

수질오염 지표[1]

전기전도도, ORP, 산도, 미량원소

이번시간에는 수질오염지표중
전지전도도, 산화환원전위,
산도 그리고 미량원소에 대하여
중요성 및 전반적인 내용을
자세히 살펴보겠습니다.

전기 전도도

1. 전기전도도 개요

- 1) 전기전도도는 물질이나 용액이 전하를 운반할 수 있는 정도를 말하며, 이온을 함유한 용액은 전류를 전도하는 능력을 보임.
- 2) 수용액의 전기전도도는 물속에 녹아 있는 이온의 양과 각 이온의 전기를 운반하는 속도에 의하여 결정됨.
- 3) 그리하여 전기전도도는 대략 물속의 용존이온량을 비교하는데 이용된다. 단, 전하를 갖지 않는 물질은 물에 많이 녹아 있어도 전기 전도도에는 영향을 주지 않는다. 따라서 규산과 같은 물질은 전기 전도도에는 영향을 주지 않는다.
- 4) 전기전도도 또는 비전기전도도는, 단면적 1cm^2 에서 거리 1cm 내의 상대 전극 사이에 있는 용액의 전도도를 말하며, 용액의 비저항의 역수로 나타냄

- 4) 단위는 mho(모)/cm와 Ω (옴)/cm 등을 사용하며, 최근에는 SI 단위 (시멘스/m, S/m)로 나타낸다. 그러나 담수에서 이 단위는 너무 크므로 10^{-3} S/cm인 마이크로시멘스/cm(μ S/cm)를 사용한다.
- 5) 우리나라의 오염되지 않은 하천이나 깨끗한 지하수의 경우, 전기전도도는 수십에서 200μ S/cm(마이크로시멘스) 이내의 정도이지만, 오염된 하천이나 처리된 방류수는 수백 μ S/cm 정도이며, 해수와 공장의 원폐수, 위생매립장 침출수 등은 수천에서 수만 μ S/cm 정도로 대단히 큰 값을 나타낸다.
- 6) 전기전도도는 온도에 영향을 받아, 온도 1°C 의 상승에 비례하여 약 2% 증대되므로, 같은 물질이라도 측정온도가 다르면 전기전도도가 달라지게 됨. 따라서 전기전도도로 수질을 비교하기 위해서는 같은 온도에서 측정하여야 하며, 보통 25°C 의 수온을 기준으로 한다.

2. 전기전도도와 온도

- 1) 전도도와 저항은 온도에 영향을 받게 됨. 25°C 에서 완전히 순수한 물은 수소이온과 수산화 이온의 존재하기 때문에, 18.2 (M·Ωcm)의 저항을 가진다.
- 2) 수온이 올라가면 전도도는 올라가고 저항은 떨어진다.
수온이 1°C 올라가게 되면, 일반적인 물의 전도도는 약 2% 올라가고, 반면, 초수순의 경우에는 6% 까지 올라간다.
- 1) 따라서 일반적으로 모든 전도도와 저항값은, 수온이 25 °C 에서의 값으로 보정하여 측정하여야 함.

3. 전기전도도의 영향인자

1) 전기전도도와 TDS(총용존성 고형물)의 관계

- ✓ 전기가 흐르기 위해서는, 전자를 주고 받는 반응이 끊이지 않고 연속적으로 일어난다. 순수한 물은 pH 7.0상태로, H^+ 와 OH^- 로 해리되기는 하나, 해리되는 정도가 작아 전기가 거의 흐르지 못한다.
- ✓ 여기에 이온상태로 용해되어 있는 전해질이 존재하면 전기가 흐르게 되며, 수중에 염류의 양이 많을수록 전기가 잘 흐르게 되고, 전기전도율은 총용존성고형물인 TDS 농도와 비례한다.

2) 전기전도도와 경도와의 관계

- ✓ 물속에는 여러 ion들이 있는데 그 중에 Ca과 Mg이 센물을 만드는 요인이고, 이들이 높으면 수중의 이온이 많다는 것을 뜻한다.
- ✓ 따라서 경도가 높으면, 전도도와 TDS도 당연히 높아지기 때문에, 전기전도도는 경도와 비례하게 됨.

3) 전기전도도와 pH와의 관계

- ✓ 동일한 TDS라 하더라도, 산성, 중성, 염기성의 pH에 따라서, 전기전도율이 다르게 측정된다.
- ✓ 산성 또는 염기성에서는 H^+ 와 OH^- 의 해리도가 높아지기 때문에, 전기전도율이 높아지게 됨.
- ✓ pH에 따른 전기전도율의 측정값을 총용존고형물(TDS)로 환산할 경우, pH가 7인 경우의 TDS는 측정된 전기전도율에 0.7을 곱하게 되고, pH가 7이상이거나 이하인 경우의 TDS는 측정된 전기전도율에 0.5를 곱하여 산정하게 됨

4) 전기전도도와 온도와의 관계

- ✓ 온도가 높은 물은 수중 염류의 활동이 활발해져, 이온의 확산속도가 빨라지기 때문에, 동일한 TDS라 하더라도 전기전도율이 높게 측정되고, 온도가 낮은 물은 반대로 전기전도율이 낮게 측정된다.

4. 전기전도도 자료의 응용

전기전도도는 염분 함량의 정도와 호수의 성층구조, 오염원의 유입 추정 및 시료 측정하는데 주로 이용된다.

- 1) 염분함량과의 관계에서는, 전기전도도가 염분 함량과 높은 상관관계를 나타내므로, 최근 전기전도도는 염분함량을 추정하는데 이용되고 있음. 따라서 하천에서 전기전도도의 측정은 해수의 침입 정도와 혼합 상태를 추정하는데 좋은 자료로 사용됨.
- 2) 수체의 성층구조를 파악하는 경우에는, 서로 상이한 수질을 가진 물은 전기전도도가 서로 다르다는 것을 이용하여, 수체의 이동을 조사하는데 적용함. 이때 수온과 pH를 동시에 측정하면 더욱 정확히 파악할 수 있다. 이런 방법으로 호수, 저수지에서 수질의 연직 분포를 조사하여 성층구조를 파악하는데 이용된다.

- 3) 오염원의 유입과정을 추정하는 경우, 전기전도도의 크기는 전해질 이온농도에 비례하므로, 도시하천에서 오염의 정도를 대략적으로 비교할 수 있다. 또한 지하수와 상수원수에 하수 및 공장폐수와 기타 오염원의 유입 과정을 추정하는데 이용할 수 있다.
- 4) 시료를 측정하는 경우 중금속에 오염된 시료의 전기전도도를 사전에 측정하여, 시료의 희석 배율을 대략적으로 구할 수 있다.
- 5) 오염이 심한 고농도 시료의 경우는, 원자흡광광도계와 같은 분석기기에 직접 흡입시키면, 기기에 부담을 주거나 흡광도가 검량선 영역범위를 벗어나므로, 보통 전기전도도 값을 이용하여 희석시료를 만드는데 적용되기도 함.

산화환원 전위 : ORP

1. 산화환원 전위 개요

- 1) 수체와 퇴적물이 산화상태에 있는지, 또는 환원상태에 있는지 하는 것은, 그 속에 이루어지고 있는 여러 반응에 있어서 대단히 중요한 의미를 갖는다. 넓은 뜻의 산화라 하면, 어느 물질이 가지고 있는 전하를 잃는 것이며, 환원이라 하면 다른 물질이 그 전자를 받는 것으로 정의할 수 있다.
- 2) 산화환원 반응 사이에 전자의 흐름을 측정하여 얻은 값을 산화환원 전위(ORP)라고 한다. 통상 산화환원 전위는 산화환원 전위차계로써 측정하여, 비교하기 쉽도록 pH가 7일 때의 값으로 환산하여 사용한다. 산소가 충분히 있는 자연상태에서 호수의 ORP는 대개 0.6 ~ 0.5V 이하의 값을 나타낸다

- 3) 금속의 산화도 어떤 원인에서 금속의 전하를 빼앗기는 현상이며, 금속이온에 산화제를 가하면 전하를 획득하여 원자가 증가하게 된다.
- 4) ORP의 측정전극은 전자의 이동은 가능하지만 화학적 반응은 하지 않는 금속이 적당하다. 보통 백금 등의 귀금속 전극을 비교 전극과 조립하여, 시료에 넣어 양 전극간의 전위차를 mV스케일의 pH 미터로 측정한다. 즉, 귀금속전극의 ORP와 비교 전극의 단극전위차를 측정하는 것이 된다.
- 5) 현재 사용되고 있는 귀금속 전극으로는 백금 전극과 금합금 전극의 두 종류가 있다. ORP 측정에 사용되는 금속전극은, 표면상태가 전위에 예민한 반응을 나타내므로, 유리전극에 비하여 발생부위가 비교적 불안정하다. 이 때문에 전극 표면은 항상 깨끗하게 보존하여야 한다.

2. ORP 측정원리

- 1) 수용액에서, 산화환원전위는 어떤 화학물질이 전자를 얻어 환원되고자 하는 정도를 뜻한다.
- 2) 모든 물질은 환원되려고 하는 경향을 가지고 있는데, 이 경향이 클 수록 즉, 양의 값이 클수록 그 물질은 전자를 받아 환원되려고 하는 정도는 더 크다는 의미이다.
- 3) 전자나 양자 반응은 pH와 산화환원전위값(Eh)의 함수로서, 물 속에서 화학반응은 pH, 산화환원전위값, 그리고 용존화학물질의 활성도에 달려 있다. 산화환원전위값 (Eh)은 시스템이 산화 또는 환원되고자 하는 강도(intensity)이지 용량(capacity)이 아니다.

3. ORP 자료의 응용

- 1) ORP는 일반적으로 산화환원 처리에 활용되며, 폐수처리의 관점에서 시안 폐수의 염소에 의한 산화와 6가 크롬의 환원 등에 이용된다. 시안폐수는 시안을 완전히 산화시켜서 처리하기도 하는데 이때 pH를 11 정도로 높인 후에 염소를 주입한다
- 2) 보통 완전한 산화작용을 위하여 연속적으로 모니터링을 하면서 염소를 주입할 경우도 있는데, 이와 같이 ORP는 온라인으로 제어에 필요한 지표로 사용되기도 한다.
- 3) 크롬은 낮은 농도에서도 독성이 강하므로, 가능한 한 다른 폐수와 분리하여 처리하여야 하는데, 낮은 pH에서 환원제를 가하여 6가 상태의 크롬을 3가로 환원시키는 과정을 거치게 된다.

- 4) 폐수처리 이외에 ORP 자료는 정수장에서 염소처리과정에 많이 이용되고 있고, ORP는 잔류염소농도와 깊은 관계가 있음.
- 5) 보통 정수장 여과수에 암모니아성 질소가 존재하는 경우는, 불연속 점 염소처리를 하고 그렇지 않은 경우에는 임계점 염소처리를 하게 되는데, 이때 ORP가 사용됨.
- 6) 산화환원전위는 처리공정에 따라 명료한 반응을 나타내며, 혐기성 상태에서는 산화환원전위가 작으며, 호기성 상태 혹은 산화반응이 일어나는 공정에서는 산화환원전위가 크게 나타남.

4. 하수처리장에서의 ORP 변화

- 1) 생물학적 반응조 내에서 시간에 따른 ORP 변화로, 질산화반응의 완료 시점과 탈질반응의 완료 시점을 감지할 수 있다.
- ORP 값이 증가하면서 그 증가폭이 차츰 줄어들고 폭기를 멈추었을 때, ORP 값은 급격히 떨어지며, 이때의 기울기는 (-) 값을 가지며 감소한다.
 - 시간이 지나면서 ORP 값의 감소폭이 줄어들다가, ORP 변곡점 주위에서 그 기울기 값에 특이한 점을 발견되고, 변곡점이 나타날 때 다시 폭기를 시작하게 됨.

2) ORP는 오염된 물의 산화물질과 환원물질이 포함되어 있는지를 알 수 있는 지표이기도 함

- 온도, pH, 전기전도율 등 조건에 의해 크게 변하면, 이것은 ORP 가 안정되어 있지 않다는 것을 뜻한다.
- 물이 알칼리성이 되면, 산화력이나 환원력과는 무관하게 ORP는 (-) 수치가 되는데, 산화제가 필요하다는 뜻이다.
- ORP 수치가 높을수록 반응이 빠르게 진행되는 것을 의미함.

물의 산도

1. 산도

- 1) 산도(Acidity)는 수중의 탄산과 황산, 염산, 질산 및 유기산 등과 같은 산을 중화시키는데 필요로 하는 알칼리의 양을 측정하는 것으로, CaCO_3 로 환산하여 표시하게 됨
- 2) pH가 8.5 이하인 모든 물은 산도를 함유하고 있는데, 보통 pH 8.2-8.4에서의 페놀프탈레인 종말점은 대조점으로 간주되고 있다.
- 3) 탄산에 대한 적정곡선에서 pH 7은, 상당량의 탄산가스가 중화되지 않은 채 남아 있게 되고, 이것은 탄산가스가 단독으로 pH를 약 4.5 이하로 낮출 수 없음을 의미하는 것임.
- 4) 자연수의 산도는 탄산가스나 또는 강산이 원인이며, 탄산가스는 pH가 4.5 이상인 물에, 강산은 pH가 4.5 이하인 물에 유효한 인자이다.

2. 산도의 발생원과 성질

- 1) 수중의 CO_2 는, 부분압력이 대기 중의 CO_2 의 부분압력 보다 낮을 때, 대기로부터 흡수되어 지표수로 유입됨.
- 2) CO_2 는 또한 오염된 물에서 유기물질의 생물학적 산화를 통하여, 물 속에서 생산되며, 만약 광합성 활동이 제한되면 수중의 이산화탄소 분압이 대기 중의 분압 보다 높아져, 수중의 이산화탄소는 대기중으로 탈기하게 됨.
- 3) 그러므로 지표수는 끝없이 이산화탄소를 흡수하거나 또는 방출함으로써 대기 중의 이산화탄소와 평형을 유지함.

- 4) 지하수 또는 성층을 이루고 있는 호수의 심수층에서 취한 물은, 가끔 상당량의 이산화탄소를 포함하게 된다. 이러한 현상은 물속의 유기물질이 산화 분해되어 생성된 이산화탄소가, 대기로 자유롭게 탈출할 수 없는 조건이 원인인 것임.
- 5) 이산화탄소는 호기성 및 혐기성 미생물에 의한 산화반응의 최종산물이다. 그러므로 이산화탄소의 농도는 원래 존재하고 있는 용존산소의 양과는 무관함.
- 6) 지하수 중의 이산화탄소 농도가 30 ~ 50mg/L로 측정되는 일이 흔히 있을 수 있다. 특히 충분한 탄산칼슘이나 탄산마그네슘을 함유하고 못한 토양을 침투해온 물에서는, 탄산수소염을 형성하게 된다. 이는 토양중의 탄산염이, 이산화탄소를 중화하여 중탄산염을 형성하는 과정에서, 이산화탄소 농도를 감소시키기 때문이다.

- 7) 무기산도(mineral acidity)는 많은 산업폐수, 특히, 금속가공 공장의 폐수와 합성유기물 생산에서 유출되는 폐수에서 나타난다.
- 8) 또한, 특정 자연수가 무기산도를 나타내는 수도 있는데 이는, 폐광과 적재된 광석더미 등의 배수 중에, 유황, 황화물, 또는 황철석이 존재한다면, 상당량의 황산 또는 황산염을 함유할 수가 있다.
- 9) 이러한 물질을 황산과 황산염으로 전환시키는 것은 호기성 조건하에서 황산화 박테리아에 의해 이루어진다.

3. 탄산가스와 무기산도

1) 산도는 위생학적 측면에서 별로 문제가 되지 않는다.

왜냐하면 CO₂의 농도가 과잉으로 함유된, 자연수 및 음료수를 마셔도 아무런 해가 없는 것으로 확인할 수 있음.

1) 무기산도를 함유한 물은, 보통 맛이 없고 불쾌하지만, 인간의 건강에는 무해한 것으로 나타났다. 일반적으로 산성수는 부식성과 부식 유발물질이 문제이며, 이를 제거하는 데는 많은 경비가 소요되기도 함. 대부분의 물에 있어 부식인자는, 이산화탄소이지만, 산업폐수에 있어서는 무기산도가 부식 인자가 됨

- 3) 탄산가스나 무기산도는 석회나 석회 소다회 방법에 의한 물의 연수화 과정으로 제거할 수 있음.
- 4) 생물학적 방법에 의한 폐수처리 과정에서는 적정 pH를 유지하기 위해 예비 조작으로 화학약품을 이용하는데, 이들 화학약품의 양을 결정하는 기준은 일반적으로 무기산도 값을 근거로 한다.
- 5) 무기산도를 함유하는 일반적인 산업폐수는 강과 하수도에 배출하거나 또는 처리대상 이전에 중화공정을 하여야 함.
- 6) 그리고 화학약품의 양과 약품주입기의 크기, 저장장소의 규모와 비용 등은 산도에 관한 실험 자료로 부터 결정된다.

미량원소(trace element)

1. 식물체 중에는 여러 원소가 함유되어 있으나, 식물의 생존에 필수적인 원소는 16종으로 알려져 있다.
2. 이들 중 식물에 의한 요구량이 많은 원소를 다량원소 또는 다량요소라 하고, 요구량이 적은 원소를 미량원소, 또는 미량요소라고 함
3. 철(Fe), 망간(Mn), 붕소(B), 구리(Cu), 몰리브덴(Mo), 염소(Cl) 및 아연(Zn)이 미량원소에 속한다.
4. 그 외 규소(Si), 나트륨(Na), 니켈(Ni), 코발트(Co), 바나듐(V) 등은 식물의 종에 따라 필수적인 원소이기도 하지만, 모든 식물에 대하여는 필수적이지 않은 경우가 있음.

5. 미량원소의 결핍은 토양반응과 관계되는 경우가 많은데, 산성조건에서 Mo은 토양에 고정되어 결핍증상을 쉽게 나타내기도 함. 알칼리성 조건에서는 Fe, Mn, Cu, Zn, Ni 및 B는 불용화물질이므로 결핍증상이 발생되기 쉽다.
5. 또 토양의 유기물함량이 많은 경우, 유기물에 Cu, Zn, Mo이 고정되어 결핍증상을 발생시키는 경우도 있다.
6. 미량원소는 식물의 여러 대사작용에서 효소의 활성제로 작용하는 것이 많아, 만약, 결핍이되면 여러 가지 증상을 나타낸다. Fe의 결핍은 식물의 잎이 황화되는 현상이 나타나고, 더 진전되면 잎이 백색화된다. Mn도 Fe과 같이 이동성이 낮은 원소로, 잎의 황백화를 발생시키며, 어린잎에서 나타나게 됨.

8. Cu의 결핍증상은 식물종에 따라 다르며, 옥수수에 있어 어린잎의 황색화와 위축이 관찰된다.
9. Zn의 결핍증상은 경엽의 생육 저하와 엽맥간의 황백화이며, 어린 잎에서 나타난다.
10. Mo 결핍증상은 엽맥간 황백화나 황색반점의 발생이 일어남.

생물체내에서 미량원소 기능

유기물은 생물체 내에서 합성할 수 있으나, 무기물질인 금속미량원소는 체외 섭취를 통해 합성되기 때문에 특히 중요하다.

1) Fe(철)

동물혈액 중에서 혈액순환과 산소운반 작용을 하며, 적혈구 세포 중에 있는 Fe^{3+} 를 온 몸에 수송시키고, 다시 Fe^{2+} 로 변화시켜 적혈구내로 환원시킨다. 이러한 순환과정에서 Fe 없이는 동물은 생존할 수 없다.

2) Zn(아연)

아연은 혈액 중 탄산수소염을 동원시켜 산소를 흡수하고, 이산화탄소를 배출시키고, 단백질을 분해함. Zn의 섭취량이 필요량보다 초과할 때, 동물의 생명 유지는 가능하지만 신체 각 기관이나 세포가 손상될 수 있고, 원인을 알 수 없는 암' 같은 것이 유발될 수 있음.

3) Cu(구리)

Cu는 산화-환원-반응의 촉매제 역할을 하게되며, 산소와 수소 두 원소가 화합하여 물을 생성할 때, 만약 구리가 없다면 물을 생성할 수 없음. 구리는 심맥을 조절할 수 있으며, 인체 내에서 Cu 함량이 부족되면 심장병에 걸릴 수 있다. 인체 내에 Cu가 존재치 않을 때는 생명유지가 불가능하다.

4) Se(셀레늄)

셀레늄은 생물체내 비타민E와 아황산을 혼합작용시키는 원소이다. 셀레늄이 부족하면, 적혈구의 기능보호 작용을 상실하며, 셀레늄은 카드뮴, 불소, 비소, 티탄(Ti) 등의 독성 있는 원소를 제거하여, 심근과 골격의 힘을 강화시키며, 면역기능, 단백질 촉진, 암세포 억제 등의 작용을 한다.

5) Cr(크롬)

Cr은 생물체의 체장 내에서 인슐린이 작용할 때, 당분과 지방대사 과정에 필수적인 원소이다. Cr은 콜레스테롤의 정상유지와 당분 대사 과정에 필수적이며 생장 촉진을 유도함. Cr이 부족하면, 발육부진을 초래하며, 가장 중요한 점은 인체 내에서 Cr 농도가 하강 할 때는, 동맥 경화증을 일으킨다는 것이다.

6) Co(코발트)

코발트는 비타민 B12의 구성요소이며, 비타민B12는 적혈구 형성에 꼭 필요하다. 코발트는 성인의 체내에 1mg수준으로 존재하며, 주로 간에 저장되어 있음.

코발트가 부족하면 적혈구형성에 장애가 되어 악성빈혈을 일으키게 됨

식물에 필요한 미량원소

1. 철(Fe) : [엽록소 형성에 필요] 광합성, 질소고정 등에 관여

- 결핍 : 잎사귀 녹색반점, 입맥 사이 황백화, 심하면 괴사
- 과잉 : 망간(Mn) 및 인산(P)의 흡수를 억제

2. 구리(Cu) : [광합성 작용] 산화효소의 주성분으로 효소기능을 통하여 산화환원 반응, 엽록소 형성에 기여

- 결핍 : 탄수화물, 단백질 생산이 줄어들고 생장 억제
- 과잉 : 뿌리의 신장이 중지됨

3. 몰리브덴(Mo) : [질소고정] 질산염을 아질산염으로 변화시키는 역할

- 결핍 : 생장 및 광합성 저해

4. 망간(Mn) : [광합성, 발아 성숙 촉진] 산화효소를 활성화시켜
물질을 산화시킴

- 과잉 : 늙은 잎 끝에 갈색, 자색의 작은 점

5. 아연(Zn) : [엽록소 형성] 질소대사에 관여하여 RNA, 리보소옴,
단백질 형성 영향 / 효소를 구성

- 결핍 : 잎맥 사이 황백화

6. 붕소(B) : [축매, 반응조절 물질, 열매 결실] 탄수화물 이동, 효소
활성제, 생장점 부근에 많음

- 결핍 : 체내 이동이 잘 안돼 생장점이나 저장기관에 나타나기
쉬움, 어린잎 황화, 보리 불임현상

- 과잉 : 잎이 황화되어 고사

7. 염소(Cl) : 당의 집적과 광합성에 관여

- 결핍 : 잎의 동화작용 감소, 탄수화물 감소, 엽록소 함량이 떨어짐
- 과잉 : 토양에 축적되면 질소, 유황, 인산, 붕소의 흡수를 방해

8. 니켈(Ni)

- 요소를 탄산가스와 암모니아로 분해하는 효소의 필수성분
- 토양의 니켈 결핍증은 거의 일어나지 않아 최근 필수원소로 인정
- 자연에 풍부하게 있어 결핍 등의 증상을 알아내기 어려우나
- 결핍된 식물의 잎에는 요소가 축적되어 잎 끝이 괴사함

이번 시간에는 수질오염지표 중
전기전도도, 산화환원전위,
산도 그리고 미량원소에 대하여
기본개념과 자연계와
인체와의 관련성 등을
자세히 살펴보았습니다.
이상으로 강의를 마치겠습니다.