

듀얼-셀 시스템을 탑재한 Agilent 9500 ICP-QQQ의 에어 셀 모드

주변 공기를 이용한 간단하고 효과적인 간섭 감소 방법



에어 셀 소개

SQ 및 QQQ ICP-MS 기기에서 간섭 감소 기술은 다양한 시료의 정확한 분석을 보장하는 데 필수적입니다. Agilent 9500 ICP-QQQ를 포함한 Agilent 삼중 사중극자 ICP-MS(ICP-QQQ) 시스템은 두 개의 사중극자(Q1 및 Q2)를 단위 질량 필터로 사용하여 MS/MS 작동을 가능하게 합니다. MS/MS 모드는 충돌/반응 셀(CRC)에서 충돌 가스와 반응 셀 가스를 제어하여 사용할 수 있도록 합니다. 반응 가스 모드에서 Q1은 CRC에 들어가 셀 가스와 상호 작용하는 이온을 제어하고, Q2는 어떤 이온이 검출기에 도달하는지를 제어합니다.

9500 ICP-QQQ는 고급 헬륨 모드(AHM)와 에어 셀 모드 모두에서 작동할 수 있는 독특한 듀얼-셀 시스템(DCS)을 특징으로 합니다. AHM은 9500 ICP-QQQ를 위해 개발된 혁신적인 충돌 셀 모드이며, 에어 셀 모드는 다른 반응 셀 가스 없이 간섭을 최소화합니다. 실험실의 주변 공기를 사용하는 에어 셀 모드는 외부 가스 공급이 필요 없으므로 작동이 간편하면서도 간섭 감소의 안정성이나 효율성을 저해하지 않습니다.

이 기술 자료에서는 에어 셀 모드의 원리를 설명하고 그 효과에 대한 실험적 증거를 제시하여, 9500 ICP-QQQ가 일상적으로 간섭 없는 분석에 얼마나 유연한지 보여줍니다.

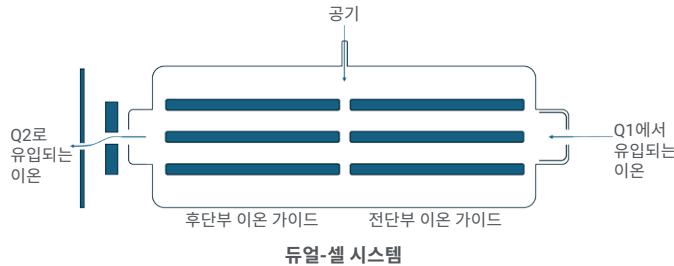


그림 1. 에어 셀 가스를 사용하여 가압되는 애질런트 듀얼-셀 시스템(DCS)의 개략도. DCS의 혁신적인 설계 덕분에 대기 중의 공기를 반응 가스로 사용할 수 있습니다. 공기 중의 주변 산소를 이용하는 반응이므로 산소 실린더가 필요하지 않습니다. 게다가 대기압이 충분히 높아 압축기 없이도 공기를 공급할 수 있습니다.

공기를 이용한 간섭 감소의 새로운 접근법

주변 공기는 주로 질소(N_2 , 약 78%)와 산소(O_2 , 약 21%)로 구성됩니다. DCS를 에어 셀 모드로 작동시키면 공기 중의 O_2 를 사용하여 이온-분자 반응으로 인한 간섭을 줄입니다. N_2 는 O_2 보다 반응성이 낮기 때문에, N_2 는 주로 이온의 열적 이완에 기여합니다.

DCS에는 에어 셀 가스 필터가 장착되어 있어 셀로 들어가기 전에 공기에서 수분 및 탄화수소와 같은 반응성 오염물질을 효율적으로 제거합니다. 이러한 화학종을 제거하면 DCS에서 통제되지 않은 반응이 발생하는 것을 방지하여 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있습니다. 필터 앞에 자동 제어 밸브가 설치되어 주변 공기기에 대한 노출을 최소화하고 필터의 수명을 연장합니다.

간섭 감소 기술 비교 및 에어 셀 모드의 장점

ICP-MS 및 ICP-QQQ에서 간섭을 줄이는 주요 방법에는 반응 셀 모드와 충돌 셀 모드 두 가지가 있습니다. 반응 셀 모드는 이온-분자 반응을 통해 간섭을 제거합니다. 하지만 반응 셀 방법의 효과는 이온과 셀 내 가스의 특정 조합에 따라 달라지므로 모든 원소에 보편적으로 적용할 수는 없습니다.

반면, 충돌 셀 모드는 헬륨(He)과 같은 비활성 가스를 사용하여 운동 에너지 판별(KED)을 통해 분석 대상 이온과 간섭 물질 간의 충돌 단면적 차이를 이용하여 간섭을 줄입니다. 이 기술은 산화물 이온(MO^+) 및 아르곤계 이온(ArM^+)과 같은 많은 다원자 이온 간섭에 일반적으로 사용되므로 광범위한 원소 측정에 효과적입니다. 그러나 충돌 셀 모드는 2가 전하 이온 간섭(M^{++})을 억제하는 데 효과가 떨어지며, 때로는 KED가 간섭을 오히려 증폭시킬 수도 있습니다.

9500 ICP-QQQ의 에어 셀 모드는 O_2 와의 이온-분자 반응을 통해 2가 전하 이온 간섭을 줄임으로써 AHM을 보완합니다. 또한, 까다로운 다원자 이온 간섭을 제거하는 데에도 사용할 수 있습니다.

9500 ICP-QQQ는 Agilent OpenLab ICP-MS 소프트웨어 내에서 AHM과 에어 셀 모드를 결합한 표준 멀티툰 분석법을 제공합니다. 멀티툰 분석법은 토양, 해수, 식품을 포함한 다양한 시료 매트릭스에서 다원자 이온 및 2가 전하 이온 간섭을 효율적으로 동시에 감소시킬 수 있도록 합니다.²⁻⁴

최대한의 유연성을 확보하기 위해 DCS에서 공기 대신 고순도 산소(O_2) 또는 아산화질소(N_2O)를 외부에서 공급받아 사용할 수도 있습니다. 대상 원소에 따라 이러한 가스는 더 높은 감도를 제공하거나 더 낮은 백그라운드 등가 농도(BEC)를 제공할 수 있습니다. 반응 셀 가스에 대한 자세한 내용은 애질런트의 다른 기술 자료를 참조하십시오.⁵

에어 셀 모드를 사용한 간섭 감소 예

비소 및 셀레늄 분석에서 희토류 이온(REE^{2+}) 및 다원자 이온 간섭 억제

에어 셀 모드에서 간섭을 줄이는 한 가지 예는 비소(As)와 셀레늄(Se)에 존재하는 이중 전하 희토류 원소(REE) 이온으로 인한 간섭을 억제하는 것입니다. ^{150}Nd 와 ^{150}Sm 의 2가 전하 이온은 ^{75}As 에 간섭을 일으키고, ^{156}Gd 와 ^{156}Dy 는 ^{78}Se 에 간섭을 일으킵니다. REE는 식품과 토양 시료에서 흔히 발견됩니다.

AHM 및 에어 셀 모드가 As 및 Se에 대한 다원자 이온 간섭(예: $ArCl^+$ 및 $CaCl^+$)과 2가 전하 이온 간섭(REE^{2+})을 줄이는 데 효과적인지 테스트하기 위해 세 가지 시료를 분석했습니다. 시료에는 1% HNO_3 , 2% HCl + 100ppm Ca, 그리고 10ppb REE 용액이 포함되었습니다.

그림 2에서 볼 수 있듯이, AHM은 As와 Se에 대한 다원자 이온 간섭을 줄이는 데 매우 효과적이었지만, 2가 전하 이온에 대해서는 효과가 없었습니다. 반면, 에어 셀 모드는 As와 Se를 반응 생성물 이온(AsO^+ 및 SeO^+)으로 변환하여 REE^{2+} 및 다원자 이온 간섭으로부터 분리함으로써 두 가지 유형의 간섭을 모두 줄였습니다.

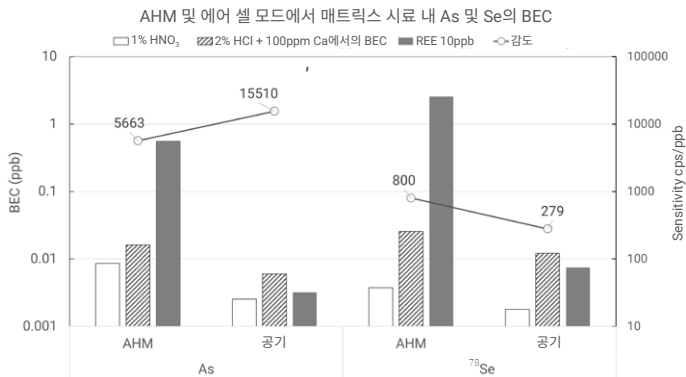


그림 2. 1% HNO₃, 2% HCl + 100ppm Ca, 그리고 10ppb REE 용액에서 Agilent 9500 ICP-QQQ를 AHM 및 에어 셀 모드에서 사용하여 측정된 As(왼쪽)와 Se(오른쪽)의 BEC 및 감도.

게르마늄과 가돌리늄에 대한 REE²⁺ 및 REE 산화물 이온 간섭 억제

또 다른 까다로운 분석 작업은 La, Pr, Nd, Sm과 같은 경희토류 원소를 포함하는 시료에서 게르마늄(Ge)과 가돌리늄(Gd)을 분석하는 것입니다. Ge는 이중 전하 REE 이온(Nd²⁺, Sm²⁺)의 영향을 받는 반면, Gd는 REE 산화물 이온(LaO⁺, PrO⁺)과 중첩됩니다.

그림 3에서 볼 수 있듯이, AHM은 ⁷²Ge 및 ⁷³Ge(높은 BEC)에서 M⁺⁺ 간섭을 줄일 수 없습니다. 하지만, 에어 셀 모드는 각각의 GeO⁺ 생성 이온을 낮은 농도에서도 검출할 수 있게 해줍니다. Mass-shift 분석법은 AHM에 비해 간섭을 현저히 줄여줍니다. ¹⁵⁵Gd 및 ¹⁵⁷Gd의 경우, AHM은 LaO⁺ 및 PrO⁺의 간섭을 효과적으로 줄여 가스 미사용 모드에 비해 BEC를 낮춥니다. 하지만 에어 셀 모드는 두 Gd 동위원소를 GdO⁺로 검출함으로써 BEC를 더욱 향상시킵니다. 이러한 결과는 경우에 따라 에어 셀 모드가 다원자 이온 간섭을 줄이는 데 AHM보다 더 효과적일 수 있음을 보여줍니다.

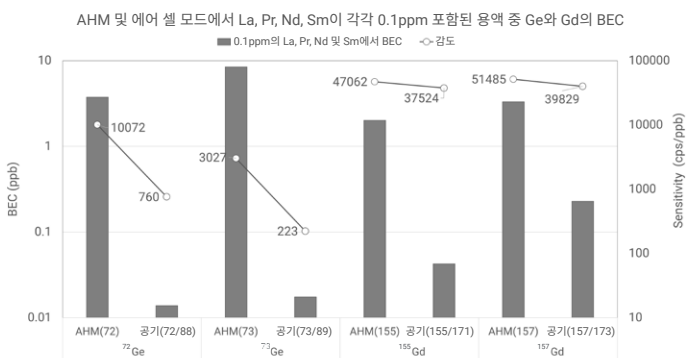


그림 3. Agilent 9500 ICP-QQQ를 사용하여 AHM 및 에어 셀 모드에서 경희토류 용액 내 Ge 및 Gd의 BEC를 측정했습니다. AHM과 Air 뒤의 괄호 안 숫자는 Q1과 Q2의 질량수를 나타냅니다. 예를 들어 AHM(72)은 단일 쿼드 스캔 모드를 나타내고 Air(72/88)은 MS/MS mass-shift 모드를 나타냅니다.

에어 셀 모드에서 황, 인, 실리콘의 고감도 분석

황(S), 인(P), 규소(Si)는 O₂⁺, NO⁺ 및 N₂⁺와 같은 이온의 심한 간섭 때문에 ICP-MS로 분석하기 어려운 원소입니다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 AHM은 이러한 간섭을 줄여주며, 에어 셀 모드는 더욱 낮은 BEC 및 검출 한계(DL)와 더 높은 감도로 분석할 수 있게 해줍니다.

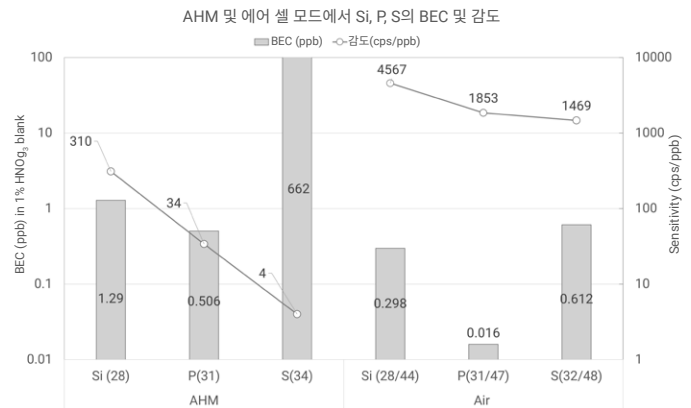


그림 4. Agilent 9500 ICP-QQQ를 사용하여 AHM 모드(왼쪽)와 에어 셀 모드(오른쪽)에서 1% HNO₃ 용액 내 Si, P, S의 BEC를 측정했습니다. 괄호 안의 숫자는 Q1과 Q2의 질량수를 나타냅니다.

탄탈륨 함유 시료에서 금의 정량 분석

에어 셀 모드를 사용하여 분석된 대부분의 원소는 MS/MS mass-shift 분석법을 통해 반응 생성 이온(MO⁺)으로 검출되지만, 일부 경우에는 on-mass 분석이 효과적입니다. 그림 5는 탄탈륨(Ta)이 0.5ppm 함유된 시료에서 금(Au)을 분석한 예를 보여줍니다. 산화 이온인 TaO⁺는 Au⁺ 검출을 방해합니다. AHM은 이러한 간섭을 어느 정도 줄일 수 있지만, on-mass 분석을 사용하는 에어 셀 모드가 더 효과적입니다. As⁺ 또는 Ge⁺와 달리 Au⁺는 O₂와의 반응성이 낮아 mass-shift가 효과적이지 않습니다. 하지만 간섭 이온인 TaO⁺는 공기와 효율적으로 반응하여 TaOO⁺를 형성하므로 Au는 원래 질량(m/z = 197)에서 간섭 없이 분석될 수 있습니다.

결론: 간단하고 강력한 간섭 감소

Agilent 9500 ICP-QQQ 시스템의 듀얼-셀 시스템(DCS)을 에어 셀 모드로 사용하면 실험실 공기만을 반응 가스로 사용하여 간섭을 줄이는 효과적이고 편리한 솔루션이 제공됩니다. 이 예시들은 에어 셀 모드가 고급 헬륨 모드(AHM)보다 다양한 스펙트럼 간섭을 더욱 효과적으로 처리할 수 있다는 사실을 잘 보여줍니다.

표준 멀티툰 분석법 내에서 AHM과 에어 셀 모드를 결합함으로써 9500 ICP-QQQ는 까다로운 매트릭스 내 광범위한 원소에 대해 간단하고 신뢰할 수 있으며 간섭 없는 분석을 수행할 수 있습니다. 멀티툰 사전 설정 분석법은 외부 반응 셀 가스가 필요 없기 때문에 9500은 간소화된 워크플로를 제공하며 기존의 SQ ICP-MS 시스템을 완벽하게 고성능으로 대체할 수 있습니다.

참고 자료

1. 듀얼-셀 시스템(DCS) 및 고급 헬륨 모드(AHM), 애질런트 발행물, [5994-8985KO](#)
2. Kubota, T., Fast and Reliable Analysis of Soil and Sediments using ICP-MS with an Innovative Cell, 애질런트 발행물, [5994-9128EN](#)
3. Zou, A.; Yamanaka, M.; Sugiyama, N. Direct Analysis of Seawater using ICP-QQQ and Integrated Advanced Valve System, 애질런트 발행물, [5994-8988EN](#)
4. Santhosh, S. 개별 샘플링 및 자동 희석 기능을 갖춘 ICP-QQQ를 이용한 식품의 자동 분석, 애질런트 발행물, [5994-9095KO](#)
5. Sugiyama, N.; Nakano, K. Reaction data for 70 elements using O₂, NH₃, and H₂ gases with the Agilent 8800 Triple Quadrupole ICP-MS, 애질런트 발행물, [5991-4585EN](#)

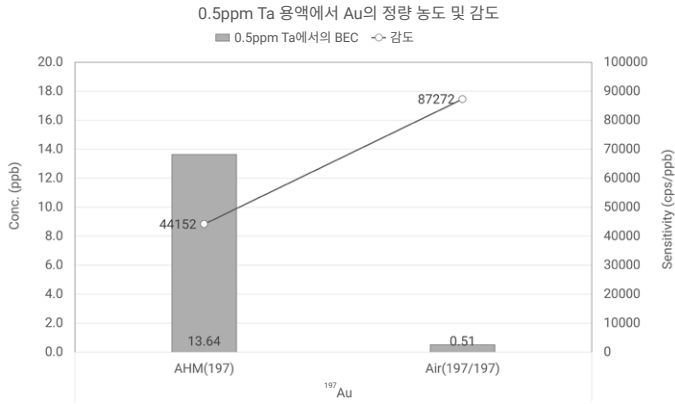


그림 5. Agilent 9500 ICP-QQQ를 사용하여 AHM 모드(왼쪽)와 에어 셀 모드(오른쪽)에서 측정된 0.5ppm Ta 용액 내 Au 농도. 괄호 안의 숫자는 Q1과 Q2의 질량수를 나타냅니다.

카드뮴과 수은에 대한 몰리브덴 및 텅스텐 산화물의 간섭

많은 환경 제품, 식품 및 소비재에는 상당한 농도의 몰리브덴(Mo)과 텅스텐(W)이 함유되어 있습니다. 이러한 원소들은 카드뮴(Cd)과 수은(Hg)에 흔히 간섭되는 산화물 간섭을 일으킬 수 있습니다. 이 두 간섭 물질인 MoO⁺(Cd⁺ 간섭)와 WO⁺(Hg⁺ 간섭)는 모두 공기와 반응하여 MoOO⁺와 WOO⁺를 형성하는 반면, Cd와 Hg는 쉽게 반응하지 않습니다. 따라서 9500 ICP-QQQ를 에어 셀 모드에서 사용하면 다른 물질의 간섭을 최소화하면서 Cd와 Hg를 모두 정량화할 수 있습니다.

www.agilent.com/chem/9500icpqqq

DE-012983

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2026
2026년 6월 1일, 한국에서 발행
5994-8987KO

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