

## 견고한 세라믹 외부 튜브 세트

Agilent 5000 시리즈 ICP-OES 토치용



### 가동 중단 최소화 및 교체 주기 단축

애질런트는 5000 시리즈 ICP-OES용 반분리형 및 완전 분리형 토치 모두에 사용 가능한 세라믹 외부 튜브 세트를 출시했습니다. 이 제품은 총 용존 고형물(TDS) 또는 염분 함량이 높은 시료, 특히 알칼리 금속이 많은 리튬 이온 배터리 시료나 석영 외부 튜브를 부식시키고 열화시키는 화학적으로 공격적인 시료를 분석할 때 발생하는 문제를 해결하도록 개발되었습니다.

기존의 석영 외부 튜브 세트를 직접 대체하도록 설계된 이 세라믹 외부 튜브 세트는 내구성과 수명이 크게 향상되어 실험실에서 까다로운 매트릭스를 다룰 때 가동 시간을 극대화하고 유지보수 빈도를 줄이며 운영 비용을 절감할 수 있도록 해줍니다.

## ICP-OES 토치에서 튜브 세트의 역할

ICP-OES 토치는 일반적으로 세 개의 동심 석영관으로 구성됩니다. 중앙에 있는 내경이 작은 튜브가 주입기입니다. 토치의 핵심 구성 요소인 튜브 세트는 외부 튜브와 주입기를 둘러싸는 중간 튜브로 구성됩니다. 플라즈마를 가두고 토치를 냉각하기 위해 중간 튜브와 외부 튜브 사이에 비교적 많은 양의 아르곤 가스가 주입됩니다. 아르곤 가스는 토치 외부 튜브 세트를 둘러싸고 있는 RF 코일에서 생성된 무선 주파수 (RF) 에너지에 의해 이온화되어 안정적인 고온 플라즈마(~10,000°K)를 형성할 수 있습니다. 네블라이저에서 생성된 시료 에어로졸은 스프레이 챔버에서 질량 초과된 후, 원자화 및 여기를 위해 주입기를 통해 플라즈마로 전달되어 광학 방출 측정이 가능해집니다. 주입기와 중간 튜브 사이에 흐르는 적은 양의 아르곤 가스는 플라즈마가 주입기 위쪽에 안정적으로 유지되도록 하여 주입기 끝부분에 플라즈마가 침착되는 것을 줄일 수 있습니다.

## 석영 외부 튜브 세트에서 생기는 주된 문제점

리튬 이온 배터리 소재, 용융물, 고염 매트릭스 및 강산성 분해물과 같이 시료에 총 용존 고형물(TDS)이나 알칼리 토금속 (Li, Na, K, Ca, Cs 등)이 많은 경우, 토치 플라즈마 내부에서 생성된 원소 이온이 석영 외부 튜브 표면으로 확산될 수 있습니다.

석영 튜브 세트는 고순도 이산화규소(SiO<sub>2</sub>)로 만들어진 비정질 유리인 용융 석영(또는 용융실리카)으로 구성됩니다. 고온에서 알칼리 금속 이온에 노출되었을 때 석영은 분자 구조를 재배열하여 Si-O 결합을 끊습니다. 외부 이온이 석영에 침투하고 이 구조를 “풀어” Si-O 결합을 대체하거나

파괴하면서 탈유리화가 발생하며, 결과적으로 불안정한 구조가 만들어집니다. 탈유리화가 진행됨에 따라 석영은 흰색 또는 불투명한 색을 띠게 되며(그림 1), 표면에 미세한 균열이 많이 생겨 광학적 투명도, 기계적 강도 및 수명이 급격히 감소합니다. 이러한 열화는 대부분 되돌릴 수 없습니다. 토치를 세척하면 일시적으로 외관이 개선될 수 있지만, 탈유리화 현상은 계속 발생합니다. 결국, 석영은 금이 가거나 깨지므로 해당 부품을 교체해야 합니다.



그림 1. 5% HNO<sub>3</sub> 용액에 Li, Na, Cs를 1.5% TDS 농도로 첨가하여 24시간 동안 분석한 후 석영 외부 튜브 세트에 발생한 탈유리화.

탈유리화는 석영 외부 튜브 세트의 사용 수명을 크게 제한하는 열화 메커니즘입니다. 이는 가혹한 운영 조건에서 탈유리화, 슬라리제이션 및 열로 인한 균열에 저항하는 대체 재료를 개발하게 만드는 핵심 동인입니다.

## 애질런트 세라믹 외부 튜브 세트 솔루션

애질런트 세라믹 외부 튜브 세트는 표준 석영 외부 튜브의 탈유리화와 열화를 가속화하는 가혹한 환경을 견딜 수 있도록 설계되었습니다. 견고한 세라믹 외부 튜브는 질화규소(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)로 제작되어 알칼리 이온이 내부의 벌크 재료로 침투하는 것을 방지합니다. 이 제품은 Dual View(DV) 및 Radial View(RV) 구성으로 제공되며, Agilent 5000 시리즈 ICP-OES용 Easy-fit 반분리형 및 완전 분리형 토치와 함께 사용하기에 적합합니다.

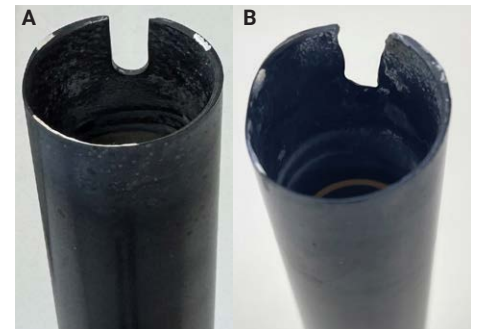


그림 2. 900시간 이상(A) 및 1,792시간(B) 동안 5% HNO<sub>3</sub> 용액에 Li, Na, Cs를 1.5% TDS 농도로 첨가한 용액을 분석한 후의 세라믹 외부 튜브 모습.

석영과 달리 질화규소의 물질적 특성은 알칼리 금속 분석으로 인한 탈유리화에 대해 우수한 저항성을 제공하는데, 이는 자유 금속 이온이 Si-N 결합을 불안정화시킬 수 없기 때문입니다(그림 2). 질화규소는 고온 플라즈마 사이클링에 노출될 때 열 충격에 대한 내성도 더 뛰어납니다. 또한 석영 구성 요소를 부식시키고 손상시킬 수 있는 불산(HF)을 함유한 시료 분석에도 질화규소가 권장됩니다. HF를 함유한 시료를 분석할 때는 석영이 적합하지 않으므로 비활성 알루미늄 주입기를 사용해야 합니다.

일반적으로, 리튬 이온 배터리 시료나 고 TDS 응용 분야에서 세라믹 외부 튜브 세트는 석영 외부 튜브 세트에 비해 수명이 10배 이상 길습니다.

## 세라믹 외부 튜브 세트 사용으로 이점을 얻을 수 있는 응용 분야

세라믹(질화규소) 외부 튜브 세트의 주요 장점은 제품 수명이 길어져 유지보수로 인한 계획되지 않은 가동 중단이 줄어들고, 마모된 석영 외부 튜브 세트를 지속적으로 폐기하고 교체해야 하는 필요성이 감소한다는 것입니다. 다음은 세라믹 외피 튜브 세트를 통합한 견고한 시료 주입 시스템을 채택함으로써 장기적인 내구성을 향상시키고, 고품질 분석 데이터를 생성하는 안정적인 성능을 보장함으로써 이점을 얻을 수 있는 대표적인 응용 분야입니다.

### 리튬 이온 배터리

리튬 이온 및 기타 배터리 기술의 발전으로 전 세계적인 생산량이 급격히 증가함에 따라 더욱 안전하고 오래 지속되는 배터리 기술 개발을 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며, 애질런트 ICP-OES는 배터리 가치 사슬 전반에 걸쳐 중요한 역할을 수행합니다.



그림 3. 배터리 기술.

원료 검증 및 품질 관리부터 제품 개발 및 안전성 연구에 이르기까지 ICP-OES는 염수, 양극 및 음극(LCO, NMC, NCA, LFP), 전해질(LiPF<sub>6</sub>, LiBF<sub>4</sub> 및 LiTFSI), 분리막, 공정 중간체, 그리고 “블랙 매스” 재활용 스트림을 포함한 주요 재료를 분석하는 데 사용됩니다.

화학적으로 부식성이 강하고 매트릭스 함량이 높은 이러한 시료는 알칼리 토금속(Li, Na, K, Rb, Cs)이 풍부하여 쉽게 이온화되고 석영 토치 부품을 빠르게 탈유리화시킵니다.

배터리 소재의 순도를 높이고 원소 오염을 엄격하게 제어하려는 노력은 부작용과 성능 저하를 방지하는 데 필수적이며, 이를 위해서는 보다 안전하고 오래 지속되는 배터리에 필요한 낮은 검출 한계를 얻기 위해 희석하지 않은 순수한 시료에 대해 ICP 분석을 수행해야 합니다.

### 융합 분해물

융합 분해는 시료를 용융된 흐름(flux)에 용해시켜 기존의 산 분해에 저항성을 보이는 내화성 또는 지질학적 물질(예: 규산염, 산화물, 광물 또는 세라믹)을 분해하는 시료 전처리 기술입니다. 먼저 시료를 흐름(flux)과 함께 고온(일반적으로 900-1,100°C)에서 용융제로 녹여 광물의 결정 구조를 분해합니다. 일반적으로 사용되는 흐름(flux)은 메타붕산리튬(LiBO<sub>2</sub>), 사붕산리튬(Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) 또는 탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)입니다. 이렇게 얻어진 균질한 비드를 분석 전에 산에 용해시킵니다. 전처리에 사용되는 흐름(flux)은 최종 분해액에 추가적인 염분을 유입시켜 용존 고형물 함량을 증가시키고 분석 중 간섭 가능성을 높입니다.

### 고 TDS 시료

해수나 염수, 강산성 분해물(불산 또는 4산 용액(염산(HCl), 질산(HNO<sub>3</sub>), 불산(HF), 과염소산(HClO<sub>4</sub>)의 혼합물) 포함) 등 최대 30%의 TDS를 함유하는 시료, 폐수, 또는 염분/당 함량이 높은 식품/음료

### 환경

환경 시료 분석 시, 알칼리 금속(Na, K, Ca, Rb)과 같이 쉽게 이온화되어 플라즈마 내 이온화 평형을 변화시키는 금속으로 인해 발생하는 이온화 간섭을 억제하기 위해 일반적으로 최대 2%의 세슘(Cs)을 포함하는 이온화 완충액을 표준물질 및 시료와 함께 첨가하는 경우가 많습니다. Cs는 이온화 전위가 매우 낮아 플라즈마에 전자를 풍부하게 공급하여 플라즈마 환경을 안정화하는 데 사용됩니다.

### 유기 용매

휘발성 및 반휘발성 유기 용매를 분석할 때, 기존의 석영 외부 튜브 세트는 높은 플라즈마 온도에서 발생하는 강렬한 심자외선(UV) 복사로 인해 솔라리제이션을 겪을 수 있습니다. 석영 내의 금속과 같은 불순물은 UV 에너지를 흡수하여 국부적인 탈유리화를 유발합니다. 이러한 효과는 석영 표면을 약화시켜 토치가 가열되고 냉각될 때 거미줄 모양의 균열(그림 4)을 발생시킵니다. 이는 가용 수명의 단축을 의미합니다.



그림 4. 석영 베셀에 거미줄처럼 갈라진 자국이 생겼습니다.

애질런트는 유기 용매 분석 시 거미줄 균열을 방지하도록 특별히 고안된 고순도 석영 튜브 세트를 제공하며, 세라믹 외부 튜브 세트는 솔라리제이션에 대한 높은 저항성과 긴 수명을 제공합니다.

## 미량 실리콘 검출

미량의 실리콘(Si)을 측정할 때, 검출 한계는 시료 주입 시스템에서 Si가 용출되는 현상에 의해 제한됩니다. 비활성 시료 주입 시스템을 사용하면 도움이 될 수 있지만, 토치 부품에서 Si가 용출되는 문제가 여전히 발생할 수 있습니다. (질화규소로 만들어진) 세라믹 외부 튜브 세트로 교체하면 토치에서 Si가 용출되는 것을 줄여 검출 한계를 향상시킬 수 있습니다(그림 5).

이러한 차이는 보다 까다로운 시료 매트릭스를 분석할 때 더 커질 수 있습니다.

알루미나 비활성 주입기는 산화알루미늄( $Al_2O_3$ )으로 만들어지며 석영 주입기에 비해 알루미늄(Al)에 더 높은 검출 한계를 제공합니다.

## 애질런트 세라믹 외부 튜브 세트 설계

애질런트 세라믹 외부 튜브 세트는 세라믹(질화규소) 외부 튜브와 석영 중간 튜브로 구성된 분리 가능한 구조로 설계되었습니다(그림 6).

분리 가능한 설계 덕분에 세라믹 외부 튜브는 중간 튜브와 별도로 분리하여 세척할 수 있습니다. 이는 특히 시료에 탄소가 과다하게 함유되어 외부 튜브에 탄소 침전물이 쌓일 수 있는 유기물 매트릭스를 분석할 때 유용합니다. 세라믹 외부 튜브만 분리하여 머플러에 넣고 탄소 찌꺼기를 태워 없앨 수 있습니다.

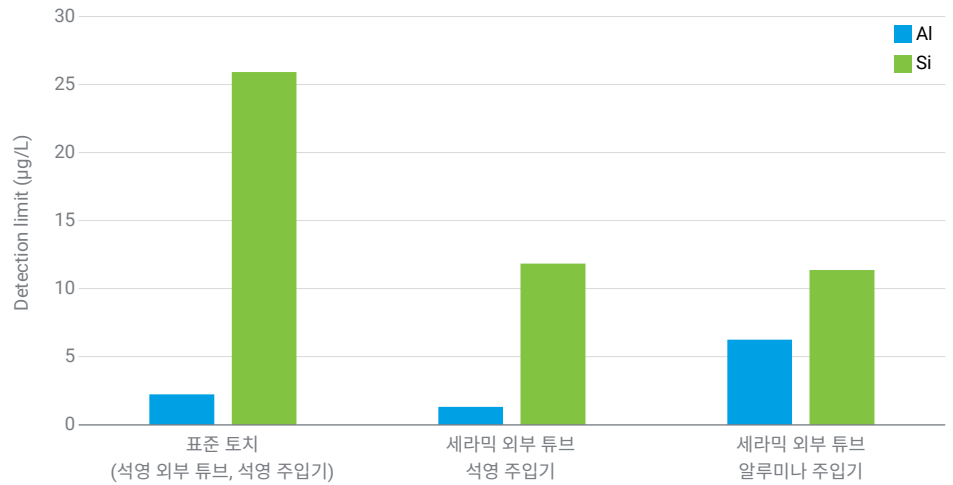


그림 5. 검출 한계 비교: 석영 대 세라믹.



그림 6. 애질런트 튜브 세트를 구성하는 세라믹 외부 튜브(A) 및 석영 내부 튜브(B).

세라믹 튜브 세트는 쉽게 분해하고 재조립할 수 있습니다. QR 코드를 스캔하거나 클릭하여 작업 과정을 설명하는 비디오를 시청하거나 Easy-fit Torch ICP-OES 사용자 가이드(발행물 번호 5994-8863EN)를 참조하세요.

## 토치용 주입기 - 고려할 사항

애질런트는 5000 시리즈 ICP-OES용 완전 분리형 토치에 사용할 수 있는 석영 또는 비활성 알루미나 주입기의 두 가지 옵션을 제공합니다(일체형 및 반분리형 토치도 다양한 주입기와 함께 사용 가능). 주입기는 0.8mm, 1.4mm, 1.8mm 및 2.4mm의 네 가지 내경으로 제공됩니다. 석영 주입기는 가장 경제적이지만, 알루미나 주입기는 대부분의 매트릭스에서 더 긴 수명과 더 간편한 세척을 제공합니다.

산성이 강하거나 매트릭스 함량이 높은 시료에 석영 주입기를 사용할 경우, 주입기 끝부분이 매트릭스에 노출되어 탈유리화될 수 있습니다. 석영이 매끈하지 않으면 고 매트릭스 시료의 염분이 표면에 달라붙게 됩니다. 지속적으로 사용하고 반복적으로 세척할수록 축적되는 양이 점점 늘어나 세척이 필요한 주기가 점차 짧아집니다. 유지보수 빈도가 증가하면 가동 중단도 길어집니다. 최악의 경우 주입기를 교체해야 합니다.

비활성 알루미늄 주입기는 매트릭스 함량이 높은 시료에 사용할 때 탈유리화와 부식에 탁월한 저항성을 제공합니다. 리튬 배터리 재료 또는 HF 분해물을 포함하여 알칼리 금속이 많은 매트릭스를 분석할 때는 비활성 알루미늄 주입기를 사용하는 것이 좋습니다.

**다양한 주입기 제품군에 대해 자세히 알아보세요.**

## 요약

Agilent 5000 시리즈 ICP-OES Easy-fit 토치용 애질런트 세라믹 외부 튜브 세트는 매트릭스 함량이 높고 화학적으로 부식성이 강한 조건에서 작업할 때 기존 석영 외부 튜브 세트의 근본적인 재료적 한계를 해결하도록 개발되었습니다.

석영 외부 튜브 세트는 이러한 고 매트릭스 시료에 노출되었을 때 탈유리화, 솔라리제이션 및 열 유도 균열이 발생하기 쉬워 기계적 강도 손실과 조기 파손으로 이어집니다. 그 결과, 토치 수명이 단축되고 유지보수 빈도가 증가하며 계획되지 않은 기기 가동 중단이 발생합니다.

세라믹 외부 튜브 세트는 알칼리 금속 부식 및 열 충격으로 인한 탈유리화와 심자외선으로 인한 솔라리제이션에 대해 탁월한 저항성을 제공합니다. 총 용존 고형물 (TDS) 함량이 높거나, 알칼리 금속이 많은 매트릭스(예: 리튬 이온 배터리 시료), 강산성 분해물 또는 유기 용매를 사용하는 응용 분야에서 세라믹 외부 튜브 세트는 향상된 실리콘 백그라운드와 함께 최대 10배 이상 긴 수명을 제공합니다.

Dual View(DV) 및 Radial View(RV) 구성 모두와 호환되는 세라믹 외부 튜브 세트는 까다로운 ICP-OES 응용 분야에서 가동 시간, 분석 신뢰성 및 총 유지 비용을 향상시키는 견고하고 유지보수가 적은 솔루션을 제공합니다.

완전 분리형 토치에 대한 자세한 내용은 애질런트 홍보 자료 **5994-1572KO**를 참조하세요.

또는 다음 제품 페이지를 방문하세요.

- **5100/5110 및 5800/5900 ICP-OES용 토치**, 또는
- **ICP-OES 토치용 외부 튜브**

최고의 성과를 거두는 데 도움이 되는 팁과 요령, 및 추가적인 조언이 필요하다면 **ICP-OES 리소스 허브**를 방문하세요.

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

DE-013382

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2026  
2026년 3월 19일, 한국에서 인쇄  
5994-8992KO

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