

Agilent 7850 ICP-MS를 이용한 대기오염공정시험기준의 환경대기 금속화합물 분석법 고찰

저자

김도현, 한철우,
한국애질런트테크놀로지스(주)

오세연,
Korea Inorganic analysis solution,
KIS

개요

본 실험에서는 유도결합 플라즈마 질량분석법(ICP-MS)을 활용한 대기오염공정시험기준 환경대기 중 금속화합물에 대한 전처리 및 기기분석 과정에 대한 정보보증, 정도관리에 대해서 집중하여 다루었으며, 이러한 내용을 토대로 실무자가 쉽게 이해하고 실험을 할 수 있도록 참고 자료로 작성하였습니다.

시험과정에 대한 정확도(accuracy), 정밀도(precision) 평가를 위하여 11개의 분석 항목인 구리(Cu), 납(Pb), 니켈(Ni), 비소(As), 아연(Zn), 철(Fe), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 베릴륨(Be), 코발트(Co) 그리고 시험기준에는 포함되어 있지 않지만, 추가로 망간(Mn) 표준용액을 여과지에 첨가한 시료 5개를 공정시험기준 7.1.1.3 마이크로파 산 분해법으로 전처리 하였습니다. 이렇게 준비한 시료는 ICP-MS를 사용하여 간섭 제거 방식에 따라 베릴륨은 원소 특성상 다른 질량 간섭의 영향을 받지 않기 때문에 헬륨가스를 사용하지 않고, 나머지 성분에 대해서는 고온 플라즈마 헬륨가스 간섭 제거(helium collision mode)방법으로 측정하였습니다. 정확도에 대한 회수율은 금속 성분에 따라 92~108%로 공정시험법 목표치 75~125% 이내, 정밀도는 1.5~4.7%로 목표치의 10% 범위 이내의 결과를 보여주었습니다. 그리고 7개의 전처리 바탕용액을 측정하여 계산한 검출한계(LOD, Limit of Detection) 및 정량한계(LOQ, Limit of Quantitation)는 시험법에서 제시하는 유도결합 플라즈마-원자발광분광법(ICP-OES)의 정량한계에 비하여 160배 이상 낮은 값을 얻을 수 있었습니다. 특히 ICP-MS의 장비에 대한 경험이 많지 않은 실무자가 다양한 기기적 파라미터에 대한 최적화 과정을 기본 설정 메소드를 불러와 간단한 autotune의 실행만으로 분석을 진행할 수 있으며, 복잡하고 다양한 간섭(Interference)을 제거하고 분석할 수 있습니다.

서론

현재 국내 대기오염공정시험기준 금속류 규제 항목은 납에 대해서만 연평균 기준 $0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 규제하고 있으며, 국내에서는 미규제 항목이지만 WHO 권고기준 설정 항목인 카드뮴 $0.005\mu\text{g}/\text{m}^3$, 망간 $0.15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 포함하여 위에서 언급한 총10개 항목에 대해서 관리 감독하고 있습니다.

시험방법에는 원자흡수분광법(AAS)을 주시험방법으로 사용하고 있으며, 유도결합 플라즈마-원자발광분광법(ICP-OES) 그리고 자외선/가시선 분광법(UV-Vis) 또한 적용 가능한 시험방법입니다. 이중 비소에 대해서는 원자흡수분광법 사용시 감도를 높이기 위해서 수소화물발생 보조장치를 병행 사용하거나, 흑연로 원자흡수분광법을 사용하여 분석하게 되어있습니다.

ICP-OES 및 ICP-MS 보급이 확대되면서 기준치 초과 또는 근접한 농도 시료에 대해서 재분석 및 검증 과정에서 대체 분석 시험방법으로 활용도가 높아지고 있습니다. 하지만, 다양한 지역적 환경 특성에 의하여 시료 조성과 매질의 차이가 분석 결과에 미칠 수 있는 요소뿐만 아니라 기기적 특성에 따른 간섭 요인에 대해서도 분석자가 사용하는 시험방법에 따라 오차를 줄이기 위한 과정이 필요합니다. 특히, 시험방법에 포함하고 있는 ICP-OES의 경우, 불꽃방식 AAS에 비해서 다원소를 동시에 빠르게 분석할 수 있고 더 낮은 기기적 검출한계의 장점을 가지고 있지만, 분석하고자 하는 금속과 근접한 파장에서 발광하는 물질이 존재하거나, 측정 파장의 스펙트럼이 넓어질 때, 이온과 원자의 재결합으로 연속 발광할 때 또는 분자 띠 발광 시에 발생할 수 있는 광학적 간섭에 대한 해석이 어렵고 다른 파장을 선택하더라도 해당 파장 역시 광학 간섭의 중첩을 벗어나지 않을 경우 분석 값의 정확도가 떨어지고 과대 평가될 수 있습니다.

ICP-MS 활용한 시험방법은 AAS, ICP-OES로 정량하기 어려운 극미량 금속류 측정뿐만 아니라, 분석 장비의 기술 발달로 AAS, ICP-OES로 측정하던 고매질, 고농도의 시료에 대해서도 적용할 수 있게 되었습니다. 특히 국내 먹는 물, 수질, 토양, 폐기물 공정시험기준에도 대체 분석방법으로 명시되어 있으며, 다양한 국/내외 논문 및 학술 자료에서도 대기 중 미세먼지 중금속 분석에 있어서 많이 활용되고 있습니다. 참고로 ICP-MS가 갖는 기기적 간섭 요인에는 먹는물 수질오염공정시험기준 ES 05400.3f에서 명시된 다음과 같은 간섭 요인이 있으며, 분석자는 이러한 요소를 최소화하여 분석을 진행하여야 합니다.

- 동중원소 간섭(isobaric elemental interferences) - 다른 원소의 동위원소가 1가 또는 2가로 이온화 되면서 측정하려는 원소의 질량과 동일한 경우의 간섭
- 다원자 간섭(polyatomic interference) - 측정하려는 원소의 질량과 동일한 다원자로 구성된 이온에 의해 발생하는 간섭

- 물리적 간섭 - 시료를 플라즈마로 전달하고 플라즈마 내에서 분석 성분을 이온화 시키는 효율을 저하시키는 간섭 요인으로 시료에 포함된 용존 고형물(total dissolved solid) 농도가 높고 전처리 과정에 사용되는 산의 농도가 검량곡선 작성에서 사용되는 표준물질의 산의 농도와 차이가 있을 때 발생. ICP-MS 인터페이스의 샘플러/스키머 콘에 흡착된 고형물질이 제대로 세척이 안되었을 때도 발생

이외에도 하나의 시료 분석이 끝난 후, 시료의 해당 원소가 다음 시료의 측정 결과에 영향을 미치는 메모리 간섭, 측정 대상 질량이 인접한 질량에 의한 영향을 받는 분해능에 의한 간섭이 발생될 수 있으므로 이러한 영향을 최소화할 수 있는 기기적 최적화 튜닝 과정 및 내부표준물질을 적용한 보정방법 등을 도입하여 사용할 수 있어야 합니다.

매번 반복되는 시료의 전처리 과정과 기기분석을 통한 결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 실무자는 주기적인 내부 정도관리를 수행함으로써 실험 과정의 오차를 최소화하고 정확도와 정밀도를 개선할 수 있는 객관적 지표로 활용할 수 있습니다.

실험

시료 정보

시료 전처리 및 검량선 작성을 위해 케미탑 전자급 질산을 사용하였으며 표준용액 제조를 위하여 Inorganic Venture사의 IV-71A, $10\mu\text{g}/\text{mL}$ 다원소 표준용액을 희석하여 사용하였습니다. 정확도, 정밀도 평가를 위하여 Whatman EPM 2000(borosilicate glass microfiber, $20.3 \times 25.4 \text{ cm}^2$) 여과지에 표준물질을 첨가하여 진행하였습니다.

표준액 조제방법

$10\mu\text{g}/\text{mL}$ 다원소 표준용액을 미리 제조해 놓은 3% 질산(v/v)/9% 염산(v/v) 혼합액을 사용하여 11개의 분석 항목인 구리, 납, 니켈, 비소, 아연, 철, 카드뮴, 크롬, 베릴륨, 코발트, 망간 원소를 0.1, 1.0, 10.0, 50.0, 100.0, 1,000.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ 농도로 희석하여 사용하였습니다.

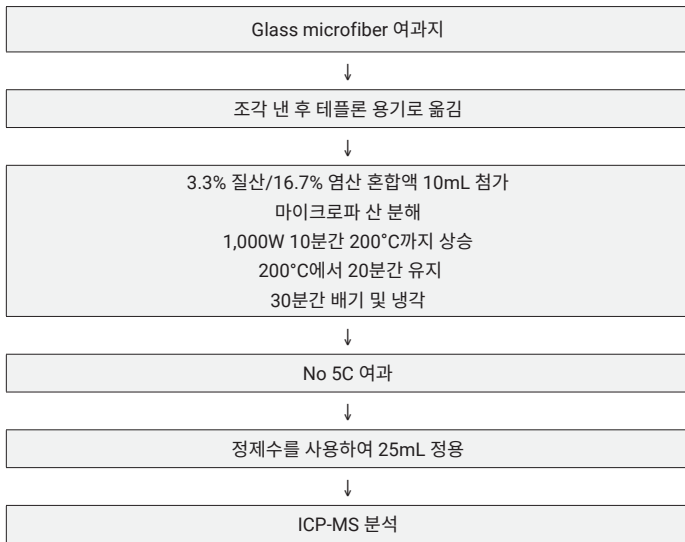
시료 전처리 방법

시료의 전처리 방법은 산의 조성에 따라 질산-과산화수소법, 질산-염산법, 질산법으로 나누어지며, 마이크로파 산 분해법 역시 질산, 염산 그리고 혼합산(질산 1:염산 3)을 사용하는 방법이 있으며 이 외에 저온회화법, 용매추출법이 시험법에 제시되고 있습니다. 하지만, 전처리 과정 중 발생할 수 있는 휘발성이 높은 원소에 대한 회수율 저하와 다양한 실험 재료 사용으로 인한 간접 오염 및 실험

용액의 매질의 복잡성 유발 등의 이유로 마이크로파 산 분해법이 많이 적용되며, 본 실험에서도 질산 염산 혼합산을 사용한 방법을 적용하였습니다.

여과지는 사용 전 미리 진한 질산 10mL 그리고 증류수 순으로 세척하여 사용하였습니다. 방법 검출한계 및 정량한계를 계산하기 위해 방법 바탕시료는 7개의 세척된 여과지를 세라믹 가위로 잘게 자르고 플라스틱 핀셋을 사용하여 마이크로파 산 분해장치의 테플론 용기로 각각 옮긴 뒤, 5.5% 질산/16.7% 염산 혼합산 10ml를 가하여 용액이 여과지를 완전히 덮도록 한 뒤, 분해를 실시하였습니다. 정밀도, 정확도 평가를 위하여 표준용액을 첨가한 여과지를 동일한 과정을 거쳐 최종 부피가 25mL가 되도록 정용하여 사용하였습니다. 마이크로파 산 분해장치는 CEM사의 MARS6를 사용하였습니다.

표 1. 7.1.1.3 마이크로파 산 분해 전처리 과정.



분석 기기 및 조건

Agilent 7850 ICP-MS와 시료 자동도입장치인 SPS4 오토샘플러를 사용하였으며, 시료 도입부 구성은 마이크로미스트 네블라이저, 석영 재질의 스프레이 챔버, 토치 그리고 니켈 재질의 샘플러 및 스키머 콘을 사용하였습니다.

분석 조건은 시료 매질과 응용 분야에 따라 기기 소프트웨어에서 사용자가 쉽고 간단하게 선택할 수 있는 Pre-set method 중 General(일반모드)를 선택하였으며, 이 분석 조건은 용존 고형물질(Total dissolved solid) 농도가 0.2%(2,000mg/L) 수준의 시료 매질에서도 장시간 연속 분석 시 안정성(Long term stability)이 뛰어나며, 높은 염과 용존 고형물질로 인한 다양한 간섭 요인의 영향을 상대적으로 최소화해 분석할 수 있는 조건입니다. 이러한 기능의 주된 원리는 선택된 메소드의 기본 튜닝에 UHMI(Ultra High Matrix Introduction)가 적용되는데 ICP-MS 이온화 소스인 플라즈마 전 단계 시료 도입부에서 아르곤을 희석 가스로 주입하여 표준용액과 시료를 설정된 조건으로 희석하여 전달합니다. 희석된 시료 매질은 플라즈마 내에서 고매질로 인한 이온화 억제(Ionization suppression) 간섭과 장시간 시료를 분석하는 과정에서도 감도 저하 현상을 상당히 줄여 줌으로써 정확도와 정밀도를 개선해 줄 수 있습니다.

ICP-MS에서의 간섭(Interference)에는 다량의 공존원소가 결합되어 분석 원소의 질량과 겹침 현상을 야기하는 다원자 간섭과 동일한 질량을 갖고 있는 동위원소(isotope)로부터 발생하는 동중원소 간섭이 있습니다. 그리고 기본적으로 플라즈마 형성에 사용되는 Ar, 우리 주변의 공기와 물에 포함된 O, H, N, C 등은 ICP-MS의 기본적인 질량 스펙트럼의 바탕 값에 일정비율이 포함되어 있습니다. 또한 다양한 대기 중 미세먼지 시료에서는 기본적으로 Na, K, Mg, Ca, P, S, Cl, Fe, Cu, Zn 등이 상당량 포함되어 있어 중금속 분석 대상 원소에 다양한 간섭을 줄 수 있습니다.

따라서 이러한 간섭을 최소화하기 위하여 분석 원소에 대한 동위원소 선택 및 기기적 간섭 제거 방법을 최적화하는 과정은 매우 중요합니다. 하지만, 실무자가 이러한 간섭 원인에 대해서 충분히 이해하고 그에 따른 기기 조건의 다양한 파라미터를 하나하나 직접 튜닝하여 최적 조건을 찾기는 매우 어려운 것 또한 현실입니다.

이러한 간섭을 제거하기 위한 다양한 충돌/반응 셀(collision/reaction cell) 기술을 오랫동안 지속해서 개발해 왔으며, Agilent 7850 ICP-MS에서는 ORS(Octopole Reaction System)를 활용한 헬륨가스 간섭 제거 방식을 이용하며 본 실험에서는 위와 마찬가지로 내장된 Pre-set method를 그대로 적용하여 분석하였습니다.

표 2. 중금속 분석 원소에 대한 다원자 간섭 요인 및 간섭 제거 방식.

원소	분석질량 (amu)	존재 비(%)	간섭 제거 방식	다원자 간섭
Cu	63	69.15	헬륨 모드	23Na40Ar, 26Mg37Cl, 28Si35Cl, 62Ni1H, 47Ti16O
Pb	208	52.4	헬륨 모드	104Ru104Ru, 104Pd104Pd, 168Er40Ar, 173Yb35Cl, 192Os16O
Ni	60	26.22	헬륨 모드	44Ca16O, 23Na37Cl, 43Ca16O1H
As	75	100	헬륨 모드	40Ar35Cl, 40Ca35Cl, 59Co16O
Zn	66	27.81	헬륨 모드	50Ti16O, 34S16O2, 33S16O21H, 32S16O18O, 32S17O2, 33S16O17O, 32S34S, 33S2
Fe	56	91.66	헬륨 모드	40Ar16O, 40Ca16O, 40Ar15N1H, 38Ar18O,
Cd	111	12.80	헬륨 모드	71Ga40Ar, 74Ge37Cl, 76Se35Cl, 110Pd1H, 95Mo16O
Cr	52	83.79	헬륨 모드	35Cl16O1H, 40Ar12C, 36Ar16O, 37Cl15N, 34S18O, 36S16O, 38Ar14N, 36Ar15N1H, 35Cl17O
Be	9	99.75	고온 플라즈마	-
Co	59	100	헬륨 모드	43Ca16O, 42Ca16O1H, 24Mg35Cl, 36Ar23Na, 40Ar18O1H, 40Ar19F
Mn	55	100	헬륨 모드	40Ar14N1H, 39K16O, 37Cl18O, 40Ar15N, 38Ar17O, 36Ar18O1H, 38Ar16O1H, 37Cl17O1H, 23Na32S, 36Ar19F

분석 전, 선택된 고매질 시료 적용 Pre-set method를 최적화하기 위하여 1µg/L 농도의 튜닝용액으로 소프트웨어 autotune 기능을 실행하였으며, 설정된 ICP-MS 분석 조건은 표 3과 같습니다.

표 3. Agilent 7850 ICP-MS에 내장된 Pre-set method 조건.

기기 조건 항목	헬륨가스 단일 모드	고온 플라즈마 (기본 모드로 간섭 비제거 방식)
플라즈마 모드	General (일반모드) **고형 용존물 함량(TDS) 최대 0.2%, 2,000mg/kg 수준 적용	동일
RF 출력(W)	1,550	동일
운반 가스(L/min)	1.07	동일
스프레이 챔버 온도(°C)	2	동일
다원자 간섭 제거 분별에너지(V)	5	5
질량 간섭 제거 헬륨(He) 가스 유량 (mL/min)	5.0	0
이온 렌즈	autotune 설정값 적용	동일

참조: 위 조건 이외의 다른 기기 조건 항목은 autotune에 의해 자동 설정됨

결과

시험 분석 결과는 금속류 시험법의 검증 요소에 대해서 충족되어야 합니다. 아래 표 4는 현재 공정시험기준에 유해물질 기준과 정량범위, 측정파장, 표시 자릿수 그리고 ICP-OES 방법 검출한계를 나타내고 있으며 표 5는 정도관리 목표값을 보여줍니다.

방법 검출한계와 정량한계는 시험액 공여과지를 마이크로파 산 분해법에 따라 전처리한 바탕용액 7개를 측정하여 표준편차에 3.3을 곱한 값을 방법 검출한계(DL)로 10을 곱한 값을 정량한계로 시험법에 따라 계산하였습니다.

표 4. 대기오염공정시험 규제항목 및 기준, 유도결합 플라즈마 분광법의 정량범위, 표시한계, 방법 검출한계(ES 01700.3 1.2.2).

유해 물질	기준 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	정량범위 (mg/L)	측정파장 (nm)	시험결과 표시 자릿수	ICP-OES법 방법 검출한계(mg/L)
Cu	-	0.04 ~ 20	324.75	0.00	0.010
Pb	0.5	0.1 ~ 2	220.35	0.00	0.032
Ni		0.04 ~ 2	231.60/ 221.65	0.00	0.014
As		0.02 ~ 0.15	193.969	0.00	0.025
Zn		0.4 ~ 20	206.19	0.00	0.120
Fe		0.1 ~ 50	259.94	0.00	0.034
Cd	(0.005) *	0.008 ~ 2	226.50	0.00	0.005
Cr	-	0.02 ~ 4	357.87/ 206.15/ 267.72	0.00	0.012
Be	-	0.02 ~ 2	313.04	0.00	0.002
Co	-	0.15 ~ 5	228.62	0.00	0.015
Mn**	(0.15) *	-	-	-	-

1) * WHO 권고기준 항목

2) ** 대기오염공정시험법에 Mn 항목은 포함되지 않음

표 5. 공정시험기준 유도결합 플라즈마-원자발광광도법 정도관리 목표값.

검증 요소	기준 범위
정확도	75~125%
정밀도	상대표준편차가 10% 이내
정량한계	표 4에 따른다.
검량곡선	결정계수(R^2) ≥ 0.98 또는 감응계수(RF)의 상대표준편차 $\leq 10\%$

표 6. ICP-MS 측정 결과에 대한 검정곡선의 결정계수(R^2), 방법 검출한계 및 정량한계(n=7).

원소	분석질량 (amu)	간섭 제거 방식	결정계수 (R^2)	방법 검출한계 (MDL)(mg/L)	정량한계 (MDL)(mg/L)
Cu	63	헬륨 모드	1.0000	0.000040	0.000132
Pb	208	헬륨 모드	1.0000	0.000014	0.000045
Ni	60	헬륨 모드	1.0000	0.000095	0.000315
As	75	헬륨 모드	1.0000	0.000140	0.000465
Zn	66	헬륨 모드	1.0000	0.000386	0.001287
Fe	56	헬륨 모드	1.0000	0.000208	0.000692
Cd	111	헬륨 모드	1.0000	0.000009	0.000030
Cr	52	헬륨 모드	1.0000	0.000018	0.000060
Be	9	고온 플라즈마	1.0000	0.000011	0.000035
Co	59	헬륨 모드	1.0000	0.000007	0.000023
Mn**	55	헬륨 모드	1.0000	0.000015	0.000048

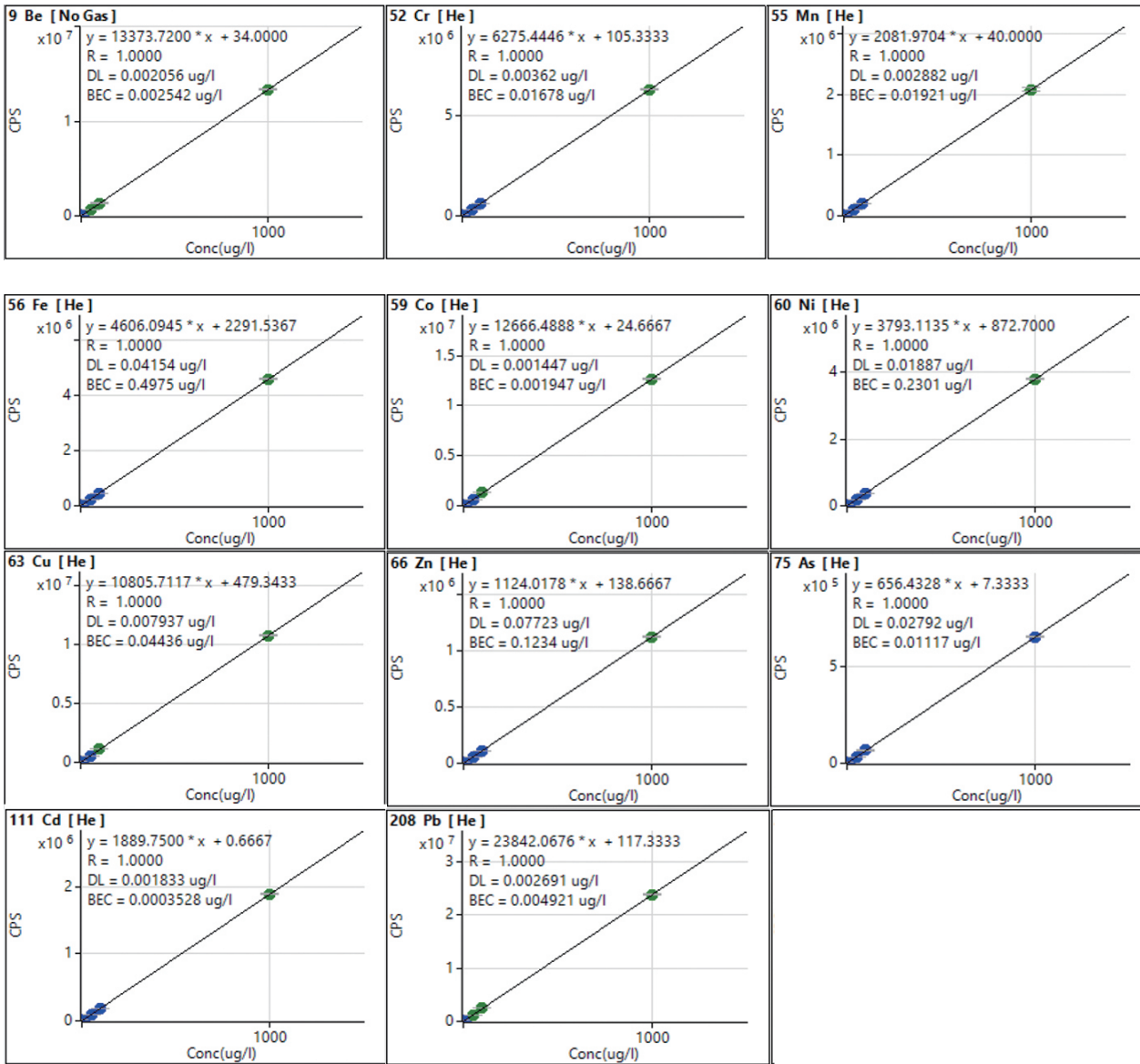


그림 1. ICP-MS 분석 항목별 검량곡선.

그림 1의 검량곡선에서 표시하고 있는 DL(Detection Limit)은 검량곡선 바탕용액(blank) 3반복 측정에 대한 표준편차 곱하기 3에 해당하는 기기 검출한계를 의미하며, BEC(Background Equivalent Concentration)는 직선의 방정식 $y = ax + b$ 에서 b에 해당하는 바탕값 농도를 의미하며 기울기 a값으로 b를 나누어 계산합니다. 이 바탕값에는 검량곡선 바탕용액에 포함되어 있는 해당 원소 오염 농도, 실험실 환경 오염, 초자 및 시약 오염, 기존 분석 시 잔존해 있던 장비 시료 도입부 메모리 효과, 장비의 튜닝 조건에 대한 바탕값, 간섭 제거 방식에 따른 바탕값, 장비 유지관리에 대한 바탕값 등 요소를 모두 반영하고 있습니다. 분석 실무자는 최대한 검량곡선의 기울기 a(해당 원소의 농도 단위당 감도)와 b를 지속적으로 유지 관리해 주어야 합니다. 정도관리 항목 중 정확도를 평가하기 위하여 공여과지 시료 5개에 표준물질을 원소별로 표.8번과 같이 첨가하여 동일한 전처리 및 시험방법으로 진행하였습니다. 계산은 첨가한 시료 분석값(C_{AM})과 첨가하지 않은 시료 분석값(C_S)과의 차이를 첨가 농도(C_A)의 상대 백분율로 계산하였습니다.

$$\text{정확도}(\%) = \frac{C_{AM} - C_S}{C_A} \times 100$$

정밀도는 정확도 평가를 위해 준비한 시료 7개를 측정한 결과에 대하여, 평균값(\bar{x})과 표준편차(s)로 다음과 같이 구하였습니다. 결과는 표 7에 정리하였습니다

$$\text{정밀도}(\%) = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$$

표 7. 검정 시료에 대한 정확도/정밀도(n=5) 그리고 시료 용출액 마이크로파 산 분해법 정확도/정밀도 결과(n=5).

원소	분석질량 (amu)	방법 바탕시료 농도(µg/L)	측정값 농도(µg/L)	첨가한 농도 (µg/L)	회수율(%)	정밀도(%)
Cu	63	0.095	117.05	120	98	3.2
Pb	208	0.006	24.59	25	98	2.4
Ni	60	0.043	46.62	50	93	2.8
As	75	0.035	46.4	50	93	3.2
Zn	66	0.125	216	200	108	2.7
Fe	56	0.543	512.93	500	103	4.7
Cd	111	0.003	45.86	50	92	4.0
Cr	52	0.035	46.96	50	94	3.4
Be	9	0.021	4.86	5	97	1.8
Co	59	0.008	4.80	5	96	1.5
Mn**	55	0.016	24.06	25	96	3.8

결론 및 고찰

대기오염공정시험기준 환경대기 중 중금속화합물에 대해서 ICP-MS 시험방법을 적용하여 측정하였습니다. 시료 전처리 과정은 마이크로파 산 분해법을 적용하였고 Agilent 7850 ICP-MS로 측정하였을 때, 정도보증/정도관리(QA/QC) 목표값에 모두 충족한 결과를 얻을 수 있었습니다.

- 기기분석 초보자도 쉽게 사용할 수 있는 Pre-set method 기능으로 시료와 매트릭스에 최적화된 메소드를 소프트웨어에서 불러와 쉽게 작성 및 적용할 수 있습니다
- 베릴륨 항목에 대해서는 기본 고온 플라즈마 모드에서 질량 간섭에 영향없이 측정 가능하며, 나머지 10가지 원소에 대해서는 헬륨 간섭 제거 단일 모드로 분석 가능합니다
- ICP-MS autotune기능을 통해 다양한 기기분석 파라미터를 최적화할 수 있기 때문에 높은 속련도를 요구하지 않습니다
- 대기오염공정시험기준의 시험방법인 ICP-OES 방법 검출한계 대비 ICP-MS 측정 결과 160배 이상 수준으로 중금속 분석 항목에 대해 충분히 낮은 검출한계를 얻을 수 있습니다. 뿐만 아니라, 이번 실험에 사용된 General (일반모드) 간편 튜닝 조건으로 시료 매질의 고형 용존물 함량(TDS)이 최대 0.2%, 2,000mg/kg 수준의 시료에도 적용 가능합니다
- 공여과지에 11가지 성분 표준물질 첨가방법을 통한 정확도 평가는 92~108%, 정밀도는 1.5~4.7%로 정도관리 목표값을 충족합니다
- 대기오염공정시험기준 ES 01700 환경대기 중 금속화합물에 대해서 유도결합 플라즈마-질량분석법(ICP-MS)으로써의 활용이 충분히 가능함을 확인하였으며, 특히 AAS, ICP-OES의 화학적/광학적 간섭으로 인한 부적합 판정의 해석이 어려울 경우 매우 유용하며, 최근 초미세먼지 중 규제 항목뿐만 아니라 미량으로 존재하는 다양한 원소에 대한 연구 목적으로도 적용 가능합니다

참고 문헌

1. 대기오염공정시험기준, [시행 2020. 9.7][국립환경과학원고시 제 2020-30호, 2020, 9,7., 일부개정]

www.agilent.com/chem

DE44474.0296527778

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

©Agilent Technologies, Inc.2021
2021년 11월 1일, 한국에서 발행
5994-4058KOKR

한국에질런트테크놀로지스(주)
대한민국 서울특별시 서초구 강남대로 369,
A+ 에셋타워 9층, 06621
전화: 82-80-004-5090 (고객지원센터)
팩스: 82-2-3452-2451
이메일: korea-inquiry_lsca@agilent.com

