특징 중의 하나이다. 하천은 탁도(濁度)로서 대표되고, 이는 급격히 주위의 영향을 받지만, 자연정화작용(自然淨化作用)에 의하여 물은 맑게 되어 간다. 지하수의 수질은 지하에 밀집된 지질조건에 영향을 받는 것이 크고, 수질 그 자체가 여러가지로 변화하여 용존성분(溶存成分)의 질과 양에 따라 공업용수(工業用水), 농업용수(農業用水) 및 식수(食水)에 적합치 못한 것이 있다.

수량(水量)에 있어서는 지표수에 따를 수 없으나 지점적성격(地點的 성격), 또는 임의성(任意性)에 따른 점은 타수원이 따를 수 없는 이점이 있다. 그러나, 지하에 반드시 지하수가 부존한다고 할 수 없고, 지하수가 부존할 수 없는 지역에는 지하수 이용방법은 없는 것이다. 따라서, 지하수는 속지성(屬地性)이고 선택적 자원(選擇的 資源)이라고 할 수 있다.

지하수 자원(地下水資源)은 고갈성 자원(枯渴性資源)이기도 하고 영구성 자원(永久性資源)이라고도 할 수 있다. 석유나, 석탄 등은 고갈성 자원이기 때문에 개발량에 따라 고갈되어 진다. 그러나, 지하수 자원은 개발방법에 따라 고갈성도 되고 영구성도 된다.

지하수의 개발은 함수층인 대수층의 성격에 따라 개발되어야 한다. 대수층은 투수속도(透水速度)에 따라 평가된다. 즉, 대수층은 무한(無限)이 퍼져있는 수평면이 아니고 지층과 같이 유한(有限)한 퍼짐을 갖고 있다. 그 형태도 지표에서 보는 지형면에 닮은 기복을 갖고 있다. 그러나, 암체에서 대수층은 암체 그 자체가 대수층이 될 수 있

는 것도 있으나, 대부분의 암체는 비대수층으로서 균열(절리, 단층, 파쇄대등)이 대수층 역할을 한다.

일련의 대수층내에 함유하는 지하수의 실체를 총칭하여 지하수체(地下水體, groundwater body)라 하고, 지하수체의 형태는 지질구조의 차(差)에 의해 생기는 것이다. 즉, 수리지질구조(水理地質構造, hydrogeological structure)에 따른다.

대수층은 유한하기 때문에 퇴적학 및 구조지질학적인 조건에 의해 규제된다고 할 수 있다. 따라서, 수리지질학적(水理地質學的)인 유한의 최대단위(unit)는 지하수분(地下水分, groundwater basin) 또는 지하수구(地下水球, groundwater province)가 된다. 지하수분내의 물도 지하수분의 현상에 규제되어 존재하고, 또 유동하고 있다.

지하수분은 지하수가 보급되는 함양역(涵養域, recharge area)과 지하수가 배출되는 유출역(流出域, discharge area)이 있다. 지하수의 유동은 단순하지 않고, 몇개의 지역적인 유동계(流動系, flow system)로 구분되고, 유선(流線, flow line)이 하향(下向)한곳은 함양역이 되고, 유선이 상향(上向)되는 곳이 유출역이 된다.

유선은 지층내 침투수의 흐름방향과 일치하고, 등포텐셜선(equipotential line)과 직교한다. 등포텐셜선은 수두(수위)선을 말한다. 즉 등수두선(等水頭線)이 된다. 등수두선도(等水頭線圖)를 수위登高선도(水位登高線圖)라 한다. 수위登高선과 유선의 고선군(曲線群)을 유선망(流線網, flow net)이라 하고, 이 유선망은 지형 및 지질구조에 따라 달라지며, 유선과 유선 사이의 부분을 유로(流路)라 한다.

미고결층의 대수층은 대수성(모래층, 자갈층의 대수성)에 따라 거의 일정한 형의 영향권(影響圈)을 갖지만 고결층의 대수성은 각양각색이라서 그 영향권은 일정치 않다. 영향권내에 둘 이상의 지하수정(地下水井)을 설치(設置)하면 서로 간섭(干涉)을 받게 되어 그 지하수정은 고갈성 지하수정이 되기 쉽고, 지하수 장해를 일으킨다.

따라서, 정확한 대수성 시험에 의해 영향권을 결정하여야 한다. 또 대수층은 여러개의 대수층을 형성할 수도 있다. 대수층이 많으면 많을수록, 또 대수층 두께가 두터울수록 지하수 유동량(地下水流動量)은 풍부하여 진다.

지하수 유동은 지하천(地下川)을 제외하고는 거의 전부 직선유동(直線流動)을 한다. 따라서 유동속도에 맞추어 지하수 개발이 이루어져야 한다. 지하수면 또는 정수압면(靜水壓面)이 강하(水位降下)하면 즉시 함양보급(涵養補給)이 일어난다. 보급이 심하면 심할수록 그 영향범위는 넓어져서 통기대내 또는 지표의 물이 침투 및 투과되어 보급된다. 보급수가 오염되어 있으면 그 지하수체는 오염된다.

지하수오염(地下水汚染)은 대기오염이나 공공수역(公共水域)의 오탁(汚濁)과 같은 오염원인 물질에 의해 직접(一次的) 일어나기 보다는 어떤 행위에 따른 간접적(二次的)인 영향을 받는 예가 많다. 오염역(汚染域)의 분포가 대기오염에서는 확률론적(確率論的)이지만, 지하수 오염은 결정론적(決定論的)이라 할 수 있다. 이동(移動)에 필요한 시간은 보통 지하수가 이동하는데 필요한 시간의 수배 - 수천배나 된다. 따라서 한번 오염되면 지하수층이 원래의 상태로 되돌아 오는데는

오랜 시간이 요구된다.

지하수의 머무는 기간(residence times)은 심도 760m이하에서 약 150년이 된다고 보고 되고 있고, 유동기간은 10,000년이 넘는 것도 있다. 대구지역의 암반 지하수(半月月層내의 지하수)의 유동기간은 약 26년으로 볼때 지하수의 유동은 아주 느린 속도로 유동하고 있음을 알 수 있다. 대구지역의 지하수 투수속도(透水速度)는 약 4.1m/일이다.

지하수는 영구적으로 지하에서만 유동하는 것이 아니라 지형적 조건이나 대수층 발달상에 따라 지표에 유출(流出)하게 된다. 이 유출을 천(泉)이라 하고 중력(重力)에 의한 것과 비중력(非重力)에 의하여 유출하는 것으로 구분하고 있다. 중력천(gravity springs)은 수두압(水頭壓, hydraulic head pressure)에 따라 유동하는 물이다. 이 중력천에는 저지천(低地泉, depression spring), 접촉천(接觸泉, contact spring), 피압천(被壓泉, artesian spring), 불투수성암의 천(impervious rock spring), 공동 또는 단열천(空洞 또는 斷裂泉, tubular or fracture spring)등이 있다. 이 물을 우리들은 생수(生水)라고 부르고 있다(생수는 학술용어가 아니다).

소위 생수(生水)는 천으로서 지표에 유출되어 정체(停滯)되지 않고 연속적으로 유동하고 있을때 생수가 된다. 생수에는 광천수(鑛泉水, mineral water)[藥水]도 이에 속한다. 광천(mineral spring)은 뚜렷한 맛을 갖는 광물질(鑛物質)을 충분히 함유한 물인 천으로 통상적으로 마실 수 있는 물을 말한다. 경북 청송에 있는 탄산천(炭酸泉)도 이에 속한다.

비중력천(non-gravity springs)에는 화산천(火山泉), 열극천(裂隙泉) 등이 이에 속하

고, 일반적으로 높은 온도를 갖고 있어 온천(溫泉)이라 한다. 우리나라의 온천은 대부분 열극천에 속한다.

지하수의 온도(溫度)는 그 지역의 지온(地溫)과 일치하고, 항온층(恒溫層, isothermal layer)보다 얇은 지하수의 온도는 일변화(日變化)와 년변화(年變化)에 따르고 있다. 항온층보다 깊은 지하수온은 심도 100m마다 1~5℃ (평균 약 3℃)씩 증가한다고 한다. 지하중온률(地下增溫率)은 지하수의 순환이 활발한 지역에서는 낮고, 정체성(停滯性)적인 지역에서는 높다.

우리나라의 지하중온률은 2.2 ~ 3.4℃/100m(A)와 6.8 ~ 12.0℃/100m(B) (1991, 김명신)으로 구분된다. A에 속한 것은 일반 지하수체의 지하중온률이라 할 수 있다. 온천은 온도(25℃ 이상, 온천법)가 높은 지하수가 지표에 용출(湧出)되는 곳을 말하고, 용출수를 온천수라 한다. 온천수의 3대 요소는 수온(水溫), 수질(水質), 수량(水量)이다.

천온(泉溫)과 수질(溶解成分)은 그 어느 쪽이든 보통 물과 비교하여 특이하다는 것이다. 즉 인위적으로는 규정(法的)이상이 되면 좋지만, 수량(용출량)은 온천일때 갖추어야 할 요소이다. 고온(高溫) 고농도(高濃度)의 물이 있어도 계속하여 그것을 취수할 수 없으면 온천이라 할 수 없다.

용출량은 본래 자연히 용천(湧泉)하여 나온 수량(水量)이란 의미이지만 인공적으로 인력(人力)이나 동력(動力)으로 퍼올리는 때도 포함하여 지중에서 지표로 나오는 수량이란 의미를 갖고 있으나(가령, 어느 심도이상은 pump로 양수하여도 그 심도 이하에서는) 온천수의 유동(流動)에 관한 본질적인 것이 못된다.

천은은 용출구(湧出口)(보통은 지표)에 있어서 온천수의 온도이고, 온천수는 지하에 있어서의 온도는 아니다. 온천이란 물이 온도로 나타내는 열에너지를 갖고, 광물질을 용해시켜 계속적으로 지중에서 지표로 나오는 자연현상인 것이다.

현재까지는 지하수 개발을 위한 조사, 연구가 주(主)가 되었으나, 지금부터는 지하수 보전을 위한 조사, 연구가 이루어져야 하겠다. 지금도 계속 지하수 이용을 위한 착정을 시행하고 있으나, 이 우물(well)에 대한 성질(수위변동, 수질 및 분포등의 환경)은 전혀 알지 못하고 있다. 이것은 큰 문제가 아닐 수 없다.

생수(泉)는 생수로서 가치가 있는 것이지, 착정으로 심부의 지하수를 양수하여 생수라 하는 것은 잘못이다. 천(약수 등)은 천으로서 보전되어야 할 것이다.

만일 우리주변의 모든 천(泉)이 고갈되고, 지하수위(地下水位)가 현재보다 저하(低下)되었다고 한다면 어떻게 될까?

한번 고갈된 천이나, 계속 양수하는한 지하수위의 저하는 회복(回復)하기란 거의 불가능하다. 토층이나 암석에 침투되는 물의 이동속도는 아주 느려서 수위 1m 상승하는데 요하는 시간은 엄청날 것이다. 따라서, 함양원(涵養源)인 강수가 풍부히 보급된다고 하더라도 부족한 저류량을 보충하기란 매우 어려울 것이다. 즉, 우리들은 지하수의 실태를 정확히 파악하여야 하며 지하수 대책은 국토보전상 긴급한 과제라 아니할 수 없다.

김 영 기:

경북대학교 지질학과
대구광역시 북구 산격동
702-701
TEL: (053)950-5357
FAX: (053)957-0431