ANALYTICAL SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 9, No. 1, 1996
Printed in the Republic of Korea

# 모세관 전기영동 분석에서 계면 동전기 주입에 미치는 공존 이온의 영향

이광우† · 전지영* · 이광필*
한국표준과학연구원 화학방사선연구부
*경북대학교 화학교육과
(1995. 10. 2. 접수)

# Effect of Coexisting Ions on Electrokinetic Injection in Capillary Electrophoresis Analysis

**Kwang-Woo Lee†, Ji-Young Jeon*, Kwang-Pill Lee***
*Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-700, Korea*
**Department of Chemistry Education, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea*
(Received Oct. 2, 1995)

**요약 :** 원자력 발전소의 배관 부식 등의 방지를 위하여 초순수에 첨가되는 고순도 시약 중의 미량 음이온 성분을 모세관 전기영동법에 의하여 정량하는 분석법을 개발하였다.

전해질은 5mM 크롬산염(pH=8.0)을, 캐필러리는 내경이 50 또는 75㎛인 석영 캐필러리 내부를 염화 삼메틸 실란으로 처리하여 사용하였다. 기타 기기 조건은 전압 20kV, 검출은 254nm에서 간접 자외흡수법을 사용하였고 주요 정량 성분은 $Cl^-$, $NO_3^-$, $SO_4^{2-}$, $N_3^-$, $PO_4^{3-}$ 등이며, 시료 주입은 시료 농도가 1ppm 이상일 때는 유체역학적 주입법으로, 1ppm 이하는 계면 동전기 주입법을 적용하였다.

특히 본 연구에서는 시료 주입시 공존 이온의 영향을 조사한 결과 유체역학적으로 시료를 주입할 때는 시료 내 공존하는 음이온의 영향이 크게 없었으나, 계면 동전기적인 시료 주입시에는 공존하는 이온량과 전기영동적 이동도에 따라 분석 이온의 신호 크기가 크게 변함을 확인하였으며, 각 분석 성분 주입량, 즉 신호 크기는 시료 용액의 저항에 비례하였다. 따라서, 분석 이온보다 과량의 공존 이온 존재하에 계면 동전기 주입법으로 분석할 경우 시료 용액과 표준 용액의 전기 전도도 차이를 보상할 수 있는 표준물 첨가법 또는 내부 표준물법 등의 적절한 방법을 반드시 사용해야 한다.

**Abstract :** A rapid analytical method based on capillary electrophoresis is described for the determination of trace anions in high-purity chemicals which is used to prevent corrosion demage in nuclear power plants.

Separations are carried out at 20kV using trimethylsilane-coated fused-silica capillary (70cm×50 or 75㎛ i.d.) with the electrolyte of 5mM Chromate(pH=8). Detection was achieved using on-column indirect photometry at 254nm. The simultaneous analysis of inorganic anions, chloride, nitrate, sulfate, azide and phosphate was performed using methods of hydrodynamic(>1ppm) and/or electrokinetic(<1ppm) injection.

The results of studies on the coexisting anions on analyte ions shows that peak responses of analyte in hydrodynamic injection is constant without effect of coexisting anions, but

those of analytes in electrokinetic injection is strongly dependant upon the kind of coexisting anions and its ionic mobility. The analyte enrichment rate, hence peak response, is positive relationship with the resistance of the sample solution. Thus, appropriate measures, such as standard addition or internal standard technique, must be used to account for differences in conductance of standard and sample solutions

**Key words** : Capillary electrophoresis, Electrokinetic injection, Matrix effect, Inorganic anions.

## 1. 서 론

전기영동은 전기장 내에서 인력 또는 반발력에 의해서 이온이 서로 다르게 이동하는 현상[1]으로, 외부 전압 하에서 이온들은 각각의 전기영동적 이동도에 비례하는 속도를 가진다. 서로 다른 분자들은 평균 전하량, 크기, 모양, 용매 성질에 의존하는 서로 다른 이동도를 가지며, 이러한 결과가 전기영동적 분리 기술의 기본 원리를 이룬다.[2] 전기영동적 분리 기술은 1937년 Tiselius[3]에 의해 처음 도입되었으며, 1980년대 초기에 Jorgenson과 Lukacs[4]가 내경 100$\mu$m 이하의 캐필러리를 이용한 CE를 개발한 이후 급속도로 발전되고 있는 분리 분석 기술이다. CE에서의 분리 메카니즘은 크로마토그래피에서의 분리 메카니즘과는 다르므로 상호 보완적인 분석이 가능하며, 분석법의 개발이 간단하고, 적은 양의 시료를 소모하며 유기 용매를 거의 사용하지 않아도 된다는 장점이 있다.[1]

모세관 전기영동은 무기 음이온[5~10], 양이온[11], 유기산[10], 계면활성제[10~13], 광학이성질체[14,15]의 분리에 사용되었으며, 최근에는 단세포의 감응을 이용하는 biosensor에 모세관 전기 영동을 결합[16]시키고, 모세관 전기영동 분리와 질량 분석법을 결합[17]시킨 결과도 발표되고 있다.

무기 음이온과 유기 음이온은 환경과학, 핵산업, 화학산업에 중요하며, 전통적으로 음이온 교환수지나 양이온성 계면활성제로 변형된 소수성 정지상을 가진 이온 크로마토그래피가 전도도 검출기나 자외선 검출기로 무기 음이온을 분석하는 데 많이 사용되고 있다.[5] 최근 도입된 CE 방법은 IC에 비해 시료 주입량과 용매 소비량이 훨씬 적으며, 더 짧은 시간 내에 100배 정도 더 큰 분리효율(이론 단수)로 분리 분석할 수 있다.

최적화된 간접 자외 검출과 유체역학적 주입을 사용한 모세관 전기영동의 검출 한계는 보통의 무기 이온에 대해서 $\mu$M 범위이지만, 계면 동전기 주입에 의한 시료 주입시 검출 한계를 $\mu$M에서 nM 범위로 낮추어 줄 수 있다는 것이 알려져 있다.[9]

무기 음이온의 전기영동적 분리에 사용되는 전해질로는 크롬산이온이 주로 사용되었다.[5~9] 크롬산이온을 사용한 모세관 전기영동은 pulped wood sample[6], urine 중의 음이온 성분 분석[7]과 환경 시료 중 흔적량 음이온 정량[8]에 응용되었다. 발전소에서 증기 생성을 위해 사용되는 물, 반도체 제조에 사용되는 초순수, 다른 많은 종류의 물 시료 중의 nM 범위의 음이온이 일상적으로 측정된다. 지난 10~15년간, 이온 크로마토그래피가 물 시료 내의 흔적량 음이온 분석에 선택된 방법이었으나, 시료 내 음이온의 완전한 분석은 coupled separation mode나 gradient IC와 같은 비교적 복잡한 방법으로만 가능하다는 것이 널리 알려져 있다.[9] 이러한 IC system의 복잡성 때문에 CE를 이용한 미량 음이온 신속분석법을 개발하였다. 본 연구에서는 유체역학적 주입법과 계면 동전기 주입법에 의한 시료 주입량을 비교하고, 시료 용액의 저항과 시료 주입량과의 관계와 동속 전기영동 조건을 이루게 해줄 것으로 예상되는 sodium dodecyl sulfate의 영향도 조사하였다. 본 연구에서 개발된 방법을 사용하여 고순도 시약 중의 음이온을 정량하였다.

## 2. 실 험

### 2. 1. 기기 및 장치

분석에 사용된 기기는 DIONEX CES-1 system (Dionex, USA)과 spectra PHORESIS 1000™ system(Thermal Separation Product), 그리고 표준과학연구원에서 자체 제작한 CE system(KRISS-CE)이었다.

캐필러리는 SUPELCO, INC.에서 구입한 내경이

50㎛인 것과 75㎛인 투명한 석영 캐필러리를 사용하였는데, 캐필러리 내벽의 안정성을 위해서 염화 삼메틸실란으로 내벽을 처리하여 사용했다. 검출은 캐필러리 직접 검출(on-capillary detection)로 254nm에서 간접 자외 흡수법으로 수행되었다. 용액의 전기 저항은 Video Bridge 2150(Electro Scientific Industries)으로 측정하였다.

### 2. 2. 시약 및 표준액

본 연구에서 사용된 음이온 시료 용액은 표준과학연구원에서 제조 검정된 음이온 표준 용액(100mg/kg)을 필요할 때마다 묽혀서 사용하였다. 물은 이온교환수지 탑으로 1차 탈염한 것을 Millipore사의 Milli-Q water purification system으로 재탈염하여 사용하였다.

### 2. 3. 전해질 용액의 조제

음이온 분리를 위한 전해질은 먼저, 50mM sodium chromate 저장용액을 만들어 놓고, 필요할 때마다 이 용액을 묽혀서 사용하였다. 음이온 분리에 사용한 완충 용액은 5mM 크롬산이온과 전기 삼투적 흐름(electroosmotic flow ; EOF)을 역전시키기 위해 1.5wt. % ANION-BT(Waters)를 포함하도록 매일 만들었고, 이 완충 용액은 사용하기 전에 0.2㎛ 필터로 여과하고 탈기체하였다.

### 2. 4. 모세관 내벽의 처리

캐필러리 내벽의 상태를 재현성 있게 만들기 위하여 캐필러리 내벽을 실릴화하였다. 캐필러리를 주사기를 이용하여 증류수와 이소 프로필 알코올(iso-propyl alcohol ; IPA)로 차례로 씻어 준 뒤에 질소 기체로 정화하였다. 염화 삼메틸 실란으로 캐필러리를 채우고 나서 20분 정도 방치한 후에, 다시 질소 기체로 정화하고 IPA와 증류수로 씻어서 사용하였다. 캐필러리를 사용할수록 내벽에 결합된 실록산기가 떨어져 나갈 수 있으므로 2주에 한 번씩 캐필러리를 주기적으로 실릴화시켰다. 처리하지 않은 캐필러리를 사용했을 때보다 실릴화시킨 캐필러리를 사용했을 때 더 적은 전류가 발생했다.

### 2. 5. 전기영동 분석

모세관을 0.1M NaOH로 2분간, 증류수로 2분간, 사용 전해질로 2분간 씻은 후에 유체역학적 방법이나 계면 동전기적인 방법으로 시료를 주입하였다. 사용 전해질이 들어 있는 저장 용기에 담겨진 모세관 양쪽 끝에 20kV의 전압을 가함으로써 분리가 시작된다. 분리 용출되는 각 음이온은 254nm에서 간접 자외 흡수법으로 측정하였다. 얻어진 일렉트로페로그램에서 각 피크 면적은 임의의 단위이므로 그림에서 단위를 표시하지 않았다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3. 1. 실험 개요

용융 실리카 캐필러리를 사용하는 일반적인 CE system에서 전기 삼투적 흐름의 방향은 양극에서 음극으로 향하고, 시료는 양극에서 주입된다. 전기 삼투

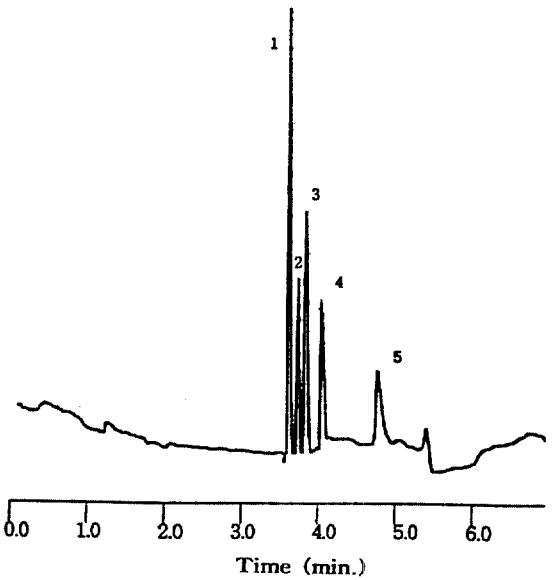



*Fig.* 1. Separation of inorganic anions
Electrolyte : 5mM chromate containing 1.5wt. % ANION-BT(pH 8)
Capillary : 50㎛ i.d.×70cm
Applied voltage : 20kV
Detection : 254nm indirect UV
Injection : Hydrodynamic injection for 9sec.
Peak identification : 10ppm each of (1) chloride, (2) sulfate, (3) nitrate, (4) azide, (5) orthophosphate.

적 흐름은 매우 강하므로 실리카 캐필러리의 내벽이 음전하를 띠고 있다고 하더라도 모든 분석물들이 양극쪽으로 움직이게 하지만, 음이온을 분석하려고 하는 경우에 분석 시간을 짧게 해주기 위해서 전기 삼투적 흐름을 바꾸어 줄 필요가 있다. 본 연구에서는 전기 삼투적 흐름의 방향을 바꾸는 변형제로 Waters-Millipore사의 ANION-BT를 사용하였다. 시료는 양극쪽에서 주입되고, 검출기는 음극쪽에 위치했다.

실험에 사용된 무기 음이온들은 자외선 흡수를 보이지 않는 물질들이므로, 254nm에서 자외선을 흡수하는 크롬산이온을 바탕 전해질로 사용하여 간접 자외 흡광검출법을 사용하였다.

음이온 5종, 즉 chloride($Cl^-$), sulfate($SO_4^{2-}$), nitrate($NO_3^-$), azide($N_3^-$), orthophosphate($PO_4^{3-}$)의 전형적인 일렉트로페로그램은 *Fig.* 1과 같으며 5가지 무기 음이온을 5분 이내에 분리할 수 있었다.

### 3. 2. 시료 주입 시간과 주입 전압

음이온 농도가 각각 10ppb인 음이온 혼합액을 주입 전압을 5kV로 하여 제면 동전기법으로 주입할 때 주입 시간에 따른 각 음이온 피크의 면적을 *Fig.* 2(a)에 나타내었다.

주입 전압이 5kV일 때, 주입 시간이 증가함에 따라 피크 면적도 증가하였으나, $PO_4^{3-}$를 제외한 다른 이온들의 피크 면적은 40초 이상에서는 증가하지 않았다. 이것은 주입 시간이 증가하여도 캐필러리 주위의 이온들이 먼저 주입되고 나서 벌크 용액 내의 이온이 주입되기는 어렵기 때문인 것으로 생각된다. 주입 전압이 10kV일 때는, 주입 시간이 증가함에 따라 피크 면적도 크게 증가하였으나 많은 양의 주입으로 인하여 인접 피크들이 서로 겹치는 단점이 생기는 결과를 얻었다.

주입 전압에 의한 영향을 조사하기 위하여 주입 시간을 10초로 하고, 전압을 변화시키면서 실험한 결과가 *Fig.* 2(b)와 같다. 주입 시간이 10초일 때, 각 이온의 주입량이 전압이 증가함에 따라 역시 증가하는 경향을 보이고 있지만 10kV 이상에서는 증가하지 않음을 알 수 있다. 따라서, 최적 시료 주입 조건은 시료 주입 전압이 5kV일 때는 40초, 10kV일 때는 20초 이내로, 본 실험에서 시료의 주입은 5kV에서 10초 혹은 45초 동안 수행하였다.

### 3. 3. 매트릭스 효과

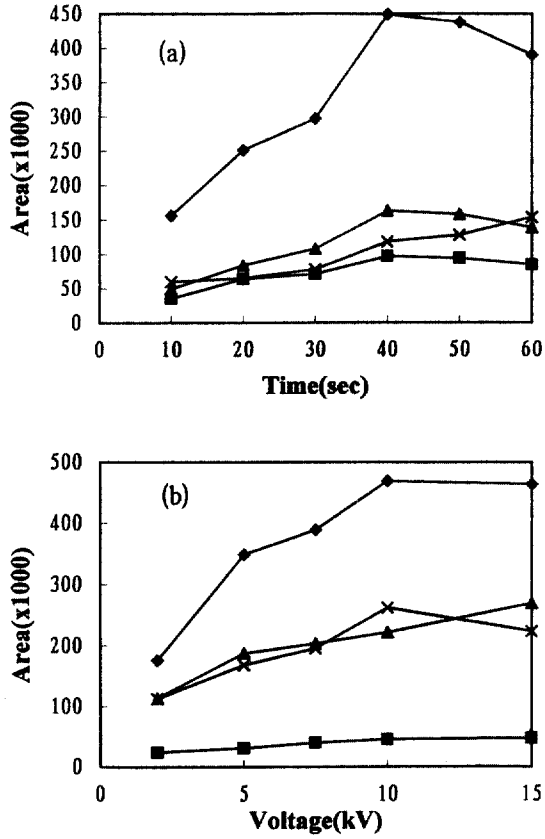



*Fig.* 2. Effect of injection time and voltage on peak area

Concentration : 10ppb each
(a) : Injection voltage : 5kV
(b) : Injection time : 10 sec.
Other conditions are the same as in *Fig.* 1.
(◆) : $Cl^-$ (■) : $SO_4^{2-}$ (▲) : $NO_3^-$
(×) : $PO_4^{3-}$

양이온인 금속 이온의 분석에서 금속 양이온의 안정도를 위해 용액을 산성으로 만들어 주는 것은 잘 알려져 있으나 음이온 성분의 안정성을 높이는 방법은 잘 알려져 있지 않다. 따라서 용액 중에 미량으로 존재하는 분석 음이온들의 안정성을 조사하기 위해 중성, 염기성, 산성 조건하에서 1가 이온인 $Cl^-$와 2가 이온인 $SO_4^{2-}$를 제면 동전기 주입에 의한 CE 분석 결과를 *Fig.* 3에 나타내었다.

*Fig.* 3에서 중성, 염기성, 산성의 어느 조건하에서도 음이온의 피크 면적이 일정하게 유지되지 않음을 알 수 있다. 또한 NaOH 용액과 $HClO_4$ 용액에서의 피크 면적이 중성 용액에서의 피크 면적에 비해서 많이 줄

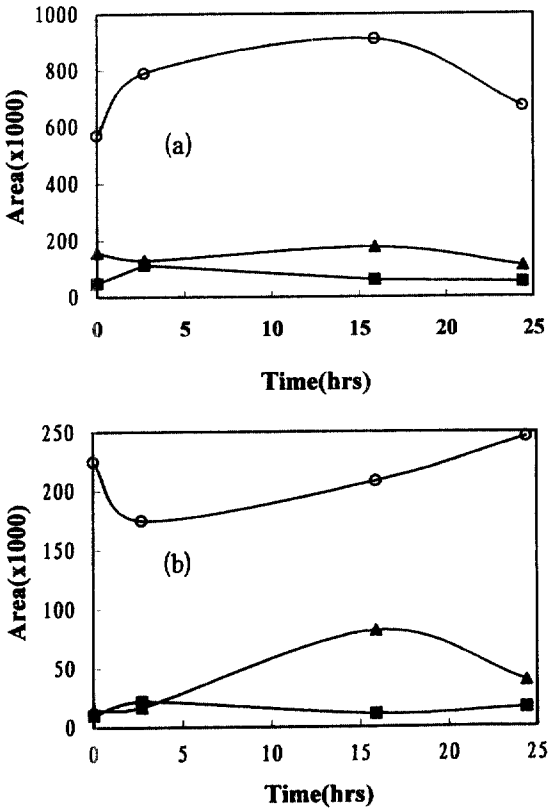



*Fig.* 3. Effect of matrix on area of anion in electrokinetic injection

Injection : Electrokinetic injection for 45sec. at 5kV

(a) : 100ppb $Cl^-$, (b) : 100ppb $SO_4^{2-}$

Other conditions are the same as in *Fig.* 1.

(○) : $H_2O$ (■) : NaOH(0.5g/100g)

(▲) : $HClO_4$(1g/100g)

어든 것을 볼 수 있다. 이것은 용액에 존재하는 $OH^-$와 $ClO_4^-$이온의 양이 분석 이온에 비해 과량으로 존재하기 때문에, 이들 이온이 더 많이 주입됨으로써 상대적으로 $Cl^-$, $SO_4^{2-}$는 수용액에서보다 훨씬 적게 주입되기 때문이며, NaOH 용액 중의 음이온이 $HClO_4$ 용액 중의 음이온보다 더 작은 피크 면적을 나타내는 것은 $OH^-$의 전기영동적 이동도가 $ClO_4^-$보다 크기 때문이다.

### 3. 4. 유체역학적 주입과 계면 동전기 주입의 비교

$Cl^-$, $SO_4^{2-}$, $NO_3^-$, $PO_4^{3-}$ 중 전기영동적 이동도가

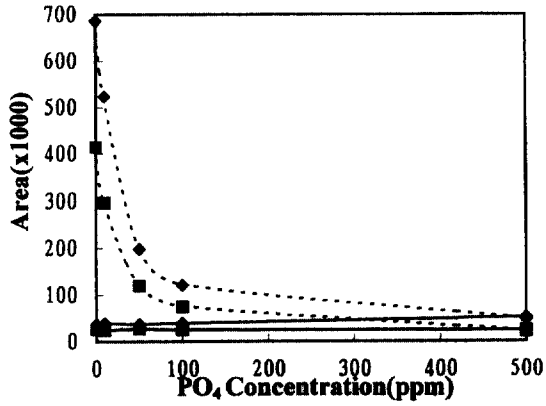



*Fig.* 4. Comparison of hydrodynamic and electrokinetic injection

Anion concentration : 1ppm each

(——) : Hydrodynamic injection(10cm, 30sec)

(·····) : Electrokinetic injection(5kV, 10sec)

Other conditions are the same as in *Fig.* 2.

(◆) : $Cl^-$ (■) : $SO_4^{2-}$

느린 $PO_4^{3-}$의 농도를 증가시키면서 유체역학적 주입법과 계면 동전기 주입법으로 시료를 주입하여 피크 면적을 비교해 본 결과(*Fig.* 4), 첨가된 $PO_4^{3-}$의 양이 증가될수록 계면 동전기 주입법에 의해 주입된 시료의 양은 급격히 감소하였으나, 유체역학적 주입에 의한 주입량은 크게 변하지 않았다. 첨가된 $PO_4^{3-}$의 농도가 500ppm일 때는 두 주입법에 의한 주입량이 거의 같았다.

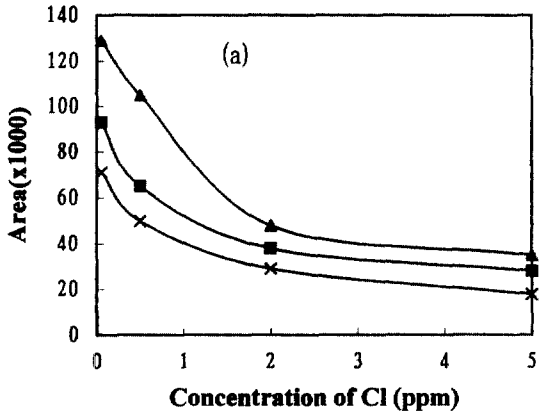
즉, 과량의 다른 이온이 분석 이온과 공존하면 일반적으로 알려져 있는 계면 동전기 시료 주입법의 시료 농축 효과가 없어짐을 알 수 있다.

### 3. 5. 시료 용액의 저항과 peak area와의 관계

분석 이온 중 전기영동적 이동도가 가장 빠른 $Cl^-$의 농도를 증가시키면서 각 시료 용액의 저항과 각 음이온의 피크 면적을 측정한 결과를 *Fig.* 5에 나타내었다.

$Cl^-$ 농도에 따른 피크 면적은 *Fig.* 5(a)에서 보여 주는 것과 같이 $PO_4^{3-}$의 경우와 비슷한 결과를 얻었으며 시료 용액의 전기 저항과 각 이온의 피크 면적은 비례하였다(*Fig.* 5(b)).

용액 중에 분석 이온들과 공존하는 다른 이온의 양이 많아지면 용액의 전기 저항이 감소하고 공존 이온



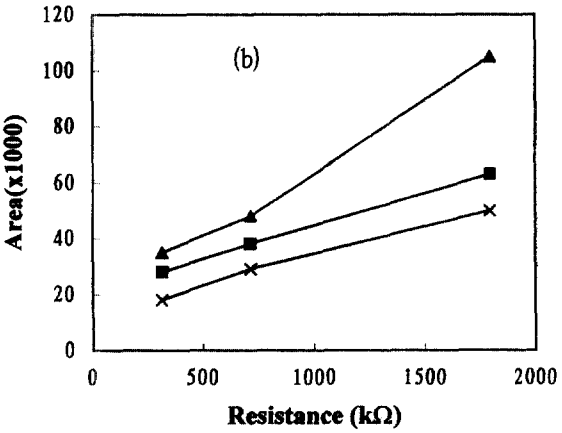




*Fig.* 5. Relationship between area and resistance of sample solution
Anion concentration : 50ppb each
Injection : Electrokinetic injection for 10sec. at 5kV
(a) : Effect of $Cl^-$ on electrokinetic injection
(b) : Area & resistance of sample solution
Other conditions are the same as *Fig.* 2.
(■) : $SO_4^{2-}$ (▲) : $NO_3^-$ (×) : $PO_4^{3-}$

에 의해 시료 이온의 주입량도 감소하므로 시료 용액의 전기 저항과 분석 이온의 피크 면적은 비례한다.

### 3. 6. Sodium dodecyl sulfate의 영향

시료에 적당한 양의 낮은 이온 이동도를 갖는 성분을 첨가하면 등속 전기영동 조건이 이루어져서 시료가 캐필러리에 주입되면 사전 농축이 되는 것으로 알려져 있다.[9] 적절히 선택된 조건하에서, 완충 용액은 등속 전

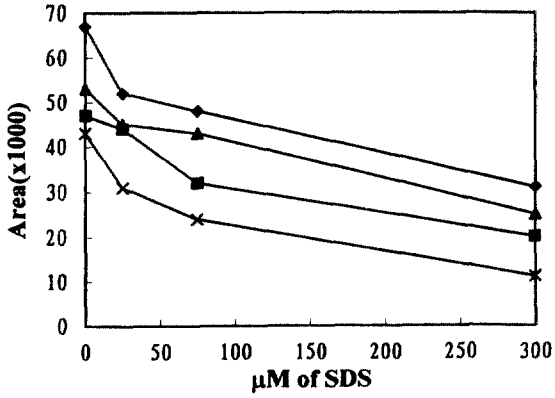



*Fig.* 6. Effect of SDS concentration
Anion concentration : 50ppb each
Injection : Electrokinetic injection for 10sec. at 5kV
Other conditions are the same as *Fig.* 2.
(◆) : $Cl^-$ (■) : $SO_4^{2-}$ (▲) : $NO_3^-$
(×) : $PO_4^{3-}$

기영동 선도 전해질로 작용하고, 시료에 첨가된 낮은 이동도의 성분은 추종 전해질의 역할을 충족시키게 된다. 선도 전해질의 이동도와 추종 전해질의 이동도 사이의 이온 이동도를 가지는 분석 이온은 캐필러리에 주입되면 좁은 구역으로 사전 농축된다. 분리된 등속 전기영동 구역에서 이온의 농도는 선도 전해질인 완충 용액의 농도와 비슷하게 된다. 이것은 mM 범위의 완충 용액과 pM 혹은 nM 범위의 시료 사이의 사전 농축 인자를 나타낸다.

본 실험에서 사전 농축 효과를 얻기 위하여 시료 용액에 전기영동적 이동도가 분석 음이온의 이동도보다 훨씬 적은 sodium dodecyl sulfate(SDS)의 농도를 0에서 300$\mu$M로 변화시키면서 실험한 SDS 농도효과의 결과를 *Fig.* 6에 나타내었다. 예상과는 달리 SDS의 농도가 증가할수록 분석 음이온의 피크 면적은 감소하는데, SDS도 역시 시료 용액 중에 존재하는 공존 이온으로 작용하여 분석 이온의 주입량을 감소시키는 것으로 판단된다. 그러나, SDS를 포함하는 시료 용액에서 전기 영동적 이동도가 비교적 큰 매질에서보다 피크 면적도 많이 감소시키지 않으면서(*Fig.* 3 및 4 참조) 더 좋은 재현성을 보였다. 따라서 피크 면적도 많이 감소시키지 않으면서 재현성을 높일 수 있는 농도로 25$\mu$M를 선택하여 시료 용액의 재현성을 실험한 결과, 각 피크의 재현성이 5% 이내에 있었다.

### 3. 7. 고순도 시약 중의 음이온 분석

각 분석 이온 용액에 25$\mu$M SDS를 첨가하였을 때의 검량선(*Fig.* 7)을 사용하여 여러 가지 고순도 시약 중의 음이온을 분석한 결과는 *Table* 1과 같으며, 괄호 안의 값은 95% 확률 수준에서의 불확도값이다.

분석에 사용된 시약 중 암모니아수는 Junsei와 CMOS의 제조 회사가 다른 두 가지 시약으로 시료 전처리는 건조기에 황산과 함께 하루 동안 두어 암모니아를 황산에 대부분 흡수시킨 후 2배로 묽히거나 그대로 주입하였으며, 음이온의 양이 비교적 많은 기타 시료는 유체역학적 주입법을 적용하였다. 시료 $H_2O$는 KRISS에서 사용하는 탈염수이며 붕산은 1000ppm 표준 용액을 계면 동전기 주입법으로 음이온들을 정량한 것이다.

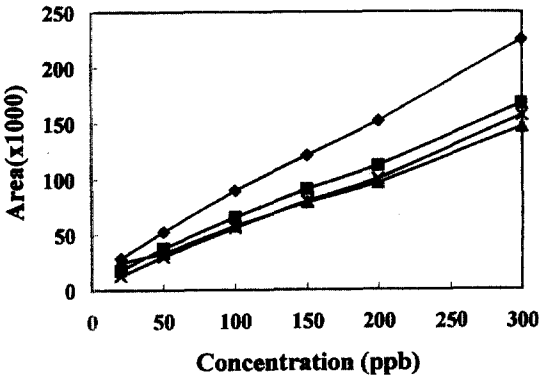



*Fig.* 7. Calibration curve
Injection : Electrokinetic injection for 10sec. 5kV
Sample solution contains 25$\mu$M SDS.
Other conditions are the same as *Fig.* 2.
(◆) : $Cl^-$ (■) : $SO_4^{2-}$ (▲) : $NO_3^-$
(×) : $PO_4^{3-}$

유체역학적 주입법에 의한 분석 결과는 검량선에 의한 것이며, 계면 동전기 주입의 경우는 표준물 첨가법에 의하여 정량하였다.

## 4. 결 론

유체역학적 주입의 경우는 1ppm 이상의 이온 정량에 적합하며 공존 이온의 상대적 비 및 이온 이동도에 상관 없이 주입이 가능하지만 계면 동전기 주입의 경우는 시료 주입량이 시료 각 성분의 전기영동적 이동도에 의해 결정되며, 분석 성분 이외의 공존하는 다른 이온의 농도와 이동도에 따른 매트릭스 효과로 분석 성분의 주입량은 시료 용액의 저항에 비례한다.

따라서, 계면 동전기 주입에 의한 분석 성분의 정량은 공존 이온이 분석물보다 많을 때는 시료 분석 이온

*Table* 1. Determination of anions in high purity reagents

Unit : mg / kg

| Sample | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $NO_3^-$ | $PO_4^{3-}$ | $N_3^-$ | Dilution |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **$NH_4OH$(Junsei) | 4.5(±0.2) | | 4.8(±0.2) | | | *1 : 1 |
| **$NH_4OH$(CMOS) | 2.5(±0.2) | | 3.9(±0.2) | | | *1 : 0 |
| **$HCON(CH_3)_2$ | 1.7(±0.3) | | 5.6(±0.5) | | | 1 : 3 |
| **$(HOCH_2CH_2)_3N$ | 20(±1) | | 35(±2) | | | 1 : 20 |
| **$(CH_3)_4NOH$ | | | | | 3062(±90) | 1 : 50 |
| **$N_2H_4 \cdot H_2O$ | 4.3(±0.4) | | 1.9(±0.1) | | 59(±2) | 1 : 1 |
| ***$H_2O$(KRISS) | 0.6ppb | 0.7ppb | 0.1ppb | 1.4ppb | | |
| ***$H_3BO_3$ | 16ppb | 73ppb | 76ppb | 88ppb | 22ppb | 1000mg / kg |

* $NH_4OH$ : over $H_2SO_4$ for 24hrs in vacuum desiccator
** Hydrodynamic injection(9sec)
***Electrokinetic injection(5kV, 10sec)

농축 효과도 격감하여 일반적인 외부검량선 정량법으로는 불가능하며 시료 용액의 저항의 변화가 적도록 분석성분의 표준물 첨가법 또는 내부 표준법에 의한 정량만이 가능하다.

## 참고문헌


1. D. N. Heiger, "High Performance Capillary Electrophoresis–An Introduction", Hewlett-Packard. GmbH, Germany, 1993.
2. M. J. Gordon, X. Huang, S. L. Pentoney and R. N. Zare, *Science*, **242**, 224-228(1988).
3. A. Tiselius, *Trans. Faraday. Soc.*, **33**, 524(1937).
4. J. W. Jorgenson and K. D. Lukacs, *Science*, **222**, 266(1983).
5. C. Stathakis and R. M. Cassidy, *Anal. Chem.*, **66**, 2110-2115(1994).
6. D. R. Salomon and J. Romano, *J. Chromatogr.*, **602**, 219-225(1992).
7. B. J. Wildman, R. E. Jackson, W. R. Jones and P. G. Alden, *J. Chromatogr.*, **546**, 459-466(1991).
8. P. E. Jackson and P. R. Haddad, *J. Chromatogr.*, **640**, 481-487(1993).
9. G. Bondoux, P. Jandil and W. R. Jones, *J. Chromatogr.*, **602**, 79-88(1992)
10. S. A. Shamsi and N. D. Danielson, *Anal. Chem.*, **66**, 3747-3764(1994).
11. M. Chen and R. M. Cassidy, *J. Chromatogr.*, **602**, 227-234(1991).
12. M. W. F. Nielson, *J. Chromatogr.*, **588**, 321-326 (1991).
13. S. Chen and D. J. Pietrzyk, *Anal. Chem.*, **65**, 2770-2775(1993).
14. S. G. Penn, E. T. Bergstrom, D. M. Goodall and J. S. Loran, *Anal. Chem.*, **66**, 2866-2873(1994).
15. Y. Y. Rawjee, R. L. Williams and G. Vigh, *Anal. Chem.*, **66**, 3777-3781(1994).
16. J. B. Shear, H. a. Fishman, N. L. Allbritton, D. Garigan, R. N. Zare and R. H. Sheller, *Science*, **267**, 74-77(1995).
17. R. D. Smith, J. H. Wahl, D. R. Goodlett and S. A. Hofstadler, *Anal. Chem.*, **65**, 574A-584(1993).