

5. 지하수의 품질

- 5.1. 화학적 성분 분석
 - 5.1.1. 농도단위
 - 5.1.2. 품질의 도표 표현 방법
 - 5.1.3. 화학성분에 의한 지하수 분류
- 5.2. 물리적, 생물학적 성분 분석
- 5.3. 지하수 sampling
- 5.4. 자연적인 품질변화
- 5.5. 자연적인 품질정화
- 5.6. 지하수의 물리, 화학적 성분
 - 5.6.1. 무기 화합물
 - 5.6.2. 유기 화합물
 - 5.6.3. 용존 가스
- 5.7. 지하수의 품질과 용도
 - 5.7.1. 가정용수
 - 5.7.2. 농업용수
 - 5.7.3. 공업용수
- 5.8. 지하수의 온도

그림

- 5-1 방사상 좌표 도표
- 5-2 막대 도표
- 5-3 Stiff 도표
- 5-4 원형 도표
- 5-5 Piper 도표
- 5-6 Scholler 도표
- 5-7 이온농도에 의한 지하수 분류
- 5-8 지하수의 품질변화
- 5-9 관개수의 분류
- 5-10 깊이에 따른 지하수온의 변화

표

- 5-1 경도에 따른 물의 분류
- 5-2 용존고형물에 의한 물의 분류
- 5-3 음료수의 표준 농도
- 5-4 관개수의 수질표준
- 5-5 공업활동에 주는 물의 영향
- 5-6 공업용수의 표준농도

5. 지하수의 품질(quality)

지하수는 흐름이 매우 느리므로 대수층을 이루는 광물과의 접촉기간이 길어서 비교적 많은 양의 광물질을 포함하고 있다. 이 때문에 일반 가정용 물 중에 지하수가 가장 많은 양의 용존 고형물(dissolved solids)을 포함하고 있다. 이 반면에 비교적 탁하고 세균을 많이 포함한 표면수와는 달리 대부분의 지하수에는 부존 고형물(suspended solids)이 전혀 없고 무색 투명하며 박테리아도 거의 없기 때문에 일반적으로 지하수가 표면수보다 더 위생적이다.

물의 품질을 결정하려면 물이 포함하고 있는 화학, 물리, 생물학적 성분을 분석하여 이들을 정량화 해야 한다. 물의 화학 분석은 물에 포함되어 있는 무기물, 유기물, 방사성 물질의 성분과 농도를 결정하고 그 외 pH나 전도도 등을 포함한다. 물리적 분석은 온도, 색깔, 탁한 정도, 냄새, 맛 등을 포함한다. 생물학적 분석은 일반적으로 박테리아의 존재여부를 결정한다. 대부분의 실험실에서 행하는 물의 품질 검사는 American Public Health Association 또는 다른 기관에서 설정한 표준 방법에 준한다.

5.1. 화학적 성분 분석

5.1.1. 농도단위(concentration unit)

지하수는 일종의 용액(solution)으로써 이의 화학적 성질을 기술하려면 일정량의 용매(solvent)에 용해되어 있는 용질(solute)의 양을 결정 해야하며, 이를 여러 가지의 농도 단위로 나타낸다.

중량몰농도(Molality): 1 kg의 용매(solvent)에 녹아 있는 용질(solute)의 몰(mol) 수를 말한다. 국제 표준단위(SI Unit)에 의하면 mol/kg로 나타낸다. 화합물의 1 몰은 1 분자량과 같다.

몰농도(Molarity): 1 m³의 용액(solution)에 녹아 있는 용질의 몰수를 말한다. 국제표준 단위에 의해 mol/m³ 또는 mol/L로 나타낸다. 1 mol/m³은 1 mmol/L과 같다.

질량농도(mass concentration): 이는 일정 부피의 용액에 녹아 있는 용질의 질량을 나타내는 방법으로, 국제 표준단위로 kg/m^3 , mg/L 또는 g/m^3 등의 단위를 사용한다. Molarity와 질량 농도간의 관계는 아래와 같다.

$$(\text{몰농도})\text{molarity} = \frac{\text{mg/L 또는 g/m}^3}{1000 \times \text{물질의중량}} \quad (5-1)$$

Parts per million(ppm): ppm은 백만 분의 1 중량 비로써 1 kg(10^6g)의 용액에 용해되어 있는 용질의 질량(g) 수를 말하며, 만일 10^6g 의 용액에 1 g의 용질이 녹아 있으면 이를 1 ppm이라 한다.

$$\text{ppm} = \frac{\text{용질의 gram 수}}{10^6 \text{ gram의 용액}} = \frac{\text{mg/L}}{\rho_w g} \quad (5-2)$$

여기서, $\rho_w g$ = 물의 비중(ρ_w 는 물의 밀도, g 는 중력 가속도)

Milligrams per liter(mg/L): mg/L 은 단위체적의 용액에 함유되어 있는 용질의 mg 를 말한다. 일반적으로 물 1 L 속에 용질 1 mg 이 있을 경우 이를 1 mg/L 또는 1 g/cm^3 라하며 이는 순수한 물인 경우 1 ppm과 같다. 그러나 용질의 양이 증가하면 용액의 밀도가 증가하며 또 온도가 상승하면 물의 밀도는 반대로 내려가므로 엄격한 의미에서 1 ppm과 1 mg/L 은 꼭 같은 것은 아니다. 이 때문에 온천(hot spring)이나 광천(mineral spring) 등과 같이 용존 성분의 함유량이 많고 비중이 큰 경우에는 ppm이나 mg/L 대신 mg/kg 을 사용한다.

Equivalents per million(epm): epm은 1 L의 용액 중에 함유되어 있는 밀리당량수(milligram equivalent), 즉 me/L 또는 meg/L (milligram equivalent per liter)을 말한다. 물 자체의 전도도(electrical conductivity)는 아주 작지만 대부분의 천연 수는 전기를 잘 띠고 있다. 이것은 용질의 일부 혹은 전부가 분자의 형으로 존재하지 않고 양(+)과 음(-)의 전하를 갖는 이온형으로 존재하기 때문이다. 이온의 농도(ionic concentration)를 당량으로 나타내었을 때 양이온(cation)의 당량은 음이온(anion)의 당량과 정확히 결합한다. 이온 당량이란 그 이온의 원자량(equivalent atomic weight of the ion)을 원자가(valence)로 나눈 값이다.

$$epm = \frac{\text{용질의 } mole\text{수} \times \text{원자가}}{\text{용액}(10^6 g)} \quad (5-3)$$

[ppm을 epm으로 환산하는 보기]

- (1) 63 ppm의 Mg^{2+} 를 epm으로 환산하면,
 Mg 의 원자량 = 24.32
 Mg 의 원자가 = 2
 Mg 의 당량 = $24.32/2 = 12.16$
 63 ppm의 $Mg^{2+} = 63/12.16 = 5.19$ epm
- (2) 2.5 ppm의 PO_4^{3-} 을 epm으로 환산하면,
 P 의 원자량 = 30.97
 O 의 원자량 = 16.00
 PO_4 의 원자량 = 94.97
 PO_4 의 원자가 = 3
 PO_4 의 당량 = $94.97/3 = 31.66$
 2.5 ppm의 $PO_4^{3-} = 2.5/31.66 = 0.097$ epm

Equivalent per liter(epl): epl은 용질의 몰수(mole's number)에 원자가를 곱한 것을 1 L의 용액(solution)으로 나눈 값이다.

$$epl = \frac{\text{용질의 } mole\text{수} \times \text{원자가}}{\text{용액}(1L)} \quad (5-4)$$

5.1.2. 품질 도표 표현 방법

지하수의 품질을 나타내는 화학분석 결과는 쉽게 읽을 수 있고, 서로 비교하며 또 해석하는데 편리하도록 흔히 도표로 나타낸다. 도표 표현 방법은 성분이 다른 물의 혼합상태 그리고 지하수가 유통하는 동안에 화학성분의 변화과정을 아는데도 도움이 된다. 지하수와 대수층의 화학적 관계에 대한 지식이 풍부해짐에 따라 지하수의 화학적 성질을 도표로 나타내는 방법도 여러 가지로 발달해되었다. 그중 몇 가지 방법을 소개하면 아래와 같다.

방사상 좌표의 도표: 이는 epm으로 측정한 주 양이온과 음이온을 그림 5-1과 같이 6 개의 방사상 축에 나타내는 방법이다.

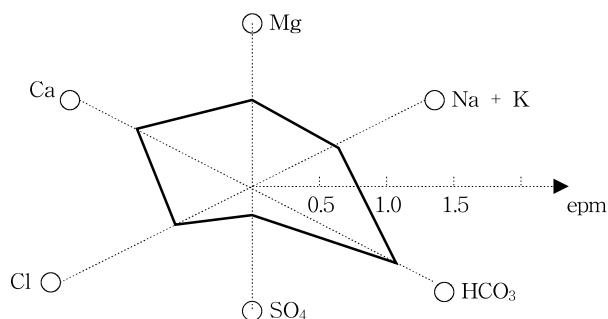


그림 5-1 방사상 좌표 도표

막대(bar)모양의 도표: 물의 화학성분을 나타내기 위해 미국에서 가장 흔히 쓰이는 방법으로 1923년에 Collins에 의해 처음으로 사용되었다. 그림 5-2와 같이 전체 epm 또는 전체 epm의 백분율(%)로 환산한 음이온(anion)과 양이온(cation)을 이들의 농도에 비례해서 막대의 크기로 표현하는 방법이다. 이때에 각각의 주 이온 또는 성분이 서로 비슷한 이온들을 한데 묶어서 하나의 막대로 나타내는데, 대부분의 경우 왼편의 막대기는 양이온을 그리고 오른편의 막대기는 음이온을 나타내는 것이 통례이다. 이 도표의 특징은 만일 분석 결과가 양이온과 음이온 사이에 균형이 이루어지지 않으면 음이온과 양이온을 나타내는 막대의 길이가 서로 다르게 되고 이는 분석결과의 신빙성이 없음을 의미한다.

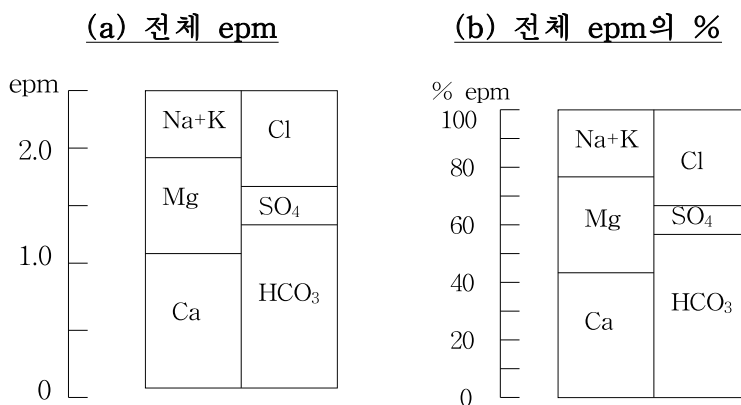


그림 5-2 막대 도표

Stiff 도표: 이를 패턴(pattern) 도표라고도 하며, 화학분석 결과를 4개의 평행한 축으로 표현하는 방법이다. 그림 5-3과 같이 epm으로 나타낸 양이온을, 중간에 농도가 0을 나타내는 수직축의 왼 편에 그리고 음이온을 오른편에 나타낸다. 개개의 성분을 나타내는 점을 서로 직선으로 연결하면 불규칙한 다각형이 되는데, 비슷한 성분의 물은 이 다각형의 모양이 서로 비슷하게 되어 물 sample 들을 서로 비교하는데 편리하다.

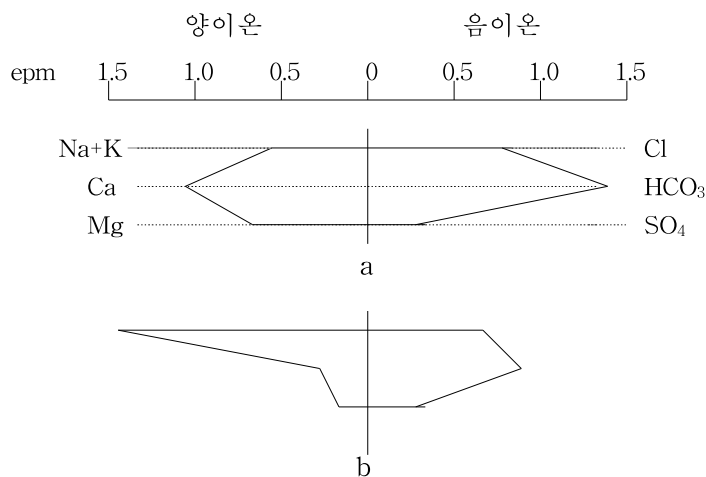


그림 5-3 Stiff 도표

원형 도표: 그림 5-4와 같이 물 sample의 분석 결과를 원으로 나타내며, 원의 반지름은 각각의 원이 이루는 면적이 전체 이온 농도와 비례하도록 정한다. 원 내부의 각 부분은 전체 농도 중 각각의 성분이 차지하는 비중을 나타내며 분석치는 epm 이다.

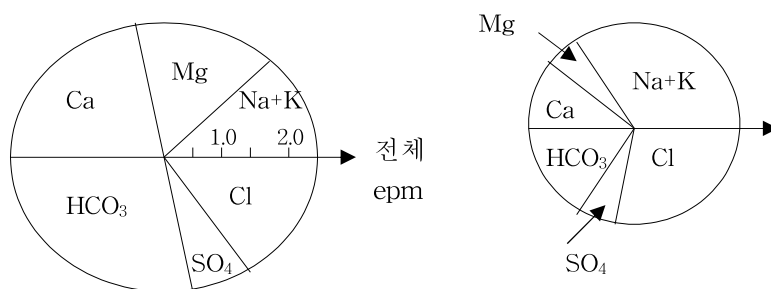


그림 5-4 원형 도표

Piper 도표: 물의 품질을 비교하기 위해 가장 많이 쓰이는 도표로써 이를 trilinear 도표라고도 한다. 이 도표는 두 개의 삼각형과 그 사이에 하나의 평행 사각형으로 되어 있는데, epm으로 된 분석 결과를 개개의 양이온과 음이온을 전체 양이온과 음이온의 백분율(%)로 환산해서, 양이온은 좌측 삼각형에 그리고 음이온은 우측 삼각형에 점으로 표시한다. 이들 점들을 중앙에 있는 평행 사각형에 투시하면 양과 음이온을 투시한 점이 사각형 안에 한 점에서 만나게 되는데 이때 그 점은 한 sample의 이온 농도를 대표한다. 각각의 sample 마다 이들의 점을 중심으로 원을 그리기도 하는데 이때 이들 원의 반지름은 전체 용존고형물 농도에 비례하도록 정한다. Piper 도표는 분석한 물 sample 간의 화학 성분의 차이점과 유사점을 쉽게 알 수 있을 뿐만 아니라 물들의 혼합 정도를 알 수 있는데, 예를 들어 만일 sample A가 화학 성분이 다른 sample B와 C의 혼합물이면 sample A의 분석 결과는 sample B와 C를 나타내는 두 점을 연결한 직선 상에 놓이게 된다 (그림 5-5).

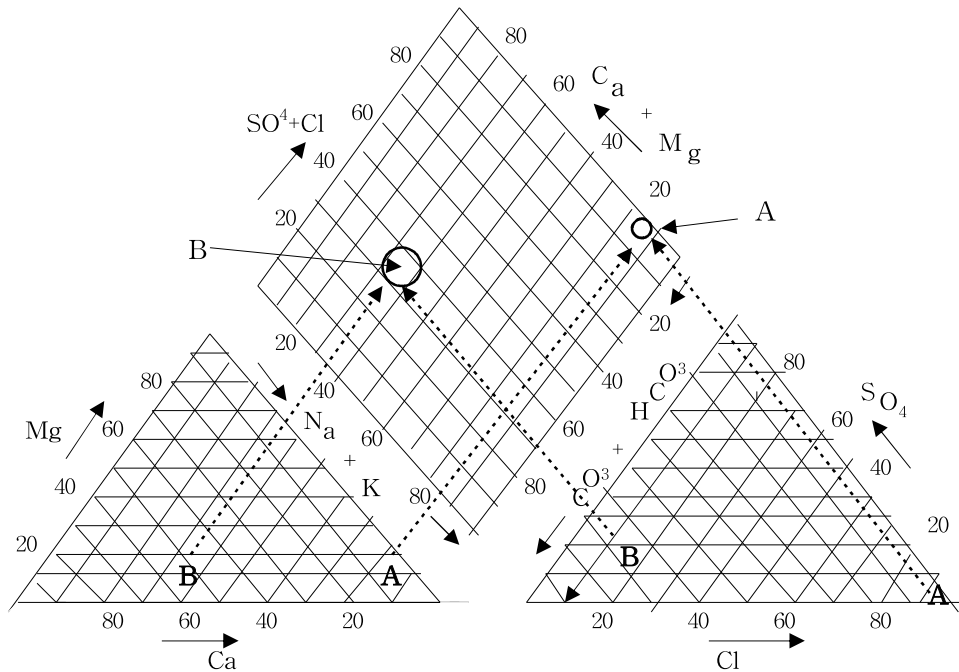


그림 5-5 Piper 도표

Scholler 도표: 구라파에서는 물 sample의 화학성분을 서로 비교하기 위해서 분석 결과를 흔히 반대수방안지에 도표로 나타내는데 이와 같은 도표를 Scholler 도표라 한다. 이 방법은 epm으로 환산한 6개의 주 이온 농도를 대수축에 점시킨 6개의 점을 직선으로 연결한 것이다(그림 5-6). 이 도표는 개개 이온의 절대 농도를 나타낼 뿐 아니라 여러 개의 sample 분석결과를 같은 도표에 나타내어 서로 비교하는데 편리하도록 되어 있다. 이 도표는 이온 농도가 대수축 임으로 어떤 sample의 두 이온 농도를 나타내는 2 점 A와 B를 연결한 직선과 다른 sample의 2 점 A'과 B'를 연결한 직선이 서로 평행하면 이들 sample에서 이 2 이온의 비율은 같다.

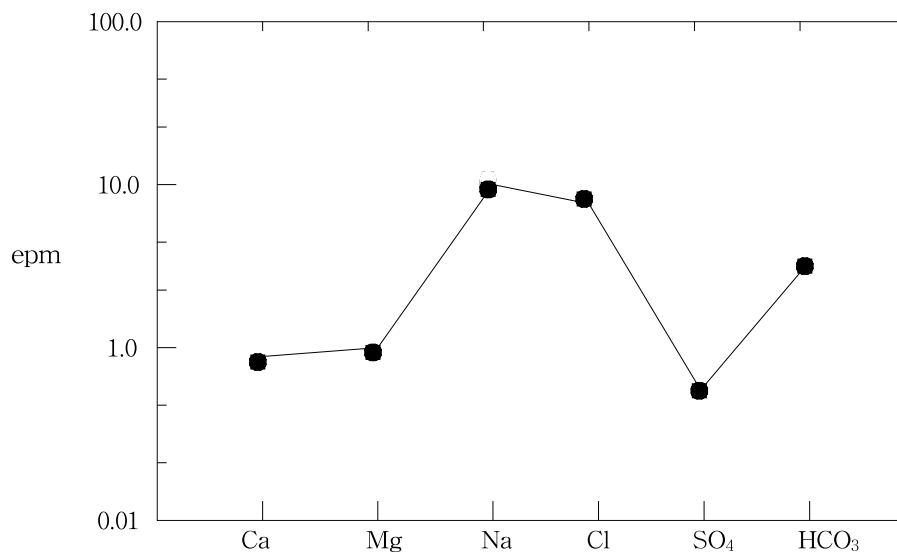


그림 5-6 Scholler 도표

5.1.3. 화학성분에 의한 지하수의 분류

여러 개의 지하수 sample 분석 결과를 검토 할 때 화학 성분이 비슷한 sample을 한데 모아서 검토하는 것이 편리하다. 따라서 epm으로 측정한 주 이온을 근거로 지하수를 분류하는데 이는 주성분의 이온농도 백분율(%)을 표시한 trilinear 도표를 응용한 것이다.

분류 방법은 그림 5-7과 같이 양이온을 나타내는 좌측의 3각형에서 Mg, Ca, Na, K이온의 영역을 정하고, 같은 방법으로 우측의 3각형에 Cl, HCO₃, SO₄의 음이온 영역을 결정한다.

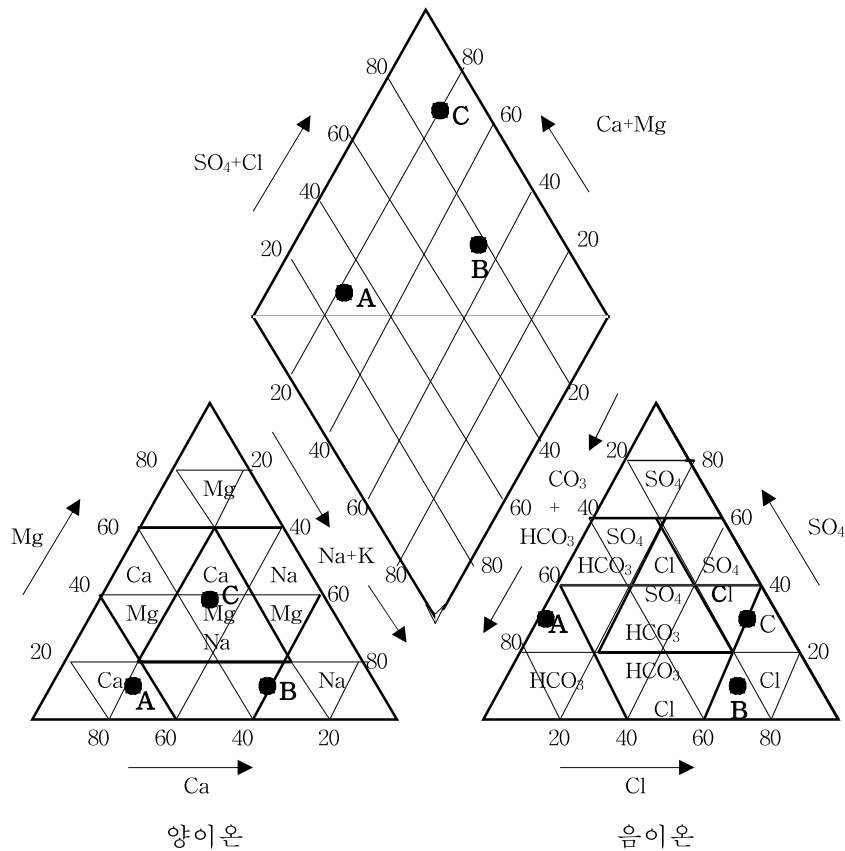


그림 5-7 이온 농도에 의한 물 분류

위에서 정한 음과 양이온의 영역을 중앙에 있는 평행 4 각형에 투시해서 주되는 양이온과 음이온에 따라, 점 A는 Ca-HCO₃, B는 Ca-Na-Cl, 그리고 C는 Na-Ca-Mg-Cl-SO₄ 형의 지하수로 분류한다.

5.2. 물리적, 생물학적 성분 분석

물리적 분석에 포함해야 할 것은 물을 sample 할때 물의 온도를 측정하여 기록하는 것이다. 또한 물의 색깔은 물에 녹아 있는 무기물이나 유기물이 주원인이 됨으로 표준용액의 색깔과 비교하여 mg/l로 기록한다. 물의 탁한 정도는 점토, 침적토와 같은 부존 고형물 또는 유기물이나 미생물 등이 원인이며 이는 흔히 빛의 투과 상태를 측정하여 정한다. 지하수의 경우 대부분의 부존 물은 대수층의 자연적인 필터(filtering) 작용에 의해 제거되지만 때에 따라 흐린 지하수를 생산하는 경우도 있다. 냄새와 맛은 주로 물에 녹아있는 가스, 박테리아, 광물질 또는 phenols 등에 그 원인이 있다.

박테리아 분석은 지하수의 오염을 발견하는데 매우 중요하다. 물에서 발견할 수 있는 대부분의 병원균 박테리아는 동물이나 인간의 내분비와 관련된 박테리아다. 이중 Coliform 박테리아는 비교적 쉽게 식별할 수 있고 또 고립할 수 있기 때문에 물 sample에서 이들의 존재 여부를 검사하여 급수의 안전성을 결정하는 하나의 표준 방법으로 쓰인다.

5.3. 지하수 sampling

화학적, 물리학적, 또는 생물학적 분석을 목적으로 하는 지하수의 sampling은 pyrex 유리나 polyethylene 병을 사용한다. sample의 양은 1-2 L면 족하고, sampling 직전에 병을 2-3번쯤 sampling 할 지하수로 씻은 다음 수집한다. 공기가 남아 있지 않도록 물을 병에 가득 채우고 병마개를 닫은 다음 tape로 봉한다. sample이 들어 있는 병은 찬 곳에 보관하고 가급적이면 빠른 시간 내에 분석 실험실로 운반해서 즉시 분석할 수 있도록 한다. 특히 우물에서 지하수를 sampling 할 때, 우물에 고여 있던 물은 완전히 제거한 후 sampling을 해야지 그렇지 않으면 변질된 sample을 수집하기 쉽다.

sample이 들어 있는 병은, 우물의 위치, 깊이, 우물측관의 지름, 날짜, 수온, 냄새, 색깔, 흐린 정도, 우물의 상태 등 기본적인 정보를 기록한 표식을 부친다. 유기물이나 방사성 물질의 분석을 위한 sample은 특별한 주의를 요하고, pH, Alkalinity, 용존 가스등은 현장에서 sampling 할 때 측정하지 않으면 정확한 값을 얻기가 어렵다. Fe, Cu, Al, Mn, Cr, Zn와 같은 금속성의 양이온은 유리에 의해 흡착작용이나 이온교환에 의해 유실될 우려가 있으므로 중화한 약한 산(acid)을 sample에 약간 섞어서 보존해야 한다.

5.4. 자연적인 품질변화

지하수의 자연적인 용존 고형물의 양은 빗물의 화학성분, 지표면 또는 토양수대에서 생물학적, 화학적 반응, 지하수가 유동하는 대수층의 광물학적 성분에 의해 결정된다. 또한 지하수에 녹아있는 여러 광물질은 그 지하수가 흐르는 지하의 환경에 따라 여러 가지의 화학변화를 거치게 됨으로 지하수의 화학적 품질은 적은 지역 안에서도 많이 변하는 것을 볼 수 있다. 이 때문에 정도의 차이는 있지만 지표면에서 지하로 스며드는 모든 물은 어느 정도 오염되어 있다.

빗물이나 눈이 녹은 물은 토양과 접촉함에 따라 광물질과 박테리아 같은 세균을 포함하게 된다. 따라서 강수가 지하로 스며들 때 오염되는 정도는 이 물이 스며드는 장소에 따라 다르게 된다. 예를 들어 빗물이 쓰레기 처리장(landfill)을 통해 지하로 스며들면 이는 농토를 통해 스며든 물과 다른 성질의 오염물(contaminant)을 포함하게 되는 것과 같다.

지하수는 포화대의 유통로를 따라 흐르는 동안에 여러 가지 광물질을 용해하기 때문에 품질을 결정하는 용존 고형물, 특히 주 이온(ion)의 양이 증가하는 것이 통례이다. 따라서 얇은 함양지역의 지하수는 유출지역의 지하수에 비해 적은 양의 용존 고형물을 함유하고 있다. 지하수에 용해되어 있는 음이온(anion)은 지하수의 흐름과 연령에 따라 그림 5-8과 같이 변한다.

이와 같은 변화는 지하수가 비교적 유속이 빠르고 얇은 지대로부터 중간수대를 통해 유속이 아주 느리고 오래된 지하수가 있는 곳으로 들어가기 때문에 일어나는 현상이다. 이에 따라 지하수의 품질을 아래와 같이 3 개의 대로 분류할 수 있는데 이는 주로 지하수가 존재하는 깊이와 밀접한 관계를 가지고 있다.

상층대: 지하수가 비교적 잘 용탈(leached)된 암석 사이를 활발하게 유통하는 대로서 이대의 지하수는 적은 양의 용존 고형물을 함유하고 이의 주된 음이온(anion)은 중탄산염(HCO_3^-)이다.

중간대: 지하수의 유통은 그리 활발하지 못하고 비교적 많은 양의 용존 고형물을 함유하고 있으며 주된 음이온은 황산염(SO_4^{2-})이다.

하층대: 지하수의 흐름은 매우 느리고 이 때문에 은 양의 용존 고형물을 함유하고 있고 대로서 주된 음이온은 염화물(Cl^-)이다.

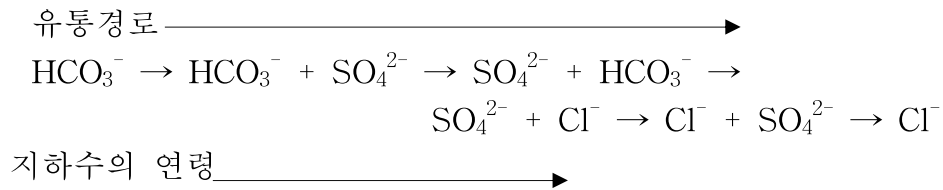


그림 5-8 지하수의 품질 변화

5.5. 자연적인 품질정화(natural purification)

토양과 암석의 광물성과 물리적 성질은 여러 가지로 오염물의 유통을 지배한다. 어떤 지점에서 오염물이 지하수에 들어가면 이는 중력으로 분산(dispersion)되어 농도가 낮아진다. 이들이 아래로 내려감에 따라 불포화대에서 대부분의 유기물이나 다른 생물학적으로 분해될 수 있는 물질은 산화와 박테리아에 의해 파괴된다. 점토나 유기물 같은 특수한 물질은 적은 양의 중금속(heavy metals) 또는 다른 복잡한 유기화합물(organic chemical compounds)등을 흡수하여 이들의 농도를 감하는 역할을 한다. 대부분의 경우 우리가 지하수를 특별히 정수하지 않고도 음료수로 사용할 수 있는 것은 이와 같은 자연활동에 의한 지하수의 품질정화 때문이다. 자연적인 품질정화의 성격과 정도는 물이 통과하는 토양의 성격이나 대수층을 이루고 있는 물질의 종류와 입자의 크기 등에 따라 다르다. 특히 물이 토양 또는 다른 간극체를 통해 투과(percolation) 또는 삼출(seepage) 하는 과정을 이해함으로써 자연적인 정화작용을 이해할 수가 있다.

지하수의 자연적인 정화는 주로 고등 척추동물의 장내에서 기생하는 장내 박테리아(coliform bacteria)를 이용하여 연구한다. 이런 종류의 박테리아 자체는 인체에 직접적인 해가되지 않지만 이들의 존재가 다른 병원균, 특히 티푸스, 이질 또는 다른 박테리아의 존재 가능성을 제시하기 때문에 매우 중요하다.

모래층을 이용한 지금까지의 연구결과에 의하면 대부분의 박테리아가 모래층을 투과하는 도중에 거의 다 제거되는데 이는 박테리아가 모래층을 투과하는 동안 모래층에 있는 산소와 접촉하게 되어 산소의 살균작용으로 인해 제거되는 것으로 알려졌다. 또한 포화 상태에 있는 대수층에 투입한 박테리아는 지하수와

함께 약 0.5 m을 이동했고, 극소수가 3 일간에 약 3 m을 이동한 것이 밝혀졌다. 2 개월 후에는 채집한 시료의 40 %가 박테리아를 가지고 있었고 10 m의 거리까지도 박테리아가 이동한 것이 발견되었다. 같은 모래층에 투입한 화학 물질은 4 일 간에 약 3 m 가량 이동했고 약 30 m 까지 이동한 것으로 알려졌다.

3 개월 후 박테리아와 화학물질이 최대한으로 유동한 후에 이 이동 전선은 후퇴하기 시작하여 7 개월 후에는 거의 흔적을 찾아 볼 수 없을 정도로 제거되었다. 그 후에 같은 물질을 이용한 실험 결과에 의하면 흐름속도가 4 (m/일)인 지하수에서 박테리아가 3.5 일에 10 m 가량 이동했고 궁극에는 약 25 m 까지 이동했음이 밝혀졌다. 또한 박테리아는 지하수의 흐르는 방향으로만 움직이고 이와 반대방향으로는 전혀 움직이지 않는 것으로 보아 이들이 지하수 속에서 물고기처럼 헤엄쳐서 움직이는 것이 아니고 지하수의 흐름에 의해 퍼진다는 것을 알 수 있다.

5.6. 지하수의 물리, 화학적 성분

5.6.1. 무기화합물

지하수는 흔히 전해용액(electrolyte solution)이라 하는데 그 이유는 지하수에 녹아 있는 모든 무기물은 이온 상태(ionic form)로 존재하기 때문이다. 지하수에 녹아있는 물질로써 이의 용도에 영향을 주는 무기화합물은 중탄산염, 탄산염, 칼슘, 마그네슘, 염화물, 불화물, 철, 망간, 나트륨, 황산염, 질산염이고 물에 품질에 영향을 주는 특성은 경도, 수소농도, 전도도, 용존고형물총량 등이다. 이중 Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- 그리고 SO_4^{2-} 의 6개 이온이 지하수에 녹아있는 무기물의 90% 이상을 차지하기 때문에 이들을 주 이온이라 한다.

중탄산염(HCO_3)과 탄산염(CO_3): 지하수에 녹아있는 탄산가스로 인해 석회암 또는 백운석이 녹아서 생긴다. 물의 알칼리성은 전적으로 중탄산염과 탄산염에 의한 것이며 이 때문에 지하수가 강한 산을 중화시키는 능력을 가진다. 또한 중탄산염과 탄산염은 칼슘과 마그네슘과 함께 지하수를 경화하는 역할을 한다. 자연적인 지하수에는 10-800 mg/L 사이의 중탄산염과 탄산염을 포함하고 있다.

칼슘(Ca): 석회암, 백운석, 석고를 포함하고 있는 토양과 암석에서 지하수로 들어간 것이다. 물의 경화, 보일러 안쪽에 끼는 물때, 온수 난방시설에 침전물 등의 주 원인이 된다. 자연상태의 지하수는 10에서 100 mg/L 정도의 칼슘을 가지고 있고 이 정도의 농도는 인체나 동물에게 아무런 해가 없다. 실제로 1,000 mg/L의 칼슘까지도 인체에 아무런 해가 없는 것으로 알려 졌다. 칼슘이 혈관경화, 담석증, 간 질환 등의 원인이 된다는 일반적인 생각은 전혀 과학적인 근거가 없는 추측일 뿐이다.

마그네슘(Mg): 지하수에 용해되어 있는 마그네슘의 근원은 주로 퇴적암의 백운석, 화성암에 감람석, 흑운모 그리고 변성암에 사문석, 활석 등이다. 또한 모든 석회석이 마그네슘을 포함하고 있기 때문에 이들이 풍화함에 따라 적지 않은 마그네슘을 방출하기도 한다. 마그네슘은 칼슘과 함께 물의 경화에 주원인이 되고 이 두 용질은 물의 용도에도 비슷한 영향을 준다. 지하수에 녹아있는 마그네슘의 농도는 1에서 40 mg/L 정도이다.

염화물(Cl): 지하수에 녹아 있는 염화물은 (1) 해수가 퇴적물과 함께 퇴적했거나 (2) 해수가 지하수와 혼합 되었거나 (3) 농업과 관련된 염분이 지하수에 들어갔거나, (4) 인간 또는 동물의 폐물로부터 오염 되었거나 (5) 공업폐수, 특히 제재소나, 금속의 도금, 물의 연수 화, 유전, 그 외의 정유공장 등에서 나오는 염수에 의한 지하수의 오염이 주 원인이다. 지하수에 염화물이 많으면 부식성을 증가시키고 Na와 함께 물에 짠 맛을 나게 한다. 염화물의 농도가 150 ppm 정도면 어떤 목적으로든지 물의 용도에 지장이 없다. 250 ppm 이상이면 공공급수로 적합치 않고 350 ppm 이상이면 농업이나 공업 용수로 적합치 않다.

불화물(F): 지하수에 녹아 있는 불화물은 아주 적은 양으로써 이는 주로 불소광물을 포함하고 있는 화성암으로부터 온 것이다. 음료수에 들어있는 불화물의 양은 어린이들의 치아 발달에 매우 중요하다. 어린이의 영구 치아 발달시기에 불화물의 농도가 너무 높은 물은 치아에 반점이 생기는 원인이 되고, 반대로 농도가 너무 낮으면 치아 부식을 방지하는데 비효과적이다. 기온에 따라 다르지만 일반적으로 바람직한 불화물의 농도는 1.0 mg/L 정도로 믿고 있다.

철(Fe)과 망간(Mn): 지각에는 휘석, 각섬석, 자철광, 황철광, 흑운모, 석류석 등과 같은 철분을 가지고 있는 광물이 많다. 이들이 풍화함에 따라 많은 양의 철분이 방출되는데 이중 대부분은 물에 녹지 않는 산화물이 되나 적은 양이 물에 용해되어 유동한다. 지하수에 철분이 많으면 세탁물을 얼룩지게 하고 식품가공, 염색, 탈색, 제빙, 양주 등 여러 가지 용도에 제한을 받게 된다. 철분의 농도가 0.3 mg/L 이상이면 음료수로 적합하지 않으나 이 제한은 인체의 건강에 주는 영향 보다는 물의 맛이 나빠지기 때문이고 오히려 사람은 일정량의 철분을 매일 취해야 하므로 지하수에 어느 정도의 철분이 용해되어 있는 것은 바람직 하다.

지하수에 녹아있는 망간은 화학적 성격이 철과 비슷하나 보편적으로 철 보다 낮은 농도를 가졌다. 망간에 의한 의류의 변색은 철에 의한 것 보다 제거하기가 더 어렵다. 일반적으로 망간의 농도가 0.05 mg/L 이상이면 물의 용도에 영향을 준다.

나트륨(Na): 나트륨은 칼리와 함께 소위 알칼리성 금속에 속하며 자연상태의 지하수에 비교적 많은 양이 용해되어 있다. 지하수에 용해되어 있는 나트륨의 대부분은 사장석이 풍화되어 방출한 것이거나 점토광물 또는 암염 같은 증발 퇴적물로부터 온 것이다. 나트륨은 용해성이 강하므로 일단 물에 녹으면 좀처럼 침전하지 않는다. 나트륨의 농도가 높은 지하수는 심장기관, 고혈압 등의 질환이 있는 사람에게 해롭고 보편적으로 농업용수로 적합하지 않다. 지하수에는 10에서 100 mg/L 정도가 보통이며 관개용수에는 69 mg/L 이하 그리고 음료수에는 170 mg/L 까지를 적합한 것으로 간주한다.

황산염(SO₄): 황산염은 혈암, 석고(CaSO₄·2H₂O), 경석고(CaSO₄) 등의 암석으로부터 녹아서 지하수에 들어간 자연적인 것이 대부분 이지만 그 밖에 제지, 방직, 황산제조, 비료, 금속, 염색, 유리, 살충제 제조 등 다방면의 공장으로부터 나오는 공업폐수 그리고 대기오염, 특히 대기 중에 있는 황산가스에 의한 지하수의 오염으로 인한 것이 있다. 인체의 건강을 기준으로 한 황산염의 제한은 없으나 음료수에 황산이 너무 많으면 소화기관에 영향을 주기도 하고 물의 맛이 씹쓸해지며 이런 물에 익숙지 않은 사람에게는 진정제(laxative) 역할을 하기도 한다. 따라서 황산염이 500 mg/L 이상인 지하수는 공공급수용으로 적합하지 않은 것으로 간주한다.

질산염(NO_3): 질산염(NO_3)은 자연적인 지질층과 별로 관계가 없으며 일반적으로 식물의 부패, 공기중의 질소 등이 토양에 흡수되었다가 지하수로 들어가는 것이 주 원인이다. 식물의 부패물, 동물의 폐기물, 인조비료, 하수도 등으로부터 토양을 통해 지하수에 오염되는 경우가 많으며 질산염이 많은 것은 그 지하수가 오염되었다는 증거이기도 하다. 따라서 어떤 물에 질산염이 많으면 이는 또한 인체에 해로운 박테리아가 있을 가능성이 많으므로 이들의 존재 여부를 검사해야 한다. 물의 품질을 기술할 때 질산염은 흔히 질소로 환산해서 나타내는데 질소 1 mg/L은 질산염 4.5 mg/L 과 같다.

질산염은 어린이에게 유독하기 때문에 질소로 환산한 질산염의 농도가 10 mg/L 이상이면 가정용의 물로 적합하지 않다. 질산염에 의한 병을 흔히 자남색 병이라 하며, 이는 유아를 녹색 하고 어지럽게 하며 피부 색깔을 녹색으로 변화시킨다. 같은 양의 질산염이라도 어른이나 다 큰 어린이에게는 별로 해로운 영향을 주지 않는다.

경도(hardness): 경도는 지하수에 녹아 있는 2가 금속성 양이온인 칼슘(Ca)과 마그네슘(Mg)이 주 원인이다. 이들 이온은 침전형으로 비누와 작용하여 비누해의 침전물을 형성하고 비누거품이 생기는 것을 막는다. 이 때문에 경도가 높은 물은 세탁용, 섬유제조, 제지, 증기보일러, 온수 난방용으로 적합하지 않다.

전체경도(total hardness) H_T 는 mg/L로 측정한 Ca^{2+} 에 CaCO_3 의 분자량(formula weight)과 Ca 의 원자량(atomic weight)의 비를 곱한 값에, mg/L로 측정한 Mg^{2+} 에 CaCO_3 의 분자량(formula weight)과 Mg 의 비를 곱한 값을 더한 것으로 계산한다. 이를 화학식으로 표현하면,

$$H_T = \text{Ca}(\text{mg/L}) \times \frac{\text{CaCO}_3(\text{분자량})}{\text{Ca}(\text{원자량})} + \text{Mg}(\text{mg/L}) \times \frac{\text{CaCO}_3(\text{분자량})}{\text{Mg}(\text{원자량})} \quad (5-5)$$

이 식을 간단히 하면,

$$H_T = 2.5\text{Ca} + 4.1\text{Mg} \quad (5-6)$$

전체 경도는 일시경도(temporary hardness)와 영구경도(permanent hardness)로 구분하기도 하는데 일시경도는 Ca와 Mg 이온이 소량의 탄산염이나 중탄산염과 결합된 경우를 말한다. 일시경도의 물을 끓이면 탄산염 이온이 CaCO_3 과 MgCO_3 의 형태로 침전됨으로 경수(hard water)에서 연수(soft water)로 변한다. 이 반면에 영구경도는 Ca와 Mg가 유화염, 질산염, 염화염 등의 이온과 결합하여 있기 때문에 이런 물은 끓여도 이들 염이 침전되지 않으므로 경수가 연수로 되지 않는다.

경도에 따라 물은 아래의 표 5-1과 같이 분류한다.

경도 mg/l (CaCO_3)	물의 종류
0 - 75	낮은 경수
75 - 150	중간 경수
150 - 300	높은 경수
300 - 이상	아주 높은 경수

표 5-1 경도에 따른 물의 분류

수소농도(hydrogen concentration): 수소농도는 물 속에 전해되어 있는 수소 이온의 상대적인 농도를 말하며 아래와 같이 정의한다.

$$pH = -\log [H^+] \quad (5-7)$$

또는

$$\log pH = \frac{[OH^-]}{[H^+][OH^-]} = 10^{-14} \quad (5-8)$$

여기서,

$$\begin{array}{lll} \text{산성:} & [H^+] > 10^{-7} > [OH^-] & pH < 7 \\ \text{중성:} & [H^+] = 10^{-7} = [OH^-] & pH = 7 \\ \text{알칼리성:} & [H^+] < 10^{-7} < [OH^-] & pH > 7 \end{array}$$

일반적으로 지하수의 pH 값은 탄산염이나 탄산가스의 양에 의해서 결정된다. 즉, 알칼리도가 일정해도 CO₂ 함유량에 따라 pH가 변한다. 용존된 CO₂를 추출한 후의 pH를 RpH(reserved pH)라 한다. 지하수를 취급할 때 pH뿐만 아니라 RpH도 중요하다.

지하수에 수소농도의 값이 낮은 경우, 특히 pH가 4 이하이면 이는 부식성이 강한 물이며 이와 접촉하는 금속 또는 다른 물질을 용해한다. pH가 높아서 8.5 이상인 지하수는 알칼리성의 물로서 끓이면 침전물이 생긴다. pH는 물의 용도 그리고 물을 정화하는데 매우 중요한 영향을 미친다.

용존 고형물총량(TDS, total dissolved solids): 용존 고형물총량은 물 시료의 수분을 완전히 증발한 후 남은 물질의 중량을 측정한 것이다. 이렇게 측정한 용존 고형물의 양은 실제 값보다 약간의 차이가 있다. 용존 고형물을 다량 포함하고 있는 물은 그 목적에 따라 사용에 제한을 받게 된다. 예를 들어 고형물이 500 mg/L 이하이면 식수, 생활용수, 공업 용수로서 사용할 수 있으나, 1,000 mg/L 이상이면 가정 용수로 적합하지 않다. 또한 용존 고형물이 높은 지하수는 부식작용을 일으킨다. 용존 고형물에 의한 물의 분류는 아래와 같다.

구분	용존 고형물 (mg/l)
담수(fresh water)	0 - 1,000
약간 짙물(slightly brackish water)	1,000 - 3,000
짭짤한 물(brackish water)	3,000 - 10,000
소금기의 물(salty water)	10,000 - 35,000
중간 소금물(saline water)	35,000 - 100,000
소금물 (brine water)	100,000 - 이상

표 5-2 용존 고형물에 의한 물의 분류

비전도도(specific electrical conductivity): 물의 비전도도는 물질이 물에 용해되어 이온을 형성하기 때문에 생긴다. 따라서 화학적으로 순수한 물은 아주 작은 비전도도를 가지고 있다. 그러나 아주 적은 양의 물질이 녹아 있어도 전도도가 생기는데 그 이유는 용해된 물질이 양과 음의 이온으로 분류되기 때문이다. 따라서 이온이 많을수록 전도도가 높아진다.

비전도도는 일반적으로 전기저항을 측정하고 계산에 의해 결정한다. 즉 단면이 1 cm^2 , 길이가 1 cm 인 물기둥의 전기 저항을 비저항(resistivity)이라 하고 이의 역수를 비전도도라 한다. 비저항의 단위는 $\text{Ohm cm}(\Omega\text{ cm})$ 이고 비전도도는 이의 역수이므로 Mho/cm 로 나타낸다. 비전도도는 온도의 함수이며 온도가 상승하면 전도도가 높아진다. 따라서 임의의 온도 $t^\circ\text{C}$ 에서 측정한 비전도도는 표준 온도인 18°C 에서의 전도도로 환산해야 한다.

$$\text{전도도}_{(\text{임의의 온도})} = \text{전도도}_{(18^\circ\text{C})} [1 + \alpha(t - 18)] \quad (5-9)$$

여기서 α 는 18°C 에서의 전도도의 온도계수이고 이의 값은 CO_3^{2-} 를 제외하고는 0.022에서 0.025까지의 값을 가졌다. 천연수일 때는 0.02로 두고 계산할 때가 많다. 대부분의 경우 비전도도에 0.55와 0.75사이의 값을 곱하면 용존 고형물총량에 가까운 값이 되므로 이를 사용하여 용존 고형물총량을 추측하기도 한다. 비전도도가 높은 물은 철 또는 강철을 부식하고 전기화학 반응을 촉진한다.

5.6.2. 유기 화합물

유기 화합물이란 탄소, 수소 그리고 산소가 구조형태의 주 원소로 되어 있는 화합물을 말하며, 정의에 의해 탄소와의 결합물을 의미한다. 그러나 H_2CO_3 , CO_2 , HCO_3^- 그리고 CO_3^{2-} 등은 지하수의 중요한 성분이지만 유기 화합물로 취급하지 않는다. 지하수에 녹아 있는 유기물은 무기물에 비해 적은 양이지만 항상 존재한다. 그럼에도 불구하고 지하수에 녹아있는 유기물에 대해 별로 아는바가 없다. 토양수를 연구한 결과에 의하면 지각수 유통계에 녹아있는 유기물은 거의가 fulvic이나 humic산으로 이들은 미생물에 의한 분해에 대한 저항력이 강하기 때문에 존재한다고 생각된다. 지하수에 있는 유기물의 기원이나 성분은 잘 알지 못하지만 지하수 수질연구에 흔히 녹아있는 유기물 탄소(DOC, dissolved organic carbon)를 포함 하는 것이 상례이다. 자연적인 지하수의 DOC 농도는 0.1-10 mg/L 정도이지만 때에 따라서 수십 mg/L이 될 때도 있다.

5.6.3. 용존 가스(dissolved gas)

지하수에 녹아 있는 가스 중 가장 흔한 것은 N_2 , O_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S , N_2O 등이다. 처음 3 개는 대기 중에 풍부한 원소이므로 지하수에 녹아 있는 것이 당연하다. 그러나 나머지 3개는 가끔 지하수에 상당히 많은 양이 녹아 있는데 이들은 포화대에서 생화학적 활동의 결과로 생긴 것이며, 이들의 존재는 지하수가 접촉했던 지화학적 환경을 가리키는 지침이 되기도 한다.

지하수에 녹아 있는 가스는 지하수 유용성에 영향을 줄뿐만 아니라 때에 따라서 지하수 개발에 많은 문제를 일으키며 또한 위험하기도 하다. H_2S 와 같은 가스는 냄새 때문에 지하수에 1 mg/L 정도만 녹아 있어도 그 물은 음료수로 쓸 수 없게 된다. CH_4 는 기포 상태로 방출되어 우물에 축적되기도 하고 또 폭발성이 있어 위험하다. 또한 가스는 우물측관, 수수망, 양수기 등에 기포를 이루어 우물의 생산력을 감소시킨다. 레온 ^{222}Rn 와 같은 가스는 지하수에 흔히 있는 성분으로 이는 암석이나 토양에 포함되어 있는 우라늄이나 토륨과 같은 방사성 물질이 분해되어 생기며 때에 따라 건물 지하에 축적되어 인체의 건강 문제를 일으키기도 한다. 그 외에 소량의 Ar, He, Kr, Ne, Xe 같은 가스가 지하수에 녹아 있다.

5.7. 지하수의 품질과 용도

물의 품질분석의 기본 목적은 어떤 물의 품질이 지정된 용도에 적합한가를 알기 위해서 이다. 지하수의 용도를 크게 (1) 가정용수(domestic water) (2) 농업용수(agricultural or irrigation water) (3) 공업용수(industrial water)로 나눌 수 있다. 도시에서 쓰는 물은 이들 3가지용도 전부를 포함한다고 볼 수 있다. 일반적으로 공공 급수, 특히 음료수의 품질표준(water quality standards)은 어떤 한가지의 용도의 표준보다 더 엄격하다.

5.7.1. 가정용수

일반적으로 인간의 음료수 또는 가정용으로 사용되는 지하수는 가장 우선적이고 중요한 용도로 간주한다. 이 때문에 대부분의 선진국가는 가정용수로 적합한 물의 품질을 표준화하고 있는데 이 표준의 가장 중요한 요소는; (1) 인체의 건강 보호이고 (2) 물의 맛, 냄새 또는 색깔 등을 고려하고 있다. 예를 들면, 음료수표준에 설정된 기준 값 중 Pb, F, An, SO₄, Na, Cl, NO₃, Sn, Cr 등은 인체 건강에 해롭기 때문에 설정된 것이고, H₂S, Fe, Mn 등은 기준 값의 5-10배를 섭취해도 인체에 아무런 해가 없다. 또한 기준 값은 개개인의 건강상태, 크기, 연령, 식습성 등에 따라 인체에 주는 영향이 다르다. 표 5-3은 음료수로써 바람직한 몇 가지 물질의 표준농도와 허용되는 최대한의 농도를 표시한다. 따라서 어떤 물질이든 이의 농도가 최대한의 허용농도를 초과하면 음료수로써 적합하지 않다.

물질	바람직한 농도 (mg/L)	최대 허용 농도 (mg/L)	최대 허용활동	물질	바람직한 농도 (mg/L)	최대 허용 농도 (mg/L)	최대 허용활동
벤진(ABS)	0.5			질산염(NO ₃)	10		
비소(As)	0.01	0.05		휘놀(phenols)	0.001		
바리움(Ba)		1.0		셀레늄(Se)		0.01	
카드뮴(Cd)		0.01		은(Ag)		0.05	
크로뮴(Cr)		0.05		황산염(SO ₄)	350		
염화물(Cl)	250			용존고형물			
동(Cu)	1			총량(TDS)	500		
시안화물(Cn)	0.2	0.2		징크(Zn)	5		
붕소(F)	0.8	4		장내박테리아			1/100 mL
연(Pb)		0.05		라듐(Ra 226)			5 pCi/L
철(Fe)	0.3			스트론튬(Sr90)			10 pCi/L
망간(Mn)	0.05			플루토늄(Pu)			50,000pCi/L

표 5-3 음료수의 표준 농도

5.7.2. 농업용수

지하수가 농업용수로 적합한가는 용존 고형물총량, 그리고 칼슘과 마그네슘 양에 대한 상대적인 나트륨 양에 의해 결정된다. 지하수에 나트륨이 많으면 토양의 칼슘이나 마그네슘과 같은 원소와 치환해서 결과적으로 토양에 함유되어 있는 나트륨의 양을 증가시킨다.

이와 같은 이온 교환은 원래 칼슘과 마그네슘이 풍부해 투수성이 좋고 경작도 수월해서 농사에 적합하던 토양을 딱딱하게 만들고 쉽게 굳어져서 경작하기가 어려워 농사에 부적합한 토양으로 만든다.

물의 염도(salinity)에 의한 토양의 피해는 그 물의 전도도를 측정함으로써 평가할 수 있다. 염소, 붕소, 나트륨에 의한 토양의 피해 정도는 점토성 토질과 교질 그리고 나트륨과 치환할 수 있는 토양의 칼슘과 마그네슘 함유량에 따라 결정된다. 이들 원소간의 치환능력을 나트륨 흡착율, SAR(salinity adsorption ratio), 로 평가하는데 미국 농림부에서는 이의 기준 값을 아래 식으로 계산한다.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (5-10)$$

여기서 Na, Ca, Mg의 각 이온의 농도를 me/L로 나타낸 것이다. SAR 값이 높은 물을 농업용수로 사용하면 토양 속의 Na량이 증가한다. 그림 5-9는 미 농림부에서 개발한 도표로써 관개수의 염분을 전도도로 측정하여 관개수의 적합성을 분류한 것이다. 이 그림에 의하면 SAR이 18 이상일 경우에는 SAR값이 높다고 말하고 10-18의 경우는 보통이라 하며 10 이하이면 낮다고 한다.

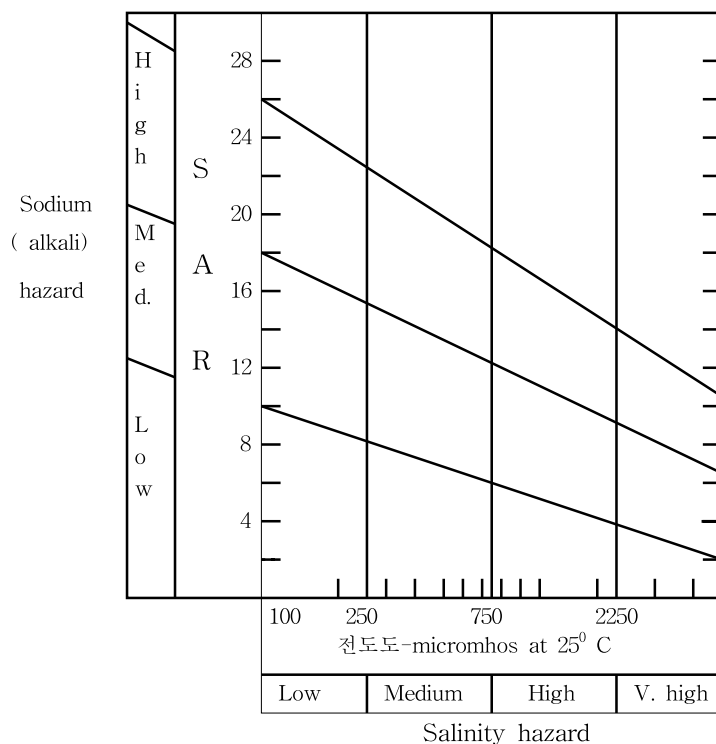


그림 5-9 관개수의 분류

일반적으로 Ca나 Mg를 많이 함유한 토질은 경작하기 쉬운 토지 일뿐 아니라 투수도도 매우 좋다. 그러나 Na가 많은 토질은 투수도도 매우 나쁘고 경작하기 어려운 토양이다. 이런 토양은 수분이 많을 때 콜로이드 상이 되고 건조할 때는 딱딱하게 굳어지는 것이다. 토양 속에 me/L로 측정한 Na, Ca, Mg의 농도에 대한 Na의 이온농도의 비율을 나트륨 백분율이라 한다.

$$Na(\%) = \frac{(Na + K)}{Ca + Mg + Na + K} \times 100 \quad (5-11)$$

위의 Na(%)를 관개용수(농업용수)로써 사용 가능성의 기준으로 삼는데, 예를 들면 Na(%)가 50% 이상일 경우에는 농업용수로는 부적합하다.

어떤 물이 관개수로 적합한가는 농작물의 종류, 관개수의 양, 토양, 그리고 기후 등에 의해 결정된다. 즉, 부적합한 기후 때문에 시달리는 농작물은 적합한 기후에서 재배하는 농작물에 비해 관개수 수질의 영향을 더 많이 받게 된다. 식물은 관개수(irrigation water)에 녹아 있는 광물을 거의 흡수하지 않는다. 따라서 관개수에 녹아 있는 광물질은 토양이나 소모되지 않은 관개수에 남아 있게 된다. 관개 농업을 수년간 계속하면 토양에 염분이 축적되고 결국 토양의 생산력이 감소되거나 생산력을 잃게 된다. 이 때문에 어떤 방법으로라도 토양의 염분을 용탈 하지 않으면 안된다. 점토질 토양은 배수가 잘 안되기 때문에 용탈 할 수 있는 능력이 약하고, 따라서 사질 점토에 비해 관개수를 이용한 농업 활동에 적합하지 않다. 표 5-4는 관개용수의 수질 표준이다.

물질	좋다 ppm	나쁘다 ppm
HCO ₃	200	500
B	0.3	3.0
Cl	100	300
Na	50	300
SO ₄	200	500
용존고형물	500	3000

표 5-4 관개수의 수질 표준

5.7.3. 공업용수

공업용수라 함은 화학, 제철, 제지, 방직, 가죽, 음료수 등 여러 가지 공업활동에 적합한 물을 말한다. 일반적으로 표면수보다는 지하수가 공업용수로 더 적합한 경우가 많은데, 이는 지하수의 비교적 낮고 일정한 온도 때문이다. 또한 지하수에 녹아있는 광물질이 다양해서 어떤 계통의 공업용으로는 도움이 되나 다른 계통에는 해가 되기도 하다. 따라서 이들 여러 가지의 공업활동에 필요한 물의 품질은 매우 다양해서 일괄적으로 기술한다는 것이 불가능하다. 표 5-5는 물의 품질이 공업활동에 주는 직접적인 영향 중 몇 가지의 보기이다.

제품에 주는 영향	장비손상	효율감소
부패 착색 부식 화학반응 오염	부식 침식 공동 침전	결절작용 찌꺼기 생성 침전물형성 거품생성 유기물의 성장

표 5-5 공업활동에 주는 물의 영향

공업 용수 중 식품가공에 쓰이는 물은 매우 다양하다. 표 5-6에서와 같이 식품가공에 쓰이는 물의 수질은 공공 급수용의 표준 수질은 물론 그 외에 착색 또는 탈색의 우려 그리고 악취 등을 고려해서 설정 한 기준에 도달해야 한다. 일반적으로 식품가공에 사용되는 물은 Mg와 Ca의 농도가 낮아야 하는데, 이는 모든 식물이 Mg와 Ca의 농도가 높은 물에 삶으면 굳어지는 경향이 있기 때문이다. 반면에 Mg와 Ca가 많이 녹아 있는 물은 제과 또는 제빵에 바람직하다.

대부분의 boiler 용 물은 사용 전에 화학적, 이온교환 등에 의해 처리했거나 또는 증류수를 사용한다. 표 5-6은 boiler 용 물의 정수 해야할 한계를 표시한 것이다. 정수하지 않은 물이라도 압력이 낮은 boiler에 사용할 수 있지만 높은 압력의 boiler는 부식과 침전을 방지하기 위해 매우 순수한 물을 사용한다. 또한 저압의 boiler인 경우 pH가 8.0 이상이 바람직하고, 고압의 boiler인 경우 pH가 9.0 이상인 물을 요한다.

물질	식품가공 (ppm)	Boiler용 수 (ppm)	
		고압	저압
An	0.05		
As	0.05		
Br	1.00		
HCO ₃	300	5	50
Cd	0.01		
Ca	80	1	40
Cl	300		
Cr	0.05		
Cu	3.0		
Cn	0.2		
F	1.5		
H ₂ S	0.5	0	5
Fe	0.2		
Pb	0.05		
Mg	40	1	20
Mn	0.1		
NO ₃	20		
Phenol	0.001		
Se	0.01		
Si	50	1	30
Ag	0.05		
Na	300		50
세탁비누	0.5	0	0
TDS	1000	100	2000
Zn	5		

표 5-6 공업용수의 표준농도

5.8. 지하수의 온도

지하수 유용도에 가장 중요한 역할을 하는 것은 온도다. 지하수의 온도는 계절적으로 지구가 태양으로부터 받는 열과 지구 내부에서의 열의 이동과 밀접한 관계가 있다. 깊이가 10에서 25m 사이에 지하수의 온도 변화의 주 원인은 계절에 따라 지각으로부터 방출하는 또는 지각에서 흡수하는 열 때문이다. 지하수의 계절적 온도 변화는 지표면 근처에서 제일 심하고, 일반적으로 지하수의 온도가 대기온도보다 1° 에서 2° C 가량 높다(그림 5-10). 이 때문에 지표면 근처에 있는 지하수의 온도를 나타내는 지도는 대기온도를 근거로 작성할 수 있다.

지구내부로부터의 열의 방출은 지하수 온도가 깊이에 따라 증가하는 원인이 된다. 깊이에 따른 지온의 변화를 지열경사(geothermal gradient)라 하며 이는 깊이가 100m 증가함에 따라 지온이 두꺼운 퇴적암 지대의 1.8° C로부터 화산지대의 3.6° C 까지 증가한다. 이 지열경사가 비교적 얇은 곳에 있는 지하수의 온도에 미치는 영향은 계절에 따른 온도 변화 때문에 그리 분명치 않다.

지하수와 이를 함유하고 있는 간극체 사이에는 열적 평형상태(thermal equilibrium)가 유지되어 있으므로 지하수의 온도는 그 장소의 지온과 일치한다. 따라서 지온이 일정한 항온층(isothermal layer)보다 얇은 곳에 지하수의 온도는 앞에 말한바와 같이 그날 그날의 또는 연중 기온 변화에 따르지만, 항온층 보다 깊은 곳의 지하수는 깊이가 100 m 증가함에 따라 약 $1-5^{\circ}$ C(평균 약 3° C) 정도로 증가한다. 이와 같은 관계를 수식으로 표현하면,

$$T = T_0 + \alpha D \quad (5-12)$$

여기서, T = 깊이에 따른 지하수의 온도($^{\circ}$ C)

D = 깊이(m)

α = 지하 증온율(지하수온 상승/1 m)

T_0 = 그 지역 항온층의 온도(또는 연 평균 기온)

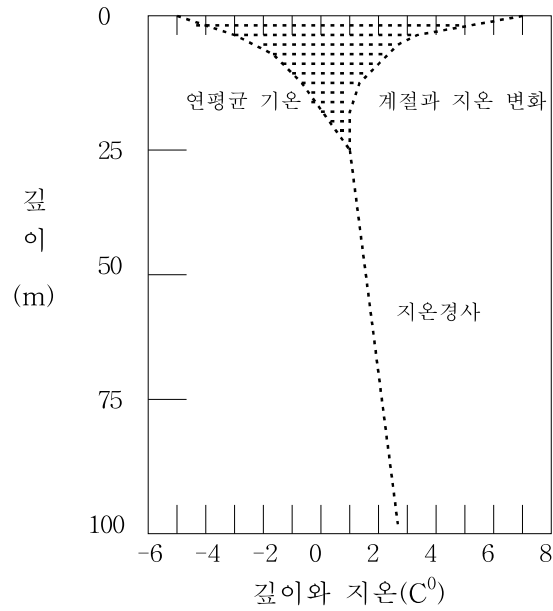


그림 5-10 깊이와 지하수온의 변화

지하수가 흐름에 따라 이의 온도가 변하므로 지하수의 온도를 측정하므로써 지하수의 함양 상태를 알 수 있다. 일반적으로 양수로 인해 하천의 물이 대수층으로 들어올 때 양수우물 근처에 물의 온도가 현저하게 변한다. 또한 지하수의 온도는 투수성이 높은 대수층이 투수성이 낮은 대수층보다 더 쉽게 변한다.