

Cadmium 전극 설명서

목 차

Introduction

기본 장치	2
준비 용액	2
전극의 준비 과정 및 보관방법	
전극의 준비	3
전극의 보관방법	3
측정에 필요한 사항	
측정시 유의사항	3
시료의 조건	3
측정 단위	4
전극의 특성	
재현성	4
전극의 작동에 영향을 주는 요소	4
방해물질	4
침전 및 착물형성	4
온도의 영향	4
전극의 감응	5
검출한계	6
pH 효과	6
전극의 수명	7
전극의 기울기 확인	7
pH/mV meter 이용	7
Ion meter 이용	7
측정방법	
Cadmium 이온의 직접 측정	7
pH/mV meter 이용	8
Ion meter 이용	9
낮은 농도의 cadmium 측정	
pH/mV meter 이용	9
Ion meter 이용	10
적정	10
Cadmium Ion의 적정	10
전극 이론	
전극의 작동	12
문제해결방법	
기본요소	13
발생문제에 따른 문제 해결 방법	14
Cadmium 기본적인 특성	15
구매에 필요한 자료	15

1. Introduction

pHoenix Cadmium Ion Electrode는 수용액에서 cadmium 이온을 빠르고, 간단하며 정확히 경제적으로 측정하는데 이용된다.

기본 장치

1. pH/mV meter 혹은 이온 meter
2. Semi-logarithmic 4-cycle graph 종이 : Meter를 mV mode로 사용할 시에는 보정곡선을 그릴 수 있는 종이 필요
3. 자석교반기(magnetic stirrer) & 교반기용 자석 막대기(magnetic stir bar)
4. pHoenix Cadmium Electrode, Cat. No. CD21501 (기준 전극 필요),
혹은 pHoenix Cadmium Ion Combination Glass Electrode, Cat. No. CD21502, 혹은
pHoenix Cadmium Ion Combination Epoxy Electrode, Cat. No. CD21503.
5. pHoenix Double Junction Reference Electrode, Cat. No. 5731427(CD21501을 사용하는 경우에)
내부 junction의 pHoenix Reference Filling Solution, Cat. No. R001011
외부 junction의 pHoenix Reference Filling Solution, Cat. No. R001015,
6. pHoenix Polishing Paper, Cat. No. 948201,
오염되거나 부식된 전극의 membrane을 닦는데 사용

준비 용액

1. 용액 준비를 위한 증류수
2. **pHoenix Ionic Strength Adjuster(ISA), 5M NaNO₃, Cat. No. CD2IS01.**
제조 방법 : 1L volumetric flask에 반정도 증류수를 채우고 용액을 서서히 저어주면서
NaNO₃ 425 g을 첨가한다. 플라스크를 저어 고체를 용해시키고 플라스크의 표시부분까지 증류수를 채워 뚜껑을 덮은 후 플라스크를 위아래로 여러 번 흔들어서 용액을 섞어준다.
3. **Cadmium Nitrate Standard Solution, 0.1M.**
제조 방법 : 1L volumetric flask에 증류수를 반정도 채우고 Cd(NO₃)₂·4H₂O 30.85 g을 넣어 플라스크를 흔들어 녹인다. 플라스크의 표시부분까지 증류수를 채우고 뚜껑을 덮어 플라스크를 위아래로 여러 번 흔들어서 용액을 섞어준다.
4. **Cadmium Nitrate Standard Solution, 1000 ppm.**
제조 방법 : Cd(NO₃)₂·2H₂O 2.74 g을 사용하여 위(3)과 동일한 방법으로 제조한다.
5. **EDTA titrant 1M stock solution for the titration of cadmium.**
제조 방법 : 100 ml volumetric flask에 증류수를 1/3 정도 채우고 Na₂EDTA·2H₂O 37.2 g을 넣어 플라스크를 흔들어서 고체를 녹인다. 플라스크의 표시부분까지 증류수를 채우고 플라스크의 뚜껑을 덮어 아래로 여러 번 흔들어서 용액을 섞어준다.

Ionic Strength Adjuster(ISA)를 사용하는 이유;

측정된 전위에 해당하는 농도는 이온의 농도가 아니라 이온의 활동도이다.

활동도와 농도는 활동도 계수에 의해 관련된다. 전극 이론을 참고한다.

또한 활동도 계수는 이온세기에 의존하므로 전체 이온세기를 일정하면서 높은 값으로 유지하기 위해서 ISA를 첨가한다. 따라서 ISA는 보통 농도가 크며 이를 첨가함으로써 전체 이온세기는 0.1M 정도로 맞춰진다.

ISA는 이러한 역할 이외에도 pH를 맞춰주거나 다른 방해물질들을 제거하기도 한다.

2. 전극의 준비과정 및 보관방법

전극 준비

전극의 끝부분에 덮여있는 고무 뚜껑과 기준 전극의 fill hole을 덮고 있는 고무를 빼고 기준전극이나 combination 전극에 filling solution을 fill hole 바로 아랫부분까지 채운다(막힌 기준 전극을 사용할 때에는 이 과정을 생략).

Meter에 전극을 연결한다.

전극의 보관방법

Cadmium 전극은 짧은 기간 동안 보관할 경우 $1.0 \times 10^{-2} \text{M}$ cadmium 용액에 보관한다. 오랜 기간 동안(2주 이상) 보관할 경우 sensing pellet을 세척하여 건조시키고 membrane 끝에 보호 뚜껑(protective cap)을 끼운다. Filling solution을 다시 채울 수 있다면 combination 전극의 기준전극 부분(혹은 기준전극의 외부 chamber)은 filling solution을 따라 버리고 filling hole에 고무를 끼운다.

3. 측정시 유의사항

측정시 유의사항

1. 모든 시료와 표준용액은 같은 온도, 즉 실온으로 유지되어야 정확한 측정을 할 수 있다.
2. 정확한 측정을 위해서 일정한 속도로 저어준다. 자석 교반기는 용액의 온도를 변화시키기에 충분한 열을 발생시키므로 비이커와 교반기 사이에 스티로폼 같은 절연체를 넣어 이러한 영향을 제거한다.
3. 증류수로 전극을 항상 깨끗이 세척하여 건조시킨다. 오염을 방지하기 위해 깨끗하고 건조된 종이를 사용한다.
4. 시료의 이온세기가 높다면 시료와 비슷한 조성의 표준용액을 준비한다.
5. 보정을 할 경우 새로 준비한 표준용액을 사용한다.
6. 시료와 표준용액 각 100 ml 에 ISA 2 ml를 첨가한다.
7. 표준용액이나 시료에 전극을 넣은 후, membrane에 공기방울이 맺히지 않았는지를 항상 확인한다.
8. 농도가 큰(>0.1M) 시료는 측정하기 전에 희석하여 사용한다.

시료의 조건

모든 시료는 유기 용매를 포함하지 않는 수용액이어야 한다. 유기물질은 epoxy electrode 몸체를 용해시킬 뿐 아니라 전극몸체와 sensing crystal을 연결하는 시멘트를 녹일 수 있다. Methanol, benzene, 그리고 acetonitrile을 포함하는 용액도 자주 측정하지 않을 경우 측정이 가능하다.

표준용액과 시료는 80℃ 미만의 같은 온도로 유지되어야 한다. 온도에서 1℃ 차이가 날 경우 기울기에서 약 4% 오차가 발생된다.

만약 방해물질이 존재한다면 방해물질과 전극의 감응 란에 설명된 방법을 이용하여 이 물질을 제거한다.

Cadmium hydroxide, Cd(OH)₂의 침전이 생기는 것을 피하기 위하여 1M HNO₃로 pH를 7 이하로 맞춘다.

측정 단위

Cadmium ion 이온은 parts/million, equivalents/liter, moles/liter, 혹은 다른 농도 단위로 측정된다.

표 1. 농도 단위 변환 factors

<u>ppm Cd⁺²</u>	<u>moles/liter(M)</u>
1124.0	1.0x10 ⁻²
112.4	1.0x10 ⁻³
11.2	1.0x10 ⁻⁴

4. 전극의 특성

재현성

만약 전극을 매 시간 보정한다면 전극측정을 j 2%까지 재현할 수 있다. 온도의 변화, 이동, 그리고 noise 같은 요소는 재현성에 영향을 준다. 그러나 재현성은 전극의 작동 범위에 해당하는 농도에 무관하다.

전극의 작동에 영향을 주는 요소

1. 방해물질

Silver 금속의 표면층은 강한 환원제에 의해 형성된다. 만약 불용성 염을 형성하는 이온이 시료내에 높은 농도로 존재할 경우 silver salt 층은 membrane에 침전된다. 이러한 경우에 membrane을 닦아서 salt 층을 제거할 수 있다. membrane을 닦는 방법은 전극의 감응을 참고한다.

Cadmium 이온 전극은 음이온이나 대부분의 양이온을 감응하지 않는다. 전극의 membrane은 copper, mercury, 그리고 silver를 포함하는 용액에 의해 오염된다. 따라서 이들 이온은 용액에 존재하지 않아야 한다.

만약 철(II) 혹은 납 이온의 농도가 시료에서 cadmium 이온의 농도보다 클 경우 측정에 영향을 주므로 시료에 sodium fluoride를 첨가하여 철(II) 이온을 제거한다.

2. 침전 및 착물형성

Sulfide, carbonate, oxalate, phosphate, hydroxide, 그리고 다른 이온은 불용성의 cadmium salt를 형성하여 침전한다. Cadmium 이온의 농도, 침전을 형성하는 이온의 농도, 그리고 시료의 pH는 침전물 형성에 영향을 준다.

Acetate, ammonia, bromide, chloride, citrate, cyanide 그리고 EDTA를 포함하는 물질은 cadmium과 착물을 형성한다. 전체 cadmium 농도, 착물을 형성하는 물질의 농도, 용액의 pH 그리고 ionic strength(이온세기) 모두가 착물의 형성 정도를 결정한다. 착물형성은 free cadmium 이온의 농도를 감소시키고 전극은 free cadmium 이온에만 감응하기 때문에 오차가 발생한다.

3. 온도의 영향

전극의 전위가 온도에 영향을 받기 때문에 표준용액과 시료는 $\pm 1^\circ\text{C}$ 내에 있어야 한다. $1.0 \times 10^{-3}\text{M}$ 에서 1°C 온도차로 인해 4% 오차가 발생된다. 전극은 용해도 평형 영향을 받으므로 기준 전극의 전위 값은 온도에 따라 천천히 변한다. 전극의 기울기는 Nernst equation에서 factor "S"로 나타내고 이 값은 온도에 따라서 변화한다. 표2는 온도의 변화에 따른 이론적인 기울기 값이다.

표 2. 온도에 따른 전극의 기울기 값

온도 ($^\circ\text{C}$)	S
0	27.10
10	28.10
20	29.08
25	29.58
30	30.07
40	31.07
50	32.06

만약 온도가 변화한다면 전극을 다시 보정한다.

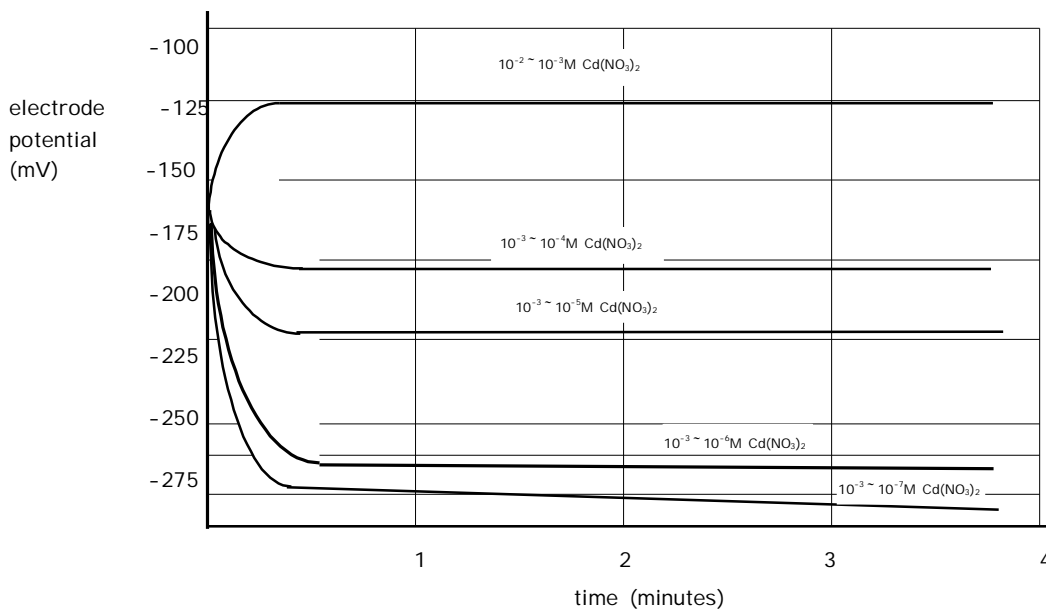
pHoenix Cadmium Ion Electrode는 온도의 평형이 이루어졌다는 가정하에 $0^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ 의 온도범위에서 사용할 수 있다. 만약 온도가 실온에서 상당히 떨어져 있다면 평형시간이 약 1시간 정도 필요하다.

전극의 감응

Cadmium 이온의 농도 변화에 따라서 전극의 mV 전위를 semi-logarithmic 종이에 그려 27 mV/decade의 기울기의 일직선을 얻는다(그림3 참고).

전극 전위의 안정성이 99%에 도달하는데 필요한 시간, 즉 전극 감응 시간은 $1.0 \times 10^{-6}\text{M}$ cadmium 농도의 용액에서 1분 이내이지만 10^{-6}M 미만에서는 상당히 더 긴 시간이 소요된다(그림1 참고).

그림 1. $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 의 농도변화에 따른 전극의 감응



전극의 기울기가 감소하거나 전위 값이 계속 한쪽으로 변화할 경우 전극의 membrane을 닦아줄 필요가 있다.

막(membrane)을 닦는 방법

1. Polishing paper를 사용할 경우, 종이 1-2장을 바닥에 깔고 중앙에 증류수를 몇 방울 떨어뜨린다.
2. 한쪽 손에 종이(면)를 잡고 종이에 전극의 막을 거꾸로 수직이 되게 올려놓고 몇 초동인 polishing paper(면)의 표면에 전극의 끝부분을 문지른다.
3. 전극의 표면을 증류수로 세척하여 사용하기 전에 약 5분 동안 표준용액에 전극의 끝부분을 넣어둔다.
4. 만약 보석상에서 사용하는 물감을 이용할 경우, 테이블 위에 cotton ball을 올려놓고 비이커의 바닥으로 평평하게 한다.
5. Cotton pad의 중앙에 증류수를 1-2 방울 떨어뜨린다.
6. 축축한 cotton에 물감을 약간 첨가한다.
7. 위의 단계 2-3을 반복 실행한다.

검출 한계

순수한 cadmium nitrate 용액에서 높은 농도의 검출 한계는 0.1M 이상이다. 다른 이온의 존재하에서 검출 한계는 $1.0 \times 10^{-2}M$ 이상이 된다. 그러나 이 검출 한계에 영향을 주는 두 가지 factor가 있다. 기준 전극에서 발생하는 liquid junction potential(액체 접촉 전위)와 salt(염)의 추출 효과 사이에 속한다. 어떠한 salt(염)는 높은 농도에서 전극의 membrane(막)에 추출되어 이론적인 감응으로부터 편차가 생긴다. 시료를 1M과 $1.0 \times 10^{-2}M$ 사이로 희석하거나 4 혹은 5 중간 point에서 전극을 보정한다.

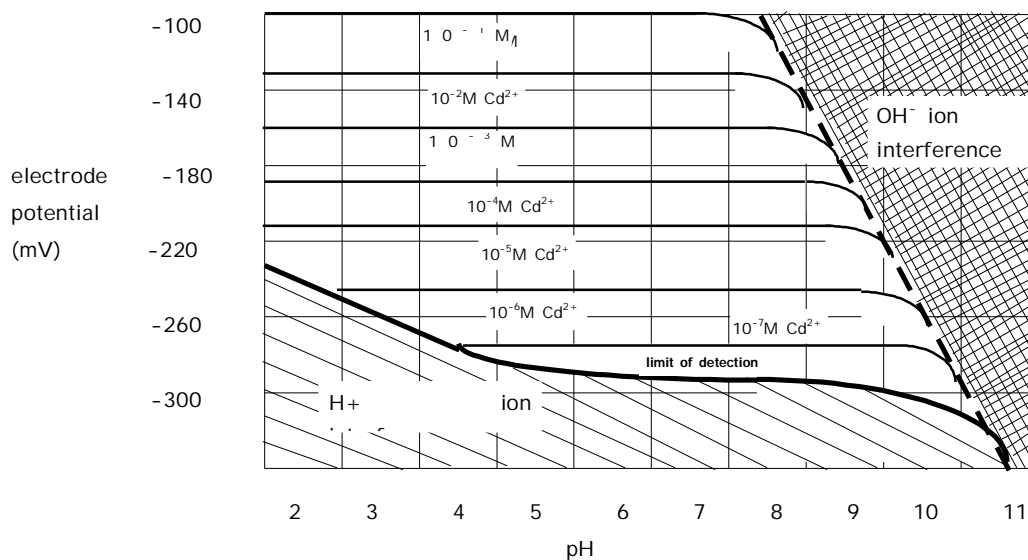
농도가 낮은 쪽에서의 검출한계는 전극 pellet의 용해도에 영향을 받는다. 그림 1은 낮은 농도의 cadmium에서 이론적인 감응과 실제 감응을 비교하여 보여준다. Free cadmium을 포함하는 중성 용액의 경우 $1.0 \times 10^{-7}(0.01 \text{ ppm})$ 까지 측정할 수 있다. 그렇지만 시료의 오염을 방지하기 위해서 $1.0 \times 10^{-5}M(1.1 \text{ ppm})$ 미만에서 측정할 경우에는 특별한 주의가 필요하다.

pH 효과

그림 2는 다양한 pH의 용액에서 전극이 cadmium 이온을 감응하는 정도를 보여준다. 수소이온은 낮은 농도의 cadmium 이온 측정을 방해한다. Cadmium 이온의 농도가 방해작용 없이 측정될 수 있는 최소한의 pH는 그림4에서 어둡게 칠해진 영역 위의 검출한계 선으로 주어진다.

높은 pH에서, free cadmium 이온은 수산화 이온과 침전하여 cadmium 이온의 농도를 감소시킨다. Cadmium 농도가 수산화 이온으로부터 방해작용 없이 측정될 수 있는 최대 pH는 그림2에서 OH⁻ ion interference 영역의 왼쪽 점선으로 된 부분이다. OH⁻ ion interference 영역에서 cadmium은 수산화 이온과 결합하여 Cd(OH)₂를 형성한다. Cadmium 이온 전극은 free cadmium 농도만을 측정할 수 있기 때문에 오차가 발생한다.

그림 2. 순수한 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 용액의 pH 변화에 따른 전극의 전위, at 25°C



전극의 수명

pHoenix Cadmium Electrode는 보통 실험실에서 사용할 경우에 적어도 6달 정도 사용할 수 있다. 사용에 따라, 전극의 수명이 몇 달 단축될 수 있다. 이러한 경우에 감응시간은 증가하고 전극의 기울기는 감소하여 point 보정이 어려우므로 전극을 교체하여야 한다.

전극의 기울기 확인 (* 측정하는 동안에도 용액을 계속 저어준다)

; 전극이 올바르게 작동하는지 알아보기 위하여 기울기를 확인한다.

전극의 기울기는 보통 농도 차가 10배인 표준용액 두 가지를 이용하여 측정한다.

1. pH/mV meter 이용

1. 150 ml 비이커에 증류수 100 ml와 ISA 2 ml를 넣어 자석교반기 위에 올려놓고 일정한 속도로 저어준다(용액 A). Meter가 mV mode로 되어 있는지를 확인하고 전극의 끝부분을 용액에 넣는다.
2. 피펫을 사용하여, 위의 용액(A)에 0.1M 혹은 1000 ppm cadmium 표준용액 1 ml를 첨가한다. Meter의 읽는 값이 안정해지면 그 값(mV)을 기록한다.
3. 피펫을 사용하여, 2에서 사용한 동일한 표준용액 10 ml를 위의 용액(A)에 첨가한다. Meter의 읽는 값이 안정되면 그 값(mV)을 기록한다.
4. 두 기록된 값의 차이를 결정한다. 용액의 온도가 20 ~ 25 °C라는 가정 하에서 전극이 올바르게 작동하였다면 27 ± 2 mV의 차가 얻어진다. 만약 전위의 변화가 이 영역을 벗어날 경우 문제해결방법을 참고한다.

기울기는 농도가 10배로 변화할 때 나타나는 전위의 변화로 정의된다.

2. Ion meter 이용

1. 0.1M 혹은 1000 ppm 표준용액을 serial 희석하여 10배로 변화하는 낮은 농도의 cadmium 표준용액을 준비한다(용액 A).
2. 위에서 준비한 용액(A) 중 농도가 낮은 표준용액 100 ml 와 ISA 2 ml를 150ml 비이커에 넣는다. 비이커를 자석교반기를 이용하여 일정한 속도로 저어주고 용액에 전극의 끝부분을 넣는다. Meter가 농도 mode로 있는지를 확인한다.
3. Meter를 측정하는 표준용액의 농도에 맞추고 제조회사의 설명서에 따라서 memory하여 값을 고정시킨다.

4. 전극을 증류수로 세척하여 건조시킨다.
5. 150 ml 비이커에 농도가 높은 표준용액 100 ml와 ISA 2 ml를 넣어 자석교반기로 일정한 속도를 유지하면서 저어준 후 이 용액에 전극의 끝부분을 넣는다.
6. Meter를 측정하는 표준용액의 농도에 맞추고 이 값을 memory하여 고정시킨다.

Meter 제조회사의 설명서에 따라서 전극의 기울기를 읽는다. 기울기가 90-100%이면 올바른 전극의 작동을 나타낸다. 만약 기울기가 이 영역 내에 있지 않다면 문제해결방법을 참고한다.

※ 이스택의 Ion meter를 이용할 경우 기기 설명서에 적혀진 보정방법을 이용하여 기울기를 확인한다.

5. 측정 방법

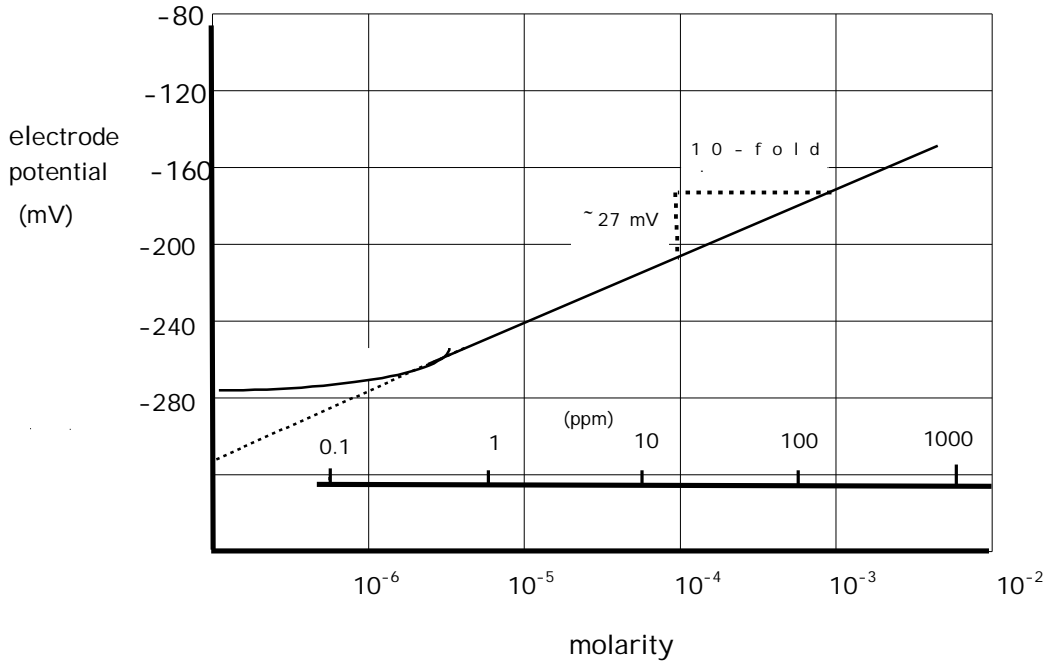
Cadmium 이온의 직접 측정(* 측정하는 동안에도 용액을 계속 저어준다)

; 직접측정에는 pH/mV meter를 이용하는 경우와 Ion meter를 이용하는 경우 두 가지가 있다. 시료와 표준용액의 이온세기는 ISA를 첨가함으로써 같아진다. 시료와 표준용액의 온도는 같아야 한다.

1. pH/mV meter 이용

1. 0.1M, 1000, 혹은 100 ppm의 표준용액을 serial 희석하여 10^{-2} M, 10^{-3} M, 10^{-4} M, 혹은 1000, 100, 10 ppm 표준용액을 준비한다. 각 표준용액 100 ml에 ISA 2 ml를 첨가한다.
2. 150 ml 비이커에 위에서 준비한 용액 중 가장 묽게 희석시킨 용액(1.0×10^{-4} M 혹은 10 ppm) 100 ml를 넣고 자석교반기를 이용하여 일정한 속도로 저어준다. Meter가 mV mode로 있는지 확인하고 전극을 용액에 넣는다. Meter의 읽는 값이 안정해지면 값(mV)을 기록한다.
3. 위에서 준비한 용액 중 중간 농도로 희석시킨 표준용액(1.0×10^{-3} M 혹은 100 ppm) 100ml를 150 ml 비이커에 넣고 자석교반기로 일정하게 저어준다. Meter가 mV mode에 있는지 확인하고 세척하여 건조시킨 전극을 용액에 넣는다. Meter의 읽는 값이 안정해지면 그 값을 기록한다.
4. 농도가 가장 큰 용액(1.0×10^{-2} M 혹은 1000 ppm) 100 ml를 150 ml 비이커에 넣고 교반기로 용액을 일정하게 저어준다. Meter가 mV mode에 있는지 확인하고 세척하여 건조시킨 전극을 용액에 넣는다.
5. 위에서 얻어진 data를 semi-logarithmic graph 종이 위에 농도(가로 축-로그형태)의 변화에 따른 mV(세로 축)을 표시하여 그래프를 그린다. 1.0×10^{-5} M 이하로 보정곡선을 연장하여 그린다. 아래의 그림3은 일반적인 보정곡선이다.

그림 3. Cadmium 전극의 보정곡선



곡선의 직선 영역에서 보정곡선을 결정하는데 3가지 표준용액이 필요하다. 비선형부분에서 측정 point가 첨가된다. 비선형부분에서는 측정 point를 첨가하는데 농도가 위의 표준용액보다 낮은 표준용액으로 측정한다. 선형부분에서는 직접 측정 방법을 이용하고 비선형부분에서는 낮은 농도를 측정하는 방법 이용한다.

- 150 ml 비이커에 시료 100ml와 ISA 2ml를 넣고 자석교반기로 일정하게 저어준다. 전극의 끝부분을 증류수로 세척하여 건조시킨 후 용액에 전극의 끝부분을 넣고 meter의 읽는 값이 안정되면 그 값을 기록한다. 보정곡선으로부터 농도를 직접 구한다.
- 전극을 2시간마다 다시 보정해야 한다. 온도(실온)의 변화가 없다는 가정 하에 중간농도의 표준용액에 전극의 끝부분을 넣는다. Meter의 읽는 값이 안정되면 값을 위의 단계 3에 기록된 값과 비교한다. ± 5 mV 이상 차이가 나거나 온도가 실온에서 변화할 경우 위의 2-5 과정을 반복하여 전극을 재보정한다.

2. Ion meter 이용

- 0.1M이나 1000 ppm cadmium 표준용액을 serial 희석하여 시료의 예상 농도와 비슷한 농도의 cadmium 표준용액을 준비한다. 150 ml 비이커 두개를 준비하여 표준용액을 100 ml씩 각각 넣고 ISA 2 ml를 각각 첨가한다.
- 위에서 준비한 두 표준용액 중 낮은 농도의 표준용액을 자석교반기 위에 올려놓고 일정한 속도로 저어준다. Meter가 농도 mode로 있는지를 확인하고 용액에 전극의 끝부분을 넣는다.
- Meter를 측정된 cadmium 표준용액의 농도에 맞추고 meter의 읽는 값이 안정되면 meter 제조회사의 설명서에 따라서 memory하여 값을 고정시킨다.
- 증류수로 전극의 끝부분을 세척하여 건조시킨다.
- 위에서 준비한 용액 중 높은 농도의 표준용액을 자석교반기 위에 올려놓고 일정한 속도로 저어주고 전극의 끝부분을 용액에 넣는다.

6. Meter를 측정할 cadmium 표준용액의 농도에 맞추고 읽는 값이 안정되면 meter 제조사의 설명서에 따라서 값을 memory하여 고정시킨다.
7. 150 ml 비이커에 시료 100 ml와 ISA 2 ml를 넣고 자석교반기로 일정하게 저어준다.
8. 세척하여 건조시킨 전극의 끝부분을 용액에 넣고 읽는 값이 안정해질 때까지 기다린다. Meter display로부터 직접 농도를 구한다.
9. 전극을 2시간마다 다시 보정해야 한다. 온도의 변화가 없다는 가정 하에 전극의 끝부분을 첫 번째 cadmium 표준용액에 넣는다. Meter의 읽는 값이 안정해지면 위의 과정 3에서 기록된 값과 비교한다. 읽는 값이 $\pm 0.5\text{mV}$ 이상 차이가 나거나 온도차 실온에서 변화할 경우 위의 과정 2-6을 반복해야 한다. Meter를 매일 다시 보정한다.

※ 이스택의 Ion meter를 이용할 경우 기기 설명서에 적혀진 보정 및 측정방법을 참고한다.

낮은 농도의 Cadmium 측정

1. pH/mV meter 이용

이 방법은 1.0^{-5}M (1.1 ppm) 이하의 cadmium 용액에 적합하다. 만약 용액이 이온세기는 높으나 cadmium ion 농도가 낮다면 같은 방법을 사용한다. 단, 시료와 비슷한 조성의 보정용액을 준비한다.

1. 표준 ISA 20 ml를 증류수로 100 ml까지 희석한다. 희석시킨 ISA (1.0M NaNO_3)를 100 ml 시료에 1 ml씩 첨가한다. 이온세기가 $1.0 \times 10^{-2}\text{M}$ 로 맞춰진다.
2. 0.1M 표준용액 1 ml를 100 ml로 희석하여 $1.0 \times 10^{-4}\text{M}$ 용액을 준비한다. 이 용액 1 ml를 희석하여 moles/liter로 측정하는 경우에 사용할 10^{-4}M 표준용액을 만들고 ppm으로 측정하는 경우에는 1000 ppm 1 ml를 100 ml로 희석하여 1 ppm 표준용액을 준비한다. 표준용액은 매일 새로 준비한다.
3. 150 ml 비이커에 증류수 100 ml와 위(1)에서 준비한 낮은 농도의 ISA 1 ml를 넣어 자석교반기로 일정하게 저어준다.
4. 전극의 끝부분을 용액에 넣고 meter가 mV mode로 되어 있는지를 확인한다.
5. $1.0 \times 10^{-4}\text{M}$ 혹은 10 ppm 표준용액을 첨가하여 용액을 준비한다. 표3을 참고한다.
6. Meter의 읽는 값이 안정해지면 그 값을 각각 기록한다.

표 3. 낮은 농도의 Cadmium 측정에 대한 단계별 보정값

단계	피펫	첨가 부피(ml)	농도	
			M	ppm
1	A	0.1	1.0×10^{-7}	0.01
2	A	0.1	2.0×10^{-7}	0.02
3	A	0.2	4.0×10^{-7}	0.04
4	A	0.2	6.0×10^{-7}	0.06
5	A	0.4	9.9×10^{-7}	0.10
6	B	2.0	2.9×10^{-6}	0.29
7	B	2.0	4.8×10^{-6}	0.48

피펫 A = 1 ml graduated pipet

피펫 B = 2 ml pipet

용액 : 단계 3에서 준비한 것과 같이 10 ppm 혹은 $1 \times 10^{-4}\text{M}$ 표준용액을 첨가하여 100 ml로 희석한다.

7. 그림 3에서와 같이 농도(가로 축-로그형태)의 변화에 따른 전극 전위, mV(세로축)의 변화를 semi-logarithmic graph 종이에 표시하여 그래프를 그린다.
8. 전극을 세척하여 건조시킨다.
9. 150 ml 비이커에 시료 100 ml와 위(1)에서 준비한 ISA 1 ml를 넣고 자석교반기로 일정하게 저어주면서 전극의 끝부분을 용액에 넣는다. Meter의 읽은 값이 안정해지면 mV 전위를 기록한다. 낮은 농도의 보정곡선으로부터 농도를 결정한다.
10. 낮은 농도의 보정곡선을 매일 새로 준비한다. 위의 단계 3-7을 반복하여 매 2시간 보정곡선을 확인한다.

2. Ion meter 이용

1. 표준 ISA 20 ml를 증류수로 100 ml까지 희석한다. 희석시킨 ISA(1.0M NaNO₃)는 100 ml 시료에 1 ml씩 첨가한다. 이온세기가 $1.0 \times 10^{-2} M$ 로 맞춰진다.
2. Ion meter를 이용하여 cadmium의 직접측정에 사용되는 방법 (위에 기록된 방법)에 설명된 6번째 단계까지 동일하게 실시한다.
3. 150 ml 비이커에 증류수 100 ml와 위(1)에서 준비한 ISA 1 ml를 넣는다. 용액을 자석 교반기로 일정하게 저어준다.
4. 용액에 전극의 끝부분을 넣고 meter의 읽는 값이 안정해지면 meter 제조회사의 설명서에 따라서 meter에 바탕 값을 고정시킨다.
5. Ion meter를 이용하여 cadmium의 직접측정에 사용되는 방법 (위에 기록된 방법)에 설명된 8-9 단계를 동일하게 실시한다. 단, 위(1)에서 설명된 낮은 농도의 ISA를 사용한다.

적정

적정은 전체 cadmium 이온의 농도를 매우 정확히 측정할 수 있다. 이 방법은 EDTA를 titrant로써 사용하였을 때 종말점 검출기로 전극을 사용한다.

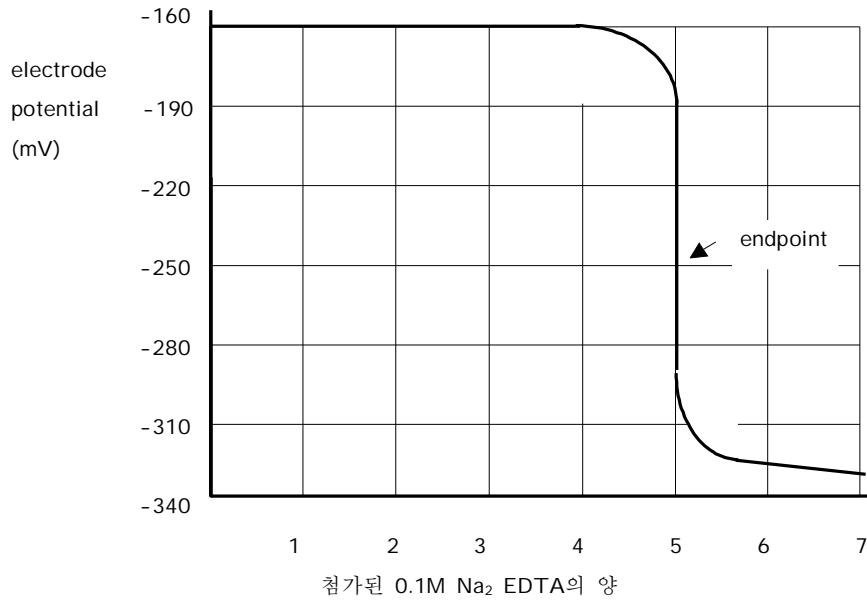
Cadmium Ion | 적정

여기에서 설명된 방법은 cadmium 이온을 포함하는 시료에 대해서 종말점 검출기로 cadmium 이온 전극을 사용한다. 여기서 사용되는 titrant는 EDTA이다.

EDTA는 cadmium뿐만 아니라 다른 양이온과 착물을 형성한다. 암모니아를 첨가하여 시료의 pH를 10으로 맞추므로써 원하지 않는 이온착물을 제거할 수 있다. 경우에 따라서 masking agent를 첨가한다.

1. 앞의 준비 용액에 주어진 stock EDTA titrant를 준비한다. 예상되는 시료의 농도와 같도록 EDTA를 10-20배 희석한다. 종말점을 정확히 검출하기 위해서 시료의 농도는 적어도 1×10^{-4} cadmium 이어야 한다.
2. 위(1)에서 희석한 EDTA 용액을 50 ml 뷰렛에 채운다. 피펫을 사용하여 시료 100 ml를 150 ml 비이커에 넣고 자석교반기로 일정하게 저어준다. 암모니아를 이용하여 시료를 pH 10으로 맞춘다.
3. 뷰렛의 끝부분을 비이커의 수면 약간 위에 그리고 비이커의 중앙에서 약간 옆으로 위치시키고 전극의 끝부분을 비이커의 중앙과 유리면 사이의 용액에 놓는다.
4. EDTA를 0.5 ~ 1.0 ml씩 첨가한다. 전위가 좀 더 빠르게 변화하면 0.1 ~ 0.2 ml씩 첨가한다. 첨가한 후 각각의 mV 전위를 기록한다. 종말점이 지난 후 0.5 ~ 1.0 ml씩 첨가해도 mV 값이 거의 변화가 없을 때까지 계속해서 몇 ml를 첨가한다.
5. 그래프 용지에 첨가된 EDTA의 양(ml)에 따른 mV 전위의 변화를 기록하여 그래프를 그린다(그림 4 참고). 전위의 변화가 가장 큰 곳이 종말점이다.

그림 4. 적정곡선(암모니아로 pH가 10으로 맞춰진 $5 \times 10^{-3} \text{M Cd(NO}_3)_2$ 를 0.1M Na_2EDTA 로 적정)



6. 시료의 cadmium 이온 농도는 다음 계산으로 구할 수 있다.

$$M_{\text{Cd}^{+2}} V_{\text{Cd}^{+2}} = V_t M_t$$

$$M_{\text{Cd}^{+2}} = \frac{V_t M_t}{V_{\text{Cd}^{+2}}}$$

- where, $M_{\text{Cd}^{+2}}$ = 미지의 cadmium 이온 농도 (moles/liter)
 V_t = 종말점까지 첨가된 EDTA의 부피
 M_t = EDTA의 농도 (moles/liter)
 $V_{\text{Cd}^{+2}}$ = 미지 시료의 부피 (100 ml)

6. 전극 이론

전극의 작동

pHoenix Cadmium Ion Electrode는 cadmium sulfide와 epoxy 혹은 glass body에 부착되어 있는 다른 금속으로 구성된다. Membrane이 cadmium 이온을 포함하는 용액과 접촉할 때 membrane 사이에서 전위가 발생한다. 이 전극의 전위는 pH/mV meter 혹은 특별한 이온 meter를 이용하여 일정한 기준 전위에 대하여 측정된다. 측정된 전위에 해당하는 cadmium 이온의 농도는 Nernst equation에 의해 설명된다.

$$E = E_0 + S \log X$$

where :

- E = 측정된 전극 전위
 E_0 = 기준 전위(상수)
 S = 전극의 기울기 ($\sim 27\text{mV/decade}$)
 X = 용액에서 cadmium 이온의 농도

활동도(X)는 용액 내에서 이온의 효과적인 농도를 나타낸다. 전체 cadmium 이온 농도(C_t)는 착물화된 cadmium 이온(C_b)과 free cadmium 이온(C_f)을 포함한다. Cadmium 이온 전극은 단지 free ion에 해당되기 때문에 free ion의 농도는 다음과 같다.

$$C_f = C_t - C_b$$

활동도는 활동도 계수(γ)에 의해 free ion 농도(C_f)와 연관된다.

$$X = \gamma C_f$$

활동도, X는 용액 내에서 free cadmium 이온의 효과적인 농도를 나타낸다.

활동도 계수는 전체 이온 세기, I 에 의존한다.

$$-\log \gamma = -\frac{0.5 Z_x^2 \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}}$$

$$I = 1/2 \sum C_x Z_x^2$$

where,

C_x = 이온 X의 농도

Z_x = 이온 X의 전하

\sum = 용액내의 모든 이온의 합

감지되는 이온의 농도에서 이온세기가 일정하면서 높은 경우에 활동도 계수(γ)는 일정하고 활동도(X)는 농도에 비례한다.

여러 농도에서 이온 세기를 일정하면서 높은 값으로 유지하기 위해서 cadmium 이온을 포함하는 모든 시료와 표준용액에 ionic strength adjuster(ISA)를 첨가한다. Cadmium 전극에 대해 적합한 ISA는 sodium nitrate, NaNO_3 이다. 이 용액 이외에 다른용액은 용액에 포함되는 이온이 cadmium 이온에 대한 전극의 응답을 방해하지 않을 경우에 ISA로써 사용할 수 있다. Ionic strength가 높은 시료(> 0.1M)는 ISA를 첨가할 필요가 없고 이러한 용액의 표준용액은 시료와 비슷한 조성으로 준비해야 한다.

다음으로 기준전극을 고려해야만 한다. 액체 접촉 전위(liquid junction potential)는 다른 조성으로 이루어진 두 가지 용액이 서로 접촉될 때 발생한다. 두 용액의 경계면을 통해 이온이 다른 속도로 확산하므로 두 용액 사이에서 전위의 차가 생긴다. 기준전극이 표준용액에서 뿐만 아니라 시료용액에 있을 때 같게 나타나거나 액체 접촉 전위로 인해 변화되는 이 전위는 측정된 전극 전위에서 오차로 나타날 것이다.

기준 전극에서 liquid junction filling solution의 조성은 매우 중요하다. filling solution에서 양이온과 음이온이 시료로 확산되는 속도는 가능한 한 거의 같아야하고 filling solution은 투명해야한다. 만약 양전하와 음전하가 시료로 이동되는 속도가 같다면 접촉전위는 고려하지 않아도 된다. 강산성(pH = 0-2)이거나 강염기(pH = 12-14)는 측정하는데 특히 어려움이 따른다. 시료에서 수소와 수산화(hydroxide) 이온의 높은 이동도(mobility)로 인하여 염의 농도에 따른 접촉 전위의 영향을 제거하기가 불가능하다. 이러한 경우에는 시료와 같은 pH 영역에서 전극을 보정하거나 이온 측정에 알려진 increment method를 사용한다.

7. 문제해결 방법

기본 요소

문제해결에 있어서 가장 중요한 원칙은 system을 구성하는 성분을 교대로 각각 조사한다. System의 구성성분은 1) meter, 2) 유리 기구, 3) 전극, 4) 표준용액, 5) 시료, 6) 측정기술 등이다.

1. Meter

Meter는 오차의 요인을 제거할 수 있는 가장 기본적인 구성성분이다. 대부분의 meter는 설명서에 있는 방법을 확인하는 기구로 제공되고 문제해결을 위해 필요하다. 앞에서 설명된 방법을 고려하여 지시된 바와 같이 meter가 작동하는지 그리고 모든 단계에서 안정한지를 확인한다.

2. 유리기구

정확한 측정을 하기 위해서는 유리기구가 항상 깨끗해야 한다. 유리기구는 순한 세척제로 깨끗이 닦아 증류수로 세척하여 건조시킨다.

3. 전극

전극의 기울기 확인에 설명된 방법을 이용하여 전극을 확인한다.

1. 전극의 기울기 확인하는 과정에서 증류수를 사용하였는지 확인한다.
2. 전극이 예상되는 것과 같이 감응하지 않는다면 측정시 유의사항 과 전극의 감응을 참고하여 기울기를 다시 확인한다.
3. 아직도 전극이 예상되는 것과 같이 감응하지 않는다면 올바르게 작동하는 cadmium 이온 전극으로 기울기를 다시 확인한다. 만약 문제가 계속 발생한다면 working reference electrode으로 확인한다.
4. 문제가 지속된다면, 표준용액이 불순하거나, 시료가 방해물질을 포함할 경우, 혹은 측정기술에서 생긴 오차로 인한 것이다(아래의 표준용액 & 시약, 시료, 그리고 측정기술을 확인한다).
5. 전극을 test 목적으로 이용할 수 없거나 혹은 사용하는데 있어서 전극이 문제가 발생할 경우 설명서를 보고 다시 확인한다.
 - 전극을 깨끗이 세척한다.
 - 전극을 올바르게 준비한다.
 - 적합한 filling solution을 사용한다.
 - 적절한 ISA를 사용하여 용액의 pH와 이온세기를 맞춘다.
 - 올바르게 정확하게 측정한다.
 - 문제해결방법을 재확인한다.

4. 표준 용액 & 시료

예전에 아무 문제없이 이용하였던 측정 방법에서 문제가 발생되었다면 표준용액과 시료를 확인한다. 이러한 문제가 발생했을 경우 항상 표준용액을 다시 준비하는 것이 시간을 절약하는 방법이다. ISA의 오염, 표준용액 희석의 정확성, 증류수의 순도, 혹은 수학적인 계산착오 등으로 오차가 발생된다.

5. 시료

만약 전극이 표준물질에서만 올바르게 작동하고 시료에서 작동하지 않은 경우 가능한 방해물질, 착물형성 물질, 혹은 감지하는 전극이나 기준전극의 감응에 영향을 주거나 물리적으로 방해물 일으키는 물질이 있는지를 확인한다. 문제를 제거하기 위해 test 이전에 시료의 조성을 확인한다(시료가 필요로 하는 조건과 방해물질을 다시 읽어본다).

6. 측정 기술

전극의 검출한계를 벗어났는지 확인한다. 그리고 분석방법을 정확히 이해하고 이 분석방법이 시료에 적합한지 확인한다. 설명서를 다시 읽어본다. **Introduction**과 전극의 특성을 다시 읽어본다.

발생문제에 따른 문제해결 방법

발생 문제	요 인	문제해결방법
Meter에 표시되는 값이 영역을 벗어남	meter의 결함	meter 설명서를 참고하여 확인
	전극의 결함	전극의 작동 란을 확인한다.
	전극이 적절히 연결되지 않음	전극을 빼고 다시 연결
	기준 전극이 filling solution 으로 채워지지 않음	기준전극에 filling solution을 다시 채운다.
	membrane에 공기방울이 맺혀 있다.	전극을 꺼냈다가 다시 용액에 넣어 공기방울을 제거한다.
	전극이 용액에 담겨있지 않음	전극을 용액에 넣는다.
Meter에 표시되는 값이 안정 하지 않음(값이 계속 변함)	meter의 결함	meter 설명서를 참고하여 확인
	ISA가 사용되지 않음	추천된 ISA를 사용한다.
	membrane에 공기방울이 맺혀 있다.	전극을 꺼냈다가 다시 용액에 넣어 공기방울을 제거한다.
	전극이 방해물질에 노출되어 있다.	전극을 cadmium 표준용액에 넣어둔다.
	전극의 결함	전극을 교체한다.
	meter와 교반기가 바닥에 놓여 있지 않다.	meter와 교반기를 바닥에 놓는다.
Drift (meter에 표시되는 값이 한 방향으로 천천히 변함)	시료와 표준용액의 온도가 다르다.	측정하기 전에 용액을 실온으로 맞춘다.
	전극이 착물을 형성하는 물질에 노출되어 있다.	침전 및 착물형성 란을 확인한다.
	적합하지 않은 internal filling solution	제공된 filling solution을 사용한다.
기울기가 낮거나 얻어지지 않음	표준용액이 오염되었거나 잘못 만들어짐	새로운 표준용액을 준비한다.
	ISA가 사용되지 않음	추천된 ISA를 사용한다.
	표준용액을 ISA로써 사용함	ISA를 사용한다.
	전극이 착물을 형성하는 물질에 노출되어 있다.	침전 및 착물형성 란을 확인한다.
	membrane에 공기방울이 맺혀 있다.	전극을 꺼냈다가 용액에 다시 넣어 공기방울을 제거한다.

발생 문제	요 인	문제해결방법
보정곡선은 올바르게 얻어졌으나 잘못된 값을 얻음	semi-log 종이의 눈금이 바르지 않음	가로축에 mV를 표시하고 세로축에 로그형태로 농도를 표시한다. 각 decade가 증가함에 따라 농도가 증가하는지를 확인한다
	잘못된 표시	mV 값이 정확히 표시되어 있는지를 확인한다.
	표준용액이 맞지 않음	표준용액을 다시 준비한다.
	잘못 사용된 단위	변환 계수가 바르게 적용되었는지 확인한다. $1 \times 10^{-3} \text{M} = 112 \text{ ppm Cd}^{+2}$
	시료내에 착물을 형성하는 물질이 포함되어 있다.	침전 및 착물형성관을 확인한다; 적정을 이용

8. Cadmium 전극의 기본적인 특성

농도 범위 : $10^{-1} \text{M} \sim 10^{-7} \text{M}$

(11,200 ~ 0.01 ppm)

pH 범위 : 2 ~ 12

온도 범위 : 0 ~ 80 °C

저항 : < 1 MΩ

시료 : 유기용매를 포함하지 않는 수용액이어야 한다.

크기 : 길이 - 110 mm

지름 - 12 mm

케이블 길이 : 1 m

보관 : Cadmium 용액에 보관한다.

9. 구매에 필요한 자료

P/N	설명
C D 2 1 5 0 1	Cadmium Ion Electrode, mono (reference electrode necessary), epoxy body
C D 2 1 5 0 2	Calcium Ion Electrode, combination, glass body
C D 2 1 5 0 3	Calcium Ion Electrode, combination, epoxy body
5 7 3 1 4 2 9	Reference Electrode, double junction, sleeve, epoxy body, for use with the CD21501
C D 2 I S 0 1	Ionic Strength Adjuster (ISA), 5M NaNO ₃
R 0 0 1 0 1 1	Electrode Filling Solution, 4M KCl/AgCl, for the 5731429 inner chamber
R 0 0 1 0 1 5	Electrode Filling Solution, 1M KNO ₃ , for the 5731429 outer chamber and the CD21502 electrode
R 0 0 1 0 4 6	Electrode Filling Solution, 1M KNO ₃ /0.1M KCl, for the CD21503 electrode
9 4 8 2 0 1	Polishing Paper for the Cadmium Ion Electrodes

◆ 이온 전극 사용시 주의사항

1) 전극의 주위 환경을 청결히 합니다.

전극의 주의 환경은 기기의 수명을 좌우합니다. 먼지가 많은 곳이나 습기찬 곳에서는 가능한 사용하지 말아주시기 바랍니다.

2) 이온 전극에 알맞은 보관상태를 유지하시기 바랍니다.

본 전극은 전극의 보관상태에 민감하므로 수차례 세척 후 전극에 적합한 상태에서 보관하시기 바랍니다.

짧은 기간 보관시 : 전극 보관용액에 보관

장기간 보관시 : 전극내의 Filling Solution 제거 후 전극 내부 및 외부를 깨끗이 세척하여 전극 뚜껑으로 닫은 후 전극 케이스에 보관합니다.

3) 구입한 전극을 함부로 개조하지 말아주시기 바랍니다.

메이커에서는 개조한 기기에 대해서는 책임을 지지 않습니다.

4) 구매 후 6개월이 경과된 전극에 대해서는 교환 및 환불이 불가합니다.

본 전극은 대기상태의 미세먼지의 흡착 및 사용과실로 전극내의 미세한 Membrane을 오염시킬 수 있으므로 사용하지 않은 전극일지라도 6개월이 경과된 전극은 교환이 불가합니다.

5) 본 전극의 수명은 보통 실험실에서 사용할 경우 6달 정도 사용할 수 있습니다.

사용여부에 따라 작동수명이 몇 달로 단축될 수 있습니다. 감응시간이 증가하고 보정 곡선의 기울기가 감소할 경우에 point 보정이 어려우므로 새 전극으로 교체하여야 합니다.

6) 사용자 과실(세척미비, 보관상태 불량 및 사용 부주의)에 의해 발생한 사항에 대해서는 교환이 불가합니다.

7) 본 이온전극 사용설명서를 숙지하시고 이온전극을 사용하시기 바랍니다.