

올바른 원자 분광 기법을 선택하는 방법은 무엇입니까?

현재와 미래의 연구실 요구 사항을
모두 충족





내용

원자 분광기는 어떻게 작동합니까?

원자 분광기	3
원자 흡수 분광기(AA)	3
원자 방출 분광기	4
마이크로웨이브 플라즈마 - 원자 방출 분광기(MP-AES)	4
유도 결합 플라즈마 - 광방출 분광기(ICP-OES)	4
원자 질량 분석기	5
유도 결합 플라즈마 - 질량 분석기(ICP-MS)	5
QQQ 유도 결합 플라즈마 - 질량 분석기 (ICP-QQQ)	7

올바른 기법을 선택하려면 어떻게 해야 합니까?

병행 비교	8
어떤 원소를 측정해야 합니까?	10
얼마나 많은 원소와 시료를 측정해야 합니까?	12
선형 범위	13
검출 한계	13
간섭	14
비용	17
일상적인 유지보수	17
사용 편의성 및 필요한 분석자 기술	18
분석법 - 사전 개발의 규제 및 가용성	18

시료 전처리

액체 시료	19
고체 시료	19
분해, 희석, 여과	20
유기 시료 전처리	20
용매별 기기 부속품	21

검량

22

응용 분야

24

각각 다른 응용 분야에 일반적으로 사용되는 기법은 무엇입니까?	24
일반적인 측정 시나리오에 대한 권장 사항	26

필요할 수 있는 기타 부속품

37

애질런트 원자 분광기

39

통찰력의 가치	39
---------	----

원자 분광기는 어떻게 작동합니까?

원자 분광기

원자 분광기는 전자기 스펙트럼 또는 질량 스펙트럼을 분석함으로써 시료의 원소 조성을 측정하는 데 사용되는 여러 분석 기법을 설명합니다.

원자 분석 기법은 전자기 스펙트럼을 통해 분석물질의 원소를 식별하는 기법, 질량 스펙트럼을 통해 원소를 식별하는 기법의 두 가지 넓은 범주로 나눌 수 있습니다. 환경 실험실에서 가장 일반적으로 사용하는 전자기 스펙트럼 기법은 원자 흡수 및 원자 방출입니다. X-ray 형광(XRF) 및 X-ray 회절(XRD)과 같은 X-ray 기반 기법 또한 전자기 스펙트럼 기법입니다.

원자 흡수 분광기(AA)

원자 흡수 기법은 전자가 바닥 상태에서 들뜬 상태로 상승할 때, 모든 원소가 특정 파장의 빛을 흡수한다는 사실에 기반합니다. 흡수된 빛 에너지의 양은 빛 경로에 있는 분석 원자의 수에 비례합니다.

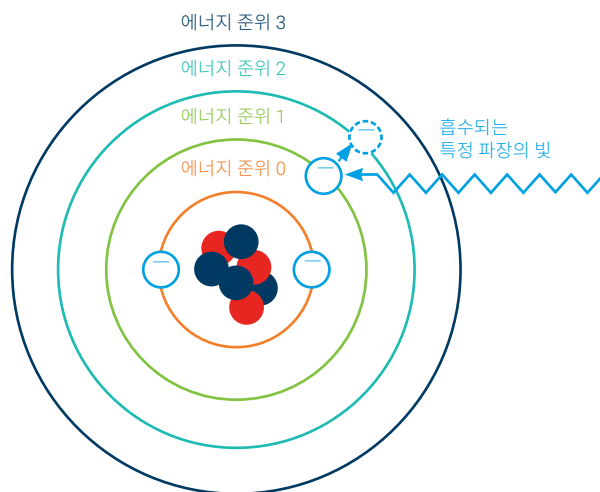


그림 1. 전자는 특정 파장에서 에너지(빛)를 흡수함으로써 바닥 상태에서 더 높은 에너지 준위로 들뜨게 됩니다. 원자 흡수 분광기에서, 흡수된 빛의 파장은 원자의 종류(어떤 원소인지)와 전자가 이동하는 에너지 준위에 의해 결정됩니다. 흡수되는 빛의 양은 시료 내 원소의 농도에 따라 결정됩니다.

알고있는 농도의 분석 원자를 빛 경로에 놓이게 한 후 흡수 대 농도 곡선을 그려 이 기법을 검량합니다. 사용되는 각 분석 원자의 광원은 중공 음극관 램프(HCL) 또는 무전극 방전 램프(EDL)입니다. 일반적으로 각 램프는 단일 원소 분석 전용이지만, 때로는 단일 램프에 몇 가지 원소가 조합될 수 있습니다. 이러한 제한 때문에 원자 흡수는 67개의 원소를 측정할 수 있음(동시 측정이 아님)에도 불구하고 시료당 소수의 분석 원소에 사용됩니다.

원자 흡수가 작동하기 위해서는, 분석 원소는 고온을 사용하여 원자화(원자 상태로 변환)되어야 합니다. 원소는 불꽃 원자 흡수 분광기(FAAS)에서 nebulizer를 통해 고온 아세틸렌 불꽃에 액체 시료를 주입함으로써 원자화됩니다. 원소는 또한 작은 직경의 흑연 실린더인 흑연로 원자 흡수 분광기(GFAAS)에서 건조된 시료를 저장 가열시켜 원자화할 수 있습니다(그림 2).

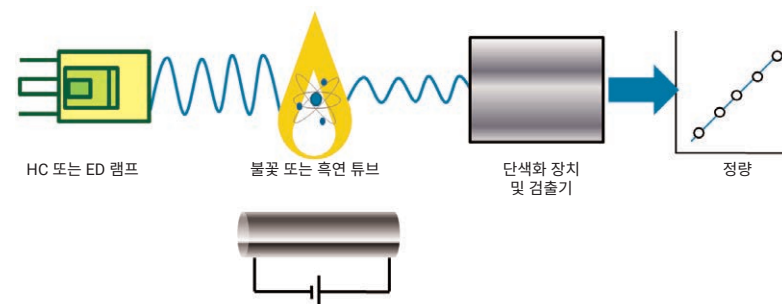


그림 2. 불꽃 또는 흑연로 원자 흡수 분광기 시스템의 구성도.

FAAS는 간단하고 저렴하지만 불꽃에서 체류 및 상대적으로 확산된 원자 밀도의 한계를 가지고 있어 다른 기법과 비교했을 때 감도가 떨어집니다. 일반적인 검출 한계는 높은 ppb~ppm 범위입니다. GFAAS는 프로그래밍 가능한 온도 제어의 장점이 있습니다. 이 제어를 통해 용매 및 매트릭스(측정하려는 원소가 아닌 시료의 성분)를 비점의 함수로 분석물질로부터 분리할 수 있습니다. 또한, 분석물질이 GFAAS에서 원소화되면 이는 확장된 측정을 위해 Graphite 튜브의 작은 부피 내에서 유지됩니다. 그 결과 GFAAS 사용의 검출 한계는 FAAS보다 훨씬 낮으며, 일반적으로 sub ppb 범위입니다. 그러나 GFAAS는 FAAS보다 적은 수의 분석물질을 측정하며 속도도 훨씬 느립니다.

원자 방출 분광기

각 원소는 전용 HCL 광원을 필요로 하기 때문에 AAS는 단일 시료에서 측정할 수 있는 원소 수에 한계가 있습니다. FAAS 또한 상대적으로 감도가 낮으며 GFAAS의 속도는 느립니다. 원자 방출 기법은 이러한 한계를 극복하여 결과적으로 널리 사용되어 왔습니다. 원자 방출 기법은 특정 원소의 원자가 들뜨면(원자 흡수에서와 같이), 바닥상태로 돌아갈 때 특정 패턴 파장의 빛인 방출 스펙트럼을 방출하는 현상에 근거를 두고 있습니다(그림 3 참고).

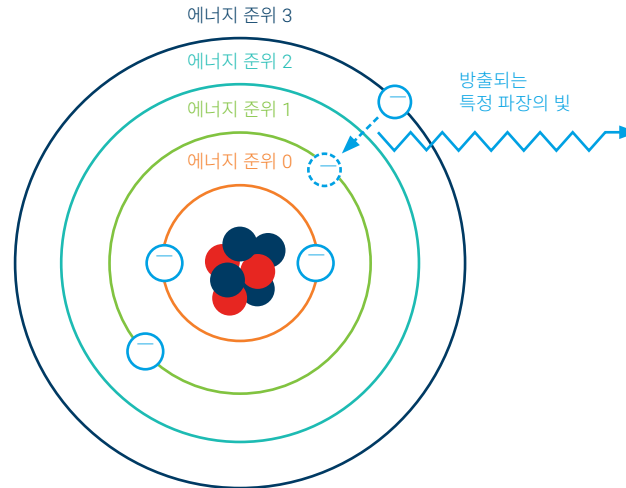


그림 3. 전자가 더 높은 에너지 준위에서 바닥 상태로 돌아오면서, 특정한 파장의 빛을 방출합니다. 원자 또는 이온의 종류(즉, 어떤 원소인지)와 전자가 이동하는 에너지 준위는 방출되는 빛의 파장을 결정합니다.

FAAS 기기와 유사한 불꽃 유형의 기기를 사용하여 원자 방출 분광 분석을 수행할 수 있지만, 불꽃은 원자 방출에 이상적인 들뜸원이 아닙니다. AA에 사용되는 아세틸렌 불꽃의 일반적인 온도는 공기-아세틸렌의 경우 약 2,000K, 아산화질소-아세틸렌의 경우 약 3,000K입니다. 원자 방출을 위한 대체 공급원으로는 마이크로웨이브 플라즈마(MP) 및 유도 결합 아르곤 플라즈마(ICP)가 있습니다. 두 대체 공급원 모두 불꽃보다 온도가 훨씬 높습니다. 고온은 FAAS보다 더 넓은 원소 범위와 높은 감도를 제공합니다.

마이크로웨이브 플라즈마- 원자 방출 분광기(MP-AES)

질소 MP는 5,000K에 가까운 온도에 도달하는 아세틸렌 불꽃보다 훨씬 온도가 높습니다. 이러한 온도에서 원자 방출은 대부분의 원소 분석에 충분하므로, 대부분의 원소에서 불꽃 AA에 비해 검출 능력과 선형 측정 범위가 개선되었습니다. MP가 질소를 사용하기 때문에, 지속적인 운영 비용은 불꽃 AA에 비해 상당히 절감될 수 있습니다. 질소 발생기를 플라즈마의 질소 공급원으로 사용하여 비용을 절감할 수 있습니다. 아세틸렌(가연성 가스)이 아닌 비활성 질소를 사용하여 불꽃 AA에 비해 안전성이 향상되었습니다. 또한 비활성 질소를 통해 FAAS에는 권장되지 않는 무인 분석과 야간 시료 분석이 가능합니다.

MP-AES는 스캐닝 단색화 장치와 고체상 검출기를 사용하여 개별 램프가 필요하지 않습니다. 또한 이 기법은 특히 몇 가지 원소 외에 원소(분석물질)의 수가 증가할 때 FAAS에 비해 시료 분석 시간이 더욱 빠릅니다. MP-AES는 적절한 시료 주입 구성을 사용하여 최대 약 3%의 총 용존 고형물(TDS)까지 시료를 분석할 수 있습니다.

MP-AES는 상대적으로 새로운 기법이므로 실험실에서 분석에 지정된 기법을 사용해야 하는 일부 규제 분석법에는 허용되지 않을 수 있습니다. MP-AES와 같은 새로운 기법이 확립된 기법과 동등한 것으로 입증할 수 있는 경우, 다른 산업과 규제 기관은 이 성능에 기반한 밸리데이션을 받아들일 것입니다.

유도 결합 플라즈마- 광방출 분광기(ICP-OES)

아르곤 ICP는 질소 MP보다 온도가 높으며, 아세틸렌 불꽃보다 온도가 훨씬 높습니다. ICP는 10,000K에 가까운 온도에 도달할 수 있어 시료의 완전한 원자화 및 상당한 이온화를 가능하게 합니다. 분자 간섭이 감소하고 검출에 사용할 수 있는 원자 및 이온 방출이 극대화됩니다. MP-AES와 마찬가지로, ICP-OES는 가연성 가스(FAAS용 아세틸렌 등)가 아닌 비활성 가스(아르곤)를 사용하여 무인 분석, 야간 시료 분석을 가능하게 하고 안전성을 향상시킵니다. ICP-OES는 각 원소별로 램프가 필요하지 않을 뿐만 아니라 FAAS에 비해 많은 장점을 갖고 있습니다. ICP-OES는 낮은 ppb 검출 한계에서 최대 74개의 원소를 동시에 또는 거의 동시에 측정할 수 있는 진정한 다원소 기법입니다. 그 결과, ICP-AES라고도 불리는 ICP-OES(ICP-원자 방출 분광기)는 환경 모니터링 등 여러 산업에서 원소를 측정하는 데에 사용되어 왔습니다.

아르곤 플라즈마의 높은 온도는 ICP-OES가 특정 구성에 따라 최대 25%까지 총 용존 고형물(TDS)을 포함하는 복잡한 시료 매트릭스에 대한 내성이 있음을 의미합니다. 또한 ICP-OES 감도는 FAAS/MP-AES 감도와 GFAAS(낮은 ppb~백분율 범위) 사이에 있습니다. 따라서 ICP-OES는 FAAS를 사용하여 이전에 측정된 모든 원소를 측정할 수 있습니다. ICP-OES는 필요한 보고 한계가 낮기 때문에 GFAAS를 사용해야 하는 일부 원소 또한 측정할 수 있습니다.

그러나, sub ppb 및 ppt 범위의 검출 한계에 대해서는 ICP-OES와 GFAAS가 일치하지 않습니다. 이러한 이유로 ICP-OES를 기본 원소 분석 기법으로 사용하는 실험실은 As, Se, Cd, Pb 등의 극미량 원소 분석을 위해 GFAAS 또는 ICP-MS(다음 섹션 참조)와 같은 보다 감도 높은 기법을 여전히 필요로 할 것입니다. 시료 수가 증가함에 따라, GFAAS는 실험실 생산성의 제한 요소가 됩니다. 따라서 시료 수가 많은 실험실은 일반적으로 검출 한계가 낮은 다원소 분석을 제공하는 ICP-MS를 선택합니다.

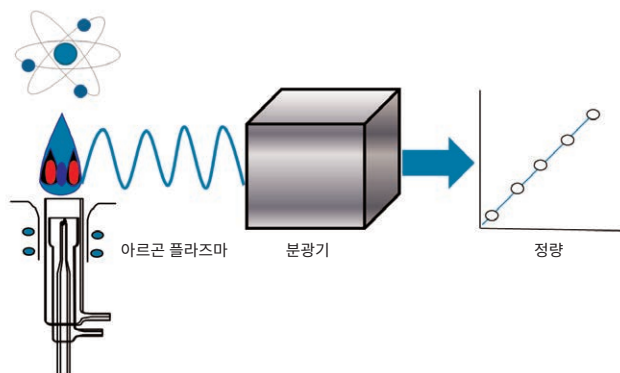


그림 4. ICP-OES 분광기 시스템의 단순 구성도.

원자 질량 분석기

무기 질량 분석기라고도 알려진 원자 질량 분석기(MS)는 질량 분석기를 사용하여 원자 또는 원소를 분리 및 측정하는 기법을 말합니다. 원자 질량 분석기는 유기 분자 또는 화합물을 측정하는 LC/MS 및 GC/MS와 같은 "유기" MS 기법과는 다릅니다.

MS로 시료의 원소 조성을 측정할 수 있도록 원소의 원자가 하전된 이온으로 변환되어 초점이 맞춰지고 분리될 수 있습니다. 이온화원은 글로우 방전(GD), 스파크, 필라멘트, 이온 건, 레이저 또는 플라즈마(ICP-MS에서 사용됨)가 될 수 있습니다. 일부 이온화원(GD, 스파크, 레이저)은 고체 시료를 측정하는 데 사용되는 반면 플라즈마는 수용액 및 산 분해물과 같은 액체 시료를 처리할 수 있습니다.

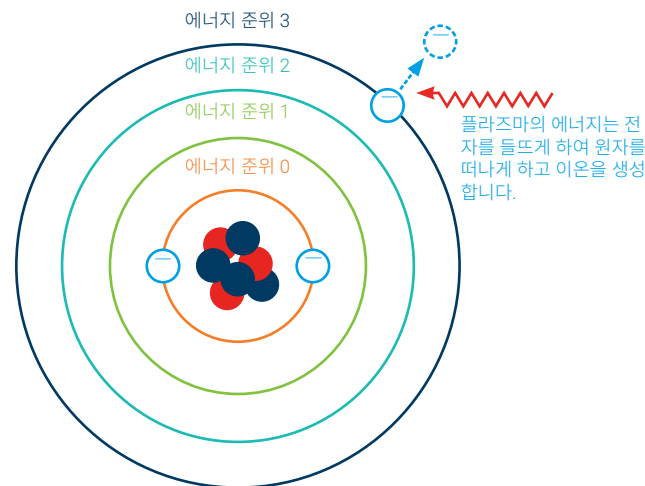


그림 5. 아르곤 플라즈마가 제공하는 에너지는 원소 원자로부터 전자를 제거하여 1가 전자 양이온을 생성합니다.

이온을 분리하는 데 사용되는 질량 분석기는 마그네틱 섹터, 비행 시간형, 이온 트랩 또는 사중극자일 수 있습니다. 사중극자는 높은 투과율, 1 질량 단위 (u) 미만의 분리능, 상대적으로 낮은 비용 사이에서 좋은 균형을 제공합니다. 대부분의 ICP-MS 시스템은 SQ 구성 또는 QQQ(ICP-QQQ)와 같은 탠덤 MS(MS/MS)의 사중극자 질량 필터를 사용합니다.

높은 전송 및 분해능을 제공하기 위해 질량 분석기와 검출기는 진공 챔버에 배치됩니다. 측정되고 있는 이온은 진공 챔버 내부에서 형성되거나(예를 들어 글로우 방전의 경우에서) 플라즈마와 같은 외부 이온화원에서 높은 진공 영역으로 전달됩니다. 질량 분석기에서 서로 다른 원소 이온들이 분리되면 그 이온 수는 일반적으로 전자 증배관을 사용하여 산출됩니다. 각 질량에서 측정된 이온의 수는 알고있는 표준물질에 대한 신호와 비교되며 분석되고 있는 물질의 각 원소의 농도로 변환됩니다.

유도 결합 플라즈마- 질량 분석기(ICP-MS)

1980년대 중반, 아르곤 ICP와 사중극자 질량 분석기가 결합되면서 최초의 상용 ICP-MS 기기가 탄생하였습니다. 이러한 발전은 고감도, 간단한 스펙트럼, 빠른 스캐닝 능력을 위해 사중극자 질량 분석기와 결합시킨 고효율의 이온화원으로 아르곤 ICP의 장점을 가져왔습니다. 그 결과 ICP-OES의 신속한 동시 다원소 성능과 GFAAS의 감도를 결합한 기기가 개발되었습니다. ICP-MS 기기에서는 아르곤 플라즈마가 이온화원으로 작용합니다. 이온은 일련의 인터페이스 콘 및 이온 렌즈를 통해 사중극자 질량 분석기를 포함하는 높은 진공 영역으로

들어갑니다. 이온은 사중극자를 통해 분리되고 전자 증배관으로 전달되어 검출됩니다(그림 6).

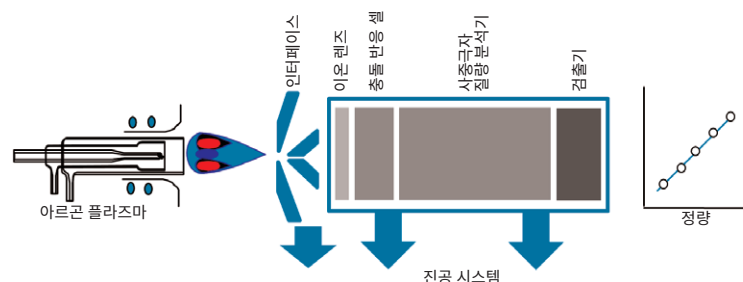


그림 6. 사중극자 ICP-MS 시스템의 주요 구성 요소에 대한 단순 구성도.

ICP-MS의 아르곤 플라스마는 ICP-OES에 사용되는 플라스마와 유사하지만 그 목적은 다릅니다. ICP-MS에서는 이온만 측정하므로 플라스마가 원소 원자의 이온화에 최적화되어 있습니다. 아르곤 플라스마는 이온화 전위(IP)(중성 원자에서 첫 번째 전자를 제거하는 데 필요한 에너지)가 15.76전자볼트(eV)이기 때문에 이에 이상적입니다. 이 IP는 거의 모든 다른 원소의 첫 번째 IP보다 높지만 두 번째 IP보다 낮아, 대부분의 원소의 원자가 효율적으로 1가 전하 양이온으로 변환된다는 것을 의미합니다.

플라스마의 중앙 채널에서 온도가 높을 경우 이온화 효율과 그에 따른 감도가 더 좋습니다. 고효율 고체상 발생기, 넓은 내경 토치 주입기 및 최적화된 작동 조건을 사용하여 플라스마 온도를 높일 수 있습니다. 그 결과는 대부분의 원소에 대해 >95%의 이온화를 제공하는 "강력한" 플라스마입니다. Be, As, Se, Cd, Hg와 같은 이온화가 잘 안 되는 원소도 상당히 이온화되므로 극미량(ppb) 수준에서 측정할 수 있습니다. 플라스마 견고성은 일반적으로 CeO^+ 대 Ce^+ 비율을 측정하여 모니터링되는 성능 특성입니다. CeO^+ 는 강하게 결합된 분자 이온입니다. ICP-MS 플라스마는 CeO^+ 를 분리하여 CeO^+/Ce^+ 비율이 약 1.5% 이하일 정도로 충분한 에너지를 가진 경우 견고하다고 간주됩니다. 높은 플라스마 온도에서 ICP-MS를 작동하면 매트릭스 분해가 개선되어 매트릭스 중착이 감소하고 안정성이 향상되며 유지 관리 비용이 감소합니다. 높은 플라스마 온도는 다른 분자 이온을 분리하는 데 더 많은 에너지를 제공하여 잠재적인 스펙트럼 간섭을 형성할 수 있는 다른 이온의 수준을 감소시킵니다.

이온은 플라스마로부터 추출되어 분리 및 검출을 위해 고진공 영역으로 전달됩니다. 광자와 중성 입자는 off-axis 이온 렌즈를 사용하여 배제되고, 나머지 분자(동중원소) 이온은 충돌/반응 셀(CRC)에서 운동 에너지 판별(KED)을 통해 헬륨(He) 셀 가스를 사용하여 제거됩니다. He KED 모드는 동중원소 이온을 걸러내는데, 동중원소 이온은 중첩되는 원자 이온보다 더 크기 때문에 셀 가스와 더 자주 충돌합니다. 따라서 동중원소 이온은 (더 작은) 분석물 이온보다 더 많은 에너지를 잃게 되고, 이를 통해 동중원소 이온이 셀 출구에서 바이어스 전압을 사용하여 배제됩니다. He KED 모드는 특히 환경 및 식품 실험실에서 발생하는 시료의 다원소 분석에서 ICP-MS 분석의 정확성과 신뢰성을 변화시켰습니다.

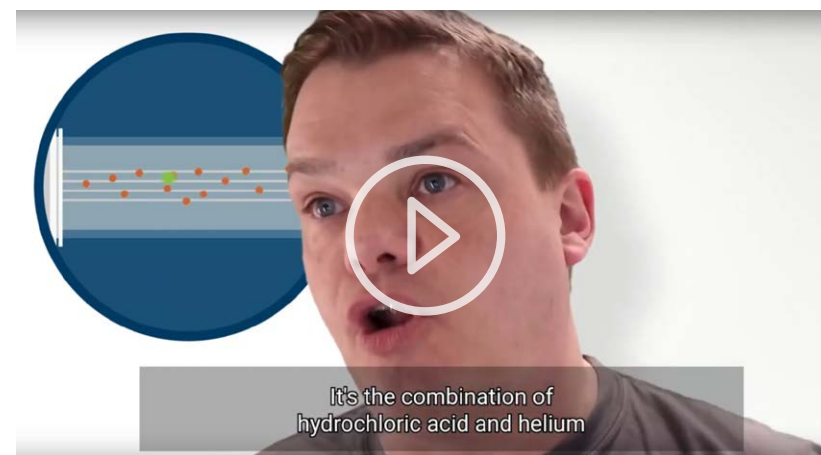


그림 7. 이 짧은 동영상에서는 헬륨 모드가 ICP-MS 동중원소 간섭을 제거하는 방법에 대해 설명합니다.

사중극자 질량 분석기는 질량대 전하비(m/z)에 따라 이온을 분리합니다. 1가 전하 이온의 경우 m/z 는 질량과 같으므로, ICP-MS는 특성 원소(동위원소) 질량의 단순 스펙트럼으로서 6Li 에서 ^{238}U 까지 원소를 측정합니다. 많은 원소가 질량이 다른 여러 동위원소를 가지고 있으며, 이러한 원소에 대해 ICP-MS는 동위원소 비율과 존재비 정보 또한 제공할 수 있습니다.

사중극자는 스캐닝 질량 분석기이지만 매우 빠른 스캔 속도(초당 10회 이상 전체 질량 스캔)로 작동합니다. 이러한 빠른 속도로 모든 원소를 동시에 효과적으로 측정합니다. 질량 필터에서 분리된 후, 이온은 전자 증배관 검출기로 전달되고, 전자 증배관 검출기는 이에 도달하는 각 이온에 대한 펄스를 생성합니다. 펄스 또는 "카운트"는 알고있는 농도의 표준물질을 측정하여 생성된 검량과 신호를 비교함으로써 농도로 변환됩니다.

ICP-MS는 넓은 원소 범위(최대 70개 원소를 일상적으로 측정할 수 있음)와 1ppt 미만에서 수천 ppm에 이르는 선형 측정 범위를 통해 ICP-OES 및 GFAAS 기기의 기능을 모두 중첩합니다.

기술의 지속적인 발전으로 초기 ICP-MS 기기가 높은 총 용존 고형물(TDS) 수준의 내성이 좋지 않았다는 사실이 해결되었습니다. 그러나 대부분의 최신 ICP MS 기기는 여전히 OES 기기보다 100배 낮은 수치인 최대 약 0.2%(2000ppm)의 TDS 수준으로 제한됩니다. ICP-MS 매트릭스의 내성을 개선하고 더 높은 TDS 시료의 직접 분석을 허용하기 위해 에어로졸 희석을 사용하는 경우가 많습니다. Agilent ICP-MS 기기는 UHMI(Ultra High Matrix Introduction) 시스템을 갖추고 있습니다. 이러한 기술은 스프레이 챔버 및 ICP 토치 사이에 자동 검량된 아르곤 가스 첨가물을 사용하여 시료 에어로졸을 희석합니다. 플라즈마에 도달하는 에어로졸의 양이 감소하여 신호 억제, 매트릭스 증착 및 드리프트를 유발하지 않고도 더 높은 매트릭스 수준을 분석할 수 있습니다. UHMI는 기존의 액체 시료 희석과 관련된 시간과 잠재적 오류를 없애고 자동 희석기의 비용과 복잡성을 방지합니다. 희석은 기체상에서 발생하므로 수용성 희석제로 인한 잠재적 오염이 없으며 플라즈마에 가해지는 용매(물) 로드를 감소시킴으로써 플라즈마 견고성을 향상시킵니다. UHMI는 Agilent ICP-MS 시스템에 기본 적용되므로 기기는 매트릭스 수준이 최대 25% TDS인 시료를 ICP-OES 성능에 근접하게 직접 측정할 수 있습니다.

QQQ 유도 결합 플라즈마 - 질량 분석기(ICP-QQQ)

원자 분광기의 가장 최근의 발전은 텐덤 질량 분석기인 ICP-MS/MS를 기반으로 하는 ICP-MS의 개발이며, 보통 QQQ 구성입니다. "QQQ 질량 분석기"라는 용어는 직렬로 두 개의 전송 사중극자 질량 분석기를 사용하는 기기를 뜻합니다. 두 개의 질량 분석기는 multipole 이온 가이드를 포함하는 충돌/반응 셀에 의해 분리됩니다(IUPAC 정의 용어 528 참조).

Agilent 8900 ICP-QQQ는 Octopole 반응 시스템(ORS) 충돌/반응 셀에 의해 분리된 두 개의 hyperbolic profile quadrupole 질량 분석기를 사용합니다. ORS는 Agilent SQ ICP-MS 시스템에 사용되는 셀과 유사하지만 MS/MS 구성을 통해 셀을 매우 반응성이 높은 셀 가스와 함께 사용할 수 있습니다. ICP-MS/MS를 이용한 반응 가스 모드는 KED를 이용한 He 모드로는 해결할 수 없는 문제적 간섭을 해결할 수 있는 유용하고 효과적인 접근법이 될 수 있습니다.

ICP-QQQ의 첫 번째 사중극자(Q1)는 충돌/반응 셀로 들어가는 이온을 제어하는 데 사용됩니다. 셀에서의 충돌 또는 반응으로 간섭을 제거한 다음, 분석기 사중극자(Q2)를 사용하여 분리된 분석 이온을 검출기로 전송합니다.

ICP-QQQ 구성의 단순 구성도는 그림 8과 같습니다.

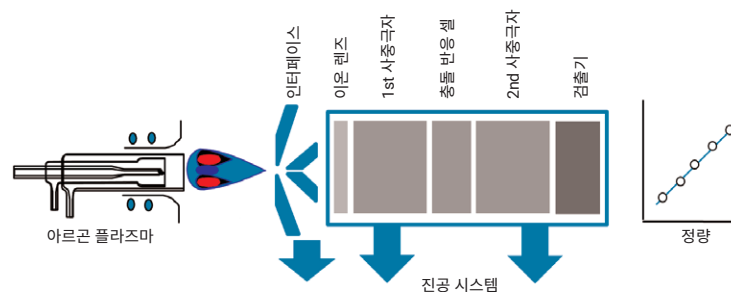


그림 8. QQQ ICP-MS의 단순 구성도.

왜 ICP-QQQ일까요?

ICP-QQQ와 SQ ICP-MS의 주된 차이점은 ICP-QQQ가 MS/MS 작동을 가능하게 한다는 것이며, 여기에서 Q1과 Q2는 모두 단위 질량 필터로 작동됩니다. Q1은 다른 모든 질량을 배제하면서 셀로 들어가는 분석 이온 질량을 선택합니다.

이러한 선택 프로세스는 셀 내의 이온이 시료 조성과 연관되고 독립적이기 때문에 반응 셀 가스 분석법을 안정적으로 사용할 수 있게 합니다. ICP-QQQ는 이러한 반응 화학 제어를 통해 기존의 사중극자 ICP-MS를 사용하여 처리할 수 없는 간섭 문제를 해결할 수 있습니다.

여기에는 직접 동중원소 중첩 분리(^{204}Pb 의 ^{204}Hg 등), 2가 전하 이온 중첩 분리(예를 들어 As 및 Se의 REE^{2+} 중첩), 매우 강렬한 백그라운드 간섭 제거(^{28}Si 의 N_2 , ^{32}S 의 O_2 등)등이 포함됩니다.

8900 ICP-QQQ는 또한 SQ ICP-MS 시스템에 비해 훨씬 높은 감도와 훨씬 낮은 백그라운드를 제공합니다. 또한 두 가지 질량 필터링 단계를 수행하므로 8900 ICP-QQQ는 인접 피크 간의 중첩 정도를 측정하는 훨씬 우수한 존재비 감도(AS)를 제공합니다. MS/MS 작동은 8900이 인접한 질량(예를 들어 Fe-56으로부터 Mn-55 분리)의 주요 피크에서 극미량의 피크를 분리할 수 있게 합니다.

올바른 기법을 선택하려면 어떻게 해야 할까요?

실험실에 적합한 원자 분광 기법은, 현재와 미래 모두에서 많은 요인에 따라 달라집니다. 어떤 유형의 시료에서 어떤 원소를 측정해야 할까요? 예산은 어느 정도이며 실험실 연구자의 기술은 어느 정도 숙련되어 있습니까? 기법 선택 시 고려해야 할 주요 분야는 다음과 같습니다.

병행 비교

먼저 서로 다른 원자 분광 기법(표 1)의 높은 수준의 비교를 시작하겠습니다.

표 1. 원자 분광 기법 병행 비교.

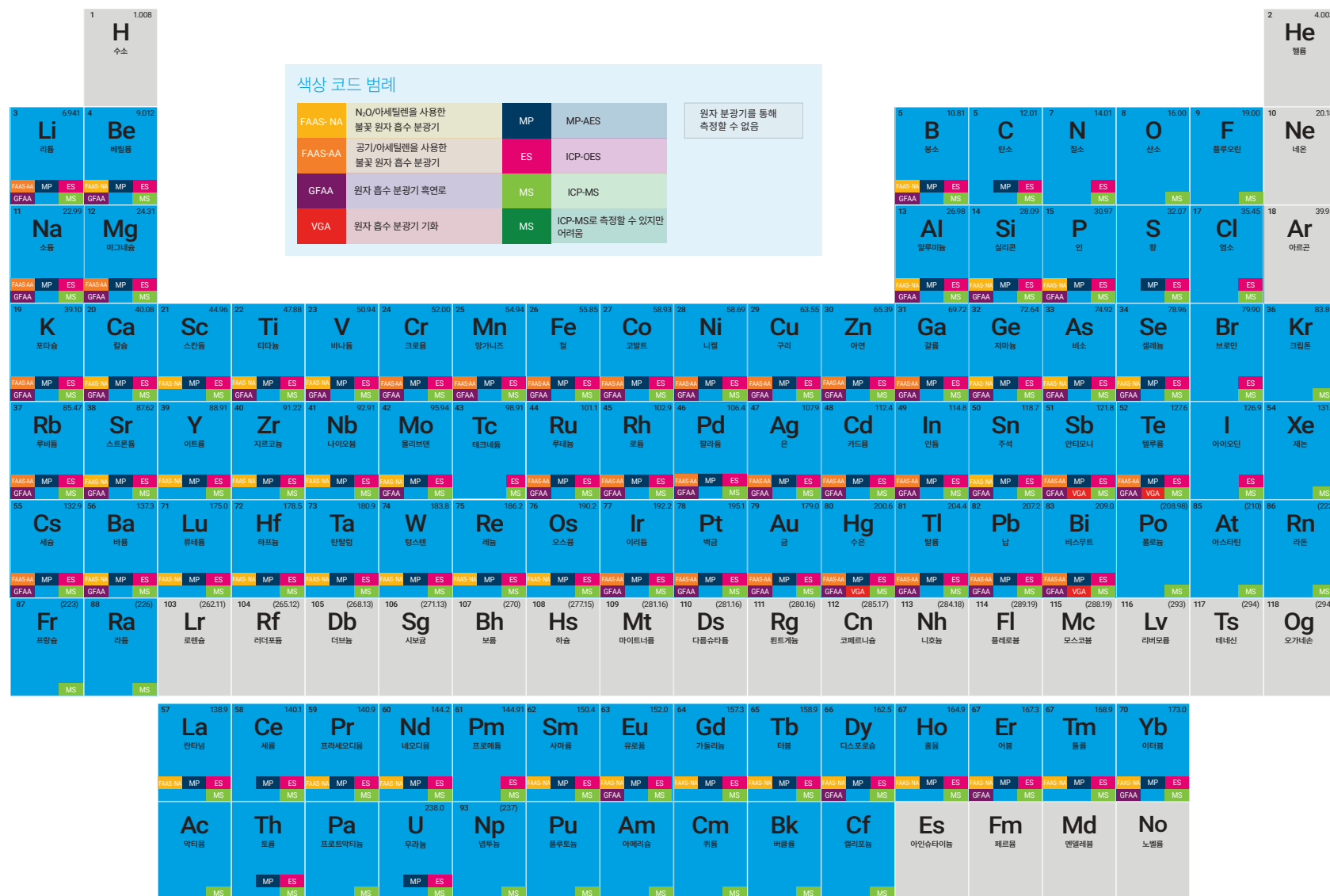
	FAAS 제품 보기	GFAAS 제품 보기	MP-AES 제품 보기	ICP-OES 제품 보기	ICP-MS 제품 보기	ICP-QQQ 제품 보기
가격 비교	\$	\$ \$	\$ \$	\$ \$ \$	\$ \$ \$ \$	\$ \$ \$ \$ \$
시료당 비용 비교	\$ \$	\$ \$	\$	\$ \$	\$ \$ \$	\$ \$ \$
감도 비교	🔍🔍	🔍🔍🔍🔍	🔍🔍	🔍🔍🔍	🔍🔍🔍🔍🔍	🔍🔍🔍🔍🔍🔍
검토	SelectScience	SelectScience	SelectScience	SelectScience	SelectScience	SelectScience
최대 시료 수/일 ¹	100~200 (6개 원소)	60 (4개 원소)	300~400 (10개 원소)	2000~2500 (50개 원소 이상)	1200 (50개 원소 이상)	1200 (50개 원소 이상)
측정 동적 범위 ²	100ppb~1000ppm	10ppt~1000ppb	100ppb~1000ppm	10ppb~10,000ppm	<1ppt~1000ppm	<1ppt~1000ppm
필요한 시료량 비교	💧💧💧	💧	💧💧💧	💧💧	💧💧	💧💧
시료 내 고형물 내성 비교	🧴🧴	🧴🧴🧴	🧴	🧴🧴🧴🧴	🧴🧴🧴	🧴🧴🧴
원소 측정	순차 측정	순차 측정	순차 측정	동시 측정	동시 측정	동시 측정
측정할 수 있는 원소는 몇 개입니까?	67	48	70	74	86	87
일상적인 유지보수 요구 사항 비교	🔧	🔧🔧	🔧	🔧🔧🔧	🔧🔧🔧🔧	🔧🔧🔧🔧
작업자 기술 필요성 정도 비교	🎓	🎓🎓🎓	🎓	🎓🎓	🎓🎓🎓	🎓🎓🎓🎓
무인 분석 가능	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Part 11/Annex 11 GMP 규제 준수	✓ (옵션 소프트웨어 사용 시)	✓ (옵션 소프트웨어 사용 시)	✗	✓ (옵션 소프트웨어 사용 시)	✓ (옵션 소프트웨어 사용 시)	✓ (옵션 소프트웨어 사용 시)

	FAAS 제품 보기	GFAAS 제품 보기	MP-AES 제품 보기	ICP-OES 제품 보기	ICP-MS 제품 보기	ICP-QQQ 제품 보기
사양						
작동 전력 사용 비교	⚡	⚡⚡	⚡⚡	⚡⚡	⚡⚡⚡	⚡⚡⚡
크기 (mm- 폭 x 깊이 x 높이)	790 x 580 x 590 ³	1030 x 600 x 590 ³	960 x 660 x 660	625 x 740 x 887	730 x 600 x 595	1060 x 600 x 595
무게	75kg	119kg	73kg	90kg	100kg	139kg
가스 요구사항	압축 공기 및 99.0% 순수 아세틸렌 및/또는 99.5% 순수 N ₂ O(측정되는 원소에 따라 다름), 2.5m ³ /분 유속으로 배출	99.99% 아르곤 또는 99.99% 질소, 3m ³ /분 유속으로 배출	99.5% 질소 ⁴ , 2.5m ³ /분 유속으로 배출	99.95% 순수 아르곤 옵션: 질소, 산소, 2.5m ³ /분 유속으로 배출	99.99% ⁵ 아르곤, 5~7m ³ /분 유속으로 배출	99.99% ⁵ 아르곤, 5~7m ³ /분 유속으로 배출
보증 기간 ⁶	12개월	12개월	12개월	12개월	12개월	12개월
액세서리						
자동 시료 주입기	옵션	포함	옵션	옵션	옵션	옵션
수냉 시스템	불필요	냉각수 공급 필요	불필요	필요, 불포함	필요, 불포함	필요, 불포함

1. ICP-OES 및 ICP-MS 기기에 스위칭 밸브를 장착하여 이러한 시료 수를 얻을 수 있습니다
2. 감도를 향상시키는 시료 주입 장치가 없는 기기의 측정 범위만 해당합니다
3. 높이는 선택한 모델에 따라 다릅니다
4. MP-AES는 질소 발생기에 의해 주변 공기 중에서 추출한 질소 만을 필요로 합니다. 대신 질소 보관 및 분주 용기를 사용할 수 있습니다
5. 오염을 제어해야 하는 응용 분야(예: 반도체 화학물질의 불순물 측정)의 경우 최소 99.999%의 아르곤 순도가 필요할 수 있습니다
6. 애질런트는 다양한 연장 보증 및 지원 옵션을 제공합니다

어떤 원소를 측정해야 하나요?

첫 번째 질문은 각 기법이 서로 다른 원소의 집합을 측정할 수 있기 때문에 어떤 원소를 측정해야 하는지 묻는 것입니다. 다음 색상 코드 주기율표는 어떤 기법이 어떤 원소를 측정할 수 있는지에 대한 안내입니다. 그러나 각 기법이 측정할 수 있는 농도는 원소에 따라 다릅니다.



원자 분광기를 사용하여 측정하기 어려운 원소

원자 분광 기법을 사용하여 측정할 수 없거나 전문화된 접근법이 필요한 원소들이 있습니다. 이러한 원소들은 다음과 같습니다.

N, O, Kr, Xe

질소와 산소는 실험실 환경의 주변 공기에 풍부할 뿐만 아니라 일반적으로 질산(HNO₃)으로 안정화되는 일반적인 수용액에도 존재합니다. 그 결과 높은 백그라운드 수준으로 인해 전문적인 접근법 없이 낮은 농도의 이러한 원소를 측정하기가 어렵습니다. ICP-MS는 N 및 O에 대한 최적의 검출 한계를 제공하지만 가스 샘플링 인터페이스 또는 GC-ICP-MS와 같은 대체 "건조" 시료 주입 방식이 필요합니다. 이러한 원소의 일상적인 분석을 위해서는 원자 분광기를 대체하는 기법이 권장됩니다.

Kr 및 Xe는 기체이므로 검량이 까다롭습니다. 또한 이온화가 잘 되지 않으며 ICP 플라즈마를 지원하기 위해 사용되는 고순도의 아르곤 내에 극미량 수준으로 존재할 수 있습니다. 적절한 시료 주입 시스템을 사용하는 경우 ICP-MS를 사용하여 이러한 원소를 측정할 수 있습니다. 예를 들어 Xe(헬륨에서 100ppm Xe 가스 기준)는 일반적으로 튜닝 및 GC-ICP-MS 응용 분야에 대한 내부 표준물질로 사용됩니다.

F, Cl

이들은 비교적 낮은 수준에서 반응 화학을 사용하여 F 또는 Cl 이온을 측정 가능한 생성 이온으로 변환시킬 수 있는 QQQ ICP-MS를 사용하여 측정할 수 있습니다. SQ ICP-MS를 사용하여 Cl를 측정할 수 있지만 백그라운드 신호가 높아 검출 한계가 좋지 않습니다.

H, He, Ne

이 원소들은 어떠한 원자 분광 기법으로도 측정할 수 없습니다. 이 원소들은 광학 기법으로 측정할 수 있는 범위의 빛을 방출하거나 흡수하지 않기 때문입니다. H와 He는 ICP-MS로 측정된 질량 범위를 벗어나며, Ne는 아르곤 플라즈마에서 이온화되지 않기 때문에 ICP-MS는 솔루션을 제공하지 않습니다.

Ar

아르곤은 ICP-OES와 ICP-MS의 플라즈마 공급원으로 사용됩니다. 이는 Ar의 백그라운드 농도가 매우 높아 이러한 기법을 사용하여 측정하기가 어렵다는 것을 의미합니다.

수명이 짧은 원소

At, Fr, Rn과 원자 번호가 99보다 큰 원소들은 방사성이 높으며, 이는 다른 원소 또는 동위원소로 빠르게 붕괴된다는 것을 의미합니다. 예를 들어 라돈(Rn)과 같은 일부 원소는 자연적으로 발생하지만 이러한 방사성 원소는 대부분 너무 수명이 짧기 때문에 원자 분광 기법을 사용하여 측정할 수 없습니다. 방사 분석 기법(방사성 붕괴 계수)은 이러한 원소를 측정하는 데 사용되는 일반적인 접근법입니다.

동위원소 비율 측정

질량 분석 측정(ICP-MS)에 의해 지원되는 고급 응용 분야 중 하나는 원소의 개별 동위원소를 분리 및 측정하는 능력입니다. 이 기능을 통해 두 개 이상의 동위원소 비율을 측정할 수 있으며, 이는 동위원소 존재비가 자연적으로 각기 다른 응용 분야에 유용하게 사용됩니다. 예를 들어, 특정 원소(Pb, Hf, Sr 등)의 자연 동위원소 존재비가 암석의 나이에 따라 변하는 지질연대학 등이 있습니다. 기후과학은 또한 해양 퇴적물이나 산호에 포함된 광물 내의 동위원소 및 원소 비율을 사용하여 역대 바다의 온도 또한 재구성할 수 있습니다.

동위원소 분석은 또한 핵연료 생산, 원소 분별 연구, 고고학 및 생물학적 추적 연구와 같은 응용 분야에도 사용됩니다. 또한 동위원소 비율 측정은 동위원소 희석 질량 분석기(IDMS)로 알려진 검량 기법에 핵심입니다. IDMS는 종종 도량형 기관같은 실험실과 레퍼런스 물질 인증을 위해 사용되는데, 여기에는 추적성이 요구되고 정확도와 정밀도가 필수적입니다.

얼마나 많은 원소와 시료를 측정해야 하나?

원소 분석 기법을 선택할 때 측정해야 하는 원소의 수와 시료의 수 또한 중요하게 고려해야 하는 사항입니다. ICP-OES와 ICP-MS는 모두 한 번 수집 시 필요한 모든 원소를 측정합니다(동시 분석). 불꽃 및 흑연로 AAS 및 MP-AES는 차례로 원소를 측정합니다(순차 분석). 동시 측정은 모든 분석물질이 시료 바이알에서 한 번에 측정되기 때문에 순차 측정보다 훨씬 속도가 빠릅니다. 여러 시료(50개 이상)에서 여러 개의 원소(10개 이상)를 측정해야 하는 경우 순차 분석의 속도는 너무 느립니다.

예를 들어, GFAAS를 사용한 각 단일 원소 측정은 측정되는 원소에 따라 다르며 약 2~3분이 소요됩니다. 즉, 시료 마다 3회 반복 실험을 통해 5개의 원소를 측정하려면 시료당 약 30~45분이 소요됩니다(5개의 원소 x 3회 반복 실험 측정 x

반복 실험당 2~3분). 따라서 하나의 GFAAS 기기는 24시간 동안 약 240번의 3회 반복 측정할 수 있습니다. 240개 시료에서 1개 원소, 60개 시료에서 4개 원소 또는 24개 시료에서 10개 원소를 측정할 수 있습니다.

반대로 스위칭 밸브로 구성할 경우 ICP 기법은 샘플 간 분석 시간 약 30초(ICP-OES의 경우) 또는 1분(ICP-MS의 경우)에 50개 이상의 원소를 3회 반복 측정할 수 있습니다. 즉, ICP-MS의 경우 하루에 약 60,000번의 3회 반복 측정, ICP-OES의 경우 최대 125,000번의 3회 반복 측정할 수 있습니다.

불꽃 AAS를 제외한 모든 기법은 무인 분석이 가능하므로 자동 시료 주입기를 장착하여 기기를 24시간 가동할 수 있습니다. 안전을 위해 불꽃 AAS는 지속적으로 감독해야 합니다. 이점은 작업 시간을 제한합니다.



그림 9. 자동 시료 주입기를 사용하여 생산성을 향상시키고 무인 분석을 가능하게 할 수 있습니다.

선형 범위

각 원자 분광 기법은 원소의 여러 농도를 측정할 수 있습니다. 이 기법은 극미량 수준(10ppb 미만)을 측정할 수 있는 GFAAS 및 ICP-MS와 10ppb 이상의 높은 수준을 측정하는 불꽃 AAS, MP-AES, ICP-OES로 구분될 수 있습니다.

그러나 이것이 전부는 아닙니다. 시료에는 극미량에서 백분율 수준에 이르기까지 다양한 농도의 원소가 포함될 수 있습니다. 예를 들어, 100ppm의 Na와 10ppb의 Mo를 모두 포함하는 시료가 있을 수 있습니다.

시료를 항상 희석하거나 농축할 수 있지만, 시간이 걸리고 오류가 발생할 수 있습니다. 최고의 생산성과 정확성을 위해서, ICP-OES, ICP-MS와 같은 다원소 기법은 동일한 분석에서 이러한 다양한 농도 수준을 측정할 수 있어야 합니다. 또한 일부 원소는 시료마다 매우 다를 수 있으므로 기법이 측정할 수 있는 각 원소의 농도 범위도 중요합니다. 분석 기법의 농도 범위는 일반적으로 검출기가 농도 변화에 선형 반응을 제공하는 범위인 선형 측정 범위로 설명됩니다.



그림 10. 토양, 슬러지, 물과 같은 환경 시료는 종종 높은 농도의 일부 원소와 매우 낮은 농도의 다른 원소를 포함합니다. ICP-OES 또는 ICP-MS와 같은 다원소 기법은 한 번의 측정으로 이러한 농도 차이를 처리할 수 있으며, 그렇지 않으면 그 일부인 시료 전처리 작업을 통해 동일한 시료를 여러 번 측정해야 합니다.

시료 내에 있을 수 있는 각 원소의 농도 범위를 처리할 수 있는 기법을 선택해야 합니다. 실험실에서 농도를 거의 알 수 없는 시료를 분석할 예정인 경우, ICP-MS와 같이 범위가 넓은 기법을 선택하여 측정해야 합니다. 반대로 100ppm 수준의 농도인 하나 또는 두 개 원소를 모니터링하는 경우, 보다 간단하고 저렴한 불꽃 AAS 시스템이 적합합니다. 각 기법의 측정 범위를 비교한 방법은 표 2를 참조하세요.

표 2. 각 원자 분광 기법을 통해 측정할 수 있는 농도 범위. 각 기법에 대하여, (시료 주입 시스템의 강화 없는) 기본 기기의 일반적인 검출 한계와 측정 상한 사이의 범위를 막대로 표시됩니다.

	<ppq				ppt				ppb				ppm				
	1	10	100	1000	1	10	100	1000	1	10	100	1000	1	10	100	1000	%
불꽃 AAS																	
MP-AES																	
ICP-OES																	
GFAAS																	
ICP-MS																	
ICP-QQQ																	

검출 한계

각 분석 기법을 통해 획득할 수 있는 검출 한계(DL)는 기법이 의도한 분석에 적합한지 여부를 결정하는 주요 요인이 될 수 있습니다. 여러 규제 분석법에는 해당 시료 유형에 대한 최대 허용 농도가 포함되며, 선택한 기법은 그 분석법에 대해 이러한 농도를 높은 신뢰도로 측정할 수 있어야 합니다. 분석법은 신뢰할 수 있는 분석을 달성할 수 있는 가장 낮은 농도를 설정하도록 사용되는 접근법을 정의할 수 있으며, 이를 정량 한계(또는 정량), LOQ라고도 합니다. LOQ는 일반적으로 "기기 검출 한계"(IDL)보다 3~10배 높습니다. 흔히 인용되는 추가 파라미터는 "분석법" 검출 한계(MDL)로, 여기에는 시료 희석인자와 시료 전처리 절차의 모든 기여(오염 등)가 포함됩니다.



Radial 대 Axial 관측 ICP-OES

ICP-OES 기기는 radial 관측과 axial 관측 두 가지의 일반적인 구성으로 제공됩니다. Radial 구성에서 플라즈마는 플라즈마를 가로지른 측면(다이어그램의 빨간색 선)으로 보여집니다. Axial 구성에서 플라즈마는 플라즈마의 세로(파란색 선) 아래로 보여집니다. Axial 관측은 경로 길이를 연장하고 플라즈마 백그라운드 신호를 감소시켜, 일부 원소의 radial 구성 보다 검출 한계를 5~10배 낮춥니다. 이 기능은 고농도로 존재하는 원소(axial 관측에 대해 너무 높음)에 유용하게 사용될 수 있습니다. 또한 Radial 모드는 Na 및 K와 같은 1족 금속을 측정할 경우 유용하며, 이러한 금속과의 간섭 문제를 극복합니다. Agilent 5900 ICP-OES는 axial 관측 및 radial 관측을 동시에 측정할 수 있으므로, 모든 원소에 대하여 최적의 관측 구성을 갖추고 있습니다.

일반적으로 "극미량 원소" 기법인 GFAAS와 ICP-MS는 다른 원자 분광 기법에 비해 검출 한계가 상당히 낮습니다. 그러나 검출 한계는 이보다 더욱 복잡합니다. 각 기법은 원소의 감도 및 백그라운드 신호에 따라 일부 원소에 대해 다른 원소보다 더 나은 성능을 제공합니다. 예를 들어, ICP-OES에서 매우 강한 방출선은 높은 감도를 제공하므로 덜 강한 방출선보다 낮은 DL을 제공합니다. 마찬가지로, ICP-MS의 경우, 더 높은 존재비의 동위원소는 낮은 존재비의 동위원소보다 감도가 높고 DL이 낮습니다.

금속 실험실에서 ICP-MS가 빠르게 채택되는 이유 중 하나는 이 기법이 일반적으로 가장 낮은 농도에서 보통 측정되는 원소에 대한 DL이 낮기 때문입니다. 이 그룹에는 Cr, As, Cd, Hg, Pb와 같은 여러 중금속들이 포함됩니다. ICP-MS에서 DL이 높은 원소는 Na, K, Ca, S, Fe 등 광물 원소와 같이 일반적으로 높은 농도에서 측정되는 분석물질입니다.

시료 매트릭스와 주요 원소 조성 또한 DL에 영향을 미칠 수 있습니다. 예를 들어, 원소의 DL은 특정 시료 매트릭스의 스펙트럼 중첩에 의해 크게 저하될 수 있습니다. 실험실 환경과 시약 품질은 또한 각 기법에 의해 일상적으로 얻을 수 있는 실제 DL에도 큰 영향을 미칩니다. DL이 가장 낮은 기법의 감도가 높을수록 가장 깨끗한 화학물질과 클린룸과 같은 최상의 공기질을 필요로 한다고 합니다. 그러나 이러한 요인에 의존하는 것은 기법 자체라기보다는 달성 가능한 보고 한계입니다. 예를 들어, 낮은 시약 품질 또는 분진이 존재하는 실험실 환경에 의한 시료 오염은 ICP-MS가 그 기법을 수행할 수 있는 ppt 및 sub-ppt 수준의 DL을 달성하는 것을 방해할 수 있습니다. 그러나 최소 보고 수준이 ppb 수준이라면 문제가 되지 않습니다.

간섭

간섭은 시료 측정 중 측정된 결과에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 상호작용입니다. 원자 분광기 간섭은 세 그룹으로 나눌 수 있습니다.

- 시료 매트릭스 또는 전처리된 용액에 의한 물리적 간섭
- 시료 성분과 분석물질 간의 상호작용에 의한 화학적 간섭
- 하나의 원소에 대해 측정된 신호가 파장 또는 질량 스케일에서 다른 원소에 대한 신호로부터 완전히 분리되지 않는 스펙트럼 간섭

각 기법은 세 가지 유형의 간섭으로 인해 서로 다른 정도의 어려움을 겪습니다. 이는 표 3에 설명되어 있습니다. 원자 분광 기법은 서로 다른 수준의 간섭을 가지고 있지만, 모두 이러한 간섭의 영향에 대응하기 위한 확립된 방법을 가지고 있습니다. 이는 하드웨어 구성, 작동 조건 및 소프트웨어 도구를 사용하거나 시료 전처리 및 품질 관리 절차를 통해 이루어집니다. 간섭 차이는 실험실의 기법을 선택하는 주요 요인이 되어서는 안 됩니다. 그러나 분석할 시료(일반적으로 '미지' 시료라고 함)의 조성을 모르는 경우에는 분석법 개발 중에 간섭을 고려해야 합니다.

표 3. 각 기법에 대한 서로 다른 유형의 간섭의 상대적 발생(점이 많을수록 간섭 수준이 높음을 의미함).

간섭 유형	원자 분광 기법					
	불꽃 AAS	GFAAS	MP-AES	ICP-OES	ICP-MS	ICP-QQQ
물리적	●●	●	●●	●●	●●	●●
화학적	●●●	●●●●	●●	●	●●	●●
스펙트럼	●	●	●●	●●●	●●	●

물리적 간섭

물리적 간섭은 다양한 매트릭스 및 용매 수준이 용액의 점성, 표면 장력, 증발률의 변화를 일으켜 측정된 신호 수준의 차이로 이어질 때 발생합니다. 물리적 간섭은 액체 펌핑과 관련된 모든 기법에서 발생합니다. 이러한 효과는 일반적으로 시료 주입 시스템에서 발생하지만, 일부는 용액의 피펫팅과 같은 시료 전처리 단계에도 영향을 미칠 수 있습니다. 물리적 효과는 다음과 같은 이유로 발생할 수 있습니다.

- 표준물질 대 시료로 전처리에 사용하는 서로 다른 용매(예: HCl 대 HNO₃, 또는 수용성 용매 대 10% 알코올)
- 표준물질과 시료 간의 산 또는 유기 용매의 수준 차이(예: 0.1% 산으로 제조한 표준물질 및 10% 산의 시료)
- 표준물질과 비교하여 시료 내 주요 원소의 서로 다른 수준(예: 높은 수준의 용존 탄소 또는 1% 용존 고형물을 포함하는 시료 분해물에 대한 간단한 합성 표준물질)

물리적 간섭을 해결하기 위해 몇 가지 접근 방식을 사용할 수 있으며, 그 중 가장 널리 사용되는 것은 매트릭스 매칭, 표준물질 첨가 및 신호 보정입니다.

매트릭스 매칭은 사용자가 시료의 주요 성분을 확인하고 유사한 매트릭스에서 표준물질(및 블랭크, QC 솔루션 등)을 전처리하는 경우입니다. 이는 동일한 양의 산을 첨가하는 것만큼이나 간단할 수 있으며, 시료 전처리 및 희석에 사용되는 동일한 용액에서 표준물질을 전처리하는 것과 같은 보다 정교한 접근법일 수 있습니다. 표준물질이 시료와 동일한 매트릭스에 있는 경우, 물리적 효과는 둘 다 동일해야 하므로 신호 차이를 최소화해야 합니다.

표준물질 첨가는 매트릭스 매칭의 발전된 형태로, 표준물질 용액을 시료 자체에 첨가하여 매트릭스 조성의 변동성을 제거합니다. 원칙적으로 매력적이고 일부 산업에서 널리 사용되지만, 표준물질 첨가는 각각의 다른 시료 유형을 자체적인 표준물질 첨가 스파이크 세트를 사용하여 보정해야 한다는 단점이 있습니다.

신호 보정은 일반적으로 내부 표준물질(ISTD)로 비표적 원소의 첨가에 의해 이루어집니다. 이상적인 ISTD는 필수 분석물질이 아니며, 다른 분석 물질에 간섭을 받거나 야기하지 않으며, 시료에 자연적으로 존재하지 않는 원소입니다. ISTD 원소는 모든 용액(표준물질, 블랭크, QC 및 미지 용액)에 동일한 수준으로 첨가(종종 온라인 혼합 커넥터를 자동으로 사용)됩니다. 물리적 간섭은 일반적으로 소스로 전달되는 용액의 총량에 영향을 미치므로, 신호의 변경은 모든 원소에 동일한 정도로 영향을 미칠 수 있습니다. 분석 후, ISTD 신호의 변화를 사용하여 분석물질의 신호를 보정합니다. 예를 들어 ISTD 신호가 표준물질에서보다 시료에서 10% 낮으면(회수율 90%), 분석물질 신호가 동일한 양만큼 보정됩니다. 이러한 ISTD 보정은 시료 매트릭스로 인한 신호 손실을 보완합니다. ISTD 보정은 물리적 간섭뿐만 아니라 장기 드리프트에 대해 보정할 수 있다는 장점을 가진 원자 분광 기법 전반에 걸쳐 널리 사용됩니다. 다원소 기법(ICP-OES 및 ICP-MS)은 여러 ISTD 원소를 사용하여 모든 분석물질에 대한 최적의 보정을 제공합니다.

화학적 간섭

화학적 간섭은 시료 주입 또는 측정 중에 원소가 화학적 상호작용을 겪을 때 발생합니다. 화학적 간섭은 불꽃 AAS와 같은 저온 원자화원에서 더 흔히 발생합니다. 이는 불꽃의 낮은 온도가 시료 물질을 분해하고 해리하며 측정되는 분석물질의 자유 원자를 형성하는 데 덜 효율적이기 때문입니다. 만약 매트릭스 성분이 다른 화합물을 형성하기 위해 분석 원자와 결합한다면, 자유 분석 원자는 더 적을 것이고 따라서 분석 물질의 특성 원자 파장에서 흡광도는 더 낮을 것입니다. 따라서 시료 매트릭스와 그 특정 원소는 표준물질의 신호와 비교하여 생성되는 분석 물질 신호의 양에 영향을 미칠 수 있습니다. 불꽃 AAS의 화학적 간섭은 더 높은 온도의 불꽃을 사용하거나 화학 변형제를 첨가하여 줄일 수 있습니다.

일부 화학적 효과는 시료 흡입 중에 발생하며, 예를 들어, 표준물질과 비교하여 시료 내에 휘발성이 더 큰 형태로 원소가 존재하는 경우입니다. 이 경우 에어로졸 액체 방울 표면에서 휘발성이 더 높은 화합물이 증발하기 때문에 신호가 향상될 수 있습니다. 적절한 용매나 착화제를 사용하여 화학적으로 원소를 안정시키면 이러한 유형의 화학적 효과를 해결할 수 있습니다.

이온화 효과는 고온 불꽃 AAS 분석에 영향을 미칠 수 있는 또 다른 유형의 화학적 간섭입니다. 이온화 효과는 쉽게 이온화된 원소가 원자 형태에서 이온 형태(ICP-MS에서)로 전환될 때 나타납니다. 이온이 형성된 경우, 원자 흡수 분광기에서 이온을 정량화할 수 없습니다.

화학적 간섭이 AAS에 더 많이 영향을 미치지만, ICP-OES와 ICP-MS에 사용되는 고온 ICP 원자 및 이온화원은 이에 영향을 받지 않습니다. ICP-MS에 영향을 미치는 한 가지 예는 높은 수준의 탄소가 존재하는 상태에서 측정했을 때 비소와 셀레늄에서 나타나는 이온화 향상입니다. 낮은 % 수준의 탄소 매트릭스의 존재는 As 및 Se의 이온화를 향상시켜 저탄소 표준물질 내 농도에 대한 신호를 증가시킵니다. 모든 용액에 탄소를 (예를 들어 2% butan-1-ol 형태) 첨가 및 과량 첨가하여 신호 개선이 일관되게 이루어짐으로써 효과를 쉽게 보정할 수 있습니다.

스펙트럼 간섭

스펙트럼 간섭은 모든 원자 분광 기법에 다른 정도로 영향을 미칠 수 있습니다. 저온의 불꽃 AAS 공급원은 스펙트럼이 거의 중첩되지 않는 경향이 있는 반면, 매우 높은 온도의 ICP 소스는 매우 풍부하고 강렬한 방출 스펙트럼을 생성합니다. ICP-OES의 측정된 파장 범위에 걸쳐 수천 개의 방출선을 통해

(그림 11 예시 참조), 최소 두 개의 선이 서로 근접하여 간섭할 가능성이 높습니다. ICP-OES가 원소당 여러 개의 방출선을 검출할 수 있는 능력이 있다면, 분석에 대한 간섭이 없는 선을 선택하여 스펙트럼 간섭을 피할 수 있습니다.

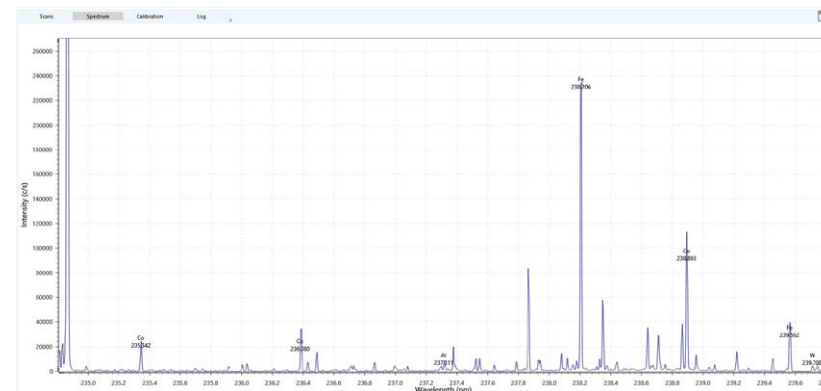


그림 11. 일반적인 ICP-OES 방출선 스펙트럼, 약 4nm 파장 범위에 걸쳐 표시됨.

ICP-MS 질량 스펙트럼에는 240개 미만의 자연 원소/동위원소 질량이 포함되어 있어 ICP 광 방출 스펙트럼보다 훨씬 간단합니다. 게다가 ICP-MS를 통해 측정되는 모든 원소(인듐 제외)는 다른 원소에 의한 직접적인 중첩에서 자유로운 하나 이상의 질량(동위원소)을 가지고 있습니다. 따라서 ICP-MS에서는 원소 간 중첩을 쉽게 피할 수 있지만, 스펙트럼 중첩은 "동중원소" 이온이라고 알려진 분자 이온을 형성하는 원소들의 조합으로 형성될 수도 있습니다. 이러한 동중원소 이온들은 아르곤 가스, 공기 중 N 및 O와 같은 원소, 용액과 시료 매트릭스의 성분으로 형성될 수 있습니다. 동중원소 이온 중첩의 일반적인 예로는 m/z 32에서 황의 주요 동위원소와 중첩되는 O_2^+ , m/z 56에서 철의 주요 동위원소와 중첩되는 ArO^+ , m/z 75에서 비소의 유일한 동위원소와 중첩되는 $ArCl^+$ 가 있습니다. ICP-MS 분석에 사용할 수 있는 동위원소의 제한된 숫자는 동중원소 중첩을 피하기 어렵게 만들 수 있습니다. 동중원소 간섭은 가변적인 고매트릭스 시료에서 정확한 결과를 얻는 데 큰 제약이 되곤 했습니다. 기기 제조업체들은 현재 동중원소 간섭을 해결하는 효과적이고 자동화된 방법을 개발했지만, 모든 ICP-MS 기기가 동일한 기능을 가지고 있는 것은 아니므로 그 차이점을 신중히 고려해야 합니다.

비용

설치 비용

기기의 구매 가격뿐만 아니라 원자 분광기를 수용하기 위해 실험실을 크게 변경하는 데 투자해야 할 수도 있습니다. 일반적인 요구 사항 목록은 다음과 같습니다.

- 배기 추출
- 가스 소모품
- 시료 전처리용 폼 후드(시료 유형에 따라 다름)
- 마이크로웨이브 분해기 등 시료 전처리 장치(시료 유형에 따라 다름)
- 대형 분석 기기의 크기와 무게를 수용할 수 있는 실험실 벤치
- 에어컨
- 냉각수(GFAAS, ICP-OES, ICP-MS용)
- 장비를 실험실에 들여올 수 있는 액세스 및 리프팅 능력
- 단상 전원 공급(일반적으로 기기가 별도의 회로에 있는 경우)
- 적절한 교육을 받았거나 경험이 풍부한 분석자

원소를 ppt 수준에서 측정하는 경우

- 무진 조건을 제공하는 클린룸 또는 laminar flow 후드
- 고순도 등급 시약
- 높은 등급 표준물질

원자 분광기에 필요한 유틸리티 및 설비

유지 비용

각 원자 분광 기법은 유지보수 및 소모품에 대한 요구사항이 다릅니다. 기기 소모품 및 서비스 비용을 예산 내에서 고려해야 합니다. 각 기법에 필요한 사항에 대한 개요는 다음과 같습니다.

유틸리티 비용

가스와 전력은 원자 분광 분석과 관련된 가장 큰 유틸리티 비용입니다. 예를 들어 아르곤의 품질과 양은 기법에 따라 다릅니다. GFAAS는 3L/분의 아르곤(또는 N_2 , 측정 원소에 따라 다름)만을 사용하는 반면, ICP-OES 및 ICP-MS의 플라즈마 기반 기법은 약 20L/분(아르곤에 의해 플라즈마에 공급)을 사용합니다. ICP-MS는 또한 He , H_2 , NH_3 , O_2 (분석법 요구사항에 따라 다름)의 저용량 소모품을 필요로 할 수 있습니다. ICP-OES는 보다 저렴하고 순도가 낮은 99.95% 아르곤에서 가동할 수 있으며, GFAAS 및 ICP-MS는 최소 99.99%의 고순도 아르곤을 필요로 합니다.

불꽃 AAS는 측정해야 하는 원소에 따라 압축 공기, 아세틸렌, 아산화질소 가스가 필요합니다.

MP-AES의 유틸리티 비용은 가장 낮아 시료당 비용이 가장 낮습니다. 이는 질소 생성기를 사용하여 주변 공기에서 끌어낼 수 있는 지속적인 질소 공급만을 필요로 합니다. 플라즈마를 점화하려면 99.0%의 순수 아르곤(온보드 병)의 소량 공급이 필요합니다. 또한 MP-AES는 10A 전원 공급만을 필요로 하는 낮은 전력 요구사항을 가지고 있습니다.

ICP-OES 및 ICP-MS 모두 다른 기법보다 많은 전력을 소비합니다. ICP-MS 및 ICP-QQQ의 소비량이 가장 많으며, 일반적으로 지속적으로 작동하는 진공 펌프를 갖추고 있습니다. ICP-MS 및 ICP-QQQ 모두 별도의 30A 전원 공급 장치를 필요로 합니다. ICP-OES는 15A 전원 공급 장치를 필요로 합니다.

현저 기후에 따라 모든 기법에 에어컨이 필요할 수 있습니다. 실험실은 15~30°C 및 20~80% 습도 이내로 유지해야 합니다.

시료당 비용 분석을 기반으로 비용을 비교하는 것이 중요합니다. ICP-OES 및 ICP-MS 모두 시료 배치를 신속하게 측정할 수 있는 다원소 기법입니다. 비록 이들이 가동되는 동안 더 많은 가스와 전력을 필요로 하지만, 같은 수의 시료를 측정하는 데 있어 다른 기법에 비해 더 적은 시간이 소요됩니다.

일상적인 유지보수

모든 원자 분광 기법은 정기적인 세척과 유지보수가 필요합니다. 시료가 더 많을수록, 시료가 더 복잡할수록 더 많은 유지보수가 필요합니다. 특히, 초극미량 분석을 수행할 경우, GFAAS 및 ICP-MS(ICP-QQQ 포함)의 고감도 기법은 보다 자주 세척해야 합니다.

기기를 매일 사용하는 경우 다음과 같은 유지보수 작업을 수행할 수 있습니다.

매일

시료 주입 부분을 검사하고 세척합니다. Nebulizer, 스프레이 챔버, 토치, 버너 또는 흑연 튜브, 펌프 튜브, 폐기물 용기가 포함됩니다. 이러한 유지보수 항목은 구성 요소가 다른 GFAAS를 제외하고 모든 기법에서 유사합니다. 이러한 활동을 수행하는 데 최대 30분이 소요될 것으로 예상됩니다. 일부 기기는 매일 아침 자동으로 작업자에게 시스템 상태 보고를 제공할 수 있으며, 유지보수가 필요한 경우 이에 대한 세부내용을 제공할 수 있습니다.

매주

시료를 가열하는 부분(예: 토치 격실)을 검사하고 세척합니다. 이러한 활동을 수행하는 데 30~60분이 소요될 것으로 예상됩니다.

일반적으로 모든 기법은 매일/매주 유지보수 요구사항이 유사합니다. 그러나 GFAAS, ICP-OES, ICP-MS의 경우 적은 빈도로 더 많은 유지보수 작업을 수행합니다. 이러한 작업에는 냉각 시스템의 수위 점검 및 진공 펌프 오일 레벨 점검이 포함됩니다.

사용 편의성 및 필요한 분석자 기술

분석 기기에 필요한 분석자의 기술을 줄이는 높은 수준의 자동화 및 소프트웨어 기능을 포함시키는 추세는 증가하고 있습니다. 일반적인 시료 유형의 경우, 기기와 함께 공급된 분석법과 도구는 정확한 결과를 보고할 수 있도록 해줍니다.

덜 숙련된 분석자도 불꽃 AAS 및 MP-AES 기기를 작동할 수 있습니다. GFAAS는 주로 관련된 정교한 화학과 낮은 검출 수준으로 인해 더 높은 수준의 기술을 필요로 합니다. GFAAS는 또한 일반적으로 자동화 기능이 적으므로 분석자 기술에 따라 분석법을 개발하고 분석을 실행합니다.

일상적인 분석법이 설정되면, 원자 분광 기법의 일상적인 작업은 비교적 간단합니다. 새로운 분석법을 개발하는 것은 필요한 기술 수준을 높이는 더 복잡한 다원소 분석법과 더 다양한 시료 유형으로 더 높은 수준의 기술을 필요로 합니다. 현대 원자 분광기 기기에는 일반적으로 이러한 잠재적으로 힘든 작업을 처음 접하는 분석자를 지원하기 위한 분석법 라이브러리 및 소프트웨어 워크플로 가이드와 같은 리소스가 포함됩니다.

표 4. 다양한 원자 분광 기법에 대한 분석법 개발의 상대적 복잡성 비교.

	불꽃 AAS	GFAAS	MP-AES	ICP-OES	ICP-MS	ICP-QQQ
분석법 개발 복잡성	🎓	🎓	🎓🎓🎓	🎓🎓	🎓🎓	🎓🎓🎓

분석법- 사전 개발의 규제 및 가용성

규제 분석법

여러 일반적인 원소 분석은 다양한 국가에서 정부의 규제를 받고 있습니다. 예를 들어, 먹는 물 내 금속 측정은 미국 환경보호국(EPA)으로부터 규제됩니다. EPA는 먹는 물에 대하여 다음 분석법을 발표했습니다.

- 200.5 Axially 관측 유도 결합 플라즈마 - 원자 방출 분광기를 이용한 먹는 물 내 극미량 원소 측정(2003)
- 200.7 유도 결합 플라즈마 - 원자 방출 분광기를 이용한 물, 폐수 내 금속 및 극미량 원소 측정(1994)
- 200.8 EPA 분석법 200.8 유도 결합 플라즈마 - 질량 분석기를 이용한 물, 폐수 내 극미량 원소 측정(1994)
- 200.9 안정화된 온도 흑연로 원자 흡수를 이용한 극미량 원소 측정(1994)

이러한 각 분석법에 대하여, 요구되는 분석 기법은 선택된 분석법에 따라 결정됩니다. 결과적으로, 분석법은 준수해야 하는 규제에 의해 결정될 가능성이 높습니다.

원소 분석을 위한 표준 분석법은 전세계적으로 1500가지가 넘습니다. 작업장 대기의 몰리브덴 측정([GB/T 17087](#))과 같은 매우 특정한 것에서부터 물 중 26개 원소 측정([US EPA 200.8](#))과 같은 광범위한 것까지 다양합니다.

사전 개발된 분석법 및 분석법 개발

많은 기기에는 먹는 물 내 원소 측정과 같은 일반적인 분석 유형에 적합한 분석법 템플릿이 제공됩니다. 제공된 분석법은 규제 분석에 사용되는 경향이 있습니다. 분석이 일반적이지 않거나 매우 구체적인 요구 사항이 있는 경우, 기기에 대해 발표된 분석법을 찾거나 직접 개발해야 합니다.

불꽃 및 흑연로 AAS와 같은 단일 원소 기법은 오랫동안 사용되어 왔으며, 많은 분석물질과 시료 유형에 대해 안정적인 분석법을 가지고 있습니다.

ICP-OES 및 ICP-MS에 사용되는 다원소 분석법은 변수가 많아 설정이 복잡합니다. 또한 이러한 분석법은 기존 분석법을 새로운 기기로 이전할 때 더 많은 수정이 필요할 수 있습니다.

시료 전처리

액체 시료



그림 12. 시료는 일반적으로 원자 분광 기법을 사용한 측정을 위해 액체 형태로 주입됩니다. GFAAS를 제외한 모든 기법은 nebulizer를 사용하여 액체 시료를 에어로졸 미스트로 변환합니다. GFAAS는 시린지를 사용하여 액체 시료를 주입합니다.

일반적인 분석의 경우, 불꽃, 흑연로 및 플라즈마 기반 원자 분광 기법을 사용하여 측정할 시료를 액체 형태로 주입합니다. 이미 액체 상태인 시료도 측정 전에 전처리해야 하는 경우가 종종 있습니다. 이러한 시료 전처리에는 여과, 산성화, 분해 또는 분석물질이 용액에서 안정적으로 유지되도록 하기 위한 다른 형태의 안정화가 포함될 수 있습니다.

대부분의 규제 분석법 또는 표준 분석법은 사용할 시료 전처리 과정을 지정합니다. 또한 온라인에 다양한 시료 유형에 따른 시료 전처리에 대한 여러 '레시피'가 있습니다. 예를 들어 애질런트는 [광범위한 분석을 설명하는 응용 자료](#)를 게시합니다.

고체 시료



그림 13. 토양, 암석 또는 광석 시료의 원소 함량 측정은 일반적인 원자 분광기의 응용 분야입니다.

토양 및 퇴적물 시료를 처리 전에 종종 건조시킵니다. 암석이나 광석과 같은 시료를 갈아서 고운 가루로 만듭니다. 이를 혼합한 다음 분석할 대표적인 시료가 있는지 확인하기 위해 하위 샘플링을 합니다.

그런 다음 토양, 퇴적물 또는 암석 시료를 산처리하여 분석하고자 하는 원소 (분석물질)를 용액으로 추출합니다. 이러한 산처리 과정을 분해(위의 소화 과정과 유사함)라고 부릅니다.

극미량 분석의 경우, 분해, 시료 이송 또는 저장 단계는 석영 또는 폴리머와 같은 비활성 물질로 만들어진 용기에서 수행되어야 합니다. 붕규산 또는 소다 유리로 만들어진 용기는 유리 물질이 산성 용액으로 침출될 수 있는 원소를 포함하므로 극미량 금속 분석에 사용할 수 없습니다. 우리는 또한 용액으로부터 극미량의 원소를 흡착하여 불안전성과 좋지 않은 회수율을 야기합니다.

분해, 희석, 여과

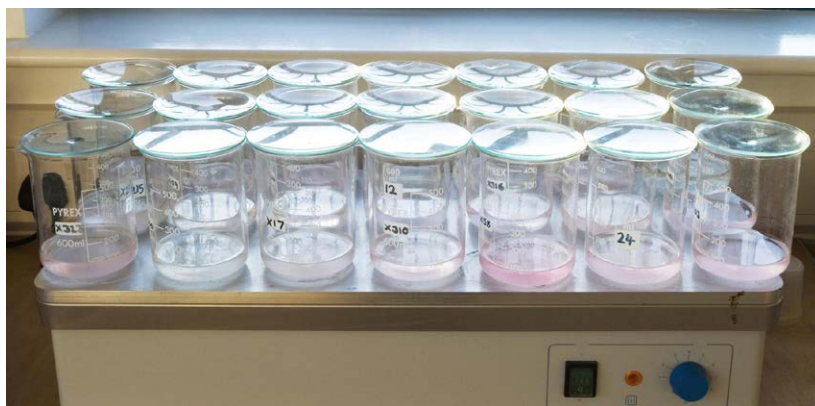


그림 14. 원소를 용액으로 방출하려면 시료를 산으로 분해시켜야 할 수 있습니다.

측정할 원소와 시료의 유형에 따라 시료를 산으로 분해시켜야 할 수도 있습니다. 분해 및 기타 시료 전처리 요구사항은 응용 분야 및 분석법에 따라 달라집니다. 규제 또는 표준 분석법은 일반적으로 수행해야 하는 시료 전처리를 명시합니다.

시료를 분해하기 위해, 산이 들어있는 비커에 넣고 핫플레이트(실험실 흡 후드 내부)에서 가열합니다. 또한 마이크로웨이브 분해 시스템 또는 '핫 블록' 시스템을 사용할 수 있습니다. 핫 블록 시스템은 여러 시료를 한 번에 처리할 수 있으며 핫플레이트보다 더 나은 온도 제어를 제공합니다. 마이크로웨이브 분해기는 "밀폐형 용기"를 사용하여 더 높은 온도와 압력으로 분해를 향상시킵니다.

시료 분해에 사용되는 산은 측정하고자 하는 시료 유형 및 원소에 따라 달라집니다(유용한 리소스는 [Decomposition Methods in Analytical Chemistry 핸드북](#)입니다). 몰리브덴과 같은 까다로운 원소는 용액에 들어가 머물기 위해 불산(HF)과 같은 보다 강력한 산을 필요로 합니다. 실제로 시료를 분해하려면 산을 조합해야 할 수도 있습니다. 시료를 전처리 하는 동안 불산을 사용해야 하는 경우, 유리가 산에 의해 부식되기 때문에 비활성 부속품을 사용해야 합니다. Agilent는 [ICP-OES용 비활성 시료 주입 시스템](#)과 같은 원자 분광기용 비활성 부속품을 제공합니다.

시료 전처리의 마지막 단계는 희석 및 잠재적 여과입니다. 분석법은 일반적으로 시료를 희석할 최종 용량을 명시합니다. 시료를 기기의 검량 범위로 가져오거나 시료의 총 용존 고형물(TDS) 수준을 기기가 처리할 수 있는 수준으로 낮추려면 추가 희석이 필요할 수 있습니다(기법 및 기기 모델에 따라 다름). 용해되지 않은 입자 물질이 포함된 시료는 여과해야 하며, 그렇지 않으면 기기 시료 주입 시스템이 입자 물질에 의해 막히게 됩니다.

유기 시료 전처리

오일 시료와 같은 유기 화학 물질은 일반적으로 적절한 유기 용매(헥산, 자일렌, 톨루엔 등)를 사용하여 "시료 희석 주입(Dilute and shoot)" 방식으로 분석할 수 있습니다. 그러나 시료에 큰 입자(예를 들어 마모 금속 분석을 위한 오일 시료)가 있는 경우, 시료를 분해해야 합니다.

유기 물질 측정은 기기와 특정 기기 셋팅에 장착하는 특정 부품을 필요로 할 수 있습니다. AA, MP, ICP-OES 기법과 함께 플라즈마 토치 또는 불꽃 버너에 유기물 시료의 그을음이 축적되지 않도록 하는 것이 중요합니다. ICP-OES 또는 ICP-MS를 사용하여 유기 용매를 측정할 경우, 토치에 산소 가스(아르곤에 20% 혼합)를 첨가하여 매트릭스를 분해하고 토치의 주입기 또는 ICP-MS 인터페이스 콘에 그을음을 축적을 방지합니다. ICP-MS의 경우 산소를 첨가하면 표준 니켈 콘이 급속히 분해되므로, 유기 용매를 분석할 경우 인터페이스 콘을 백금 콘으로 교체해야 합니다.

[Agilent FilterMate Filtration System](#)을 사용하면 동일한 튜브에서 시료를 분해, 여과 및 분석할 수 있습니다. 필터 튜브는 핫 블록 분해 시스템과 호환되지만 마이크로웨이브 분해 시스템에서 사용하기에는 적합하지 않습니다.



용매별 기기 부속품

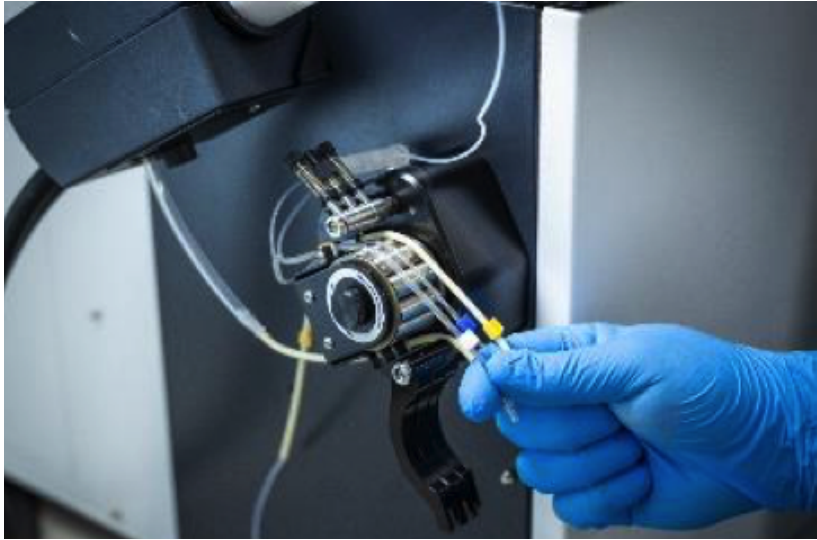


그림 15. 펌프 튜브는 사용 중인 용매와 호환되어야 합니다.

기기의 연동 펌프에 사용되는 튜브는 사용 중인 용매와 호환되어야 합니다. 예를 들어, 애질런트는 [AA](#), [MP-AES](#), [ICP-OES](#), [ICP-MS](#) 기기와 함께 사용할 수 있는 다양한 용매에 대한 튜브 종류를 제공합니다.

전체 시료 주입 시스템을 사용 중인 용매와 호환되는 시스템으로 교환해야 할 수도 있습니다. 예를 들어, 많은 분석자들은 유기 시료에 사용하는 부속품 세트를 별도로 보관하고 있습니다.

검량

원자 분광 기법은 표준용액이라고 불리는 알고있는 농도의 용액에 상대적인 관심 원소의 농도를 측정합니다. 측정된 값과 알고있는 표준용액의 농도 사이의 관계를 정의하는 과정을 "검량"이라고 합니다. 알고있는 표준물질은 일반적으로 인증 검량 용액 또는 레퍼런스 물질입니다. 검량 용액은 기기 공급업체에서 제공하는 경우가 많습니다. 예를 들어, 애질런트는 [단일 원소 및 다원소 인증 검량 표준의 범위를 제공합니다](#). 또한 화학 공급업체는 검량 표준물질을 제조 및 공급하며, 미국표준기술연구소(NIST)와 같은 레퍼런스 물질 생산업체는 다양한 산업 및 응용 분야에 관련된 인증 및 표준 레퍼런스 물질(CRM/SRM)을 제공합니다. CRM 및 SRM을 기기 검량에 사용하거나 품질 관리(QC) 시료로 실행하여 검량 표준물질의 정확성을 독립적으로 검사할 수 있습니다.

원자 분광기에서 검량에 대한 일반적인 접근법은 원소를 포함하는 인증 원액 또는 관심 원소에서 일련의 검량 표준물질을 제조하는 것입니다. AAS와 같은 단일 원소 기법은 일반적으로 측정되는 각 원소에 대해 각각의 검량을 사용합니다. 단일 원소 표준물질은 표적 원소의 농도에 대해서만 인증됩니다. ICP-OES 및 ICP-MS와 같은 다원소 기법에서는 관심 원소를 모두 포함하는 혼합된 검량 표준물질을 사용하는 경우가 많습니다. ICP 표준물질은 AAS 표준물질보다 훨씬 비싼데, 이는 ICP 표준물질이 해당 원소의 정확한 수준에 대한 인증뿐만 아니라 다른 원소의 부재를 확인하고 인증하기 때문입니다.

검량 원액을 희석하여 미지 시료에서 예상되는 농도 범위를 표준 수준으로 제공합니다. 희석된 표준물질은 미지 시료에 사용될 분석법과 동일한 분석법으로 측정됩니다. 각 농도 수준에서 각 원소에 대해 측정된 신호(흡수, 방출 또는 계수)는 기기 소프트웨어가 처리하여 신호와 농도 사이의 관계를 플롯으로 보여줍니다.

불꽃 AAS와 같이 상대적으로 낮은 온도 원자 공급원을 가진 기법의 경우, 선형 반응은 작은 농도 범위만 포함합니다(그림 16 참조). 이는 흡광도와 농도 사이의 관계가 비선형적인 고농도에서는 정확한 결과를 얻기 어렵다는 것을 의미합니다. 이는 시료를 검량의 선형 부분으로 가져가기 위해 희석시키거나 흡광도와 농도 사이의 관계를 확립하기 위해 더욱 정교한 수학을 사용함으로써 극복할 수 있습니다.

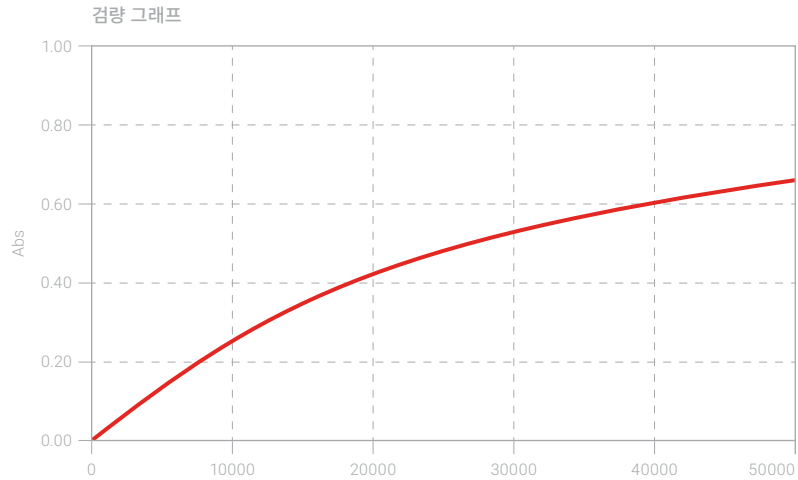


그림 16. 흡광도와 농도 사이의 선형 관계는 불꽃 AAS와 같은 기법의 경우 작은 농도 범위만 포함할 수도 있습니다. 즉, 시료의 농도가 검량의 선형 범위 내에 있도록 시료를 희석하거나 보다 정교한 수학을 사용해야 합니다. 검량 그래프에서 관계는 10,000mg/L까지만 선형입니다.

고온(플라즈마) 소스 기기(ICP-OES 및 ICP-MS)에서 검량은 일반적으로 몇 자릿수의 크기에 걸쳐 선형입니다. 이러한 선형 검량에 적합한 곡선은 $y = ax + b$ 로 나타낼 수 있으며, 여기서 a 는 기울기이고 b 는 Y축 절편입니다. 필요한 표준물질 수가 적으므로 기법이 광범위한 농도 범위에 걸쳐 선형 반응을 제공할 때 검량이 더욱 쉽습니다. 또한, 표준물질이 시료 농도와 밀접하게 일치할 필요가 없기 때문에 분석법은 더욱 유연합니다. Na에 대한 다섯 자릿수 선형 ICP-MS 검량은 그림 17과 같습니다. 이 ICP-MS 검량은 0.1~10,000ppm까지 선형입니다.

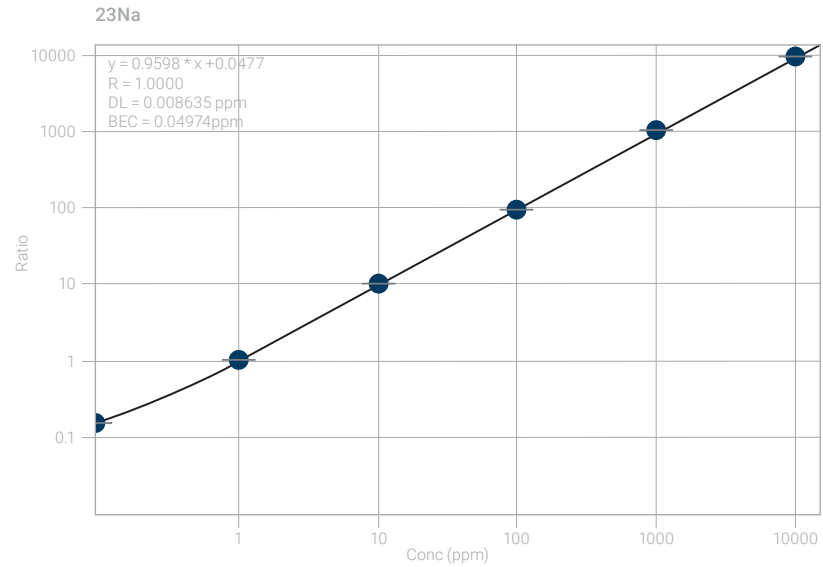


그림 17. 이 Na에 대한 ICP-MS 검량은 0.1~10,000ppm까지 선형입니다.

응용 분야

원자 분광기는 광범위한 산업에서 광범위한 측정에 사용됩니다. 표 5는 다양한 측정 유형에 가장 일반적으로 사용되는 기법을 나타냅니다.

각각 다른 응용 분야에 일반적으로 사용되는 기법은 무엇입니까?

표 5. 원자 분광기가 사용되는 산업과 각 산업에서 일반적으로 사용되는 기법. 점이 많을수록 해당 기법이 더 많이 사용됩니다.

산업	일반 응용 분야	불꽃 AAS	GFAAS	MP-AES	ICP-OES	ICP-MS	ICP-QQQ
농업	토양	●●	●	●	●●●	●●●	●
	식물	●●	●●	●	●●●	●●	●
	비료	●●		●●	●●●		
대마초	제조/QC		●		●●	●●●	●
임상 연구	생물학적 유체		●●			●●●	●●
에너지 및 화학	정밀 화학물질 순도	●	●●		●●●	●●●	●● (고순도의 경우)
	재생 가능 에너지: 바이오 연료, 태양광 패널, 연료 셀	●	●	●●	●●●	●●●	●●
환경	토양	●●●	●●	●	●●●	●●●	●●
	물	●●●	●●	●	●●●	●●●	●●
	공기		●●		●●	●●●	●●
	산업 및 전력 발전 폐기물 모니터링	●			●●●	●●●	●
	폐기물	●●●	●	●	●●●	●●	●

산업	일반 응용 분야	불꽃 AAS	GFAAS	MP-AES	ICP-OES	ICP-MS	ICP-QQQ
식품 및 음료	식품 안전		•		•	•••	••
	영양 성분 표시	••	•	••	••	•	
	식품 진위 판별	•	•	•	••	•••	••
법과학	유리, 페인트, 잉크 분석		•		••	•••	••
	발사 잔류물		••		•	•••	•
지질학 및 광업	탐사	•••	•	•	•••	••	•
	생산(완제품 모니터링)	•	•	•	•••	••	••
	연구 및 지질연대학					••	•••
생명 과학	단일 셀 분석					••	•••
	바이오 이미징					•••	•••
	단백질체학					•	•••
	대사체학					••	•••
재료	세라믹	•	•		•••	••	•••
	배터리	•	•		•••	••	•
	매그넷	•	•		•••	•••	•••
	촉매				•••	•••	••
	유리 및 광학 섬유		•		•	••	•••
금속 및 합금	초내열 합금		•		••	•••	••
	귀금속		•		•••	••	•••
	철금속				•••	••	•

산업	일반 응용 분야	불꽃 AAS	GFAAS	MP-AES	ICP-OES	ICP-MS	ICP-QQQ
나노 물질	R&D 및 제조					•••	•••
	환경 모니터링					•••	•••
	식품 첨가물					•••	•••
	소비재					•••	•••
핵	연료 생산					•	••
	해체					••	•••
	반응기 냉각수 모니터링					•••	••
석유화학	윤활유 내 마모 금속	••		••	•••	•	
	원유	••		••	•••	••	••
	프로세스 제어				•••	••	••
	연료 QC	••		••	•••	••	•
제약/바이오 제약	신약 개발		•			••	•••
	추출물 및 침출물 (E&L)		•		••	•••	•
	제조/QC		•		••	•••	•
반도체	공정상 화학물질 순도		•		••	••	•••
	실리콘 웨이퍼 순도		•			••	•••
	고순도 금속		•		•	••	•••

일반적인 측정 시나리오에 대한 권장 사항

적은 수의 시료에서 극미량(<10ppb) 또는 초극미량(ppt) 농도 측정

하루에 적은 수의 시료에서 극미량 또는 초극미량(ppt) 수준으로 적은 수의 원소를 측정하는 실험실의 경우, 두 가지 옵션이 있습니다: 흑연로 원자 흡수 분광기(GFAAS 또는 흑연로 AAS) 또는 유도 결합 플라즈마 질량 분석기(ICP-MS).

GFAAS는 48개의 원소를 측정할 수 있으며, ICP-MS는 86개의 원소를 측정할 수 있습니다. GFAAS는 측정할 수 없지만 ICP-MS가 측정할 수 있는 일반적인 원소는 다음과 같습니다: Br, C, Ce, Cl, F, Gd, Hf, Ho, I, La, Lu, Nb, Nd, Os, Pr, Re, S, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, Tm, U, W, Y, Zr. ICP-MS를 사용하더라도 C의 검출 한계는 좋지 않으며, F의 경우 ICP-QQQ에 특화된 접근법을 필요로 합니다.

GFAAS는 ICP-MS에 비해 구매 가격과 운영 비용이 저렴합니다. 그러나 ICP-MS는 훨씬 더 빠른 분석, 훨씬 더 넓은 선형 측정 범위, 더 적은 간섭을 제공합니다. 더 많은 원소 또는 시료 수의 경우, ICP-MS는 각 시료에 대해 2~3분 동안 모든 원소를 수집하여 측정하므로 더욱 빠르고 비용 효율적입니다. 이와 반대로, GFAAS는 시료의 각 원소를 개별적으로 측정하며, 각 단일 원소 측정은 약 2~3분이 소요됩니다. 즉, GFAAS를 사용하여 시료 마다 3회 반복 실험을 통해 5개의 원소를 측정하려면 시료당 약 30~40분이 소요됩니다(5개의 원소 x 3회 반복 실험 측정 x 반복 실험당 2분). 따라서 하나의 GFAAS 기기는 24시간 동안 약 240번의 3회 반복 측정을 할 수 있습니다. 240개 시료에서 1개 원소, 60개 시료에서 4개 원소 또는 24개 시료에서 10개 원소를 측정할 수 있습니다.

두 가지 기법 모두 작동하기 위해서는 상당한 수준의 지식과 기법이 필요합니다. 두 가지 기술 모두 무인 분석이 가능하며, 자동 시료 주입기를 로드하고 기기를 그대로 두면 분석이 완료됩니다. 일반적인 QA/QC 실험실은 GFAAS를 선택하는 경우가 많지만, 실험실이 확장 중이고 향후 더 많은 시료 로드와 대처해야 할 경우, ICP-MS는 성장에 필요한 추가 원소 범위와 더 증대된 시료 처리량을 제공할 수 있습니다.



ICP-MS의 장점

ICP-MS는 다음 상황에 이상적입니다.

- 시료당 10개 이상의 원소를 측정해야 하거나 향후 원소의 수가 증가할 수 있는 경우
- GFAAS가 측정할 수 없는 원소를 측정해야 하는 경우
- 하루에 분석해야 하는 시료가 100개 이상이거나 시료 배치가 200개 이상인 경우
- 미지의 농도로 존재할 수 있는 원소를 측정하거나, 원소의 농도가 시료마다 많이 다를 경우



GFAAS의 장점

GFAAS는 다음과 같은 실험실에 이상적입니다.

- 시료 및 원소 로드가 하루에 측정이 약 240회(24시간 내에 4개 원소 x 60개 시료) 이하인 극미량 수준의 정량이 필요한 경우. 이는 각 측정에 대해 세 번의 반복 측정을 가정한 경우입니다
- 분석물질의 대략적인 농도 범위와 농도가 시료마다 크게 다르지 않음을 알고 있는 경우
- 적은 수의 원소만 측정해야 하는 경우
- 자본 지출을 줄이기 위해 실험실 설치 비용을 최소화하고 운영 비용을 절감하고자 하는 경우



애질런트는 불꽃 원자 흡수 기기와 GFAAS를 결합한 Duo 원자 흡수 시스템을 제공합니다. 저농도에서 원소는 GFAAS로 측정되고 고농도에서 원소는 불꽃 AAS를 사용하여 측정됩니다. 두 가지 모두 동시에 시료를 측정할 수 있어 시료 처리량이 증가합니다. 불꽃 원자 흡수 기기는 무인 분석이 불가하므로 분석자가 기기를 모니터링할 수 있는 시간으로 분석이 제한됩니다.

50개 이상의 시료에서 저농도(<10ppb)로 10개 이상의 원소 측정

실험실에서 10ppb 미만의 농도로 존재하는 10개 이상의 원소를 측정해야 하고 하루에 측정하는 시료가 50개 이상인 경우, 유도 결합 플라즈마 질량 분석기(ICP-MS)가 가장 적합한 기법입니다. ICP-MS는 고농도의 원소도 측정할 수 있지만, 원소의 수와 시료의 수가 적을 경우에는 불꽃 AAS 또는 MP-AES와 같은 기법이 고농도의 분석물질 측정에 대한 저비용 옵션입니다.

ICP-MS는 다음을 제공합니다.

- 3분 시료 판독으로 거의 모든 원소를 빠르게 측정(스위칭 밸브를 사용하는 경우 시료당 1분)
- 대부분의 원소에 대해 높은 감도와 낮은 검출 한계(최저 ng/L(ppt) 또는 sub-ppt 수준) 원소 동위원소 비율 또한 측정할 수 있음
- 동일한 측정에서 0.1ppt 이하에서 1000ppm 이상의 농도로 원소를 측정할 수 있는 능력
- 거의 모든 측정 간섭을 극복할 수 있는 기능
- 유기 용매 및 용존 고형물 수준이 최대 25%인 용액을 포함하여 광범위한 시료 유형을 측정할 수 있는 능력
- 크로마토그래피 분리를 위한 액체 또는 가스 크로마토그래피 또는 직접 고체 샘플링을 위한 Laser Ablation(LA)과 같은 다른 기법으로의 연결
- 자동 시료 주입기를 이용한 무인 분석



어떤 유형의 ICP-MS가 필요하십니까?

ICP-MS는 SQ ICP-MS 또는 QQQ ICP-MS(ICP-QQQ라고 함)의 두 가지 일반적인 구성으로 사용할 수 있습니다. ICP-QQQ는 텐덤 ICP-MS 또는 ICP-MS/MS라고도 알려져 있습니다. 두 가지 구성 모두 86개의 원소를 측정할 수 있으며, 또한 ICP-QQQ는 SQ ICP-MS는 측정할 수 없는 F를 측정할 수 있습니다.

SQ ICP-MS는 ICP-QQQ에 비해 구매 가격과 운영 비용이 약간 저렴합니다. ICP-QQQ는 비록 실행하는 분석법에 따라 다르지만, 설정하고 작동하기 위해 더 높은 수준의 기술이 필요합니다. ICP-QQQ에서는 SQ ICP-MS용으로 개발된 많은 분석법을 변경 없이 실행할 수 있습니다.

ICP-QQQ의 주요 장점은 SQ ICP-MS가 해결할 수 없는 스펙트럼 간섭을 해결할 수 있다는 것입니다. ICP-QQQ는 검출 한계가 훨씬 낮고, 다양한 시료 유형에 대해 보다 일관된 결과를 제공합니다. 예를 들어 Si, P, S 원소는 SQ ICP-MS로 측정할 경우 강한 스펙트럼 간섭을 겪기 때문에 검출 한계는 상대적으로 좋지 않습니다. ICP-QQQ는 이러한 간섭을 극복할 수 있어 이러한 까다로운 원소를 극미량 수준에서 측정할 수 있습니다.



SQ ICP-MS

ICP-MS는 다음과 같은 실험실에 이상적입니다.

- 일상적인(종종 규제되는) ICP-MS 분석법을 실행하는 경우
- F, Cl, Si, P 또는 S와 같은 "까다로운" 원소를 포함하지 않는 일반적인 극미량 원소의 범위를 측정하는 경우
- 환경 시료와 같은 일반적인 시료 유형을 분석하는 경우
- 원소를 가장 낮은 극미량 수준(ppt 미만)에서 측정할 필요가 없는 경우



QQQ ICP-MS

ICP-QQQ는 다음과 같은 실험실에 이상적입니다.

- 복잡한 시료 유형을 포함, F, Cl, Si, P 또는 S를 분석해야 하거나 극복하기 어려운 간섭을 포함하는 까다로운 응용 분석을 실행하는 경우
- 고순도 재료 또는 반도체 공정 화학물질에 포함된 원소의 초극미량 수준 (ppt 미만)을 측정해야 하는 경우
- 직접 동중원소(원소) 중첩이 발생하는 분석물질($^{204}\text{Pb}/^{204}\text{Hg}$, $^{87}\text{Sr}/^{87}\text{Rb}$, $^{176}\text{Hf}/^{176}\text{Lu}$ 등) 또는 방사성 동위원소, 이러한 기능이 필요한 경우가 많은 지질 또는 핵 시료를 측정하는 경우
- 탄소 매트릭스의 B, 강철의 Mn, 우라늄의 Np와 같은 주요 원소 옆에 있는 질량에서 저농도의 원소를 측정해야 하는 경우
- 현재와 미래에 가장 광범위한 시료 유형 및 원소를 처리할 수 있기를 원하는 경우

다수의 시료에서 중~고농도(>10ppb)로 많은 수의 원소 측정

작업량이 많은 실험실 - 많은 시료에서 다수의 원소를 측정하려면 ICP-OES 또는 ICP-MS와 같은 빠른 유도 결합 플라즈마 금속 분석 기법이 필요합니다.

이 두 가지 기법을 비교할 때 ICP-OES와 ICP-MS가 측정할 수 있는 농도 범위가 서로 겹친다는 것을 인지하는 것이 중요합니다. 모든 원소가 10ppb 이상의 농도로 일정한 경우 ICP-OES가 가장 좋은 옵션입니다. 일부 저농도 원소를 측정하거나 C, F, Cl, Br 또는 I를 측정해야 하는 경우 ICP-MS를 사용하는 것을 권장합니다. ICP-MS를 사용하더라도 C의 검출 한계는 좋지 않으며, F의 경우 ICP-QQQ에 특화된 접근법을 필요로 합니다. 앞부분의, [어떤 원소를 측정해야 합니까?](#) 섹션을 참조하세요.

ICP-OES는 ICP-MS로 측정 가능한 ppt 수준까지 금속 농도를 측정할 수 없지만, ICP-OES는 이전에 불꽃 AA를 사용하여 수행했을 수 있는 측정에 자주 사용됩니다.

방사성 원소 Np, Pu, Am 또는 Ra 또는 매우 희귀한 악티늄족 원소(Ac, Bk, Cf, Cm, Pa, Po)를 측정해야 하는 고도로 전문화된 응용 분야에도 ICP-MS가 필요합니다.



ICP-OES

ICP-OES는 다음 상황에 이상적입니다.

- 많은 수의 시료(하루 1200개 이상의 시료)가 있는 경우. 이 경우, 시료 내 최대 74개 원소의 농도를 측정하는 데 1분 미만의 ICP-OES 속도가 필요합니다
- 매우 높은 백분율 수준의 총 용존 고형물(TDS) 또는 부유물을 포함하는 시료를 측정해야 하는 경우. ICP-MS는 이러한 시료를 측정할 수 있지만, ICP-OES에서 일상적으로 실행하는 것이 더욱 간편합니다
- 항상 각 원소가 10ppb 이상으로 포함된 시료를 측정하는 경우



ICP-MS

다음과 같은 경우 ICP-MS가 더 좋은 옵션입니다.

- 일부 원소에 대해 10ppb 미만 수준에서 분석하거나 향후 이러한 성능이 필요할 수 있는 경우(예: 규제 변경으로 인해)
- 원소 동위원소 비율 측정 능력이 필요한 경우
- 액체 또는 가스 크로마토그래피를 통한 크로마토그래피 분리, 또는 laser ablation(LA)의 직접 고체 샘플링 등과 같은 다른 기법과 원소 분석을 결합해야 하는 경우

하루에 100개 미만의 시료에서 고농도(>100ppb)로 10개 미만의 원소 측정

적은 수의 시료에서 100ppb 이상의 몇 가지 원소를 측정할 때에는 불꽃 원자 흡수 분광기(FAAS, 불꽃 AAS 또는 AA라고 부름) 또는 마이크로웨이브 플라즈마 원자 방출 분광기(MP-AES)가 이상적입니다. MP-AES는 70개의 원소를 측정할 수 있으며 불꽃 AAS의 경우 67개를 측정할 수 있습니다. S, Ce 또는 Th를 측정해야 하는 경우에는 두 분광기 중 MP-AES가 가장 좋은 선택입니다. 그러나, AAS와 MP-AES 모두 측정할 수 없는 원소가 있습니다.

이러한 원소들을 측정해야 하십니까?

측정하려는 원소 목록에 다음 원소가 포함된 경우: Cl, I 또는 방사성 Tc 또는 Pm은 AAS와 MP-AES로 모두 측정할 수 없으므로 ICP-OES가 최선의 선택입니다. 이러한 원소의 낮은 농도(<20ppm Cl 또는 <200ppm I)를 측정해야 하거나 측정하려는 원소 목록에 Br, 방사성 Np, Pu, Am 또는 Ra가 포함되거나 잘 알려지지 않은 악티늄족 원소(Ac, Bk, Cf, Cm, Pa, Po)가 포함된 경우 ICP-MS가 유일한 선택입니다. 그러나, ICP-MS 기기의 비용이 높기 때문에 불꽃 AAS, MP-AES 또는 ICP-OES에서 측정할 수 있는 중~고농도 원소의 적은 시료 수를 측정하는 것은 좋은 방법이 아님을 의미합니다.

MP-AES vs ICP-OES vs 불꽃 AAS의 차이점

불꽃 AAS는 가장 저렴하게 구매할 수 있는 기기입니다. AAS에 [애질런트 순차 측정\(Fast Sequential\) 모드](#)를 사용하는 경우, MP-AES와 불꽃 AAS 모두 시료 측정 시간이 비슷합니다. ICP-OES 기기는 구매 비용이 비싸지만 불꽃 AAS 또는 MP-AES보다 시료 측정 속도가 훨씬 빠릅니다. 측정하고자 하는 시료의 수 또는 원소의 수가 증가할 가능성이 있는 경우에는 ICP-OES가 가장 좋은 선택입니다.

MP-AES는 운영 비용이 가장 낮으며 가연성 가스를 사용하지 않습니다. 무인 분석이 가능하며, 질소 발생기와 함께 사용할 수 있는 원격 위치에 이상적이므로 전원 공급 장치(가스 공급 없음)만 필요로 합니다.



불꽃 AAS의 장점

FAAS는 다음과 같은 실험실에 이상적입니다.

- 규제 FAAS 분석법을 사용하는 경우. 일반적으로 식품 및 환경 응용 분야에 속합니다
- 표준 분석법을 사용하고자 하는 경우. FAAS는 오랫동안 사용되어 왔기 때문에, 입증된 분석법이 많습니다
- 일주일에 두세 번으로 몇 개의 원소만을 측정하고자 하는 경우



MP-AES의 장점

MP-AES는 다음 상황에 이상적입니다.

- 시료 수가 많은 경우. 자동 시료 주입기를 통해 야간 무인 분석으로 대규모 배치를 완료할 수 있습니다
- FAAS보다 가스 공급품 및 소모품 비용을 줄이고 싶은 경우
- S, Ce 또는 Th를 측정해야 하는 경우
- 실험실이 석유화학 공장 또는 노출된 불꽃이 허용되지 않은 다른 장소에 있는 경우
- 가스 실린더를 취급하거나 허용되지 않은 안전 위험이 있는 가연성 가스를 사용하는 경우



ICP-OES의 장점

ICP-OES는 다음 상황에 이상적입니다.

- 규제된 ICP-OES 분석법을 사용하고자 하는 경우. 대부분 식품 또는 환경 응용 분야에 속합니다
- Cl 또는 I를 측정해야 하는 경우
- 측정해야 하는 시료 수 또는 원소 수가 늘어날 수 있는 경우
- 시료 내 원소 농도가 감소하여 검출 한계를 낮춰야 하는 경우
- 자동 시료 주입기를 사용하여 야간 무인 분석을 실행하려는 경우

적은 수의 시료에서 중간 정도의 낮은 농도(수십 ppb~낮은 ppm)로 몇 가지 원소를 측정하십니까?

하루에 적은 수의 시료에서 중간 정도의 낮은 수준(10ppb 이상)으로 적은 수의 원소를 측정하는 실험실의 경우 세 가지 옵션이 있습니다: 흑연로 분석(GFAAS 또는 흑연로 AAS라고 함) 및 유도 결합 플라즈마 질량 분석기(ICP-MS) 또는 유도 결합 플라즈마 광 방출 분광기(ICP-OES)의 두 가지 유도 결합 플라즈마 기법.

측정해야 하는 원소에 따라 선택할 수 있습니다. ICP-MS는 86개의 원소, ICP-OES는 74개의 원소, 흑연로는 48개의 원소를 측정할 수 있습니다. GFAAS가 측정할 수 없는 일반적인 원소에는 Br, C, Ce, Cl, F, Gd, Hf, Ho, I, La, Lu, Nb, Nd, Os, Pr, Re, S, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, Tm, U, W, Y, Zr가 있습니다. 마찬가지로, ICP-OES는 C, F, Cl, Br, I를 측정할 수 없으므로, 이 원소들을 측정하려는 경우 ICP-MS가 필요합니다. ICP-MS를 사용하더라도 C의 검출 한계는 좋지 않으며, F의 경우 ICP-QQQ에 특화된 접근법을 필요로 합니다. 앞부분의 [어떤 원소를 측정해야 합니까?](#) 섹션은 각 기법이 측정할 수 있는 원소의 자세한 정보를 제공합니다.

GFAAS는 세 가지 기법 중에서 구매 가격과 운영 비용이 가장 낮지만, GFAAS는 각 원소를 개별적으로 측정하며 각 단일 원소 측정은 측정된 원소에 따라 약 2~3분이 소요됩니다. 즉, GFAAS를 사용하여 시료 마다 3회 반복 실험을 통해 5개의 원소를 측정하려면 시료당 약 30~40분이 소요됩니다(5개의 원소 x 3회 반복 실험 측정 x 반복 실험당 2분). 따라서 하나의 GFAAS 기기는 24시간 동안 약 240번의 3회 반복 측정할 수 있습니다. 240개 시료에서 1개 원소, 60개 시료에서 4개 원소 또는 24개 시료에서 10개 원소를 측정할 수 있습니다.

ICP-MS 기기는 구매 및 운영 비용이 더 비싸지만, 분석 속도가 빠르고 다원소 분석, 훨씬 넓은 선형 측정 범위를 제공하고 간섭이 더 적습니다. ICP-MS는 시료별로 2~3분 내에 모든 원소를 수집하여 측정하므로 흑연로보다 속도가 훨씬 빠릅니다. 시료 및/또는 원소의 수가 증가할 가능성이 있거나 측정해야 할 농도가 감소할 수 있는 경우에는(예를 들어 규제 변경으로 인해) ICP-MS가 가장 좋은 선택입니다.

두 가지 유도 결합 플라즈마 기법 중에서 ICP-OES 기기는 ICP-MS보다 비용이 저렴합니다. 또한 ICP-OES는 하루에 최대 2500개의 시료에서 여러 원소를 측정할 수 있어 시료 측정 시간이 가장 빠릅니다. 샘플 로드가 크게 증가하거나 원소의 수는 증가하지만 측정해야 하는 농도는 감소하지 않는 경우, ICP-OES가 가장 좋은 선택입니다. ICP-OES는 GFAAS 또는 ICP-MS와 동일한 sub-ppb 농도 수준 이하까지 측정할 수 없습니다.

표준의 규제 분석법이 자동화될 수 있을지라도 GFAAS 및 ICP-MS 모두 작동하기 위해서는 상당한 수준의 지식과 기술이 필요합니다. ICP-OES는 사용이 간편합니다. 모든 기법은 무인 분석이 가능하며, 자동 시료 주입기를 로드하고 기기를 그대로 두면 분석이 완료됩니다. 하루에 몇 가지 시료의 동일한 원소를 측정해야 하는 QA/QC 실험실에서는 GFAAS를 선택하는 경우가 많습니다. 그러나, 실험실이 확장 중이고 향후 더 많은 시료 로드에서 대처해야 할 경우, 유도 결합 플라즈마 기법은 성장에 필요한 추가 원소 범위와 더 증대된 시료 처리량을 제공할 수 있습니다.



흑연로의 장점

GFAAS는 다음 상황에 이상적입니다.

- 시료 및 원소 로드가 하루에 측정이 약 240회(예: 60개 시료 내 4개의 원소)인 극미량 수준의 정량이 필요한 경우. 이는 각 측정에 대해 세 번의 반복 측정을 가정한 경우입니다
- 적은 수의 원소만 측정해야 하는 경우
- 시료량이 매우 적은 경우
- 분석물질의 대략적인 농도 범위와 농도가 시료마다 크게 다르지 않음을 알고 있는 경우
- 예산이 적고 기기 비용과 운영 비용 모두 최소화하고자 하는 경우



ICP-MS의 장점

ICP-MS는 다음 상황에 이상적입니다.

- 10ppb 미만의 수준에서 여러 원소를 분석하거나 향후 이 성능이 필요할 가능성이 높은 경우(예를 들어 규제 변경으로 인해)
- 낮은 검출 한계, 다원소 분석 및 높은 시료 처리량 등이 모두 필요한 경우
- ICP-MS로만 측정할 수 있는 원소(Br 또는 I)를 분석해야 하는 경우
- 원소 분석을 크로마토그래피 분리를 위한 액체 또는 가스 크로마토그래피 또는 직접 고체 샘플링을 위한 laser ablation(LA)과 같은 다른 기법과 결합하려는 경우



ICP-OES의 장점

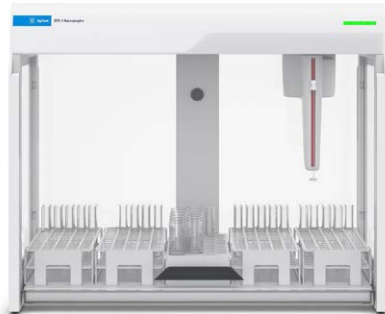
ICP-OES는 다음 상황에 이상적입니다.

- 항상 높은 ppb 수준 이상에서 모든 분석물질을 측정하는 경우
- 시료 수가 크게 증가할 수 있는 경우(하루 1200개 이상의 시료). 이 경우, 시료 내 최대 74개 원소의 농도를 측정하는 데 1분 미만의 ICP-OES 속도가 필요합니다
- 매우 높은 백분율 수준의 총 용존 고형물(TDS) 또는 부유물을 포함하는 시료를 측정해야 하는 경우. ICP-MS는 이러한 시료를 측정할 수 있지만, ICP-OES에서 일상적으로 실행하는 것이 더욱 간편합니다

필요할 수 있는 기타 부속품

필요할 수 있는 기타 부속품

기기 외에도 생산성이나 감도를 향상시키는 액세서리가 필요할 수 있습니다. 또한 특정 시료 유형 또는 특정 원소를 측정할 경우 도움이 되는 액세서리도 있습니다.



자동 시료 주입기

자동 시료 주입기를 사용하면 무인 분석으로 시료를 측정할 수 있습니다. 자동 시료 주입기의 프로브는 각 튜브로부터 시료를 차례로 끌어당기고 그 사이에 행균니다. 100개 이상의 시료 배치를 보유하고 있거나 분석자가 여러 기기를 관리해야 하는 경우, 자동 시료 주입기가 권장됩니다.



시료 주입 펌프

볼륨 AA용 액세서리인 Agilent 시료 주입 펌프 시스템(SIPS)은 표준물질 전처리, 시료 희석, 변형제, 내부 표준물질과 같은 다른 용액의 첨가를 자동화합니다. 시간이 많이 소요되고 오류가 발생하는 수동 시료 전처리 작업을 줄이고자 한다면 SIPS 액세서리가 이상적입니다.



스위칭 밸브

스위칭 밸브는 ICP-OES 또는 ICP-MS 기기의 생산성을 높이고 가스 소모량을 줄입니다. 밸브는 기기가 이전 시료를 측정하는 동안 다음 시료를 사전에 밸브에 로드하여 작업합니다. 정기적으로 많은 수의 시료를 측정하는 경우, 스위칭 밸브를 사용하는 것을 권장합니다. 밸브는 아르곤 소모량을 줄임으로써 투자한만큼 비용을 절약하도록 해줍니다.



수소화물 생성

수소화물 생성 액세서리는 수은 및 수소화물 형성 원소(Es, Bi, Ge, Pb, Sb, Se, Sn, Te 등)를 ppb 수준에서 측정하기 위해 대부분의 원자 분광 기법과 함께 사용할 수 있습니다. 이 액세서리는 수소화물을 형성하는 데 필요한 화학 반응을 제어합니다.

Agilent ICP-OES 및 MP-AES 기기는 하드웨어 변경 없이 멀티모드 시료 주입 시스템(MSIS)을 사용하여 기화 모드와 표준 nebulizer 모드 사이를 빠르게 전환할 수 있습니다.



온도 조절 스프레이 챔버

점성이 높은 오일 시료 또는 휘발성 유기 용매가 포함된 시료를 측정할 경우, Agilent IsoMist와 같은 온도 조절 스프레이 챔버를 사용하는 것을 권장합니다. 모든 ICP-MS 및 ICP-QQQ 기기에서 온도 조절 스프레이 챔버는 기본입니다.



초음파 nebulizer

초음파 nebulizer([CETAC Technologies](#)에 나타난 것과 같이)는 ICP-OES 기기와 함께 사용하여 환경 응용 분야의 감도 및 측정 안정성을 향상시킵니다.

애질런트 원자 분광기

통찰력의 가치

애질런트는 기기, 소모품, 표준물질, 서비스, 소프트웨어와 그 이상의 혁신적인 원자 분광기 포트폴리오를 구축하여 실험실에 확신을 주고, 필요할 때 필요한 해답을 얻을 수 있다는 확신을 갖게 했습니다. 애질런트의 기기 범위에는 다음 기기들이 포함됩니다.



[불꽃 및 흑연로 AA](#)



[MP-AES](#)



[ICP-OES](#)



[ICP-MS](#)



[ICP-QQQ](#)

추가 정보:

www.agilent.com/chem/atomic

온라인 구매:

www.agilent.com/chem/store

Agilent Community에서 기술적 질문에 대한
해답을 얻고 리소스에 액세스하세요.

community.agilent.com

미국 및 캐나다

1-800-227-9770

agilent_inquiries@agilent.com

유럽

info_agilent@agilent.com

아시아 태평양

inquiry_lsca@agilent.com

DE44444.6577546296

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2021
2021년 10월 18일, 한국에서 발행
5994-4048KO

한국에질런트테크놀로지스㈜
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