

# 수소 셀 가스를 이용한 비소 및 셀레늄의 REE<sup>2+</sup> 중첩 문제 해결

Agilent SQ ICP-MS를 사용한 REE 매트릭스 내 As 및 Se의 정확한 분석

## 서론

ICP-MS는 환경, 식품 및 생물학에서 지질학, 핵 및 반도체에 이르기까지 다양한 시료 유형에서 극미량 및 고농도의 다원소를 광범위하게 분석하기 위한 기술로 선택되고 있습니다. ICP-MS가 널리 채택되는 이유는 As, Cd, Hg 및 Pb와 같은 중요 원소에 대해 매우 낮은 검출 한계를 제공하기 때문입니다. 이러한 원소는 Fe, Mn, Cu, Zn 및 Se와 같은 기타 필수 및 영양 원소와 함께 일상적인 분석 실험실에서 광범위하게 규제 및 모니터링됩니다. ICP-MS는 헬륨 충돌 셀 모드를 이용해 일반적인 시료 유형에서 낮은 농도 수준으로 이러한 모든 원소를 측정할 수 있어 스펙트럼 중첩으로 인한 큰 오차가 없는 결과를 얻을 수 있습니다(1-3).

최근 몇 년 사이에 규제 기관에서 요구하는 측정 한계가 더욱 낮아지고 일반적인 분석 세트에 더 많은 원소가 추가되면서 분석 요건이 까다로워졌습니다. 모니터링되는 새로운 오염물질 중에는 산업 공정과 제조 제품에 사용하기 위해 점점 더 많이 채굴되는 일련의 '핵심 기술 원소'(TCE)들이 있습니다. 그 중에서 희토류 원소(REE)가 TCE의 중요 축을 이루는데, 산업용 재료, 촉매제, 소비자 전자 제품 및 의약품을 포함한 다양한 제품에 사용됩니다. REE 기반 제품에는 매그넷, 연마재, 터치스크린, 광섬유, 일부 충전 배터리, 배기 가스 촉매제 및 MRI 조영제 등이 있습니다. REE의 추출량과 유통량이 많아짐에 따라 폐기물 흐름, 환경 및 식품에서 그 잔류량을 모니터링해야 할 필요성이 생겨났습니다. SQ ICP-MS는 REE에 대해 ppt 수준의 검출 감도를 제공하므로 이러한 원소를 일반적으로 측정하는 기존 원소 그룹에 추가할 수 있습니다.

그러나 일부 시료에는 다른 분석물질에 간섭을 일으킬 정도로 농도가 높은 REE가 포함되어 있을 수 있습니다. 이러한 간섭 중에서 가장 주목할 것은 2가 전하 REE 이온(REE<sup>2+</sup>)으로 인한 중첩입니다. 2가 전하(M<sup>2+</sup>) 이온은 원자가 ICP 이온 소스에서 일반적으로 하나(M<sup>+</sup>)가 아닌 두 개의 원자를 잃을 때 형성됩니다. 대부분의 원소는 아르곤 플라즈마에서 미미한 양의 M<sup>2+</sup> 이온만 형성하지만, REE를 포함한 일부 원소는 적은 비율의 REE<sup>2+</sup> 이온을 형성합니다. 사중극자는 질량 대 전하비(m/z)에 따라 이온을 분리하기 때문에 2가 전하 이온은 실제 질량의 절반으로 나타나 다른 분석물질과 중첩될 수 있습니다. 예를 들어, <sup>150</sup>Nd<sup>2+</sup> 및 <sup>150</sup>Sm<sup>2+</sup>은 m/z 75에서 단일 전하 비소(As<sup>+</sup>)와 중첩되고 <sup>156</sup>Gd<sup>2+</sup> 및 <sup>156</sup>Dy<sup>2+</sup>는 m/z 78에서 단일 전하 셀레늄(Se<sup>+</sup>)과 중첩됩니다.

ICP-MS에서 일반적인 스펙트럼 간섭을 제어하기 위한 표준적인 접근 방식은 헬륨(He) 셀 가스를 이용한 충돌/반응 셀(CRC) 및 운동 에너지 판별(KED)을 사용하는 것입니다. He KED는 동중원소 이온 간섭을 효과적으로 제어하여 일반적인 시료 유형에서 모든 표적 분석물질을 정확하게 분석할 수 있습니다. 그러나 He 모드만으로는 M<sup>2+</sup> 중첩에 효과적이지 않으므로 분석가들은 Agilent ICP-MS 시스템에서 사용할 수 있는 반질량 보정 기능과 같이 REE<sup>2+</sup> 중첩을 해결하기 위한 대체 접근 방식을 개발했습니다(4). 대부분의 시료 유형에서 He 모드와 반질량 보정은 동중원소 이온 및 REE<sup>2+</sup> 간섭을 충분히 줄여 극미량 As 및 Se를 요구되는 농도에서 정확하게 분석할 수 있게 해줍니다. 그러나 일부 시료 유형에서, 예를 들어 산업 공정으로 인해 REE 농도가 증가하는 경우에는 As 및 Se의 REE<sup>2+</sup> 중첩을 해결하기 위해 다른 접근 방식이 필요합니다. 이러한 경우에는 H<sub>2</sub> 셀 가스가 REE<sup>2+</sup> 기여를 보다 효과적으로 감소시켜 보다 낮은 농도의 As 및 Se를 정확하게 검출할 수 있게 해줍니다.

이 기술 개요에서는 ppm 수준의 REE 매트릭스에서 낮은 농도의 As 및 Se를 정확하게 측정하기 위해 H<sub>2</sub> 셀 가스 및 REE<sup>2+</sup> 보정과 함께 Agilent 7900 ICP-MS를 사용하는 분석법에 대해 설명합니다.

## As 및 Se의 스펙트럼 간섭 해결

사용 가능한 기기 유형에 따라 ICP-MS 분석에서 As 및 Se에 영향을 줄 수 있는 스펙트럼 간섭을 해결하기 위해 여러 가지 접근 방식을 적용할 수 있습니다. 가장 적합한 접근 방식은 측정하는 As 및 Se의 농도 수준과 스펙트럼 중첩의 가능성 있는 근원, 즉 시료 매트릭스의 조성에 따라 달라집니다.

### 1. He KED 모드

SQ ICP-MS로 As(m/z 75)를 분석할 때는 일반적인 매트릭스 원소로부터 형성되는 동중원소 이온 중첩이 영향을 미칠 수 있습니다. 일반적인 간섭에는 ArCl, CaCl, 그리고 이보다는 영향이 적은 ArSH 및 Cl<sub>2</sub>H가 포함됩니다. 셀레늄은 일반적으로 질량 78에서 두 번째로 풍부한 동위원소로 측정되며, 여기서 주된 스펙트럼 중첩은 Ar<sub>2</sub>로부터 발생합니다. Agilent ICP-MS 시스템의 표준 작동 모드는 Agilent ShieldTorch 시스템을 사용하여 이온 에너지를 적절하게 제어하면서 최적화된 ORS<sup>4</sup> 셀을 사용하는 He KED 모드입니다. 이 구성에서 He 모드는 모든 전형적인 동중원소 중첩을 효과적으로 분리하여 대부분의 시료 유형에서 극미량 As 및 Se에 대해 신뢰할 수 있는 결과를 제공합니다. 그러나 He KED 모드만으로는 REE<sup>2+</sup> 중첩 문제를 성공적으로 해결하지 못합니다.

### 2. REE<sup>2+</sup> 보정을 이용한 He KED 모드

비교적 드물지만 토양 및 식물 재료와 같은 시료 유형의 As 및 Se에서 상당한 2가 전하 이온 중첩을 일으키기에 충분히 높은 수준의 REE가 포함될 수 있습니다. REE는 2차 이온화 전위가 낮아 플라즈마에서 상대적으로 높은 수준(최대 수 %)의 2가 전하 이온을 형성합니다. 이러한 M<sup>2+</sup> 이온은 사중극자 질량 필터를 사용하여 측정했을 때 실제 질량의 절반에서 나타나므로 As 및 Se 이온의 단일 전하와 중첩될 수 있습니다. 시료의 As 및 Se 농도가 간섭을 일으키는 REE보다 훨씬 낮으면 REE<sup>2+</sup> 이온이 As 및 Se 측정의 정확도에 영향을 미치기에 충분한 신호를 제공할 수 있습니다.

He 모드만으로는 REE<sup>2+</sup> 이온을 분리할 수 없지만 이러한 덜 일반적인 시료 유형의 경우 Agilent SQ ICP-MS 사용자는 REE<sup>2+</sup> 보정 기능이 적용된 자동화된 반질량(좁은 피크) 모드를 사용하여 REE<sup>2+</sup> 기여를 보정할 수 있습니다. 이 모드는 REE 농도가 높은 일반적인 시료에서 정확한 As 및 Se 결과를 제공합니다(4).

### 3. 수소(H<sub>2</sub>) 셀 가스 - 이 개요에서 설명

일부 시료 유형에서 REE의 농도는 간섭을 받는 분석물질의 농도보다 수십 배 더 높습니다. 이 정도 수준에서는 He 모드와 반질량 보정으로 As 및 Se의 REE<sup>2+</sup> 중첩 문제를 해결할 수 없습니다. SQ ICP-MS 사용자는 선택적 셀 가스 H<sub>2</sub>를 사용하여 대체 분석법을 얻을 수 있습니다. H<sub>2</sub> 셀 가스는 He와는 다른 충돌 특성을 제공하여 REE<sup>2+</sup> 중첩을 보다 효과적으로 해결합니다(5).

#### 4. 산소(O<sub>2</sub>) 셀 가스 및 mass shift를 이용한 QQQ ICP-MS (ICP-QQQ)

ICP-QQQ 설비를 갖춘 실험실은 탠덤 질량 분석기(MS/MS)와 함께 다른 반응 가스 분석법을 사용하여 가장 까다로운 응용 분야에서 2가 전하 이온 중첩 문제를 해결하기 위한 고차원적 솔루션을 얻을 수 있습니다. ICP-QQQ를 사용하기에 적합한 분석의 예로, 매트릭스 수준이 매우 높고 분석물질 농도가 매우 낮은 REE 산화물의 극미량 As 및 Se 분석을 들 수 있습니다(6). 최고의 가용 정확성과 확실성이 요구되는 다른 측정으로는 도량형 실험실의 표준 분석법 및 표준 물질 인증이 포함됩니다.

#### He 및 H<sub>2</sub> 셀 가스와 M<sup>2+</sup> 이온의 간섭

최적화된 셀 구성에서 KED를 이용한 He 충돌 모드는 일반적인 동중원소 이온 간섭을 제어하기 위한 일관되고 사용하기 쉬우며 효과적인 솔루션을 제공합니다. KED는 동중원소 이온과 분석물질 이온의 이온 단면이 달라 충돌 속도가 다르다는 작동 원리를 이용합니다. ICP-MS를 통과하는 이온은 모두 거의 동일한 속도를 가지므로(플라즈마의 열 팽창으로 인해) 이온의 운동 에너지(KE)는 질량에 비례합니다(KE = mv<sup>2</sup>). ORS<sup>4</sup> 셀이 He 셀 가스로 가압되면 셀을 통과하는 모든 이온이 He 원자와 여러 번 충돌하고 충돌할 때마다 KE를 잃습니다. 동중원소 이온은 중첩되는 분석물질 이온과 질량이 같으므로 동일한 초기 KE를 가지고 셀 내로 들어갑니다. 그러나 동중원소(분자) 이온은 이온 단면적이 더 크므로 분석물질 이온보다 더 자주 셀 가스 원자와 충돌하여 더 많은 에너지를 잃게 됩니다. 셀 출구에서 양(+)의 KED 바이어스 전압 때문에 KE가 낮은(동중원소) 이온은 사중극자 질량 필터로 들어가지 못하고 KE가 높은(분석물질) 이온만 통과합니다.

헬륨은 반응성이 없는 단원자 기체이며 이온과 He 원자 사이에 충돌이 일어날 가능성은 주로 이온의 이온 반지름(충돌 단면)에 의해 결정됩니다. 그러나 M<sup>2+</sup> 이온은 동중원소 이온이 아니며 실제 질량은 사중극자 질량 스펙트럼에 나타나는 겉보기 질량(m/z)의 두 배입니다. REE<sup>2+</sup> 이온 중첩의 예를 들면, <sup>150</sup>Nd<sup>2+</sup>는 m/z 75에서 나타나며, 이는 단일 전하 <sup>75</sup>As<sup>+</sup>와 동일합니다. 그러나 <sup>150</sup>Nd<sup>2+</sup>의 실제 질량은 <sup>75</sup>As<sup>+</sup>의 두 배이므로 Nd<sup>2+</sup>의 초기 KE가 훨씬 더 높고 As<sup>+</sup>보다 충돌 때마다 손실되는 운동 에너지가 적습니다. 따라서 He 충전 셀을 통과할 때 Nd<sup>2+</sup>의 총 에너지 손실은 As<sup>+</sup>보다 적습니다. 결과적으로, Nd<sup>2+</sup>는 KED를 사용하여 효과적으로 제거할 수 없습니다.

He 충전 셀에서 As<sup>+</sup>, ArCl<sup>+</sup> 및 Nd<sup>2+</sup>에 대한 상대적 에너지 손실을 그림 1a에 나타내었습니다. 이 그림은 Nd<sup>2+</sup>는 수평 점선으로 표시된 KED 바이어스 전압에 의해 걸러질 만큼 충분한 에너지를 잃지 않음을 보여줍니다. 그림 1a에는 ArCl<sup>+</sup> 동중원소 이온에 대한 에너지 손실 플롯도 포함되어 있으며, KED 바이어스 전압 차단이 As와 ArCl을 효과적으로 분별할 수 있음을 확실히 보여줍니다.

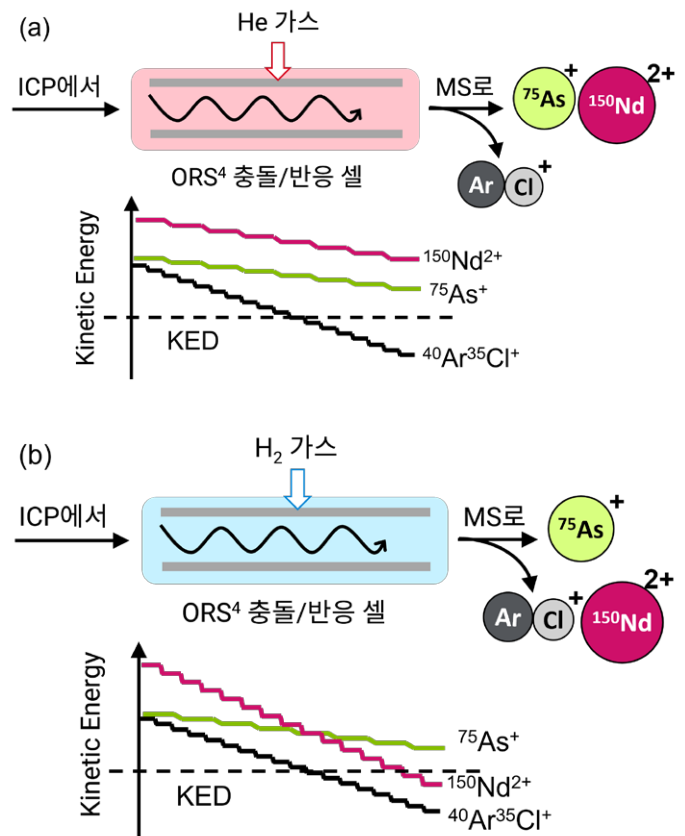


그림 1. (a) He 및 (b) H<sub>2</sub> 셀 가스와 As<sup>+</sup>, ArCl<sup>+</sup> 및 Nd<sup>2+</sup>의 충돌에 따른 에너지 손실.

He와 달리 H<sub>2</sub>는 반응성 분자 기체입니다. 따라서 H<sub>2</sub>와 이온의 충돌 단면적은 이온의 이온 반지름뿐만 아니라 H<sub>2</sub>와의 전기적 상호 작용에 따라 달라집니다. 이온이 H<sub>2</sub> 셀 가스 분자에 접근하면 H<sub>2</sub> 분자에 쌍극자(전하 재분배)가 유도됩니다. 이 쌍극자로 인해 그림 2와 같이 이온과 H<sub>2</sub> 분자 사이에 장거리 인력을 포함한 인력이 형성됩니다. Nd<sup>2+</sup>는 이중 전하를 가지므로 As<sup>+</sup>와 같은 단일 전하를 띤 이온보다 H<sub>2</sub>와 더 강한 쌍극자를 유도합니다. 쌍극자가 강하면 H<sub>2</sub>와 Nd<sup>2+</sup>의 유효 충돌 단면적이 증가하므로 셀을 통과하면서 Nd<sup>2+</sup> 이온의 충돌 가능성이 커져 더 큰 에너지를 손실하게 됩니다. KE 손실이 크면 Nd<sup>2+</sup> 이온과 ArCl<sup>+</sup> 동중원소 이온이 셀 출구에서 KE가 높은 As<sup>+</sup> 이온과 분별될 수 있습니다(그림 1b). Sm<sup>2+</sup>, Gd<sup>2+</sup> 및 Dy<sup>2+</sup>와 같은 기타 REE<sup>2+</sup> 이온도 H<sub>2</sub> 셀 가스로 인해 많은 KE를 손실하므로 As<sup>+</sup> 및 Se<sup>+</sup>에 대한 다중 REE<sup>2+</sup> 간섭은 동일한 H<sub>2</sub> KED 조건을 사용하여 해결할 수 있습니다.

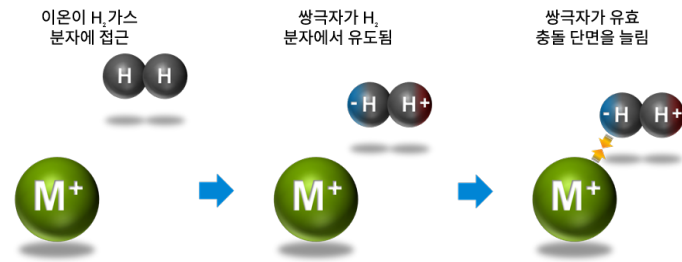


그림 2. H<sub>2</sub> 셀 가스 분자에서 유도된 쌍극자로 인해 유효 충돌 단면적이 증가한 것을 보여주는 그림.

## 실험

### ppm 수준 REE 매트릭스에서 극미량 As 및 Se 검출을 위한 H<sub>2</sub> KED 모드

REE<sup>2+</sup> 간섭을 해결하는 H<sub>2</sub> KED 모드의 효과를 평가하기 위해 7900 ICP-MS를 사용하여 혼합 REE 표준물질(Nd, Sm, Gd 및 Dy 각각 1ppm)에서 As 및 Se를 측정했습니다. 비교를 위해 no gas 모드와 He 모드(반질량 보정 포함)를 사용하여 동일한 측정을 수행했습니다. 세 가지 모드의 작동 조건은 표 1에 나타내었습니다. <sup>75</sup>As 및 <sup>78</sup>Se에 미치는 REE<sup>2+</sup>의 간섭 수준을 H<sub>2</sub> 모드에서 측정하고 no gas 모드와 He KED 모드에서의 수준과 비교했습니다.

표 1. Agilent 7900 ICP-MS 튜닝 조건.

	No Gas	He KED*	H <sub>2</sub> KED*
ICP-MS 구성	x-렌즈, H <sub>2</sub> 셀 가스 라인 옵션		
플라즈마 조건	범용		
셀 가스 유속(mL/분)	0	4.3	3
Octopole Bias(V)	-8	-18	-6
Quadrupole Bias(V)	-3	-13	-1
KED(V)	5	5	5

\* 반질량 보정이 적용되었습니다.

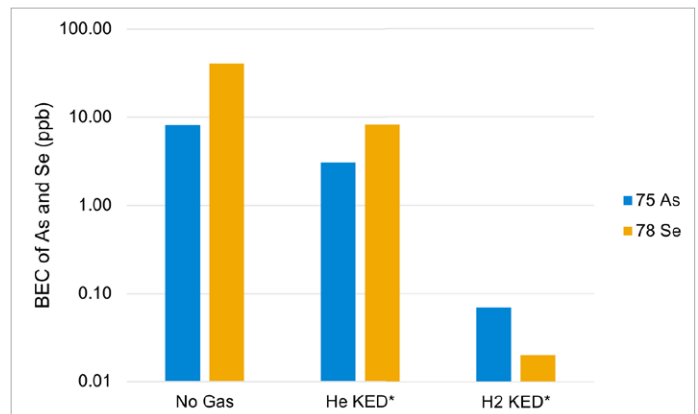
## 결과 및 토의

### 백그라운드 등가 농도(BEC)

앞선 연구에 따라, He 모드와 반질량 보정을 적용했을 때 ppb 수준의 REE 존재 내에서 As 및 Se를 정확하게 측정할 수 있을 정도로 REE<sup>2+</sup> 기여가 충분히 감소되는 것으로 나타났습니다(4). 그러나 그림 3은 반질량 보정을 적용한 He 모드로 ppm 수준의 REE 매트릭스로부터 2가 전하 이온의 기여를 완전히 제거할 수 없음을 보여줍니다. 그림 3은 또한 ppm 수준의 REE 매트릭스에서 백그라운드 등가 농도(BEC)가 He KED일 때보다 새로운 최적화된 H<sub>2</sub> KED 모드일 때 훨씬 낮다는 것을 보여줍니다. 앞서 설명한 바와 같이, 이온 분자와 H<sub>2</sub> 셀 가스가 상호 작용하는 메커니즘으로 인해 REE<sup>2+</sup> 이온의 KE가 우선적으로 손실되어 KED에 의한 효과적인 제거가 가능해집니다.

<sup>78</sup>Se에 대한 BEC는 H<sub>2</sub> KED 모드에서 훨씬 더 크게 감소합니다.

<sup>78</sup>Se, <sup>38</sup>Ar<sup>40</sup>Ar<sup>+</sup>에 대한 주요 간섭이 양성자 이동에 의해 H<sub>2</sub> 셀 가스와 반응하여 <sup>78</sup>Se 질량이 본질적으로 간섭으로부터 벗어납니다. 이 효율적인 반응 과정을 통해 H<sub>2</sub> 모드는 He 모드에서 달성할 수 있는 것보다 수백 배 낮은 Se BEC를 실현할 수 있습니다.



\* 반질량 보정이 적용되었습니다.

그림 3. 1ppm의 Nd, Sm, Gd 및 Dy 존재 내의 As 및 Se의 백그라운드 등가 농도(BEC). 수직 축은 로그 스케일입니다.

## 스파이크 회수율

1ppm의 REE 혼합물에서 1ppb As 및 Se 스파이크 회수율을 관찰하였습니다. 반질량 보정과 함께 H<sub>2</sub> KED를 사용하여 얻은 표 2의 스파이크 회수율 결과는 1ppm REE 매트릭스에서 1ppb As 및 Se의 100 ± 2% 회수율을 나타냅니다. 표 2는 또한 표 1에 나타난 조건을 사용하여 KED로 최적화된 H<sub>2</sub> 셀 가스 모드를 사용했을 때 최적화된 He 셀 가스 모드에서 얻은 것보다 약 수백 배 낮은 As 및 Se BEC가 얻어진다는 사실을 보여줍니다.

H<sub>2</sub> 모드에서 성능이 향상된 것은 부분적으로 더 적은 음극의 Octopole 및 사중극자 바이어스 전압을 사용했기 때문입니다. 음극 바이어스 전압이 적으면 이온이 셀을 통과할 때 속도가 느려집니다. 느리게 움직이는 이온은 더 많은 H<sub>2</sub> 셀 가스 분자와 상호 작용하여 충돌 횟수를 증가시키므로 M<sup>2+</sup> 및 M<sup>+</sup> 이온이 보다 잘 분별됩니다. 반질량 보정을 적용한 H<sub>2</sub> KED 모드에서 REE<sup>2+</sup> 이온 중첩이 매우 효과적으로 줄어들어 1ppm REE 매트릭스에서 As BEC가 0.07ppb로 감소했습니다. Se의 경우, Ar 이합체 중첩을 제거하기 위한 H<sub>2</sub> 반응과 REE<sup>2+</sup> 중첩을 해결하기 위한 반질량 보정 H<sub>2</sub> KED가 결합되면서 BEC가 0.02ppb로 감소되었습니다.

As 및 Se에 대한 낮은 BEC와 탁월한 회수율은 H<sub>2</sub> 셀 가스가 포함된 7900 ICP-MS를 사용하여 REE<sup>2+</sup> 간섭을 제어하는 새로운 분석법이 효과적임이 입증되었습니다.

표 2. No gas, 최적화된 He 및 최적화된 H<sub>2</sub> 충돌 모드를 비교하는 REE 스파이크 테스트.

시료	No Gas		He KED*		H <sub>2</sub> KED*	
	As(ppb)	Se(ppb)	As(ppb)	Se(ppb)	As(ppb)	Se(ppb)
0ppb As 및 Se + 1000ppb REE	8.08	40.3	3.05	8.22	0.07	0.02
1ppb As 및 Se	1.11	<DL <sup>†</sup>	1.09	1.03	1.02	0.99
1ppb As 및 Se + 1000ppb REE	9.38	43.1	4.05	10.4	1.02	0.98

<sup>†</sup> No gas 모드에서 Se 백그라운드와 DL은 Ar 이합체 간섭으로 인해 높습니다.

\* 반질량 보정이 적용되었습니다.

## 결론

He 셀 가스 및 KED를 사용하는 SQ ICP-MS 기기는 대부분의 일반적인 ICP-MS 응용 분석에 효과적입니다. 그러나 시료 매트릭스 원소와 분석물질의 특정한 조합에서는 He KED 분석법으로 해결하기가 쉽지 않은 스펙트럼 중첩이 발생할 수 있습니다. Agilent 8900 ICP-QQQ 같은 QQQ ICP-MS 기기가 솔루션이 될 수 있지만 모든 실험실에서 이러한 기기를 갖추고 있는 것은 아닙니다. 따라서 까다롭고 특수한 응용 분석에 향상된 성능을 제공하는 SQ ICP-MS 분석법이 요구됩니다.

본 연구에서는 상당한 수준의 REE, Nd, Sm, Gd 및 Dy를 포함하는 시료에서 As 및 Se를 분석하기 위한 대체 분석법을 조사했습니다. 이러한 매트릭스 원소는 As 및 Se에 2가 전하 이온 간섭을 일으킬 수 있습니다. 일반적인 농도의 REE(최대 수 ppb)를 포함하는 시료에서 As 및 Se를 정확하게 분석하는 데는 표준 He 모드 및 반질량 보정을 이용할 수 있습니다. 그러나 KED와 반질량 보정을 적용한 H<sub>2</sub> 셀 가스 모드를 이용하면 REE<sup>2+</sup> 간섭을 훨씬 효과적으로 제거하여 최대 ppm 수준의 REE 농도에서 As 및 Se를 측정할 수 있습니다.

결과 데이터로부터, Agilent 7900 ICP-MS가 뛰어난 성능과 유연성을 제공하여 까다롭고 특수한 응용 분석을 해결할 수 있음이 입증되었습니다. KED와 반질량 보정을 적용한 H<sub>2</sub> 가스 모드를 이용하여 1ppm REE 혼합물에서 2가 전하 이온 간섭 문제를 성공적으로 해결했습니다. H<sub>2</sub> KED 분석법으로 0.1ppb 미만의 BEC를 달성하고 REE 매트릭스에서 As 및 Se에 대해 수 ppb 수준의 정확한 분석을 실현했습니다. 이 분석법은 또한 Ca에 대한 Sr<sup>2+</sup> 간섭과 Zn에 대한 Ba<sup>2+</sup> 중첩을 해결하는 데에도 사용할 수 있습니다.

## 추가 정보

이 연구에서 사용된 2가 전하 이온 보정 접근법에는 다음이 필요합니다.

- Agilent 7850 ICP-MS 또는 Agilent 7900 ICP-MS (H<sub>2</sub> 셀 가스 라인 포함(옵션))
- 7850 또는 7900용 Agilent ICP-MS MassHunter, 버전 5.1 이상

## 참고 문헌

1. Jenny Nelson, Elaine Hasty, Leanne Anderson, Macy Harris, 미국 FDA EAM 4.7 ICP-MS 분석법에 따른 식품 내 주요 원소 검출, [5994-2839KO](#)
2. Tetsuo Kubota, ICP-MS 및 개별 샘플링을 사용한 토양의 일상적 분석, [5994-2933KO](#)
3. E. McCurdy and G. Woods, *J. Anal. At. Spectrom.*, **2004**, 19, 607-615, <https://doi.org/10.1039/B312250F>
4. Tetsuo Kubota, Agilent ICP-MS MassHunter를 사용한 2가 전하 이온 간섭의 보정 단순화, 빠르고 자동화된 M<sup>2+</sup> 보정 루틴으로 Zn, As 및 Se에 대한 데이터 정확도 개선, 애질런트 발행, [5994-1435KO](#)
5. Naoki Sugiyama, Attenuation of doubly charged ion interferences on arsenic and selenium by ICP-MS under low kinetic energy collision cell conditions with hydrogen cell gas, *J. Anal. At. Spectrom.*, **2021**, 36, 294–302, <https://doi.org/10.1039/D0JA00301H>
6. Naoki Sugiyama, Solving Doubly Charged Ion Interferences using an Agilent 8900 ICP-QQQ, Agilent publication, [5994-1155EN](#)

[www.agilent.com/chem](http://www.agilent.com/chem)

DE44434.1547453704

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2021  
2021년 10월 6일, 한국에서 인쇄  
5994-4071KO

한국애질런트테크놀로지스(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](mailto:korea-inquiry_lsca@agilent.com)