비저항(RESISTIVITY)과 전기전도도(CONDUCTIVITY)의 개념

1. 전기전도도 및 비저항의 일반개요

전기적인 전도도와 저항은 비교적 순도가 높은 물에 대한 패러미터로서 일반적으로 사용되고 있다. 전도는 microsimens per centimeter(uS/cm)로 표현되며, 원수 및 일차 정제수의 수질 측정에 사용된다. 저항은 전도도의 역수이며 megohm-centimeters (MΩ·cm)로 표현된다. 물 속에서 무기염은 양이온과 음이온으로 구성되어 있으며, 물 속 2개의 전극에 전압을 가하면 전류를 발생시킨다. 이 때 물속에 이온이 많을수록 전류가 많아지며, 따라서 전도도가 커지게 되고 반대로 저항은 작아지게 된다. Conductivity values of less than 2 uS/cm 이하의 전도도값은 반드시 온라인으로 측정되어야 한다. 그렇지 않으면 고순도의 물은 주위 환경으로부터, 특히 이산화탄소와 같은 불순물을 급속도로 흡수하게 되어 결과적으로 전도도가 급속하게 올라가게 된다.

1.1 온도의 중요성

전도도와 저항은 온도에 영향을 받는다. 25°C에서 완전히 순수한 물은 수소 이온(H+)과 수산이온(OH-)의 존재 때문에 18.2 MΩ·cm (전도도 환산하면 0.055 uS/cm)의 저항을 가진다. 수온이 올라가면 전도도는 올라가고, 저항은 떨어진다. 이것은 정제된 물이 오염되어서 그런 것이 아니다. 수온이 1°C 올라가게 되면 일반적인 물의 전도도는 약 2% 올라가고, 반면 초순수의 경우에는 6% 까지 올라간다. 따라서 일반적으로 모든 전도도와 저항 값은 수온이 25°C에서의 값으로 보정하여 나타낸다. 이것은 정교한 전도도계일 경우에는 자동적으로 보정되며, 이것은 실제적인 모든 업무에서 필수불가결한 것이다. D/I(Deionized) Water 란 물리적 또는 화학적 메카니즘을 이용하여 수중에 존재하는 금속이온 및 비금속이온 등의 전해질을 제거한 물을 말하고 있으며, 그러므로 미량 잔류된 전해질을 각 이온별로 ppm으로 표기하기는 어려움이 따르고 그 측정 오차 범위가 크다. 따라서, D/I Water의 순도 표기에 있어서 다음과 같은 두 가지의 단위가 적용된다.

1.2 저항값(Resistivity, 단위 : MΩ/cm) 메가오옴

D/I Water에 특정한 간극을 유지하고 전류를 가하여 이때 발생되는 부도전율을 저항값(MΩ/cm : 메가오옴)으로 표기함으로서 전해질의 제거 정도를 판단하는 방법이다.

1.3 전도도(Conductivity, 단위 : μs/cm) 마이크로시멘스

D/I Water에 특정한 간극을 유지하고 전류를 가하여 이때 발생되는 도전율을 전도도(μs/cm : 마이크로시멘스)로 표기함으로서 전해질의 함유 정도를 판단하는 방법이다. 그러므로 저항 값과 전도도는 서로 역수 관계가 성립되며 그 수치의 환산에 있어 다음과 같은 등식이 주어진다.

참고 :

1MΩ/cm(1,000,000Ω/cm) = 1μs/cm 가 표준 환산 지표로 여기서 부터 역수 관계가 성립됨.

전도도를 저항값으로 환산할 경우.

표준저항값(1,000,000Ω/cm) ÷ 전도도(μs/cm) = 저항값(Ω/cm)
ex) 전도도 0.1μs/cm 일때,
1,000,000Ω/cm÷ 0.1μs/cm = 10,000,000Ω/cm (10MΩ/cm)

저항값을 전도도로 환산할 경우.
표준저항값(1,000,000Ω/cm) ÷ 저항값(Ω/cm) = 전도도(μs/cm)
ex) 저항값 10MΩ/cm (10,000,000Ω/cm) 일때,
1,000,000Ω/cm ÷ 10,000,000Ω/cm = 0.1(μs/cm)

※ D/I Water 순도의 최대치는 저항값으로 18.2MΩ/cm 정도이며 이를 전도도로 환산하면 0.055μs/cm 임을 참고하시기 바랍니다. 따라서 D/I Water의 사용 용도에 따라 적용되는 순도가 다소차이가 있을 수 있습니다.

Resistivity(MΩ·cm)	0.1	1.0	10.0	15.0	18.2
Conductivity(μs/cm)	10.0	1.0	0.1	0.067	0.055

2. 측정원리

전기전도도는 용액이 전류를 운반할 수 있는 정도를 말하며, 용액중의 이온세기를 신속하게 평가할 수 있는 항목으로서 전기저항의 역수 ohm^{-1} 또는 mho로 나타내나 현재는 국제적으로 S(Siemens) 단위가 통용되고 있다. 측정원리는 용액에 담겨있는 2개의 전극에 일정한 전압을 가해주면 가한 전압이 전류를 흐르게 하며, 이때 흐르는 전류의 크기는 용액의 전도도에 의존한다는 사실을 이용한 것으로 어떤 전도체에 저항 R은

$R(\Omega) = (\rho \cdot \ell) / A$

과 같은 식으로 표시할 수 있는데 여기에서 ρ는 저항도(Ω·cm)이고 ℓ은 두 전극간의 거리(cm), A는 단면적(cm^2)이므로 전기전도도 L은

$L = 1/R = (A / \ell) K$

가 된다. 여기에서 K(= 1/ρ)는 비전도도(mho.cm)이며 동일 측정계를 사용할 경우 셀의 규격은 일정하므로 두 전극간의 거리와 단면적은 무시할 수 있다.

따라서 측정결과는 측정된 시료의 전기전도도 값(mho)에 셀정수(cm^{-1})를 곱하여 시료의 전기전도도값(μmhos/cm)으로 표시한다. 그러나 현재는 국제단위계인 mS/m(millisimens/meter) 또한 μS/cm(microsimens/centimeter)단위로 측정결과를 표기하고 있으며 여기에서 mS/m = 10 μS/cm(또는 10μmhos/cm)이다. 또한 전기전도도는 온도차에 의한 영향(약 2%/°C)이 크므로 측정결과 값의 통일을 기하기 위하여 25 °C에서의 값으로 환산하여 기록한다.

3. 기구 및 기기

3.1 전기전도도 측정계

지시부와 검출부로 구성되어 있으며, 지시부는 교류위이트스토운전교(Wheatstonebridge)회로나 연산증폭기회로 등으로 구성된 것을 사용하며, 검출부는 한쌍의 고정된 전극(보통 백금 전극표면에 백금흑도금을 한 것)으로 된 전도도셀 등을 사용한다. 전도도셀은 그 형태, 위치, 전극의 크기에 따라 각각 자체에 셀상수를 가지고 있으며, 이 셀상수는 전도도 표준액(염화칼륨 용액)을 사용하여 정하거나 셀상수가 알려진 다른 전도도셀과 비교하여 정할 수 있으나 일반적으로 기기 제작사의 지침서 또는 설명서에 명시되어 있다. 또한 전기도도 측정계는 25℃에서의 자체온도 보상회로가 장치되어 있는 것이 사용하기에 편리하며, 그렇지 않은 경우에는 온도에 따른 환산식을 사용하여 25 ℃에서의 전도도값으로 환산해야 한다. 전기전도도셀은 항상 수중에 잠긴 상태에서 보존하여야 하며 정기적으로 점검한 후 사용한다.

3.2 온도계

0.1 ℃까지 측정가능한 것(다만, 전기전도도 측정계로서 온도측정이 가능할 경우에는 필요 없음)

4. 전도도셀의 보정 및 셀상수 측정방법

4.1 전도도표준액의 조제

가) 염화칼륨

분말로된 염화칼륨(KCl)을 105 ℃에서 2시간 건조한 다음 데시케이터에서 방냉한다.

나) 0.01 M-염화칼륨 용액

염화칼륨 0.7456 g을 25 ℃의 물(2 μS/㎝ 이하)에 녹여 1,000 ㎖로 한다. 이액의 25 ℃에서의 전기전도도 값은 1,409 μS/㎝이다. 이 용액은 폴리에틸렌병 또는 경질유리병에서 밀봉하여 보존한다.

다) 0.001 M-염화칼륨 용액

0.01 M-염화칼륨 용액 100 ㎖를 정확히 취하여 1,000 ㎖ 메스플라스크에 넣고 25 ℃의 물(2 μS/㎝ 이하)을 넣어 눈금까지 채운다. 이 액의 25 ℃에서의 전기전도도값은 147 μS/㎝ 이다. 이 용액은 폴리에틸렌병 또는 경질유리병에 밀봉하여 보존한다.

4.2 셀상수의 측정 및 셀의 보정

셀을 물에 2~3회 씻은다음 사용하고자 하는 염화칼륨용액(시료의 전도도가 낮을 경우 0.0001 M, 높을경우 0.01 M)으로 2~3회 싯어주고 염화칼륨용액에 셀을 잠기게 하여 온도를 25±0.5 ℃로 맞춘 상태에서 전기전도도를 측정한다. 계속하여 염화칼륨용액을 교환해 가면서 동일 온도에서 측정치 상호간의 편차가 ±3 %이하가 될 때까지 반복측정을 하고 그 평균값을 취하여 다음식에 셀상수를 산출한다.

$$C = (L_{KCl} + L_{H2O}) / Lx$$

여기에서

C : 셀상수

Lx : 측정한 전도도값(μS)

L_{KCl} : 사용한 염화칼륨 표준액의 전도도값(μS/㎝)

L_{H2O} : 염화칼륨용액을 조제할 때 사용한 물의 전도도값(μS/㎝)

보통셀은 셀상수 1~2의 것을 사용하면 대부분의 시료측정에 적합하나 특정 시료의 경우에는 표 1을 참조한다.

표 1.셀상수와 측정범위

셀 자 수 ($㎝^{-1}$)	측 정 범 위 (μS/㎝)
0.01	20 이하
0.1	1 ~ 20
1	10 ~ 2,000
10	100 ~ 20,000
50	1,000 ~ 200,000

또한 0.01 M과 0.001 M - 염화칼륨용액을 각각 사용하여 같은 방법으로 셀상수를 산출한 결과 그 값이 ±1 % 이내로 들지 않을 경우에는 [비고 1]에 따라 백금전극을 재도금하여 사용한다.

5. 시료의 전기전도도 측정

전기전도도 측정계에 전원을 넣고 시료를 사용하여 셀을 2~3회 씻어준 다음 시료 중에 셀을 잠기게 하여 25±0.5 ℃를 유지한 상태에서 3.2와 같은 방법으로 반복측정 하고 그 평균값을 취하여 다음 식에 따라 시료의 전기전도도 값을 산출한다.

$$L = C \times Lx$$

여기에서

L : 25 ℃에서의 시료의 전기전도도값(μS/㎝)

C : 셀상수($㎝^{-1}$)

Lx : 측정한 전기전도도값(μS)

다만, 전기전도도 측정계에 자체온도 보상회로와 셀상수 자동설정회로가 내장된 경우에는 제 작사의 지침에 따라 온도계수(25 ℃)와 셀정수를 설정해준 다음 시료의 전기전도도 값을 측 정하고 측정계의 지시부에 나타난 값을 직접 측정결과로 기록 한다.

전도도, 비저항, 고형분과의 관계

전기전도도는 보통 ㎲/㎝를 사용하기도 한다. 1 ㎲/㎝ at 25°C는 약 0.5 ppm as $CaCO_3$ 에 상당한다.

전 도 도 μs/㎝25°C	비 저 항 Ω · ㎝ 25℃	용해고형분 ppm	전 도 도 μs/㎝25°C	비 저 항 Ω · ㎝ 25℃	용해고형분 ppm
0.056	18,000,000	0.028	28.0	35,714	14
0.059	17,000,000	0.029	30.0	33,333	15
0.063	16,000,000	0.031	40.0	25,000	20
0.067	15,000,000	0.033	50.0	20,000	25
0.072	14,000,000	0.036	60.0	16,666	30
0.077	13,000,000	0.038	70.0	14,286	35
0.084	12,000,000	0.041	80.0	12,500	40
0.091	11,000,000	0.045	100.0	10,000	50
0.100	10,000,000	0.050	120.0	8,333	60
0.112	9,000,000	0.055	140.0	7,142	70
0.125	8,000,000	0.063	160.0	6,250	80
0.143	7,000,000	0.071	180.0	5,555	90
0.166	6,000,000	0.083	200.0	5,000	100
0.200	5,000,000	0.100	250.0	4,000	125
0.250	4,000,000	0.125	278.0	3,600	139
0.335	3,000,000	0.166	312.0	3,200	156
0.500	2,000,000	0.250	344.8	2,900	172
1.0	1,000,000	0.5	400.0	2,500	200
2.0	500,000	1	434.8	2,300	217
4.0	250,000	2	476.2	2,100	238
6.0	166,166	3	500.0	2,000	250
8.0	125,000	4	526.3	1,900	263
10.0	100,000	5	555.5	1,800	278
12.0	83,333	6	588.2	1,700	294
14.0	71,428	7	625.0	1,600	312
16.0	62,500	8	666.6	1,500	333
18.0	55,555	9	714.2	1,400	357
20.0	50,000	10	833.3	1,200	426
24.0	41,666	12	1,000.0	1,000	500
26.0	38,461	13	1,250.0	800	625
			1,666.0	600	833