

## 수질 중의 무기이온 검출을 위한 모세관 전기영동법 기술

박선구 · 류재근  
국립환경연구원 수질연구부

### The Analysis of Inorganic Ion by Capillary Electrophoresis in Water

Sun-Ku Park · Jae-Keun Ryu  
National Institute of Environmental Research 280-17 Bulkwang-dong,  
Eunpyung-gu, Seoul, 122-040, Korea

#### I. 서 론

산업 및 문명의 발달로 인하여 각종 환경오염물질 사용량이 크게 증가함에 따라 이들로 인한 환경의 파괴 및 오염이 심화되고 있다. 특히 상수원 및 전국 주요 호소, 하천 등의 수질오염 뿐만 아니라 도심 및 일반공장 작업장내에서의 대기 오염이 심각해지면서 국민건강 등 환경 생태계가 큰 위협을 받고 있어 수질 및 대기의 효율적인 관리 및 예방에 관한 연구의 필요성이 절실히 요구되고 있다. 이러한 수질 및 대기분야에의 환경은 일단 오염이 발생하면 회복이 어려울 뿐만 아니라 처리를 위한 막대한 비용이 요구되며 그 시간도 오래 걸리기 마련이고, 이에 대한 영향이 후손에까지 지속적으로 미치게 된다. 따라서 환경문제에 대한 해결 초점은 환경오염사고 발생후 조치하는데 대한 관심보다는 환경의 지속적인 감시체제로 환경오염을 사전에 예방하는 방법이 보다 효율적이라 할 수 있다. 주거시설 및 산업시설 등에서 배출되는 오폐수, 폐하수 및 산업폐수에 의한 환경오염물질을 연속적으로 자동 측정하여 오염의 정도를 상시적으로 감시할 수 있는 연속자동 환경측정기기가 필요

하다. 이러한 측정장비로 수질분야의 경우 수질 환경보전법에 의한 수질환경기준 항목 DO, BOD, COD 등 여러 가지가 있다. 또한 환경측정기기 형식승인·정도검사 등에 관한 고시에 의거한 수질 감시장치로서 현장에 고정설치하여 연속적으로 자동 측정할 수 있는 DO, BOD, COD 측정 장비가 있다. 특히 하천, 호소의 부영양화의 원인이 되는 암모니아성 질소, 인산염인 등 이온들에 대한 측정 은 이온크로마토그래프(Ion Chromatography, IC)로 실험실에서 개개의 시료들을 수분석하고 있어 이들 오염물질로 인한 환경오염사고시 원인물질 규명 및 신속한 처리 대책이 지연되기 때문에 이들 이온성 오염물질을 현장에서 연속적으로 자동 측정할 수 있는 다중 무기이온 측정분석장치의 개발이 시급히 요구되고 있다. 이러한 다중 무기이온을 동시에 분석할 수 있는 자동 연속 측정장치는 기존에 생화학물질 분석에 많이 사용되어져 온 모세관 전기영동법(Capillary Electrophoresis)의 원리를 이용한 것이며 선진외국에서는 이미 개발되어 사용되어져 오고 있으나, 국내에서는 아직까지 개발되지 않고 있어 이에 대한 개발이 절실히 필요하다.

## II. 이 론

### 1. 모세관 전기영동법(Capillary Electrophoresis)

#### 1.1. 개 요

수많은 분자들은 수용액 상태에서 (+)나 (-)전하를 띠고 있으며, 이때 외부에서 전기장을 걸어주면 이온들은 반대전하를 띤 전극으로 이동을 하게 된다. 하전된 분자들이 움직이는 속도는 전기장의 세기에 직접 비례하며 이것을 전기영동(electrophoretic mobility)이라고 한다. 하전된 입자는 입자의 전하량, 크기와 모양, 용액의 pH와 점성도, 사용한 전압, 용액에 있는 다른 전해질의 농도와 이온의 세기, 지지체의 종류 등 여러 가지 요인에 의해 결정되는 속도와 방향으로 이동한다.

전기영동의 분리기술은 1937년 Tiselius에 의해 처음 도입된 이래로 생화학분야에서 생체고분자물질(아미노산, 단백질, 핵산 등)의 혼합물을 분리하는 분석방법으로 가장 널리 사용되어져 왔다. 전기영동법은 종이 agarose, cellulose acetate, polyacrylamide, sodium dodecyl sulfate - polyacrylamide gel electrophoresis(SDS-PAGE) 등의 고체 지지체를 이용하여 단백질 등의 분리가 가능하였고, 2차원적인 electrophoresis에 의해 천개 이상의 단백질을 한번에 분리해내는 등 매우 좋은 분리능을 가진 전기영동법이 사용되고 있다. 그러나 이러한 전기영동법의 발전에도 불구하고 노동집약적이고, 시간이 많이 걸리고, 정확한 정량분석이 어려우며, 재현성이 낮다는 커다란 단점이 있다.

1980년 초기에 Jorgensen과 Lukas가 내경 100 $\mu$ m 이하의 캐필러리를 이용한 모세관 전기영동(Capillary Electrophoresis, CE)를 개발한 이후 매우 급속도로 발전되었다. CE에서의 분리 메카니즘은 크로마토그래피(기체크로마토그래피 또는 액체크로마토그래피)에서의 분리 메카니즘과는 다르므로 상호 보완적인 분석이 가능하다.

CE 분석법은 무기 음이온, 양이온, 탄수화물, 핵산, 의약, 염료, 단백질, 펩타이드, 아미노산, 비타민, 유기산, 계면활성제, 광학이성질체 등의 광범

위한 물질의 분리에 사용이 가능하다.

#### 1.2. 원 리

Capillary Electrophoresis(CE)의 기본 원리는 전해질 완충용액이 채워진 용융실리카 칼럼의 양 끝이 완충용액에 담겨 있고 고전압(10~30KV) power supply를 이용하여 캐필러리 양 끝에 전기장을 걸어준다. 전하를 띤 물질(예, 무기 양이온, 음이온, 중금속 등)이 전해질 용액을 통과하여 IEC(Ionic Equivalent Conductance) 값에 따라 분리되어 나오게 되고 이렇게 분리된 이온들은 모세관 끝에 있는 자외선 검출기에 의해 검출되게 된다. 캐필러리에서 하전된 물질의 분리는 electrophoretic migration과 electroosmotic flow의 두 가지 움직임에 의해서이다. electrophoretic flow란 전하를 띤 물질이 반대전극 방향으로 이동하려는 성질을 말한다. electroosmotic flow는 plug-type flow로 CE에서 항상 유체가 일정한 방향으로 움직이게 하는 중요한 힘이며, 고속액체크로마토그래피(HPLC)와 같은 laminar flow에서 나타나는 longitudinal flow를 방지해 준다. CE는 내경이 아주 작은 캐필러리(25~200 $\mu$ m)를 사용하기 때문에 열의 발산이 크고 열적확산에 의한 피이크 퍼짐이 감소되어 이론단이 수백만 이상이 된다. 이러한 두가지 요소, 즉 높은 이론단수와 electroosmotic flow가 결합되어 신속한 분리와 아주 분리능이 우수한 피이크를 얻을 수 있는 것이다. CE의 결과는 용질의 농도대 시간의 축으로 나타내며, 이러한 plot를 e-gram(electropherogram)이라고 한다.

#### 1.3. CE의 기기적인 구성

CE의 기기 분석장비는 비교적 간단한 것이 특징이다. CE의 기기적인 구성으로는 1) 내경이 아주 작고, polyimide로 코팅된 용융실리카(fused silica) 캐필러리(10~100 $\mu$ m), 2) 두 개의 전극(음전극, 양전극)이 담겨있는 electrolyte vessel, 3) sampling position, 4) power supply(max. voltage 30kv, max current 500~1000 $\mu$ A), 5) detector, 6) data system으로 구성되어 있다. 여기에 대한 개략적인 기기 구성도를 Fig. 1에 나타내었다.

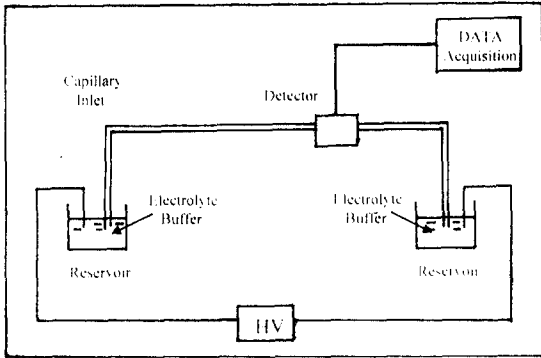


Fig. 1. Experimental diagram for CE

1.4. CE에서 분리 메카니즘

1.4.1 용융실리카 캐필러리와 Electroosmotic Flow

CE에서는 질량대 하전비, 소수성, 친화도, 흡착 등에 의해서 분리가 된다. 먼저 CE에 사용되는 캐필러리 컬럼 자체 성질을 살펴보면 캐필러리는 용융실리카(Fused silica)로 만들어지며, 바깥표면이 물리적인 견고성과 유연성을 주기위해 polyimide로 코팅되어 있다. 코팅되어 있지않은 실리카 내벽은 silanol group이 노출되어 있는 상태이다. CE에서 사용되는 컬럼은 10~200 $\mu$ m사이의 내경을 갖는 캐필러리를 이용하며 전체길이는 100cm 이내의 것을 주로 사용한다. 캐필러리는 부피에 대한 표면적이 크기 때문에 보통  $10^5 \sim 10^6$  정도의 이론 단을 갖고 있다.

용융 실리카는 pH의 영향을 받아 쉽게 그 특성

이 바뀌게 된다. 실리카의 안정된 pH 범위는 2~8.5이다. pH > 8.5 이상에서 실리카는 해리되어 캐필러리 표면은 음이온으로 하전되어 양이온들이 붙어서 전하의 균형을 맞추게 되며 이 두께는 약 10nm 정도된다. 이를 전기 이중층(electric double layer)라고 한다. 이때 캐필러리에 전압을 걸어주면 양이온들은 음전극쪽으로 이동하려는 경향을 갖는다.

Electroosmotic velocity( $V_{eo}$ )는 pH, 점도, 이온강도, 전압의 세기 그리고 buffer의 dielectric constant에 의해서 조절할 수 있다. pH > 2 이하에서는 silanol group이 positive로 하전되는데 이러한 경우에는 캐필러리내에 시료가 흡착되어 분리에 어려움을 준다. 따라서 CE의 분리조건은 중성 또는 염기성의 pH 범위를 유지하여야 원활히 수행할 수 있다. 상기에서 서술한 것처럼 얻어지는 결과는 electrophoretic mobility(Fig. 2.)와 electroosmotic flow(Fig. 3.)에 의해서 나타난다. 캐필러리 컬럼의 양(+전극)쪽에서 시료가 주입되면 시료는 음전극(-)쪽에 위치한 검출기로 이동한다. 전기영동에 의해서 양이온은 음전극쪽의 검출기 방향으로 이동하고 음이온은 양전극쪽으로 이동하게 된다. 중성은 어느방향으로도 이동하지 않고 제자리에 머무르게 된다. 그러나 모든 물질은 결국 electroosmotic flow에 의해 검출기 쪽으로 이동하게 된다.

일반적으로 시료의 양을  $0.1 \times 10^{-9} \ell \sim 20 \times 10^{-9} \ell$  만큼 캐필러리의 한쪽 끝에 놓으면 전기장의 영향으로 검출기까지 이동하게 된다.

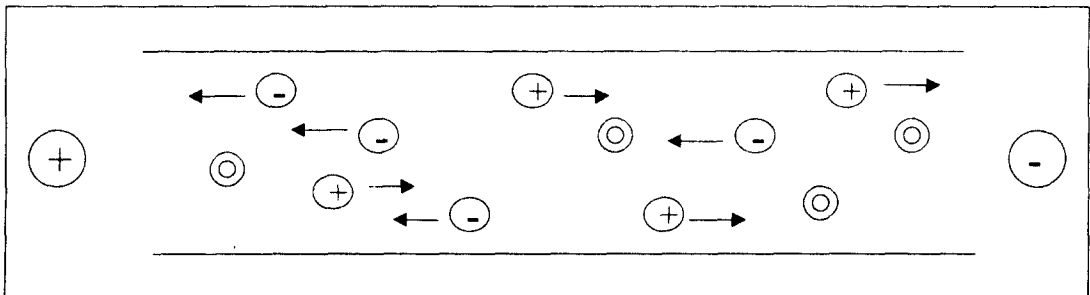


Fig. 2. Electrophoresis at the Capillary Column

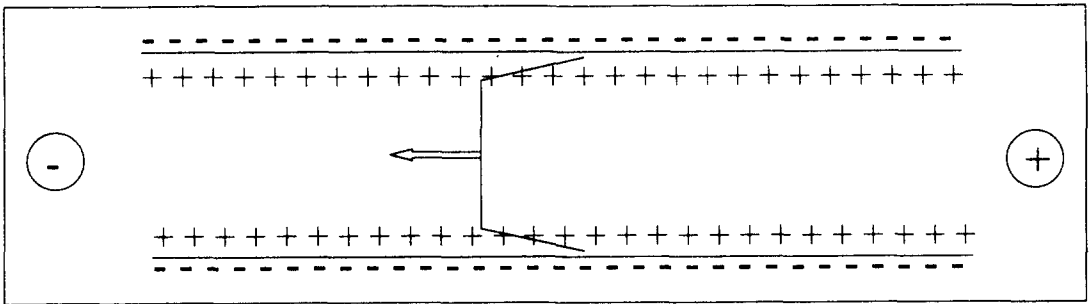


Fig. 3. Electroosmosis at the Capillary Column

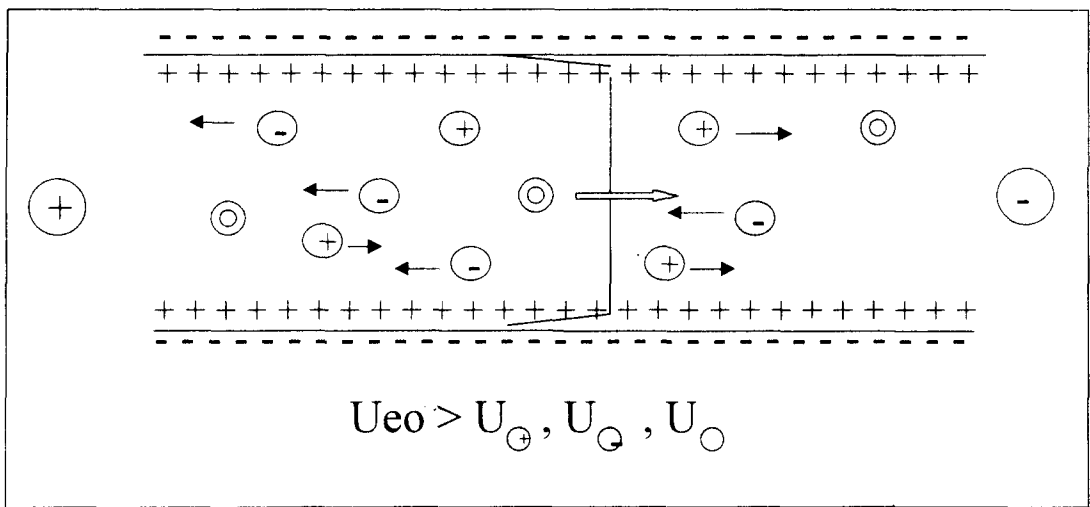


Fig. 4. Electroosmosis flow is greater than electrophoretic mobility

1.4.2 Capillary Zone Electrophoresis(CZE)의 분리 모드

Capillary Zone Electrophoresis(CZE)는 CE 기술과 Zone Electrophoresis를 결합한 것이다. CZE는 가장 일반적으로 사용되는 CE 분석법으로 자동으로 수행할 수 있는 가장 좋은 방법이다. 혼합물의 electrophoretic mobility 와 electroosmotic flow가 서로 다르기 때문에 용융실리카 캐필러리 칼럼에서 분리되며, on-column 검출기에서 순서대로 검출된다. 용리될 때 물질 전달 메커니즘에 의해 생기는 band 확산 문제는 생기지 않는다. 즉, hydrodynamic flow가 생기지 않는다. Jorgensen은 CZE를

이용할 경우에 분리효율이 아주 높다는 것을 알아냈다. pH=7의 phosphate buffer를 이용하는 경우에는 electropherogram은 양이온, 중성물질, 음이온 용리순서로 분리되는 것을 알 수 있다.(Fig. 4)

CZE의 기본 메커니즘은 electrophoresis와 electroosmosis의 eletrokinetic effect이다.

시료가 가진 전하에 관계없이 아주강한 electroosmotic flow는 모든 종류의 시료성분을 음전극쪽으로 밀고간다. CE 검출기는 대부분 음전극 쪽에서 위치하고 있어서 모든 성분이 검출이 될 수 있는 것이다(Fig. 5).

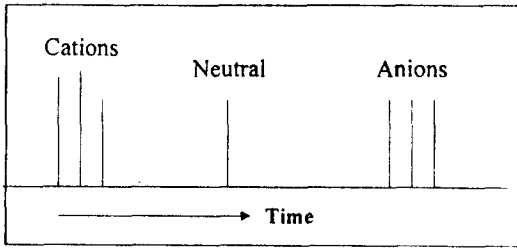


Fig. 5. Schematic zone electropherogram

electrophoretic mobility  $V_{ep}$ 는 다음과 같다.

$$V_{ep} = \mu_{ep} \frac{V}{L}$$

$\mu_{ep}$  : electrophoretic mobility

$V$  : applied potential

$L$  : capillary length

Electroosmotic flow의 속도  $V_{eo}$ 는

$$V_{eo} = \mu_{eo} \frac{V}{L}$$

$\mu_{eo}$  : electroosmotic flow mobility

시간  $t$ 에서 용질이 tube를 통해서 완전히 이동한다면 그식은 아래와 같다.

$$t = \frac{L}{(V_{eo} + V_{ep})} = \frac{L^2}{(\mu_{eo} + \mu_{ep})V}$$

이동중에도 확산은 계속 일어난다. 초기에 얇은 zone에서 시간  $t$ 동안 확산이 일어나면 공간편차  $O^2L$ 은 다음과 같다.

$$O^2L = 2Dt = \frac{2DL^2}{(\mu_{eo} + \mu_{ep})V}$$

$D$  : 용질의 확산계수

Gidding 등은 electrophoretic system에서 분리 효율을 이룬 단수  $N$ 의 향으로 나타내면 다음과 같다.

$$N = \frac{L^2}{O^2L}$$

위의 식들을 정리하여 이룬단수  $N$ 을 electrophoretic mobility와 electroosmotic flow mobility

로 나타내면 다음과 같다.

$$N = \frac{(\mu_{eo} + \mu_{ep})V}{2D}$$

이식을 살펴보면  $V$ 값, 즉 voltage가 높을수록 분리효율도 커진다는 것을 알 수 있다. 캐필러리 길이  $L$ 은 분리효율에 영향을 미치지 않으며, 캐필러리의 내경이 작을수록 zone electrophoresis에서는 이상적이다. 캐필러리 자체가 열발산이 효과적이므로 band 확산이 최소화 된다. 따라서 CE에서는 고전압을 걸어주어 분리효율을 증대시킬 수 있으며 보통 10kV 이상의 고전압으로 분석을 하고 있으며 30kV까지 전압을 올릴 수 있다.

Electroosmotic flow를 빠르게 하면 캐필러리를 통과하는 용질의 속도도 빨라지게 된다. CZE에서 Gidding은 두 zone의 분리능  $R$ 을 유도해 냈다.  $\Delta v/v$ 는 두 zone에서의 상대적인 속도의 차이를 나타낸다.

$$R = \frac{\sqrt{N}}{4} [\Delta v/v]$$

Electroosmotic mobility가 있을때는 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta v/v = \frac{\mu_{ep1} - \mu_{ep2}}{\mu_{ep} + \mu_{eo}}$$

$\mu_{ep1}$  : 용질 1의 electrophoretic mobility

$\mu_{ep2}$  : 용질 2의 electrophoretic mobility

$\mu_{ep}$  : electrophoretic mobility의 평균식

위식들을 서로 대입해서 아래와 같은 식을 얻게 된다.

$$R = \frac{1}{4} \left[ \frac{\mu_{ep} + \mu_{eo}}{2D} \right]^{1/2} \frac{\mu_{ep1} + \mu_{ep2}}{\mu_{ep} + \mu_{eo}}$$

이식을 다시 배열하면 다음과 같다.

$$R = 0.18(\mu_{ep1} - \mu_{ep2}) \left[ \frac{V}{D(\frac{1}{\mu_{ep}} + \mu_{eo})} \right]^{1/2}$$

위식을 통해서 보면 칼럼의 길이에 관계없이  $\mu_{ep} = \mu_{eo}$  일 때 분리능이 가장 좋다는 것을 알 수 있다.

### III. 고찰

#### 1. CE의 장점 및 액체크로마토그래피의 비교

CE는 기존의 전기영동장치나 크로마토그래피에 비해서 다음과 같은 장점이 있으며 또한 CE와 액체크로마토그래피에 대한 구체적인 비교를 Table 1에 나타내었다.

- 내경(10~100 $\mu$ l)이 적은 캐필러리를 이용하여 내부 표면적대 부피비( $10^4$ - $10^5$ m<sup>-1</sup>)를 최대화시킨다.
- 캐필러리 내에서 발생하는 열을 효과적으로 발산시킬수 있으므로 빠르고 효율적인 분리가 가능하다. 보통 이론단은 N= $10^6$ 이상이다.

Table 1. Comparison of CE and HPLC

	CE	HPLC
구동력	High Voltage	Pump Pressure
column	$\mu$ m ID.	mm ID.
Detection	on-column detection	off-line detection
이론단수(per m)	$10^5$ - $10^6$	$10^3$ - $10^4$
Injection	Hydrodynamic	Loop type
	Electrokinetic	Sylinge type
Amount of Sample peak with	1-50nL	1-1000 $\mu$ l
	15 sec	5 sec
Flow	Electrosmotic Flow	Laminar Flow
		Pumped Flow
Peak Shape	more sharp	Less sharp

- 쉽게 정량적인 결과를 얻을 수 있다.
- 시료주입량이 보통 5 $\mu$ l 정도만 있으면 가능하며 실제 주입량은 nL이다.
- 쉽게 자동화 시킬수 있다.

#### 2. 모세관 전기영동법(Capillary Electrophoresis)을 이용한 무기이온 자동 분석기

##### 2.1. 필요성 및 분석방법 고찰

환경 감시 기능을 하기위한 자동측정 장치에는 크게 두 부분으로 이루어져 있다. 하나는 측정분석 장치부분이고 다른 하나는 측정된 분석 결과를 아날로그에서 디지털 신호로 데이터를 처리하는 처리 장치이다. 이 측정분석 장치는 주로 센서를 이용하는 방법으로 응용되고 있는데 대부분은 측정항목 한 개에 하나의 센서를 사용하여 측정하는 것이 일반적이다. 예를들면 수질 및 대기환경에서 가장 많은 관심의 대상이고 측정되는 것은 주로 음이온(anion)들로서 Chloride, Fluoride, Nitrate, Sulfate 등이 있다. 이들 음이온의 분석은 기존의 분석장비로는 electrode를 이용한 센서 측정장치 이거나 수용액 상태에서 이온크로마토그래피(Ion Chromatography, IC)를 이용하여 측정하는 방법이 있다. 이러한 방법들 중 electrode를 이용한 센서방식은 재현성 및 기억효과 때문에 측정분석시 문제점이 발생하며 측정이 가능하다 하더라도 감도 문제가 발생하거나 또는 실험실 내에서만 측정이 가능하다는 불편한 점이 있다. 염소이온 측정의 경우 선택전극을 이용하거나 시료채취후 시료를 전처리하여 적정하고 정량분석하는 방법을 사용한다. 기존의 비슷한 방법인 이온크로마토그래피(IC)는 우수한 능력을 보이나 가격이 상대적으로 비싸고 시료의 응용범위가 수용액 상태로 한정되어 있다.

반면에 최근에 새로이 등장하는 모세관 이온 분석기는 주로 분자량이 큰 임상시료등에 적용되는 분석방법으로서 많은량의 시료가 요구되지 않으며(nL 정도의 시료주입), 분리시간도 20~30분 정도로 걸어주는 전압과 모세관의 길이로서 쉽게 조절할 수 있는 장점이 있다.

CE는 분자량이 큰 미량의 물질들을 검출하기

위해서 지금까지는 검출한계를 낮추는데 노력해 왔으나 이러한 연구는 어느정도 정체단계에 있으며, 따라서 이들의 좀더 넓은 범위의 응용, 확대 연구 및 분석방법의 정립이 진행되어질 것으로 예상된다. 그러므로 현재는 탁월한 분석능력을 갖는 방법들의 좀더 광범위한 응용이 요구되는 단계이므로 무기원소의 분리 및 검출에 적극적으로 응용함으로써 원자 분석방법을 이용한 값비싼 분석기기인 원자흡수분광기(AA) 및 유도결합 플라즈마 분광기(ICP-AES) 등의 대신에 비슷한 성능의 값싼 분석방법을 제시할 수 있으리라 사료되며, 또한 이러한 무기원소 분석기들이 나쁜 검출한계를 보이는 무기 음이온들의 분석까지 가능하게함으로써 응용범위가 넓고 활용도가 많을 것으로 예상된다. 이러한 무기 양이온이나 음이온들은 빛에 직접 활발한 것이 거의 없으므로 이들을 기존의 검출기로 검출하는데는 착화제를 반응시키거나 유도체를 붙여서(labeling) 흡광도를 측정하였다. 이러한 직접 분석법 이외에 무기이온들의 활발하지 않는 성질을 이용하여, 바탕을 활발한 물질로 하여 negative의 신호값을 얻어서 분석하는 간접분석법(indirect analysis)이 있는데, 분석법 자체는 전반적으로 시료에의 응용범위가 좁으나 무기물의 분석에는 응용범위가 넓다. 따라서 이러한 장점들 때문에 외국에서는 이들의 응용연구가 활발히 진행되고 있으며 국내에서도 이들에 대한 연구가 활발히 수행되어야 할 필요성이 있다.

기존의 이온 선택 전극이 가지는 여러 가지 불편한점, 예를들면 측정항목별로 다른 센서를 준비해야 하며 전극에 직접 analyte가 반응해야 하므로 long term stability의 문제가 발생될 수 있으며 또한 전극의 수명과 기억 효과에 대한 영향이 있을 수 있다. 따라서 이러한 모세관 전기 영동장치를 이용한 분석방법을 이용하면 여러 가지 음이온들 뿐만아니라 양이온들까지도 한번의 시료주입으로 극성을 갖는 이온들을 분리하여 검출할 수 있는 장점이 있다. 나아가서 이러한 분석법을 응용하여 자동조절할 수 있는 센서 조절기능을 개발하면 리모트(remote) 시스템으로 측정시간 및 조건을 조절할 수 있어 환경오염측정 및 감시기능을 하는데 매우 유용하게 응용될 수 있다(Fig. 6).

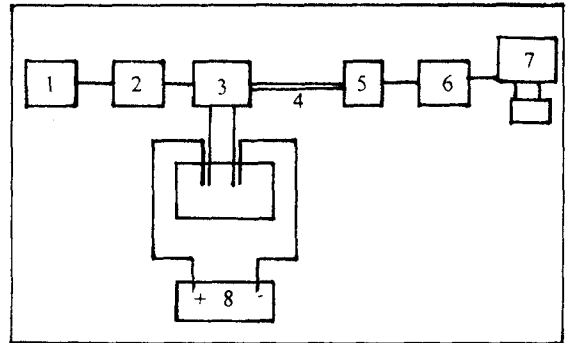


Fig. 6. Block diagram of experimental arrangement for UV-VIS Capillary electrophoresis.

1. Deuterium lamp, 2. Interference filter, 3. Detection cell, 4. Optical fiber, 5. PMT, 6. Pre-amplifier, 7. Computer, 8. HV power supply

### 2.2. 환경중에 대한 응용

환경중에 오염물질을 측정분석하는데 있어서의 문제점은 측정분석 데이터의 정확성, 정밀성 뿐만 아니라 분석에 걸리는 시간에 따른 신속성 및 분석을 하는데 필요한 많은 인력자원과 그들의 노력이 크게 요구된다는 사실이다. 실험실에서 사용되는 일반적인 측정분석 장비들로부터 산출되는 데이터의 신뢰성과 비슷하고, 실험실내 측정장비의 환경오염물질에 대한 지속적인 감시체제 한계를 보완하고 개선하기 위한 연속자동측정기에 응용될 수 있다. 따라서 호소, 하천 등 수자원 및 산업환경의 대기에 포함된 오염물질을 검출하고 그농도를 검출하는 오염측정장치에 의하여 오염정도를 지속적으로 감시 또는 측정하고, 기후 및 일자등의 관련자료를 수집하고 수집된 자료들과 오염측정 데이터를 바탕으로 수질 및 대기오염을 사전에 예측하는 관련장비 시스템 개발에 응용되어 대기 및 수질 환경오염의 지속적인 측정체제와 감시체제를 확립할 수 있을 것으로 기대된다. 기존의 데이터 처리 및 관리 방식 중에서 한가지 방식의 시스템을 이용하여 일방적으로 데이터를 받아서 처리하여 읽기만 하는 시스템에서 탈피하여, 여러개의 센서를 여러곳에 부착하여 각각의 위치에서 독자적인 분석결과를 무선으로 전송하게 하여 주 데이터 처리 시스템에서 결과를 분석하게

합은 물론 분석한 결과를 바탕으로 실제측정 모니터 또는 센서의 기능을 조절할 수 있는 명령을 내릴수도 있게하는 조절시스템 개발에 적용될 수 있다. 기존의 단순한 센서기능을 가진 것들만 실제 리모트 측정에 응용할수 있었으나 이러한 다중 프로세서 환경데이터 처리 및 조절시스템을 개발·응용하면 여러 가지 기능을 가진 측정분석 장비들을 현장에 배치하여 리모트로 조절할 수 있게 된다. 또한 다중 프로세서 조절기에 부착할 수 있는 측정센서들을 다양화 시키면 화학공정등의 파일럿 플랜트등에 직접 응용 사용할 수 있다.

### 2.3 국내·외 관련기술의 현황

현재 국내에서 수질 및 대기오염물질 측정분석과 관련하여 특정원소와 관련된 센서 기술은 그동안 꾸준히 진행되어 왔으나 이것들이 재현성이나 안정도등의 문제점 때문에 실제로 실용화 된 것들은 많지 않다. 개발된 센서들은 거의 모두 전기화학적 검출방식을 택하고 있으며 한가지 측정항목에 관련되어 있다. 여기에서 관심되어 있는 항목은 모세관 전기영동법을 이용하여 몇가지 음이온 또는 양이온들을 동시에 분리시켜 검출하는 방법을 개발하는 것으로 이것을 개발한 곳은 아직까지는 없다. 그러나 국외에서는 이것을 이미 실용화 시켜 3~4개 정도의 상품화 된 것이 있으며 그 용도는 주로 임상시료 및 환경오염시료 분석에 사용되고 있다.

또한 국내에서 사용되는 센서의 데이터 처리방식은 그 분석결과를 나타내는 방식을 사용하고 있으며, 데이터 처리방식도 한가지 방식의 시스템이 대부분이며 이것은 센서부분을 제어할 수 있는 능력을 가진 데이터 처리 방식은 아니다. 다중채널 센서 제어 방식은 공장의 pilot plant등에서 설치하여 주로 사용하는데, 선진국 일부에서는 이러한 방식을 도입하여 환경뿐만 아니라 실제 산업의 무인공장 관리 시스템에서 아주 효율적으로 사용하고 있다.

## 참 고 문 헌

1. 환경부 : 환경측정기기 형식승인·정도검사 등에 관한 고시, 49-52, 1997.

2. P. Doble, P. Andersson and P. R. Haddad, : Determination and Prediction of Transfer ratios for anions in capillary zone electrophoresis using indirect UV detection, J. Chromatogr. A, 770, 291-300, 1997.
3. P. R. Haddad, : Ion Chromatography and Capillary Electrophoresis ; A Comparison of two technologies for the determination of inorganic ions, J. Chromatogr. A, 770, 281-290, 1997.
4. M. Macka, P. R. Haddad, P. Gebauer and P. Bocek. : System peak in CZE. 3. Practical rules for predicting the exist the existence of system peaks in capillary zone electrophoresis of anions using indirect spectrophotometric detection, Electrophoresis, 18, 1998-2007, 1997.
5. M. Macka and P. R. Haddad, : Determination of metal ions by Capillary electrophoresis, Electrophoresis, 18, 2482-2501, 1997.
6. P. Doble, M. Macka and P. R. Haddad, : Factors affecting the choice of buffer in background electrolytes for indirect detection of fast anions by capillary electrophoresis, electrophoresis, Feb. 1998.
7. Analysis for Trace Levels of Alkali Metals, : Alkaline Earth Metals, & Ammonium by Capillary Electrophoresis, Dionex, Technical Note 35, 1997.
8. Determination of Inorganic Cations by Capillary Electrophoresis, Dionex, Application Note 91, 1997.
9. Determination of Inorganic Anions Using Capillary Zone Electrophoresis, Dionex, Application Note 68, 1997.
10. 공업기반기술개발사업 보고서 : (주) 정엔지니어링, 1998.
11. 캐필러리 전기영동 시스템 Spectraphoresis Ultra, 인성하이텍, 1996.