

# 방사성전기영동분석체계를 리용한 방사성In, Ga화합물의 전기영동에 대한 연구

정철진, 석철

전해질용액속에서의 수평식전기영동법은 미량의 무담체방사성핵종의 상태와 많은 물리화학적, 열력학적 및 운동학적상수들을 결정할수 있는 편리한 방법이다.[3-8]

우리는 방사성전기영동분석체계를 리용하여  $^{111}\text{In}^{3+}$ 과  $^{67}\text{Ga}(\text{OH})_3$ 의 전기영동도와 이온세기사이의 관계, In-DTPA의 안정상수 등을 결정하였다.

## 실험 방법

방사선스펙트르분석기의 변환통로는 512이며 방사능은 NaI(Tl) 섬광검출기로 측정하였다.[1] pH는 완충용액으로, 이온세기는  $\text{KNO}_3$ 으로 조절하고 방사성원천으로는  $^{111}\text{InCl}_3$ 을 리용하였다.

최대방사능판정법(그림 1)으로 인디움이온을 무한희석할 때 전기영동도를 결정하였다.

5mL(200kBq)정도의  $\text{In}^{3+}$ 용액을 전기영동관에 주입하고 고압을 걸어주었다. 형성된 방사능구역은 전기영동관에서 전기마당(10V/cm)에 의하여 이동해간다. 다음 전기마당을 없애고 영동관의 방사능분포를 측정하였다.

## 실험결과 및 해석

$^{111}\text{In}(\text{III})$ 이온의 무한희석때 전기영동도결정 매질의 이온세기에 따르는 In이온의 전기영동도변화는 그림 2와 같다.

전기영동도와 이온세기사이에는 다음과 같은 경험식이 성립한다.[6]

$$U(I) = U_0 - (B_1 U_0 + B_2) \frac{\sqrt{I}}{1 + B_3 \sqrt{I}} \quad (1)$$

그림 2로부터 결정한 In이온의 무한희석때 전기영동도는  $6.5 \cdot 10^{-4} \text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 로서 선행연구결과( $6.5 \cdot 10^{-4} \text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ [3])와 일치하였다.

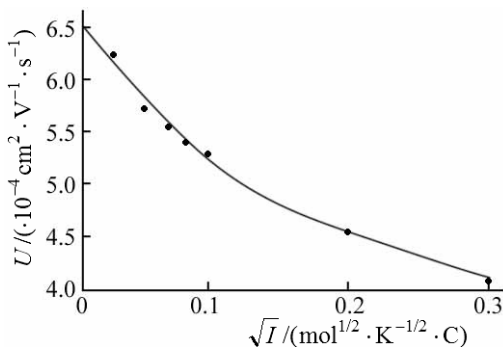


그림 2. 이온세기에 따르는 In이온의 전기영동도변화

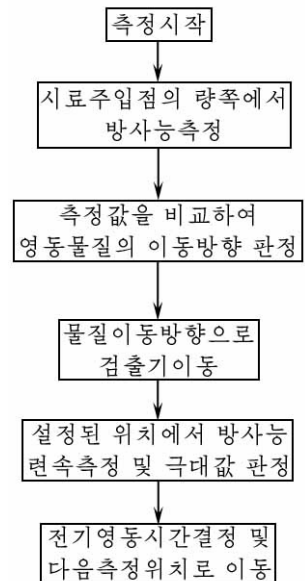


그림 1. 최대방사능판정 알고리즘

핵종에 따르는 전기영동도 변화  $^{111}\text{InCl}_3$  용액과  $^{137}\text{CsNO}_3$  용액을 동시에 영동관에 주입하고 영동시간에 따르는 거리변화를 측정 한 결과는 그림 3, 4와 같다.

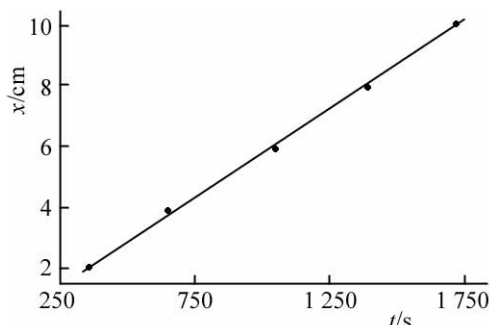


그림 3.  $^{111}\text{InCl}_3$  용액에서 영동시간에 따르는 거리변화

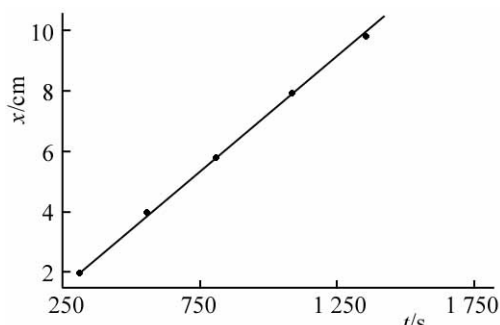


그림 4.  $^{137}\text{CsNO}_3$  용액에서 영동시간에 따르는 거리변화

그림 3, 4에 의하여 매 용액의 전기영동도값을 계산한 결과  $^{137}\text{CsNO}_3$  용액에서  $U = (7.48 \pm 0.08) \cdot 10^{-4} \text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $^{111}\text{InCl}_3$  용액에서  $U = (5.86 \pm 0.05) \cdot 10^{-4} \text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

따라서  $^{137}\text{Cs}^+$ 과  $^{111}\text{In}^{3+}$ 을 동시에 표식하여 핵종에 따르는 이온의 전기영동도를 결정할 수 있다.

In-DTPA의 안정상수결정과  $^{67}\text{Ga}(\text{OH})_3$ 의 수화과정  $^{111}\text{In}$ 을 리용하여 In-DTPA를 표식하고 온도  $25^\circ\text{C}$ , 전기마당의 세기  $10\text{V/cm}$ , 용액의 이온세기 0.1의 조건에서 pH에 따르는 In-DTPA의 전기영동도변화를 측정 한 결과는 그림 5와 같다.

그림 5로부터 결정한 In-DTPA의 안정상수값은  $\beta \approx 1.14 \cdot 10^{29}$  또는  $\lg \beta \approx 29.06$ 이다.

온도  $25^\circ\text{C}$ , 용액의 이온세기 0.1, 전기마당의 세기  $10\text{V/cm}$ 의 조건에서 pH에 따르는

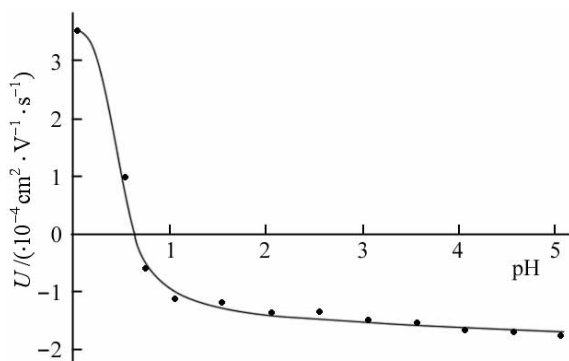


그림 5. pH에 따르는 In-DTPA의 전기영동도변화

$^{67}\text{Ga}(\text{OH})_3$ 의 전기영동도변화를 측정 한 결과는 그림 6과 같다.

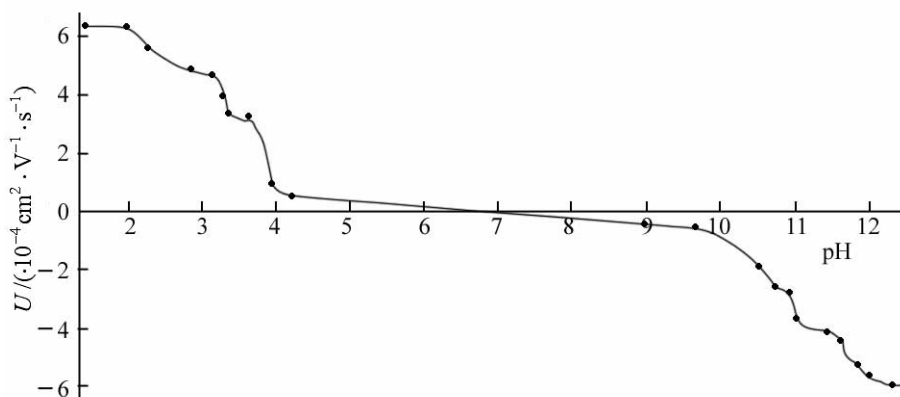


그림 6. pH에 따르는  $^{67}\text{Ga}(\text{OH})_3$ 의 전기영동도변화

그림 6으로부터 계산한  $\text{Ga}(\text{OH})_3$ 의 산 및 염기로서의 해리상수값은 표 1, 2와 같다.

표 1.  $\text{Ga}(\text{OH})_3$ 의 염기로서의 해리상수값

pH	$\bar{U}/(10^{-4}\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	실험값	리론값[2]
10.52	1.97	$k_1=7.03 \cdot 10^{-11}$	—
11.02	3.74	$k_2=1.74 \cdot 10^{-11}$	$1.6 \cdot 10^{-11}$
11.85	5.24	$k_3=1.41 \cdot 10^{-12}$	$4 \cdot 10^{-12}$

표 2.  $\text{Ga}(\text{OH})_3$ 의 산으로서의 해리상수값

pH	$\bar{U}/(10^{-4}\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	실험값	리론값[2]
3.94	0.97	$k_1=1.69 \cdot 10^{-11}$	—
3.26	3.96	$k_2=1.60 \cdot 10^{-11}$	$4.8 \cdot 10^{-11}$
2.27	5.63	$k_3=2.17 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-12}$

표 1, 2에서 보는바와 같이 해리상수값들은 리론값들과 큰 차이가 없다고 볼수 있다. 이온의 확산결수결정 확산의 제2법칙은 다음과 같다.

$$\partial C / \partial t = -D(\partial^2 C / \partial x^2) \quad (2)$$

여기서  $C$ 는 확산물질의 농도,  $t$ 는 확산시간,  $x$ 는 확산거리,  $D$ 는 확산결수이다.

확산물질의 초기농도를  $M_0$ 이라고 하면 식 (2)로부터 다음과 같은 풀이를 얻을수 있다.

$$C(x, t) = \frac{M_0}{2\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) \quad (3)$$

이로부터 표준두제곱편차와 확산결수는 다음과 같이 표시된다.

$$\sigma^2(t) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = \int_0^\infty x^2 \frac{1}{\pi Dt} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) dx = 2Dt \quad (4)$$

$$D = \sigma^2(t) / 2t \quad (5)$$

식 (5)를 리용하여 시간에 따르는 방사능분포상태로부터 확산결수를 결정할수 있다.

영동관에서 확산시간에 따르는  $^{111}\text{In}(\text{III})$ 과  $[\text{In-DTPA}]^{2-}$ 의 방사능분포곡선은 그림 7, 8과 같다.

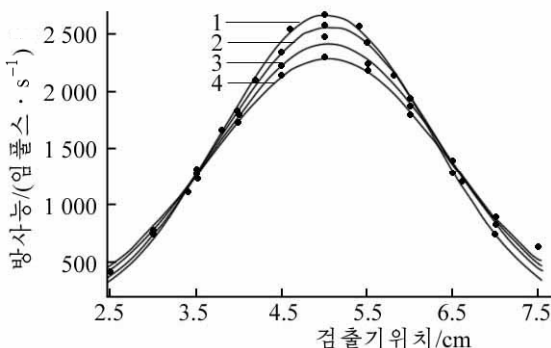


그림 7. 확산시간에 따르는  $^{111}\text{In}(\text{III})$ 의 방사능분포곡선

1-4는 확산시간이 각각 3, 6, 9, 12h인 경우

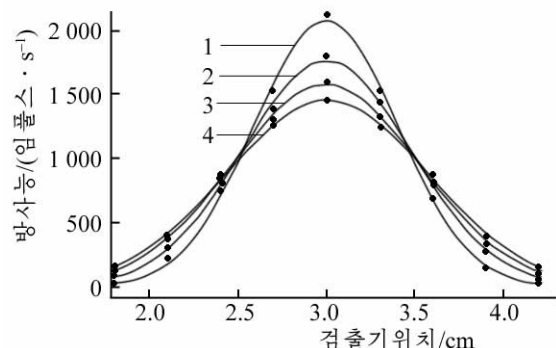


그림 8. 확산시간에 따르는  $[\text{In-DTPA}]^{2-}$ 의 방사능분포곡선

1-4는 확산시간이 각각 3, 6, 9, 12h인 경우

그림 7, 8로부터 결정한  $^{111}\text{In}(\text{III})$ 과  $[\text{In-DTPA}]^{2-}$ 의 확산결수는 각각  $(7.45 \pm 0.09) \cdot 10^{-6}$ ,  $(2.46 \pm 0.05) \cdot 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ 이다.

## 맺 는 말

우리는 방사성전기영동분석체계를 리용한 전기영동도결정방법을 확립하였다.

$\text{In}^{3+}$ 의 무한희석때 전기영동도는  $6.5 \cdot 10^{-4} \text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 이고  $^{111}\text{In}$ -DTPA의 안정상수값은 약  $1.14 \cdot 10^{29}$ 이며  $^{111}\text{In}^{3+}$ 의 확산계수는  $(7.45 \pm 0.09) \cdot 10^{-6} \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 이었다.

또한  $^{67}\text{Ga}$ 을 리용하여 Ga이온의 전기영동도를 측정하여 해리상수를 결정한 결과 선행 연구결과와 큰 차이가 없다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 55, 9, 98, 주체98(2009).
- [2] 류상근 등; 무기화학(비과도원소), 김일성종합대학출판사, 191, 1996.
- [3] Г. Д. Бончев и др.; ОИЯИ, Р6-2000-77, Дубна, 2000.
- [4] А. Н. Приемышев и др.; ОИЯИ, Р13-2000-43, Дубна, 2000.
- [5] A. Laznickova et al.; J. Radioanal. Nucl. Chem., 273, 3, 583, 2007.
- [6] P. I. Ivanov et al.; J. Radioanal. Nucl. Chem., 258, 3, 639, 2003.
- [7] E. Tomarchio et al.; Radiation Physics and Chemistry, 80, 3, 318, 2011.
- [8] 刘平 等; 核技术, 28, 1, 69, 2005.

주체105(2016)년 1월 5일 원고접수

## On the Electrophoresis of Radioactive In and Ga Compounds using Radioactive Electrophoresis Analytical System

*Jong Chol Jin, Sok Chol*

We studied on the existence state and behavior of  $^{67}\text{Ga}(\text{OH})_3$  in solution and determined the physicochemical constant of radioactive  $^{111}\text{In}(\text{III})$ , indium-diethylentriaminepentaacetacid( $^{111}\text{In}$ -DTPA) in a free electrolyte by the horizontal zone electrophoresis using the radio-electrophoresis analytical system.

Key words: electrophoresis, In-DTPA, physicochemical constant