

유도결합플라즈마 질량분석법(ICP-MS)의 원리와 응용

유 응 철
 요업기술원
 ecyu@kicet.re.kr

1. 서 론

ICP/MS는 이온 생성장치인 ICP와 생성된 이온을 검출하는 질량 분석기로 이루어져 있으며 70여 원소를 sub-ppb 수준까지 정성은 물론 정량까지 할 수 있는 분석법(기)이다. 이 분석법은 유도결합플라즈마에서 생성된 이온들 중 1가 ion을 추출해서 질량분석기로 분석하며 분석영역은 ICP-AES 및 전열흡수분광기(법)(GFAAS-Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy)의 분석영역과 겹치며 다른 분광 분석기기와 비교하여 높은 감도, 깨끗한 background 스펙트럼을 제공하기 때문에 대부분의 금속원소에 대하여 ppt 수준의 낮은 검출 한계를 가진다. 또한 동위원소 희석에 의한 절대 분석법이 가능하므로 광물 탐사, 첨단 산업분야, 공해 및 환경 분야에서 요구되는 극미량 분석에 매우 중요하게 사용되고 있다. ICP-MS는 1983년 Pittsburgh conference에서 Perkin Elmer SCIEX사가 상업용 기기를 내어놓은 이래 영국의 Surrey 대학의 Alan Gray가 개발한 VG사의 상업용 ICP-MS가 나와서 이들 두 회사의 제품과 그리고 프랑스의 Nermag, 일본의 Seiko, Yoko gawa(Agilent), 호주의 varian, 일본의 Shimadzu 등에서도 상업용 ICP-MS를 내어놓고 있다.

2. 기본 원리

2.1. 기본 이론

ICP-MS는 시료를 이온화시키는 ICP-부분과 ICP로부터 생성된 이온을 구별해 내는 질량분석기(Mass spectrometer) 그리고 ICP와 Mass-Spectrometer를 연결해

주는 연결부분(interface)으로 이루어진다. ICP는 시료의 증발, 원자화, 이온화 그리고 들뜸을 위한 뛰어난 에너지원이다. 이러한 ICP의 장점과 질량분석기의 우수한 선택성 및 감도가 결합된 장치가 ICP-MS이다. ICP-MS에는 두 개의 pumping stage가 있고 각각의 stage는 약 0.5~1.0 mm의 작은 구멍이 있는 sampling cone과 skimmer cone으로 나뉘어져 있다(1,2). Fig. 1은 일반적인 ICP-Mass의 전체적인 구조를 나타낸다

분석하고자 하는 시료가 고온의 ICP에 도입되면 원자화와 이온화 과정을 거친다. 기화된 시료는 플라즈마 지역에 도달하여 약 6,000~10,000K 온도의 플라즈마에서 분해-이온화 과정을 가지게 되며 이 지역에서 약 2 ms 정도의 시간 동안 머물면서 원자화 또는 이온화된다. 이온화 과정에서 비교적 이온화 에너지가 낮은 알칼리족 또는 알칼리 토족 원소들을 제외하고는 대부분의 원소(90% 이상)들이 singly charged ion을 형성한다.

생성된 이온들은 플라즈마를 형성하는 아르곤 기류를 따라서 sampler cone의 작은 구멍(orifice)을 통과하여 supersonic beam이 형성되고 beam 속의 이온들은 skimmer cone을 통과한 후, ion lenses를 통해 질량분석기(mass analyser)로 들어간다. Mass analyser에서는 원자량 또는 분자량에 따라 분리되고 분리된 이온들은 Channel

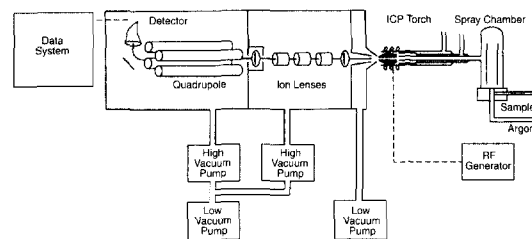


Fig. 1. Schematic diagram of an ICP-mass spectrometer.

el Electron Multiplier (CEM)나 Daly detector 등에 의해서 검출된다. orifice는 플라즈마가 형성되고 있는 대기압 상태와 질량 분석기(mass spectrometer)가 작동하기 위한 진공상태를 분리시켜 주는 역할을 한다. 질량 분석기는 일반적으로는 quadrupole을 사용하는데 고분해능을 요구할 때는 magnetic sector type을 사용하기도 한다.

2.2 ICP-MS의 장점 및 단점

극미량 원소분석에서 탁월한 능력을 가진 ICP-MS는 다음과 같은 장점과 단점이 있다.

장점

- 1) ICP-MS의 검출한계는 대부분의 원소들에 대해 GFAAS 보다는 10배 ~ 100배, ICP-AES 보다는 100배 내지 1,000배 정도로 검출한계가 낮다. 즉, ICP-MS로 측정할 수 있는 원소들의 대부분은 0.5 ~ 5ng/L 정도의 검출한계를 갖는다. 특히 희토류 원소분석에 있어서는 ICP-AES 보다 스펙트럼이 간단할 뿐 아니라 검출한계도 훨씬 낮다.
- 2) 질량분석을 할 수 있으므로 동위원소 비율을 측정할 수 있으며, 동위원소 추적자 연구나 동위원소 회석법을 이용한 원소분석을 할 수 있다.
- 3) m/e의 값이 80 이상인 경우 background에 의한 방해 영향이 매우 작기 때문에 무거운 원소들에 대한 정확한 분석을 할 수 있다.

단점

- 1) 가용성 물질(TDS)의 양이 1,000 ppm(0.1 wt%) 이상이면 signal의 이동(drift)이 일어날 수 있으므로 정밀도가 떨어질 수 있다. 반드시 100 ppm 이하로 TDS가 존재하는 용액을 시료로 해야 한다.
- 2) 분석성분에 미칠 수 있는 polyatomic ion의 영향(isobaric interference)을 고려하여야 한다.
- 3) 용매(산 용액)에 의한 polyatomic ion의 생성으로 background의 영향이 매우 크기 때문에 염산이나 황산 용액의 사용은 피해야 한다.

3. 기기 및 장치

ICP-MS는 시료주입장치, sampling interface(sampler cone, skimmer cone), ion lenses, 질량분석기(quadrupole mass filter) 및 검출기(ion detector)로 이루어진다.

3.1 시료주입장치

(1) 플라즈마 생성 및 원자화 이온화 과정

플라즈마는 구리관으로 만든 유도코일에 라디오 주파수가 흐르면 skin effect에 의해 코일의 바깥 부분이 가열되며 유도코일과 평행으로 전기장이 형성되고 이와 직각방향으로 강한 자기장이 형성된다. 코일에 의해 유도된 전자기장 하에서 바깥관에 냉각기체를 통과시켜면서 유도코일의 하단에 설치된 Tesler 코일에 의해 스파크를 일으키면 중성상태의 아르곤 기체는 순간적인 방전에 의해 아르곤 이온과 전자를 형성한다. 이때 생성된 전자는 유도된 전자기장을 통과하면서 에너지를 받아 플라즈마가 형성되고 유도 코일로부터 계속적인 에너지를 받아 플라즈마가 유지된다.

플라즈마에 주입된 시료 용액은 분무-탈수(고체화)-액화(액체)-기화(기체 분자)-원자화-이온화(이온)-여기 이온(excited ion, M⁺) 등의 과정을 거치게 된다(Fig. 2).

(2) 시료의 주입

시료를 ICP에 효율적으로 또한 재현성있게 주입하는 것은 매우 중요하다. 시료주입방법은 여러 가지가 있으며 가장 적합하고 좋은 방법을 아래 사항들을 검토하고

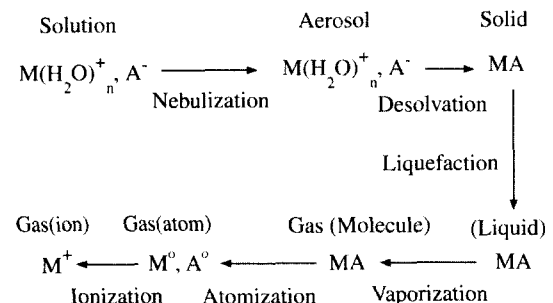


Fig. 2. Decay processes of metals in ICP-Discharge.

난 후 선택해야 한다.

- 1) 시료의 형태(고체, 액체, 기체)
- 2) 시료중 분석하고자 하는 원소와 매질의 농도 수준
- 3) 사용할 수 있는 시료의 양
- 4) 요구되는 정밀도와 정확도
- 5) 처리해야 할 시료의 수(요구되는 분석 속도)

시료의 형태는 용액이 가장 일반적이므로 가장 보편적으로 이용되는 방법은 시료를 안개상태로 만들어서 ICP에 넣어 주는 것이다. 이것을 nebulization이라고 하는데 크게 pneumatic nebulization과 ultrasonic nebulization으로 나눌 수 있다. pneumatic nebulization은 가장 간편하고 자동화하기 쉬워서 많이 이용되지만 시료 주입 효율이 낮다는 것 이외에도 다음과 같은 단점이 있다.

- 1) 시료의 양이 1ml 이상 필요함.
- 2) ICP에 들어간 용매(수분)가 산화물, 수산화물, hydride 등의 분자 이온을 형성하여 분광학적 간섭을 일으킴.
- 3) 시료 용액 중 salt의 양이 1% 이상이면 nebulizer와 torch의 capillary가 막혀 정밀도가 떨어짐.
- 4) 유기용매로 된 시료의 경우 ICP에 바로 주입할 수 없다.

TDS의 양이 많아 nebulization에 영향을 미치는 경우에는 초음파 분무장치(USN, ultrasonic nebulizer)가 효과적이라고 알려져 있다.

일반적으로 ICP-MS 분석용 시료용액은 TDS의 양이 1% 이하이어야 하지만 1%를 넘는 경우가 많다. 이러한 때에는 여러 가지 간섭을 일으키므로 nebulizer 대신 Electrothermal Vaporizer(ETV)를 이용하여 시료를 플라즈마 안에 넣어주면 이러한 문제점들은 제거될 수 있다.

ETV는 1~1 ml의 시료 용액을 금속 혹은 흑연 필라멘트에 넣고 약한 전류를 흘려 용매를 증발시킨 다음 강한 전류를 흘려 필라멘트 위에 남은 고체를 휘발시켜 ICP에 넣어 주는 원리이다. 따라서 미량의 시료용액을 분석할 수 있으며 물 혹은 유기용매를 먼저 증발시켜 버리므로 물에 의한 분광학적 간섭과 유기용매에 의한 탄소의 흡착, ICP의 불안정한 문제점이 해결될 수 있다.

3.2. Sampling interface³⁾

ICP와 질량 분석기가 결합되기 위해서는 대기압 상태에서 생성된 이온을 약 10^{-6} torr 정도의 진공상태인 질량 분석기로 도입하기 위한 구조가 필요하다. Fig. 3은 ICP-MS interface의 구조를 나타낸 것으로 질량 분석부의 진공을 유지하기 위한 두 개의 pumping stage가 있고 각각의 skimmer cone으로 나누어져 있다.

Sampler cone과 skimmer cone은 열 전도율이 좋으며 부식이 잘 되지 않는 순도 99.5% 이상의 니켈, 알루미늄 혹은 백금으로 만드는데 용액중의 니켈을 분석하고자 할 때에는 알루미늄 cone을 사용하며 반대로 알루미늄을 분석하고자 할 때에는 니켈 cone을 사용한다.

Sampler cone을 통과한 플라즈마는 약 1-torr의 interface로 들어오면 급속히 냉각하면서 플라즈마 안의 이온들의 농도에 큰 변화 없이 확산하는 초음속 개스 jet를 형성하며, 이 gas jet는 interface 안의 background 가스와 혼합하면서 skimmer cone을 통과한다.

3.3. Ion lenses

Ion lens는 interface의 바로 뒷부분에 위치해 있고 skimmer cone과 ion lens 사이에는 shadow stop이라고 하는 작은 판이 위치해 있는데 이 shadow stop은 이온화되지 못한 입자나 photon을 차단해 주는 역할을 한다. Skimmer cone을 통과한 이온들이 약 10^{-4} torr의 첫 번째 진공용기로 들어오면서 초음속의 속도를 가지고 확산된다. 이 이온들은 그들이 가지고 있는 전하 때문에 서로 배척하는 성질을 가지고 있다. 따라서 이들 확산하는 이온들을 가능한 한 많은 양을 효과적으로 재현성 있게 질

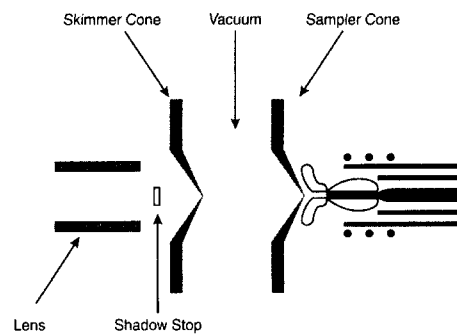


Fig. 3. The ICP-MS interfacc.

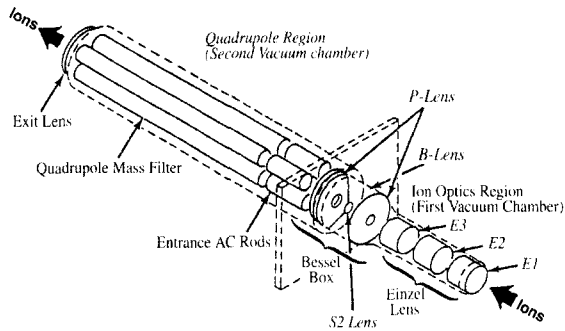


Fig. 4. Ion lens system.

량분석기 안으로 모아서 넣어줄 수 있는 렌즈들이 필요하다. 이를 위한 electrostatic ion lens system을 Fig. 4에 나타내었다. Einzel lens는 skimmer cone으로부터 나오는 넓은 ion beam을 보다 좁은 beam으로 focusing 하는 원통형 lens이다.

Einzel lens를 통과한 ion beam은 Bessel box라 부르는 lens set로 향하며 box의 주변을 형성하는 큰 cylinder를 B-lens라 부른다. Bessel box를 통과하고 있는 ion beam 중에서 광자는 photon stop이라고 하는 S2-lens에 의해 차단되며 다른 이온들은 P-lens를 통해 질량 분석기로 들어간다. P-lens는 Bessel box 양끝의 disk 이며 plate라 부른다. ICP-MS에서는 각각의 lens의 전압을 조절할 수 있는데 보통은 P-lens 만을 조절하면 된다.

3.4. Quadrupole 질량분석기

질량분석기는 1가 이온들을 질량(m/e)에 따라 분리해 주는데 일반적으로 quadrupole, time-of-flight, magnetic sector 등 세 가지 형태의 mass-spectrometer가 상용화 되어 있으며 가장 일반적으로 사용되어지는 것이 quadrupole mass이다. Quadrupole 질량분석기는 네 개의 평행인 금속봉으로 만들어져 있으며, 봉들의 형태와 그들 사이의 거리는 이론적인 값에 일치하도록 고정되어있다. 금속봉들 사이에는 AC와 DC 전압이 걸려있어 이온들을 여과하는 역할을 하고 있다. 특정한 질량(m/e)을 갖는 이온들만이 어느 한 순간에 질량분석기를 통과할 수 있다. 정확한 질량을 갖지 않는 이온들은 금속봉과 부딪혀 금속봉들 사이의 다른 길로 나가 system 밖으로 펌핑되어 제거된다. 질량분석기의 전압을 조절함으로써 통

과된 이온들만이 빠르게 통과할 수 있다. 즉 하나의 이온이 quadrupole 안으로 들어오면 진행 축에 수직인 방향으로 진동운동을 하고, 선택된 질량(m/e)의 이온들만이 안정된 운동을 하면서 quadrupole을 통과하여 검출기에 이르지만 다른 질량의 이온들은 진동운동의 진폭이 커지는 불안정한 운동을 함으로써 금속봉에 충돌하고 진공 펌프로 배출된다.

3.5. 검출기⁴⁾

ICP-MS의 검출기는 dynode라고 하는 활성화된 표면으로 만들어진 Channel Electron Multiplier (CEM) 검출기이다. CEM은 약 90° 가까이 구부러진 쇠뿔 형태의 관 모양으로 생겼으며 quadrupole을 통과한 이온이 CEM 내의 첫 번째 dynode에 충돌하면 2차 전자들이 튀어나오고 channel을 통과하면서 106~108개의 전자로 증폭된다. 다시 증폭기를 거쳐 data readout system에 연결되어 신호를 얻게 된다.

4. 방해 영향⁵⁾

4.1 분광학적 간섭

ICP-MS에서의 분광학적 방해는 ICP-AES에서 만큼 많은 것은 아니다. 그러나 ICP-MS에서도 분광학적 방해는 존재하며 분석 원소, background 등에서 생성된 많은 수의 분자 종에 의한 간섭을 일으킨다. 어떤 의미로는 ICP-MS의 “wavelength table”은 주기율표라고 말할 수도 있다.

(1) Isobaric overlap

ICP-MS에서 가장 문제시되는 방해요인이 isobaric interference이다. 대부분의 원소는 보통 하나 이상의 isotope를 가지므로 한 원소의 isotope가 다른 원소의 isotope와 겹쳐지는 일이 가능하다. 예를 들어 ⁴⁸Ti 와 ⁴⁸Ca 사이에는 isobaric 겹침이 존재한다. 이러한 겹침은 Ti와 겹치지 않는 Ca의 다른 isotope를 측정해서 Ti 측정시 Ca의 영향을 보정할 수 있다. 즉, ⁴⁴Ca를 측정해서 이 signal의 0.08738배 만큼의 signal을 ⁴⁸Ti의 signal에서 빼주면 ⁴⁸Ca의 겹침은 보정된다. 0.08738은 ⁴⁴Ca와 ⁴⁸Ca



Table 1. 몇 가지 원소에 대한 Interferences

Isotopes	Interferences
³² S	¹⁶ O ₂ ⁺
³⁹ K	³⁸ Ar ⁺ & ⁴⁰ Ar ⁺ (tailing)
⁴⁰ Ca	⁴⁰ Ar ⁺
⁵² Cr	⁴⁰ Ar ⁺ ¹² C ⁺ (organic matrix)
⁵⁴ Fe	⁴⁰ Ar ¹⁴ N ⁺
⁵⁶ Fe	⁴⁰ Ar ¹⁶ O ⁺
⁵⁷ Fe	⁴⁰ Ar ¹⁶ OH ⁺
⁶³ Cu	⁴⁰ Ar ²³ Na ⁺ (high Na matrix)
⁶⁴ Zn	³² S ¹⁶ O ₂ ⁺ (high S matrix)
⁷⁵ As	⁴⁰ Ar ³⁵ Cl ⁺ (high Cl matrix)
⁷⁷ Se	⁴⁰ Ar ³⁷ Cl ⁺ (high Cl matrix)
⁸⁰ Se	⁴⁰ Ar ₂ ⁺

의 존재 비율이다.

같은 방법으로 ⁵⁸Ni를 측정하고자 할 경우 ⁵⁸Fe의 겹침은 ⁵⁶Fe를 측정함으로써 보정할 수 있다. 이러한 interference는 정확히 예측할 수 있으므로 보정할 수 있다. Isobaric interference에 대한 보고는 ICP-MS에서 많이 연구되어지는 부분이다. 표 1에서는 몇가지 원소들에 대한 isobaric interference를 요약하였다.

(2) Background spectral features

ICP-MS에서는 Ar⁺, ArO⁺, ArH⁺, H₂O⁺, H₃O⁺ 등과 대기중의 질소, 시료가 녹아있는 용액의 산소 및 수소 화합물 등의 바탕 스펙트럼이 나타나서 이들의 질량에 의한 겹침에 해당하는 원소들의 분석에는 어려움이 있다. ²⁸Si⁺(14N14N⁺), ³¹P⁺(14N16OH⁺) 와 ⁸⁰Se⁺(40Ar16O⁺)와 같은 species 는 ⁵⁶Fe 뿐만 아니라 Fe의 모든 isotope에 겹치며 ArOH는 first-row 전이 원소들에 모두 영향을 준다(Table 2). Ar⁺ 도 Se의 모든 isotope에 영향을 준다.

Table 2. Details of ArO⁺ Spectral Interferences in ICP-MS Analysis

Mass	Elements(Abandance, in %)	ArO ⁺ species
51	V(99.76)	
52	Cr(83.76)	36Ar16O,
53	Cr(9.51)	36Ar17O, 36Ar16OH,
54	Fe(5.82), Cr(2.38)	36Ar18O, 38Ar16O, 36Ar17OH
55	Mn(100)	38Ar17O, 36Ar18OH, 38Ar16OH
56	Fe(91.66)	36Ar18O, 40Ar16O, 38Ar17OH
57	Fe(2.19)	40Ar17O, 40Ar16OH, 38Ar18OH
58	Ni(67.77), Fe(0.33)	40Ar18O, 40Ar17OH,
59	Co(100)	40Ar18OH
60	Ni(26.16)	

좀 더 복잡한 문제는 isobaric 겹침과 background에서 기인된 polyatomic species 가 둘 다 영향을 줄 때이다. 예를 들면, 질량수 75에서 As를 분석하는 경우 ⁴⁰Ar³⁵Cl 및 ⁷⁵Se이 방해할 한다. ArCl의 방해정도는 그리 크지 않지만 Cl의 농도가 높을 경우에는 이를 무시하기 어려우므로 염소의 다른 동위원소인 ³⁷Cl을 이용하여 보정할 수 있다(실제로는 ⁴⁰Ar³⁷Cl를 측정하여).

산화물, 수산화물 및 doubly charged analyte species

이온화 과정에서 많은 원소들이 singly charged ion M⁺ 뿐만 아니라 일산화물 이온 MO⁺ 와 약간의 2가 이온 M²⁺ 그리고 수산화물 MOH⁺ 등도 함께 생성된다. 이러한 species 들은 다른 분석 종을 측정할 때 방해하므로 매우 중요하다. 예를 들면 티타늄은 자연적으로 5개의 동위 원소를 가진다. : ⁴⁶Ti(7.99%), ⁴⁷Ti(7.32%), ⁴⁸Ti(73.98%), ⁴⁹Ti(5.46%) 그리고 ⁵⁰Ti(5.25%) 이다. 여기에 대응하는 산화물 ¹⁶O 은 ⁶²Ni, ⁶³Cu, ⁶⁴Zn, ⁶⁵Cu, ⁶⁶Zn 에 분광학적 간섭을 일으킨다. 이러한 간섭에 의해 isobaric correction이 어렵게 된다. 따라서 injector gas 유속, sampling depth, RF power 등을 조절해서 산화물 이온이나 2가 ion 등이 가능한 한 적게 발생되도록 해야 한다.

최근에는 제조회사별 화학적 반응에 의한 분리에 관한 특허 등이 많이 개발되었고, 그 예로써 Perkin-Elmer사의 DRC (Dynamic Reaction Cell) 기술,⁶⁾ Thermo Elemental사의 CCT (Collision Cell Technology) 기술 등이 개발되어 이러한 화학종에 대한 분리를 효과적으로 해결하여 분석하기 어려운 Fe, Ca, K 등의 원소들을 ppt 혹은 ppq 수준까지도 분석하는 기술이 개발되고 있다.

4.2. 비분광학적 방해

ICP-MS에서는 시료용액중의 총 가용성 물질(TDS)의 농도가 1,000 ppm 이상이 되면 여러 가지 방해영향을 초래한다고 알려져 있다. 우선적으로 TDS의 양이 많으면 sampler cone에 염의 흡착이 일어나 orifice를 막기 때문에 흡입되는 플라즈마 기체의 양이 변하고 이로 인해 정밀도가 떨어지고 RSD 값이 커진다. 또한 공존성분의 농도를 증가시키거나 감소시키는 등의 문제점이 있다고 알려져 있다.

이와 같이 비분광학적 간섭이 예상되는 경우에는 분석성분을 미리 분리하여 매트릭스를 제거하고 ICP-MS로 분석하거나 ICP-MS로 분석하기 전에 다른 방법에 의해 전체 성분의 농도를 조사하여 분석성분의 감도가 허용하는 범위까지 묶여서 이러한 방해를 최소화하여야만 한다.

4.3. Chemical Resolution

이온화 단계에서 분석하고자 하는 원자와 매트릭스 그리고 아르곤 가스와의 화학적 반응으로 생성되는 다원자 이온(polyatomic or isobaric species)으로 몇가지의 원소들에 대한 분석은 매우 어려운 단점이 있다. 특히 Fe, Ca, K, Cr, As, V, Se 등의 원소들이 대표적인 예인데 이러한 원소들에 대한 간섭문제를 개선하기 위한 방법으로 DRC(Dynamic Reaction Cell - Perkin-Elmer사) 혹은 CCT(Collision Cell Technology - ThermoElemental사)등의 방법이 개발되었다. 이들 방법은 여러종류의 반응기체를 이온들과 진공속에서 반응시켜 다원자 이온들에 대한 방해요인을 제거하여 분석능을 높이는 기술이 발달되어 상용화되고 있다.

5. 응용

5.1. 광물 소재의 분석

ICP-MS는 광물 소재 중 극미량 성분 분석에 많이 이용되고 있다. 광물 소재중 희토류 원소의 극미량 성분 분석은 전통적으로 광물학 연구에 상당한 중요성을 가지며 지화학적 탐사에서의 중요성이 증가되고 있다. ICP-MS가 개발되기 전에는 ICP-OES가 희토류 원소의 분석

에 중요하게 이용되었으나 검출한계가 충분히 낮지 못하고 또한 희토류 원소간의 복잡한 발광 스펙트럼에 의한 분광학적 간섭이 가장 큰 문제점이었다. 그러나 ICP-MS에서 얻은 질량 스펙트럼의 경우 각각의 희토류 원소들은 isobaric 겹침이 없는 동위원소가 하나 이상 존재하기 때문에 ICP-MS에 의한 희토류 원소의 분석시 희토류 원소간의 분리과정은 필요 없어 탁월한 분석 결과를 얻을 수 있다.

5.2. 물의 분석

음용수, 지하수, 폐수 및 해수 등의 분석은 지질학적 연구나 수질을 조절하거나 오염원천을 규명하는데 매우 중요하다. 이를 위해서는 기대하지 못했던 원소를 검출해 내는 능력이 중요하며 full mass range scanning 방법이 사용될 수 있다. ICP-MS는 이러한 조건들을 만족시키므로 물을 분석하는데 매우 유용하게 사용된다. 특히 해수 분석의 경우 극미량 원소를 분석해야하는 경우가 대부분이므로 ICP-MS에 의한 분석이 필수적이라 할 수 있다.

5.3. 생명 과학에서의 응용

ICP-MS는 특히 동물이나 인간의 신진대사 과정을 연구하거나 중금속의 측정 정도를 연구하는데 많이 사용된다. 즉 토양, plant material, food stuff, 체액 등이 전형적인 분석 대상 시료들이다. 그러나 인체의 혈액은 매우 까다로운 시료중의 하나이다. 혈액에는 suspended solid matter가 포함되어 있으므로 이에 맞는 전처리 과정을 거쳐야 하며 단순한 dilution을 해서 사용하면 보통의 nebulizer가 막힐 염려가 있으므로 HNO₃/H₂O₂로 분해한 다음 분석한다.

5.4. 동위원소의 비율 측정

자연에 존재하는 보통원소의 동위원소들간의 존재 비율은 일정하다. 그러나 major isotope가 방사능 붕괴로부터 생성되는 원소들의 경우에는 동위원소의 비율이 일정하지 않다. 대표적인 예는 방사능 붕괴로 생성된 납의 경우이다. 각각의 동위원소들이 반감기가 서로 다른 모원소로부터 생성되었기 때문에 납을 포함하는 암석의

나이를 동위원소 비율로부터 추측해 낼 수 있다. 따라서 광물의 생성연대를 측정하기 위하여 지질학자들은 납을 화학적으로 분리한 후, thermal ionization mass spectroscopy로 동위원소 비율을 측정한다. 그러나 ICP-MS는 thermal ionization instrument 보다 훨씬 정확한 동위원소의 비율 측정할 수 있으므로 근래에는 지질학자들에 의해 많이 사용되어지고 있다.

5.5. ICP-MS를 이용한 반도체 재료의 분석

ICP-MS는 반도체 재료 등 고순도 재료에 불순물로서 포함되어 있는 성분들에 대한 분석에 탁월한 능력을 가진다. 특히 금속시료의 정량 및 정성, 유기 생체 중의 미량 금속의 정량분석에 이르기까지 다양하게 응용이 되고 있다. Si-반도체의 경우 극미량의 알칼리 금속이나 알칼리 토 금속 불순물은 전압의 breakdown을 야기시키거나 high dark current 문제를 발생시킨다. 이러한 반도체 재료의 경우 특히 낮은 검출한계를 요구한다. 즉, pg/mL 에서 sub pg/mL의 검출한계와 약 75개 이상의 원소들에 대하여 같은 수준의 detection limits 와 background를 요구하기 때문에 반도체 재료의 분석에 있어서 ICP-MS는 필수적인 분석장비이다.

참고 문헌

1. "Application and Technology of a new ICP-MS spectrometer" atomic spectroscopy special issue **16(1)** Jan/Feb (1995).

2. R. S. Houk, "Mass Spectrometry of Inductively Coupled Plasma" Analytical Chemistry, **58(1)** (1986).
3. D. J. Douglas and J. B. French, "An Improved Interface for ICP-MS", Spectrochimica Acta, Part B, **41B(3)** (1986).
4. D. A. Wilson, G. H. Vickers G. M. Hieftje, J. Analy. Atom. Spectrom., **2**, 365 (1987).
5. S. D. Tanner, "Vladimir I. Baranov, Atomic spectroscopy," **20(2)**, March/April (1999).
6. Table of polyatomic interferences in ICP-MS, Thomas W. May, Ray H. Wiedmeyer, Atomic spectroscopy **19** (5), Sept./October(1998).



유 응 철

- 1985년 상균관대학교 대학원 화학과 (이학석사)
- 1993년 자를란트대학교 (독일, Universität des Saarlandes) (이학박사, 무기화학)
- 1985년 한국과학기술연구원 연구원
- 1989년 자를란트 대학교
- 1990년 무기화학 연구소 연구원 (Institut für anorganische Chemie, Univ. Saarlandes)
- 1993년 기술표준원 화학부
- 1994년 재료분석과 공업연구사
- 1998년 경기대학교 첨단산업공학부 겸임교수
- 1999년 한국산업기술대학교 화학공학과 겸임교수
- 2000년 요업기술원(KICET) 중합분석팀 팀장
- 현재