

## ICP-OES를 이용한 리튬이온 배터리 블랙 매스 재활용 소재의 원소 분석

불활성 Agilent V-groove nebulizer를 사용하여 높은  
TDS 시료 분석을 위한 기기 견고성 향상



### 저자

Alejandro Amorin  
Agilent Technologies, Inc.

### 개요

이 연구에서는 애질런트 불활성 V-groove nebulizer를 장착한 Agilent 5900 SVDV ICP-OES가 블랙 매스(BM) 시료의 산 분해물에 대한 다원소 분석의 효과를 입증합니다. 이 새로운 nebulizer를 이용하면 최대 30%의 총 용존 고형물과 최대 350 $\mu$ m 크기의 부유 입자를 포함한 필터링 안 된 시료의 일상적인 분석이 가능합니다. 이 시스템은 16시간 이상 뛰어난 장기 안정성과 뛰어난 스파이크 회수율을 보여주었습니다. 또한, V-groove nebulizer는 3주 이상 막힘 없이 작동하여 높은 정확도와 정밀성을 보장하는 동시에 유지보수 필요성을 줄였습니다. 이 분석법은 BM 생산자에게 필터링 안 된 시료 분해물에서 주요 분석물을 직접 분석할 수 있는 신뢰할 수 있는 솔루션을 제공하여 폐 리튬 이온 배터리에서 귀중한 금속을 효과적으로 회수할 수 있게 해줍니다.

## 소개

전기 자동차, 휴대용 전자기기 및 재생 에너지 분야에서 리튬 이온 배터리 사용이 증가함에 따라 사용된 셀의 재활용이 폐기물을 줄이고 귀중한 재료를 회수하는 데 매우 중요해졌습니다. 블랙 매스(BM)는 폐 배터리 구성품을 분쇄하고 분리한 후 얻은 검은 분말 형태의 금속 농축물입니다. 다양한 정제 공정을 통해 리튬, 니켈, 코발트 및 망간과 같은 고부가가치 원소가 추출됩니다. 이 물질은 새로운 배터리 전구체 물질을 개발하는 데 사용됩니다. 이러한 귀중한 자원을 회수하면 광산이나 염수에서 리튬을 추출할 필요성이 줄어들어 환경에 미치는 영향을 줄이고 종종 발생하는 지역 사회와의 갈등을 해소할 수 있습니다. BM에는 납, 카드뮴과 같은 독성 원소도 포함되어 있으며, 적절히 관리하지 않으면 잠재적으로 환경에 위험을 초래할 수 있으므로 모니터링이 필요합니다.

BM의 가치는 일반적으로 처리 비용, 재활용업체의 수익, BM의 유형, 수율을 고려한 후 최초 배터리 등급 광물의 현물 가격을 기준으로 결정됩니다. 따라서 핵심 배터리 원소를 정확하게 분석하는 것은 BM 배치의 가치를 정의한다는 점에서 중요합니다. 이러한 분석은 일반적으로 BM 시료를 산 분해하여 얻은 분해물에 대해 유도 결합 플라즈마 광방출 분광법(ICP-OES)과 같은 다원소 분석 기술을 사용하여 수행됩니다. 그러나 이러한 복잡한 시료의 일상적인 원소 분석은 까다로울 수 있습니다. 대부분의 시료가 산에 녹지 않는 탄소(흑연)로 구성되어 있으므로, 분해 과정을 거쳐 투명한 용액이 만들어지지 않습니다. 이러한 불용성 부유 입자는 ICP-OES 기기에 시료를 주입할 때 문제를 일으키는데, 시료 주입 시스템(SIS), 특히 nebulizer의 좁은 액체 라인을 막히게 할 수 있습니다. 이 문제를 해결하기 위해 분석 전에 일반적으로 권장되는 두 가지 방법은, 분해물을 필터링하거나 부유 입자가 바이알 바닥에 가라앉을 시간을 두는 것입니다. 두 과정 모두 시간이 많이 걸리고 필터링의 경우 일회용 필터 등 추가 소모품이 필요한데, 이는 오염의 원인이 될 수 있습니다.

배터리 재활용 및 정제 회사의 품질 관리(QC) 실험실에서는 효율성을 높이고 시료 처리량을 개선할 수 있는 방법을 끊임없이 찾고 있습니다. BM 분해물을 분석할 때 SIS가 막혀서 기기 가동이 중단되는 경우가 있을 수 있으며, 계획되지 않은 가동 중단은 실험실의 효율성에 상당한 영향을 미칠 수 있습니다. ICP-OES에 견고한 nebulizer를 사용하는 것은 실험실에서 총 용존 고형물(TDS)이나 부유 입자가 높은 농도로 포함된 시료를 최소한의 막힘으로 더 많이 처리할 수 있는 대체 전략입니다. 이렇게 하면 실험실의 분석 워크플로가 개선되어 기기 가동 중단과 운영 비용이 모두 줄어듭니다.

불활성, 높은 TDS 애질런트 V-groove nebulizer(그림 1)를 사용하면 최대 30%의 용존 고형물과 부유 입자(최대 입자 크기 350 $\mu$ m)가 포함된 까다로운 시료 매트릭스를 ICP-OES로 주입할 수 있습니다. V-groove nebulizer는 가장 까다로운 시료를 분석하는 동안에도 뛰어난 기기 성능, 견고성 및 내구성을 보장하여 장시간 안정적인 작동이 가능합니다.

이 연구에서는 배터리 재활용 업체인 Envirostream Australia에서 입수한 BM 시료를 불활성, 높은 TDS V-groove nebulizer를 장착한 Agilent 5900 SVDV ICP-OES를 사용하여 분석했습니다.

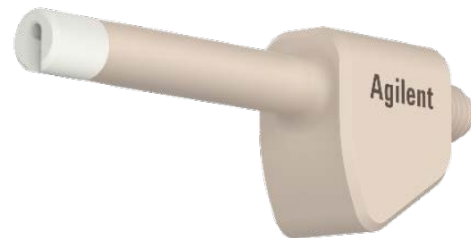


그림 1. 높은 TDS 시료 분석에 최적화된 애질런트 V-groove nebulizer.

## 실험

### 기기

모든 측정에는 대용량 Agilent SPS 4 자동 시료 주입기로 구성된 5900 SVDV ICP-OES를 사용했습니다. SIS는 불활성 V-groove nebulizer, 애질런트 불활성 사이클론 더블 패스 스프레이 챔버, 그리고 2.4mm 내경 불활성 알루미늄 주입기로 구성된 완전 분리형 Agilent Easy-fit 토치로 구성되었습니다. 불활성 SIS 구성이 선택된 이유는 일부 BM 시료가 산 분해 과정에서 불산(HF)을 생성할 수 있기 때문인데, 이 연구에서 분석한 시료에서는 그렇지 않았습니다. 기기 및 분석법 설정이 표 1에 나와 있습니다. 이 연구에서는 아르곤 가습기(Argon humidifier)를 사용하지 않았습니다.

표 1. 기기 작동 및 분석법 파라미터.

파라미터(Parameter)	설정(Setting)	
RF 출력(RF Power)	1.40kW	
플라즈마 가스(Plasma Gas)	15L/min	
보조 가스(Aux Gas)	1.4L/min	
nebulizer	애질런트 불활성 V-groove nebulizer	
nebulizer 가스 유량	0.90L/min	
스프레이 챔버(Spray Chamber)	Agilent 5000 시리즈 ICP-OES 및 MP-AES용 불활성 스프레이 챔버	
토치(Torch)	완전 분리형 2.4mm 내경 불활성 알루미늄 주입기	
반복 횟수(Replicates)	3	
판독 시간(Read Time)	5s	
펌프 속도(Pump Speed)	15rpm	
안정화 시간(Stabilization Time)	20s	
주입 지연(Uptake Delay)	16s(Fast Pump)	
행궁 시간(Rinse Time)	60s(Fast Pump)	
관측 모드(Viewing Mode)	Axial and Radial	
관측 높이(Viewing Height)	6mm	
연동 펌프 튜빙 (Peri Pump Tubing)	시료/운반 가스 (Sample/carrier)	회색/회색(Gray/gray)
	폐액(Waste)	파란색/파란색(Blue/blue)

### 시료 및 표준물질 준비

막자사발과 막자를 사용하여 BM 시료를 미세한 분말로 분쇄했습니다. 약 0.4g의 분쇄된 BM을 50mL 분해 튜브에 직접 칭량하여 넣었습니다. 왕수(HCl과 HNO<sub>3</sub>의 3:1 혼합물 16mL)를 바탕 용액을 포함한 각 튜브에 직접 첨가하고 폴리프로필렌 시계 유리로 덮었습니다. 초기 반응이 가라앉은 후(약 15분) 튜브를 105°C로 프로그래밍된 분해 블록(그림 2)에 삽입했습니다 (Environmental Express HotBlock 150). 분해 블록에서 시료를 꺼내 식혔습니다. 시료와 바탕 용액을 실온에 두었다가 탈이온수를 사용하여 50mL로 희석했습니다. 그런 다음 분해 튜브에 캡을 끼우고 잘 섞은 후, 21-포지션 자동 시료 주입기 랙에 장착하여 분석을 준비합니다.



그림 2. 고온 블록 분해기에 들어 있는 BM 시료.

불활성 V-groove nebulizer를 사용하면 사용자가 희석 직후에 시료를 직접 분석할 수 있으므로 시료 전처리 단계가 간소화됩니다. 이를 통해 시료 처리와 고형물이 침전될 때까지 기다릴 필요가 줄어들고 오염 위험과 필터 등의 소모품 사용이 최소화되어 실험실 워크플로가 크게 개선됩니다. 불활성 V-groove nebulizer는 평행 경로로 설계되어 가스 오리피스에 막힐 가능성이 적고, 1mm 내경의 대형 시료 채널을 채택하여 모든 부유 입자가 막힘 없이 흐르도록 합니다.

10% HNO<sub>3</sub> 매트릭스에서 애질런트 단일 원소 표준물질을 연속 희석하여 6가지 검량 표준물질을 준비했습니다(자세한 내용은 소모품 표 참조). 표 2에는 다원소 검량 표준물질과 FACT(Fast Automated Curve-Fitting Technique) 간섭 용액의 조성이나 있습니다. FACT 용액은 이 분석법에 사용되는 589.592nm 나트륨 파장의 백그라운드 신호 스펙트럼을 모델링하는 데 사용되었습니다.

### 파장 선택 및 백그라운드 보정

리튬 이온 배터리는 다양한 조성으로 제조되므로 BM 시료의 원소 조성은 농도 수준에서 크게 달라질 수 있습니다. Agilent 5800 ICP-OES를 사용하여 다양한 BM 시료를 분석한 이전 연구를 참조했습니다.<sup>1</sup> 저자는 이 연구에서 분석한 시료에 대해 가장 좋은 결과를 제공하는 일련의 파장을 사용했습니다. 분광학적 관점에서 볼 때, 복잡한 원소 조성으로 인해 기기 측정에서는 발생하는 모든 원소 간 간섭을 고려해야 합니다. 또한, 다양한 원소 간의 농도 차이가 크기 때문에 낮은 농도에서 분석물을 정량화하려고 할 때 추가적인 어려움이 따릅니다. 본 연구 시료의 원소 조성은 이전 응용 자료에서 설명한 시료와 완전히 다릅니다.<sup>1</sup>

표 2. 검량 표준물질 및 FACT 용액. 모든 농도 단위는 mg/L입니다.

	Al	B	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Si	Sn	Ti	Zn
Standard 1			0.15	0.25	0.10		0.10				0.13		1.50			0.50	0.50	0.50	0.15	0.50
Standard 2			0.90	1.50	0.60		0.60				0.75		9.00			3.00	3.00	3.00	0.90	3.00
Standard 3			2.10	3.50	1.40		1.40				1.75		21			7.00	7.00	7.00	2.10	7.00
Standard 4	14	0.20				150		10	4.0	40		60		100	4.0					
Standard 5	56	0.80				600		40	16	160		240		400	16					
Standard 6	112	1.60				1200		80	32	320		480		800	32					
FACT 용액			10										10							

이전 응용 자료에서 사용된 일부 파장은 원소 조성의 차이로 추가적인 간섭이 발생하는 문제로 인해 이 시료의 분석에 사용할 수 없었습니다. 따라서 이 시료에 대해 최소한의 스펙트럼 간섭과 넓은 측정 범위를 제공하는 파장을 선택했습니다. 각 분석물에 사용된 파장과 백그라운드 보정의 자세한 정보가 표 3에 나와 있습니다.

표 3. 파장 선택, 백그라운드 보정 및 검량 상관 계수.

파장 (Wavelength - nm)	관측 모드 (View mode)	백그라운드 보정 (Background Correnction)	검량선 맞춤 (Calibration Fit)	상관 계수 (Correlation Coefficient)
Al 396.152	Axial	Fitted	Linear	1.000
B 182.577	Axial	Fitted	Radial	1.000
Ba 233.527	Radial	Fitted	Linear	0.998
Ca 396.847	Radial	Fitted	Linear	0.998
Cd 228.802	Radial	Fitted	Linear	0.998
Co 238.345	Radial	Fitted	Radial	1.000
Cr 276.653	Radial	Fitted	Linear	0.997
Cu 327.395	Radial	Fitted	Linear	1.000
Fe 259.940	Radial	Fitted	Linear	1.000
Li 610.365	Radial	Fitted	Linear	1.000
Mg 279.553	Radial	Off-Peak right	Linear	0.997
Mn 293.305	Radial	Fitted	Linear	1.000
Na 589.592	Radial	FACT	Radial	1.000
Ni 227.021	Radial	Fitted	Linear	0.999
P 178.222	Radial	Fitted	Linear	1.000
S 181.972	Radial	Fitted	Linear	0.998
Si 212.41	Axial	Fitted	Linear	0.997
Sn 189.925	Axial	Fitted	Linear	0.997
Ti 334.941	Axial	Fitted	Linear	0.998
Zn 206.200	Axial	Fitted	Linear	0.997

FACT는 Agilent ICP Expert 소프트웨어에서 사용할 수 있는 백그라운드 보정 방법 중 하나입니다.<sup>2</sup> 사용하기 쉬운 이 스펙트럼 모델링 기술은 ICP-OES로 까다로운 매트릭스나 간섭 물질을 분석할 때 자주 관찰되는 복잡한 분석 스펙트럼을 정확하게 모델링합니다. FACT는 Na 589.592nm 라인에 대한 백그라운드 보정 방법으로 사용되었습니다(그림 3). 시료에 있는 나트륨의 정확한 정량화를 보장하기 위해 Ba 10mg/kg FACT 간섭 용액을 시퀀스에 포함시켰습니다. 스파이크 회수율 테스트에서 입증된 것처럼 이 용액을 사용하여 바륨으로 인한 백그라운드 간섭을 성공적으로 보정했습니다.

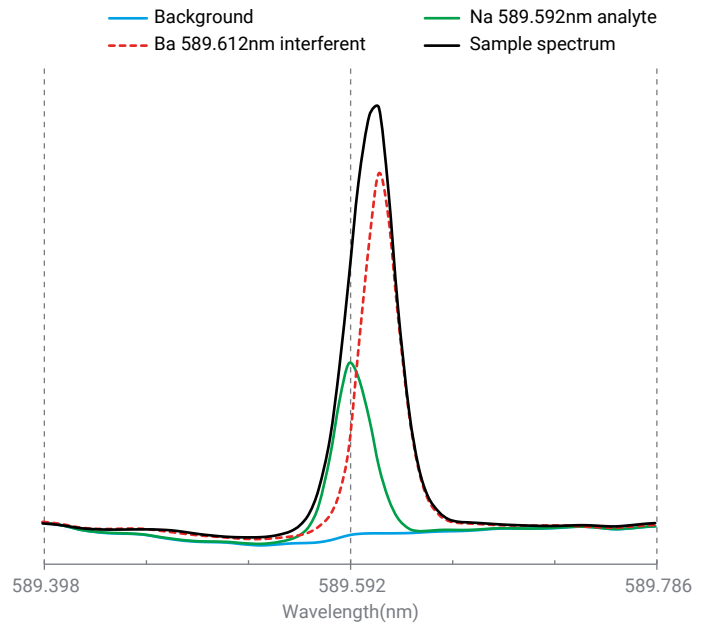


그림 3. Na 589.592nm에 대한 FACT 모델.

## 결과 및 토의

5900 ICP-OES 분석법을 사용하여 BM 시료의 20가지 표적 원소 농도를 정량화했습니다. 표 4에 나타난 정량 결과는 희석배수에 따라 보정되었으므로 원래 고체 BM 시료에서는 mg/kg(또는 %)으로 보고됩니다. 이러한 값은 시료를 세 번 별도로 분해하여 얻은 평균 결과입니다. 낮은 상대 표준편차(%RSD)는 분해 방법의 일관성과 효과를 입증합니다. 결과로부터 V-groove nebulizer가 장착된 5900 ICP-OES가 동일한 분석에서 높은 농도와 낮은 농도의 원소를 모두 분석하는 데 적합함을 알 수 있습니다.

### 필터링 평가

필터링 안 된 시료의 분석이 결과에 영향을 미치는지 평가하기 위한 테스트를 수행했습니다. 3번 분해한 BM 시료를 준비한 후 48시간 동안 그대로 두어 침전시켰습니다. 각 분해물에서 맑은 상층액 10mL를 채취했습니다. 그런 다음 시료를 교반하여 불용성 고형물을 재부유시키고 각 분해물 10mL을 Captiva 0.45µm 시린지 필터를 사용하여 필터링했습니다. 시료의 나머지 부분은 분석을 위해 바이알에 남겨 두었습니다.

맑은 상층액, 필터링된 상층액 및 필터링 안 된 상층액의 세 가지 시료를 분석했습니다. 농도 결과의 차이는 모두 ±5% 이내였습니다. 이 결과는 V-groove nebulizer를 사용하여 분석할 경우, 시료가 가라앉을 때까지 기다리거나 시료 준비 중에 시료를 필터링할 필요가 없다는 것을 확인시켜 줍니다.

### 스파이크 회수율 연구

이 분석법의 견고성을 평가하기 위해, 분해된 시료에 다양한 원소 농도를 첨가하여 분석했습니다. 스파이크된 시료와 스파이크되지 않은 시료에서 측정된 농도의 차이를 스파이크 회수율을 계산하는데 사용했습니다. 본 연구의 모든 원소에서, 스파이크 회수율은 스파이크 농도의 ±10% 이내였습니다(표 5).

표 5. 블랙 매스(BM) 시료에 대한 스파이크 회수율.

원소 및 라인 (nm)	농도(mg/kg)				스파이크 회수율(%)
	용액	스파이크 용액	차이	스파이크	
Al 396.152	67.4	74.4	7.01	7.0	100
B 182.577	0.266	0.361	0.095	0.10	95
Ba 233.527	1.27	1.57	0.298	0.30	99
Ca 396.847	2.35	2.83	0.486	0.50	97
Cd 228.802	0.561	0.749	0.189	0.20	94
Co 238.345	855	935	80.4	75	107
Cr 276.653	0.113	0.323	0.210	0.20	105
Cu 327.395	58.1	62.8	4.73	5.0	95
Fe 259.940	22.2	24	1.97	2.0	99
Li 610.365	212	232	20.2	20	101
Mg 279.553	2.55	2.80	0.244	0.25	98
Mn 293.305	290	320	29.6	30	99
Na 589.592	1.88	4.81	2.93	3.0	98
Ni 227.021	633	682	49.0	50	98
P 178.222	21.3	23.2	1.96	2.0	98
S 181.972	4.84	5.91	1.06	1.0	106
Si 212.412	5.19	6.19	1.00	1.0	100
Sn 189.925	2.47	3.39	0.918	1.0	92
Ti 334.941	1.25	1.54	0.287	0.30	96
Zn 206.200	4.88	5.85	0.975	1.0	97

표 4. 블랙 매스(BM) 시료 분석 결과는 백분율(%)로 표시되지 않는 한 mg/kg입니다.

원소	Al	B	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li
평균 농도(mg/kg)	0.79%	30	134	280	54	10.5%	12	0.65%	2,337	2.46%
RSD(%) n = 3	2.5	1.6	2.5	1.5	7.8	1.7	1.9	1.9	1.7	1.1
원소	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Si	Sn	Ti	Zn
평균 농도(mg/kg)	303	3.23%	232	7.09%	2,376	514	1,005	283	169	588
RSD(%) n = 3	1.0	1.3	6.2	1.4	2.0	1.8	7.5	2.5	1.6	4.5

### 분석법 검출 한계

분석법 검출 한계(MDL)는 전체 검량을 실행한 후 분해 바탕 용액의 10회 반복 분석을 실시하여 측정했습니다(표 6). MDL은 각 원소의 농도 측정값의 평균 표준편차에 3을 곱하고 이를 평균 희석배수 125(50mL/0.4g)로 나눈 값으로 정의됩니다.

표 6. 계산된 분석법 검출 한계.

Element and Line(nm)	MDL(mg/kg)	Element and Line(nm)	MDL(mg/kg)
Al 396.152	0.65	Mg 279.553	0.02
B 182.577	0.20	Mn 293.305	0.75
Ba 233.527	0.25	Na 589.592	3.5
Ca 396.847	0.16	Ni 227.021	1.7
Cd 228.802	0.44	P 178.222	3.2
Co 238.345	0.91	S 181.972	3.1
Cr 276.653	1.0	Si 212.412	1.1
Cu 327.395	1.0	Sn 189.925	0.27
Fe 259.940	0.54	Ti 334.941	0.03
Li 610.365	2.5	Zn 206.200	0.14

### 장기 안정성(Long term stability)

시스템 및 분석법의 안정성을 확인하기 위해, BM 시료 8g을 산 분해하여 1L의 용액을 만든 다음 몇 시간 동안 분석했습니다. 이 시료는 지속적으로 재순환되었으며 미세한 입자가 부유 상태를 유지하도록 부드럽게 저어주었습니다. QC 용액을 준비하고 (표 7) 이 장기 측정 시퀀스에서 15개 BM 시료를 채취할 때마다 측정했습니다. 아르곤 가습기(Argon humidifier)는 사용되지 않았습니다.

기기는 시료가 소진될 때까지 16시간 동안 계속 작동했습니다. 재검량(recalibration), 내부 표준물질(Internal standard) 보정 또는 경사 재조정(Re-slope)은 적용되지 않았습니다. 그림 4는 첫 번째 판독값을 기준으로 정규화된 QC 용액의 상대 농도를 보여줍니다. 16시간이 넘는 분석 기간 내내 뛰어난 장기 안정성이 얻어졌습니다. 모든 측정값은 예상 값의 ±10% 이내에 있었고, 모든 경우에 반복 정밀도는 5% RSD보다 우수했습니다.

그림 4는 5900 ICP-OES의 안정성과 더불어 BM 시료 또는 부유 고형물이 포함된 기타 까다로운 시료의 일상적인 QC 분석에 불활성 V-groove nebulizer 사용이 적합함을 보여줍니다. 그림 5는 연구 종료 시 스프레이 챔버와 nebulizer의 모습입니다. 스프레이 챔버와 V-groove nebulizer는 연구 기간 내내 청소하지 않았습니다. 필터링하지 않은 BM 시료를 지속적으로 분석했음에도 불구하고, nebulizer의 평행 경로 설계와 시료 채널의 최적화된 설계 덕분에 SIS(시료도입부)에 막힘이 발생하지 않았습니다.

표 7. QC 용액 조성.

Element	Al	B	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Si	Sn	Ti	Zn
농도(mg/L)	12	0.5	0.8	1.3	0.5	14	0.5	8.0	3.5	30	0.6	50	8	80	3	3	5	3	0.75	2.5

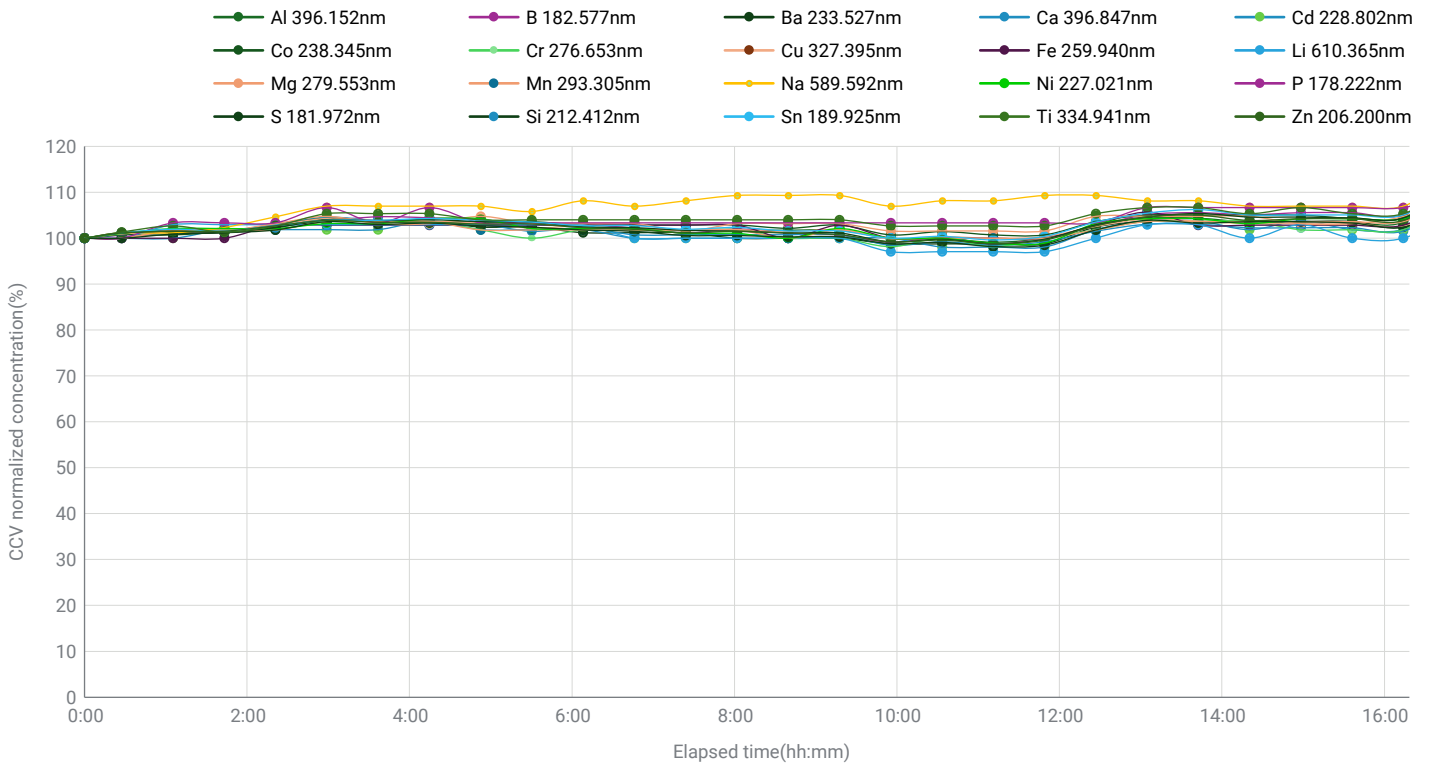


그림 4. 16시간 장기 안정성 연구로, 다양한 원소 농도를 스파이크한 QC 용액의 정규화된 농도(첫 번째 판독값 대비)를 보여줍니다.



그림 5. 연구 종료 시 스프레이 챔버와 불활성 애질런트 V-groove nebulizer의 모습.

## 결론

이 연구에서는 애질런트 불활성 V-groove nebulizer를 장착한 Agilent 5900 SVDV ICP-OES가 블랙 매스(BM) 시료의 필터링 되지 않은 산 분해물에 대한 다원소 분석에 적합함을 보여줍니다. 이 견고한 nebulizer는 총 용존 고형물(TDS)이 최대 30%이고 입자 크기가 350 $\mu$ m 미만인 시료의 정기적 분석에 권장됩니다.

16시간 동안 시료를 분석한 결과, 우수한 장기 안정성이 입증되었습니다. QC 용액 측정값은 예상 값의  $\pm 10\%$  이내였으며 정밀도는 5% RSD보다 우수했습니다. 스파이크 회수율은 낮은 농도와 높은 농도 수준 모두에서 첨가 농도의  $\pm 10\%$  이내였으며, 이는 단일 분석에서 광범위한 원소 농도를 검출하는 분석법의 정확성을 확인시켜 줍니다. V-groove nebulizer를 사용한 결과, 3주 이상 막힘 없이 시료를 추출할 수 있었으며, 높은 수준의 정확도를 유지하고 토치와 nebulizer의 유지보수 빈도를 줄일 수 있었습니다.

폐 리튬이온 배터리에서 귀중한 금속을 회수하는 데 노력을 집중하고 있는 BM 생산자들은 5900 ICP-OES의 견고성을 향상시키는 V-groove nebulizer를 사용하여 필터링되지 않은 시료 분해물에서 주요 분석물을 높은 신뢰도로 분석할 수 있습니다.

## 참고 자료

1. Li, S. ICP-OES로 재활용 리튬 이온 배터리 시료 속 금속 검출, *Agilent Technologies 응용 자료*, 발행물 번호 **5994-5561KO, 2023**.
2. FACT Spectral Deconvolution 소프트웨어를 사용한 복잡한 시료의 실시간 스펙트럼 보정, *Agilent Technologies 기술 개요*, 발행물 번호 **5991-4837KO, 2021**.

## 감사문(Acknowledgments)

애질런트는 이 연구 전체에 사용된 블랙 매스 시료를 기꺼이 제공해 주신 Envirostream Australia의 Mark Griffiths에게 감사를 표합니다.

## 애질런트 소모품

설명	애질런트 부품 번호
불활성 V-groove, 높은 TDS nebulizer	G8020-69001
Agilent 5000 시리즈 ICP-OES 및 MP-AES용 불활성 스프레이 챔버	G8014-68002
2.4mm 내경 알루미늄(불활성) 주입기가 장착된 Easy-fit 완전 분리형 DV 토치	G8020-68022
PVC Solvaflex 연동 펌프 튜빙, 회색/회색	3710035200
PVC Solvaflex 연동 펌프 튜빙, 파란색/파란색	3710067900
분해 튜브, 50ml, 스투드 캡 포함, 500개/팩	190047900
시계 유리, 41mm 직경 리브 폴리프로필렌	190037200
Captiva Econofilter, PES 멤브레인, 직경 25mm 0.45µm 공극 크기, 1,000개/팩	5190-5276
알루미늄(Al) 표준물질, 10,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8352
붕소(B) 표준물질, 1,000µg/mL, H <sub>2</sub> O 용액, 100mL	5190-8254
바륨(Ba) 표준물질, 1,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8248
칼슘(Ca) 표준물질, 1,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8329
카드뮴(Cd) 표준물질, 1,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 500mL	5190-8328
코발트(Co) 표준물질, 10,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8376
크롬(Cr) 표준물질, 1,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8344
구리(Cu) 표준물질, 10,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8378
철(Fe) 표준물질, 1,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8471
리튬(Li) 표준물질, 10,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8408
마그네슘(Mg) 표준물질, 1,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8481
망간(Mn) 표준물질, 10,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8414
나트륨(Na) 표준물질, 1,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8525
니켈(Ni) 표준물질, 10,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8422
인(P) 표준물질, 1,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8499
황(S) 표준물질, 1,000µg/mL, H <sub>2</sub> O 용액, 100mL	5190-8529
실리콘(Si) 표준물질, 1,000µg/mL, H <sub>2</sub> O 용액, 100mL	5190-8521
주석(Sn) 표준물질, 1,000µg/mL, 20% HCl 용액, 100mL	5190-8543
티타늄(Ti) 표준물질, 1,000µg/mL, H <sub>2</sub> O 용액, 100mL	5190-8545
아연(Zn) 표준물질, 1,000µg/mL, 5% HNO <sub>3</sub> 용액, 100mL	5190-8557

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

DE-003277

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2025  
2025년 1월 23일, 한국에서 인쇄  
5994-8064KO

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