

지속 가능한 리튬 이온 배터리 재활용: ICP-OES를 이용한 친환경 용매 내 금속 회수

스위칭 밸브를 갖춘 Agilent 5800 VDV ICP-OES를
사용한 심층 공용 용매의 빠른 분석



저자

Leo Huang,
Agilent Technologies, Inc.

소개

최근 몇 년 동안 글로벌 충전식 배터리 시장은 전기 자동차(EV), 휴대용 전자기기, 에너지 저장 시스템에서 리튬 이온 배터리(LIB)의 사용으로 인해 빠르게 성장해 왔습니다.¹ 이러한 추세는 국가들이 탄소 배출을 줄이기 위해 화석 연료에서 더 깨끗한 에너지 솔루션으로 전환함에 따라 계속될 것으로 예상됩니다.¹ 그러나 LIB 산업은 특히 음극재 및 양극재와 같은 핵심 배터리 구성 요소에 사용되는 리튬(Li), 코발트(Co), 니켈(Ni)과 같은 필수 원소에 대한 의존도가 높아 이 부문에 몇 가지 과제를 안고 있습니다. 공급이나 비용 문제는 이러한 주요 금속의 가용성에 영향을 미쳐 잠재적으로 LIB 생산을 제한하고 가격 변동을 초래할 수 있습니다.² 이러한 과제 때문에 수명이 다한(또는 사용 후) LIB에서 금속을 회수하는 것이 주목을 받고 있습니다. 재료를 회수하고 재사용하면 필수 부품에 대한 수요를 충족하고, 가격을 안정시키고, LIB 제조에서 보다 지속 가능한 순환 경제를 지원하는 데 도움이 될 수 있습니다.³

현재 페리튬이온배터리(LIB)의 재활용에는 건식 제련과 습식 제련이라는 두 가지 주요 산업 공정이 사용됩니다. 건식 제련은 고온에서 금속을 추출하는 기술로, 에너지 소모가 많고 상대적으로 품질이 낮은 결과물을 얻을 수 있습니다.³ 습식 제련은 수많은 추출제와 더 긴 공정을 필요로 하지만 건식 제련보다 금속 회수율이 더 높습니다.³ 그러나 습식 제련 공정은 다량의 산성 및 알칼리성 폐수를 생성하는데, 이를 적절히 관리하지 않으면 환경에 위협이 될 수 있습니다.³

심층 공용 용매(DES)는 LIB 재활용을 위한 새로운 솔루션을 제공하는 신형 친환경 용매입니다. 생분해성 성분의 혼합물로 만들어진 DES는 제조가 쉽고, 저렴하며, 무독성이고, 재사용이 가능합니다.⁴ 과학자들은 DES의 고유한 특성을 이용해 페리튬이온배터리(LIB)에서 중요한 금속을 효율적으로 침출할 수 있는 방법을 적극적으로 연구하고 있습니다.⁴

연구자들은 금속 회수율 측면에서 DES의 효과성을 검증하기 위해 유도 결합 플라즈마 광 방출 분광법(ICP-OES)과 같은 다원소 분석 기술을 자주 사용합니다. 그러나 ICP-OES를 이용해 DES에서 용출된 금속을 분석하는 것은 쉽지 않습니다. 높은 총 용존 고형물(TDS) 매트릭스 시료는 시료 주입 시스템에 마모를 일으킬 수 있으며, 잠재적으로 결과에 오류를 초래할 수 있습니다. 수명이 다한 LIB의 원소 프로파일이 크게 달라질 수 있으므로 넓은 선형 측정 범위(LDR)도 필요합니다.

Agilent 5800 Vertical Dual View(VDV) ICP-OES는 LIB 배터리 재료의 금속 및 기타 원소를 측정하는 데 널리 사용됩니다.⁵ 견고성과 안정성을 고려하여 설계된 5800은 다양한 시료 유형에서 70개 이상의 원소를 동시에 빠르게 측정할 수 있습니다. 이 기기의 Vista Chip III 검출기의 넓은 LDR 덕분에 동일한 시료에서 다양한 원소를 분석할 수 있어 여러 번 희석할 필요가 없습니다.⁶ 현장에서 검증된 이 기기는 고급 도구와 액세서리를 사용하여 새로운 분석법의 개발을 지원하므로 DES를 사용하여 귀중한 금속의 회수 촉진과 같은 LIB 재활용 이니셔티브에 이상적입니다.

Agilent Advanced Valve System 7-포트 스위칭 밸브(AVS 7)⁷ 및 Agilent SPS 4 자동 시료 주입기 액세서리를 5800과 함께 사용하여 분석을 자동화하고, 시료 처리량을 개선하며, 기기의 시료 주입 시스템의 마모를 줄였습니다. 시료 주입은 Agilent ICP Expert Pro 기기 제어 소프트웨어로 제어되었습니다. 이 연구에서는 AVS의 효율적인 린스 메커니즘 덕분에 이를 사용하여 시료당 분석 시간이 약 90초에서 41초로 단축되었습니다. 더 빠른 측정 시간으로 구성 요소의 마모가 최소화되고 아르곤 소모량을 50% 이상 줄일 수 있습니다.

이 소프트웨어에는 시료의 원소 함량을 식별하고 분석법 개발을 지원하는데 유용한 도구인 IntelliQuant Screening 스마트 기능도 포함되어 있습니다.⁸ IntelliQuant Screening이 생성하는 반정량적 데이터는 분석자가 정확하게 분석 물질의 검량 범위를 설정하고, 최적의 파장을 선택하고, 시료 매트릭스에서 발생하는 예상치 못한 스펙트럼 간섭을 식별할 수 있도록 해줍니다.

이 응용 자료에서는 5800 VDV ICP-OES를 사용하여 염화콜린과 요소(ChCl:Urea) DES 용액내에서 스파이크된 페리튬이온배터리(LIB)의 대표적인 8가지 원소를 측정했습니다. 알루미늄(Al), Co, 구리(Cu), 철(Fe), Li, 망간(Mn), Ni 및 인(P) 분석 물질은 다양한 유형의 양극 활성 물질(CAM)에서의 존재에 따라 선택되었습니다.

실험

기기

Agilent 5800 VDV ICP-OES에는 통합 AVS 7-포트 스위칭 밸브와 SPS 4 자동 시료 주입기가 장착되었습니다. AVS 6에 비해 7-포트 시스템은 내부 표준물질을 밸브로 직접 통과하도록 할 수 있습니다.

5800 ICP-OES에는 SeaSpray nebulizer, 더블 패스 유리 사이클론 스프레이 챔버, Agilent Easy-fit 1.8mm id injector의 일체형 토치가 장착되었습니다. 모든 기기는 ICP Expert Pro 소프트웨어를 사용하여 제어되었습니다.

간단한 자동화 워크플로에 대한 기기 작동 조건은 표 1과 표 2에 나와 있습니다.

표 1. Agilent 5800 VDV ICP-OES 기기 및 분석법 파라미터.

파라미터(Parameter)	설정(Setting)
관측 모드(Viewing Mode)	Radial
관측 높이(Viewing Height - mm)	8
RF 전력(RF Power - kW)	1.35
Nebulizer 유속(Flow - L/min)	0.7
플라즈마 유속(Plasma Flow - L/min)	12
Aux 유속(Aux Flow - L/min)	1
반복 횟수(Replacates)	3
린스 시간(Rinse Time - s)	3
판독 시간(Read Time - s)	5
안정화 시간(Stabilization Time - s)	7
시료 펌프 튜브(Sample Pump Tubing)	흰색/흰색(White/White)
내부 표준물질 펌프 튜브 (Internal Standard Pump Tubing)	주황색/흰색(Roange/white)
폐기물 펌프 튜브(Waste Pump Tubing)	파란색/파란색(Blue/blue)

표 2. Agilent AVS 7 작동 파라미터(operating parameter).

파라미터(Parameter)	설정(Setting)
시료 루프 크기(Sample Loop Size - mL)	1
펌프 속도(Pump Rate) - 흡입(Uptake - mL/min)	35.1
펌프 속도(Pump Rate) - 주입(Inject - mL/min)	9
밸브 흡입 지연(Valve Update Delay - s)	8.2
버블 주입 시간(Bubble Injection Time - s)	2.0
선제적 린스 시간(Pre-emptive Rinse Time - s)	1.5

분석법 개발(Method development)

IntelliQuant Screening 소프트웨어

IntelliQuant Screening은 ICP Expert Pro 소프트웨어의 일부로, 분석자가 거의 입력하지 않고도 몇 초 안에 전체 스펙트럼 데이터를 수집합니다.⁸ 그런 다음 IntelliQuant 알고리즘은 사전 측정된 검량 값과 전체 스펙트럼 데이터를 비교하여 시료에 존재하는 모든 원소에 대한 반정량적 판독 값을 생성합니다.⁹ 그림 1에서 볼 수 있듯이, 데이터는 표와 주기율표 히트 맵으로 표현할 수 있으며, 분석자는 스펙트럼을 자세히 검토할 수도 있습니다. 해석하기 쉬운 별표 등급 시스템은 어떤 분석 물질 파장이 스펙트럼 간섭, 백그라운드 변화 또는 감도 저하의 영향을 받을 가능성이 있는지 나타냅니다. 그림 2는 정량 분석법을 사용하여 시료를 분석하기에 앞서 IntelliQuant Screening을 사용하여 AI에 가장 민감한 라인을 선택하는 방법을 보여줍니다.

IntelliQuant는 분석자가 정량 분석에 가장 적합한 파장을 선택하고 각 원소의 검량 범위를 식별할 수 있도록 지원하므로 구현하기 쉽고 시간을 절약할 수 있는 분석법 개발 도구입니다. 특히 DES 용매에서 용출된 금속 등 미지 시료를 분석하는 새로운 분석법을 개발할 때 유용합니다.

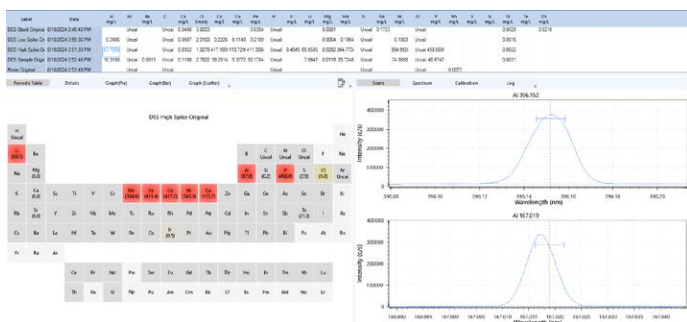


그림 1. IntelliQuant 알고리즘은 IntelliQuant Screening 전체 스펙트럼 스캔 중에 분석된 각 시료에 대해 반정량적 결과를 생성합니다.

Periodic Table	Details	Graph(Pie)	Graph(Bar)	Graph (Scatter)		
Element Used	Flags	Wavelength	Rating	Concentration	Intensity	Background
Al	✓	396.152	*****	3.86	25567.8	10328.3
		167.019	*****	5.83	18367.7	140.6
		237.312	****	2.36	1716.6	1366.9
		308.215	****	6.73	14607.7	4839.8
		309.271	*****	7.18	14709.7	3204.8

그림 2. IntelliQuant는 알루미늄을 예로 들어 각 분석 물질에 사용할 최적의 파장을 식별합니다. 소프트웨어는 다양한 분석 물질 파장에 자동으로 별표 등급을 적용하고 추천 라인에 녹색 확인 표시 기호를 지정합니다.

표준물질 및 시료 전처리

검량 표준물질

희석제는 18.2mΩ 탈이온수(Merck Millipore)로 HNO₃(Emsure, Merck)를 희석하여 2% HNO₃의 최종 매트릭스를 형성하여 제조했습니다. 검량 바탕과 표준물질은 모두 2% HNO₃ 매트릭스에서 제조되었습니다. 표 3에 나와 있는 바와 같이, 8가지 원소 모두에 대해 1, 10, 100mg/L의 검량 표준물질(standard)을 제조하였고, 5가지 원소에 대해 200 및 500mg/L의 추가 표준물질(additional standard)을 제조하였습니다. 표준물질은 희석액으로 Agilent 1000 및 10,000mg/L 단일 원소 검량 표준 용액을 희석하여 제조했습니다. 검량 용액의 농도(표 3)는 각 원소에 대해 넓은 선형 범위를 제공하는 동시에 뛰어난 검출 한계를 유지했습니다.

표 3. 모든 원소에 대한 검량점.

분석물 개수	검량 표준물질 농도(mg/L)
Co, Fe, Mn, Ni, P	0, 1, 10, 100, 200, 500
Al, Cu, Li	0, 1, 10, 100

DES 제조

DES는 ChCl(≥98% Sigma-Aldrich)와 요소(Sigma-Aldrich)를 1:2의 몰 비율로 결합하여 중량 측정법으로 제조되었습니다. 계속해서 교반하면서 점성 ChCl:요소 액체 혼합물을 80°C로 가열하고 그 온도를 몇 시간 동안 유지했습니다. DES를 실온으로 식힌 후 중량 측정(50mL 바이알에 5g)하고 2% HNO₃로 1:10 희석했습니다. 분석 전, 희석된 DES의 부침액을 30초 동안 진탕하여 균일한 혼합물을 얻었습니다. 검출 한계는 검출 한계 섹션에서 "바탕 시료(sample blanks)"라고 하는 이러한 DES 시료를 사용하여 계산되었습니다.

DES 스파이크 용액

DES에서 용출된 금속을 나타내기 위해 각 분석 물질의 애질런트 단일 원소 원액을 사용하여 DES 스파이크 용액 두 세트를 3회 반복하여 제조했습니다. 스파이크 농도는 실제 응용 분야에서 발생하는 일반적 수준과 극단적 수준을 나타내도록 선택되었습니다. Al, Cu, Li의 스파이크는 분석 물질의 검출 한계와 중간 범위 정량 정확도를 테스트하기 위해 0.2mg/L와 90mg/L로 제조되었습니다. 시스템의 성능을 더 넓은 측정 범위에서 평가하기 위해 Co, Fe, Mn, Ni, P에 대한 스파이크가 0.2mg/L와 400mg/L로 제조되었습니다. 장기 안정성 테스트를 위해 나머지 DES 스파이크 용액을 합치고, 스파이크하지 않은 DES 용액을 첨가하여 7시간 테스트에 필요한 충분한 양을 만들었습니다.

품질 관리 용액

품질 관리(QC) 목적으로 2% HNO₃의 바탕 용액을 연속 검량 바탕(CCB)으로 사용하였습니다. 모든 원소를 각각 1mg/L와 100mg/L씩 함유한 두 가지 용액은 연속 검량 검증(CCV) 용액으로 사용되었습니다. CCV 용액은 Agilent 1000과 10,000 단일 원소 표준 원액으로부터 제조되었습니다.

내부 표준물질 용액

5mg/L 이트륨(Y), 20mg/L 인듐(In), 50mg/L 텔루륨(Te)을 함유하는 내부 표준물질(IS) 용액은 2% HNO₃에서 Agilent 1,000mg/L 단일 원소 표준 원액으로부터 제조되었습니다. IS 용액은 DES 매트릭스에서 발생하는 매트릭스 효과나 이온화 간섭을 보정하는 데 사용되었습니다.

백그라운드 보정

이 연구에서는 ICP Expert 소프트웨어의 Fitted Background Correction(FBC) 및 Fast Automated Curve-fitting Technique(FACT) 간섭 보정 기술이 사용되었습니다. FBC는 분석 물질 피크 아래의 백그라운드 스펙트럼을 수학적으로 모델링하여 간단한 백그라운드 구조와 복잡한 백그라운드 구조 모두에 대해 빠르고 정확한 자동 백그라운드 보정을 제공합니다.¹⁰ 이 연구에서는 사용자의 입력이 필요 없는 FBC를 Li 670.783nm를 제외한 모든 분석 물질에 적용했습니다. FACT는 670.803nm에서 아르곤 백그라운드 신호로 인한 간섭을 제거하고 DES에서 발생하는 매트릭스 관련 간섭에 대한 확실한 보정을 제공하여 정확도를 높이는 데 사용되었습니다.¹¹

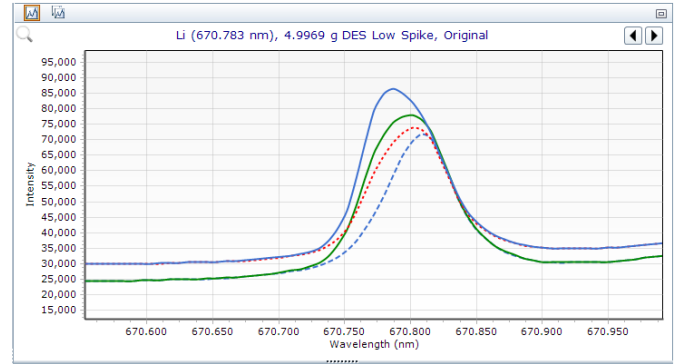
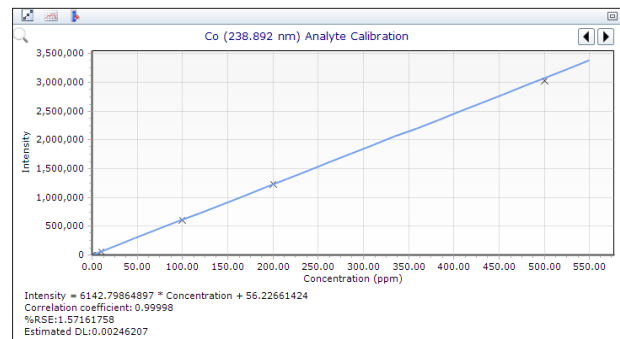
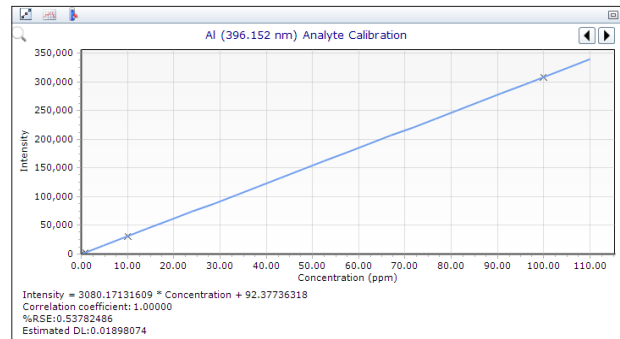


그림 3. Li의 아르곤 및 매트릭스 기반 간섭을 보정하는 데 사용되는 FACT 모델 (보정된 신호는 파란색 실선으로 표시됨). Ar 670.803와 DES 기반 간섭(빨간색 점선)에서 발생한 신호는 분석 물질 Li 670.783(녹색 선)과 겹칩니다. 바탕은 연한 파란색 점선으로 표시되었습니다.

결과 및 토의

검량

이 기기는 DES에서 광범위한 농도 범위에 걸쳐 분석 물질을 정확하게 검출할 수 있도록 검량되었습니다. Al, Co, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, P는 표 3에 자세히 설명된 대로 1 내지 100mg/L 또는 1 내지 500mg/L 사이에서 검량되었습니다. 그림 4에서 볼 수 있듯이, 모든 원소에 대해 상관 계수 >0.9999의 선형 검량선이 얻어졌습니다.



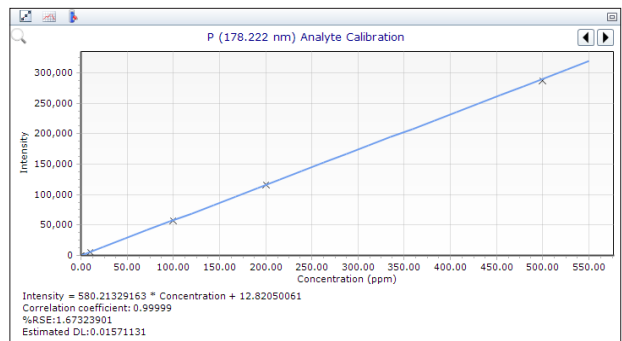
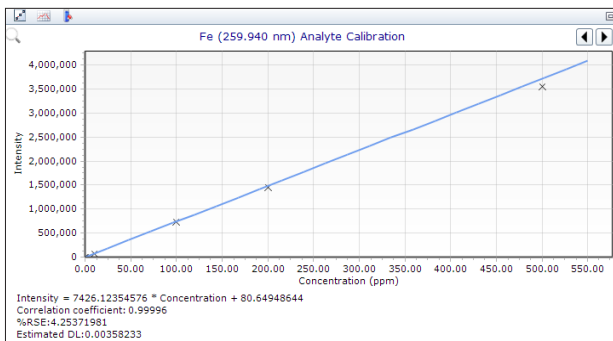
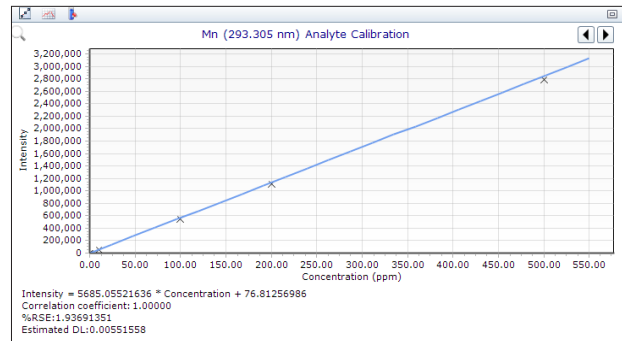
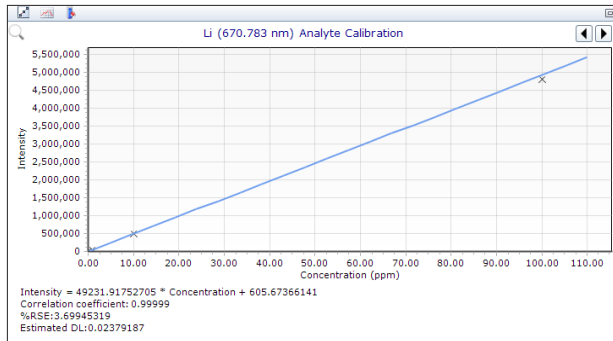
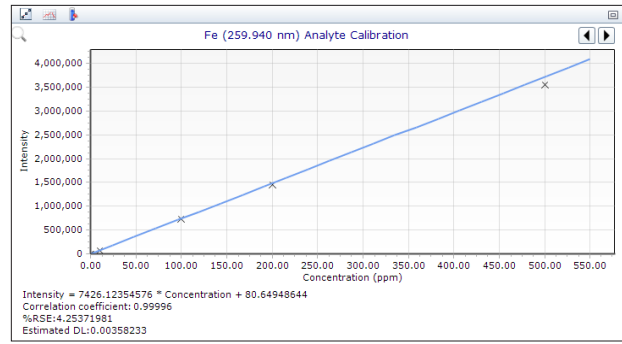
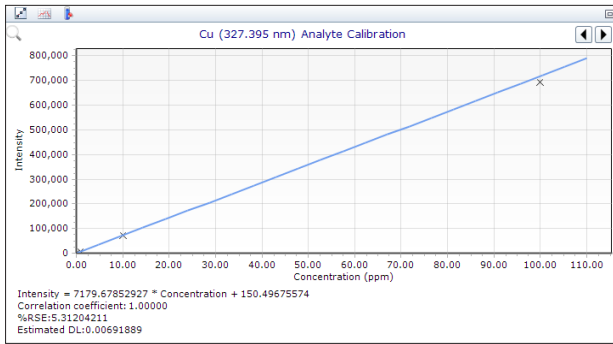


그림 4. Al, Co, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, P에 대한 검량선. 이 곡선은 모든 분석 물질에 대한 상관 계수(R) 값이 0.9999 이상인 것으로 나타나 Agilent 5800 ICP-OES의 우수한 직선성을 보여줍니다.

검출 한계

정량 한계(LOQ)와 방법 검출 한계(MDL)는 하나의 기기에서 연속되지 않은 3일 동안 10개의 용액을 분석하여 계산했습니다. LOQ는 10개의 바탕 시료 반복의 표준 편차에 10을 곱하여 계산하였고, MDL은 바탕 시료 반복의 표준 편차에 3을 곱하여 측정했습니다. '용액 내(in solution)'로 보고된 MDL은 희석배수를 고려하지 않은 반면, '시료 내(in sample)' 결과에는 희석배수 10이 적용되었습니다(표 4).

스파이크 회수율

해당 응용 분야에 적합한 인증 표준물질(CRM)이 없는 경우 스파이크 회수율 테스트를 사용하여 분석법의 정확성을 확인했습니다.

DES 시료에는 표 5에 자세히 설명된 대로 낮은 수준과 높은 수준의 분석 물질 원소가 모두 스파이크되었습니다. 스파이크된 시료는 3회 반복하여 제조하여 연속되지 않은 3일에 걸쳐 분석했습니다. 표 5에 나타난 바와 같이 모든 분석 물질에 대한 모든 회수율은 100 ± 10% 이내였습니다.

우수한 스파이크 회수 데이터는 복잡한 ChCl:요소 DES 용액에서 낮은 농도와 높은 농도의 Al, Co, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, P를 정확하게 분석하는 데 5800 VDV ICP-OES 분석법이 적합하다는 것을 확인시켜 줍니다.

표 4. 바탕 시료의분석 물질, 백그라운드 보정, 검량 정보, 내부 표준물질(IS), LOQ 및 MDL. "시료 내" MDL은 희석배수에 따라 보정되었습니다.

원소 및 파장 (nm)	백그라운드 보정	상관 계수	IS 및 파장 (nm)	LOQ (mg/L)	용액 내 MDL (mg/L)	시료 내 MDL (mg/kg)
Al 396.152	Fitted	1.00000	Y 371.029	0.042	0.013	0.13
Co 238.892	Fitted	0.99998	In 410.176	0.007	0.002	0.02
Cu 327.395	Fitted	1.00000	Y 371.029	0.017	0.005	0.05
Fe 259.940	Fitted	0.99996	In 410.176	0.010	0.003	0.03
Li 670.783	FACT	0.99999	Y 371.029	0.043	0.013	0.13
Mn 293.305	Fitted	1.00000	In 410.176	0.011	0.004	0.04
Ni 230.299	Fitted	0.99996	In 410.176	0.023	0.007	0.07
P 178.222	Fitted	0.99999	Te 214.282	0.049	0.015	0.15

표 5. Agilent 5800 VDV ICP-OES를 사용하여 측정된 8가지 분석 물질을 낮은 농도와 높은 농도로 스파이크한 DES 시료의 스파이크 회수율 결과.

원소 및 파장 (nm)	DES 측정 (mg/L)	스파이크 농도 (mg/L)	DES 스파이크 측정 (mg/L)	스파이크 회수율 (%)	스파이크 농도 (mg/L)	DES 스파이크 측정 (mg/L)	스파이크 회수율 (%)
Al 196.152	0.018	0.2	0.225	104	90	89.8	100
Co 238.892	<MDL	0.2	0.197	99	400	401	100
Cu 327.395	<MDL	0.2	0.205	103	90	91.5	102
Fe 259.940	0.018	0.2	0.224	103	400	396	99
Li 670.783	<MDL	0.2	0.189	94	90	91.5	102
Mn 293.305	<MDL	0.2	0.198	99	400	403	101
Ni 230.299	<MDL	0.2	0.197	99	400	400	100
P 178.222	0.030	0.2	0.224	97	400	387	97

비교 Al, Fe, P는 스파이크되지 않은 DES 시료에서 검출되었는데, 이는 이를 제거하는 데 사용된 98% 순도의 HCl과 같은 화학물질에 포함된 미량 불순물 때문일 가능성이 높습니다.

장기 안정성(Long-term stability)

5800 VDV ICP-OES의 안정성을 확인하기 위해, 7시간(시료당 41초)에 걸쳐 645개 용액을 분석했습니다. 이 용액은 QC 용액과 나머지 스파이크된 DES 용액과 스파이크되지 않은 DES 용액의 조합으로 구성되었습니다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, CCV 용액의 원소 회수율은 분석 내내 100 ±10% 이내로 유지되었습니다. 표 6에서 볼 수 있듯이, DES 시료에서 스파이크된 분석 물질의 회수율 또한 분석 내내 예상 값의 100±10% 범위 내에 있었으며 모든 원소에 대해 ≤2.2% RSD를 나타냈습니다.

두 가지 안정성 데이터는 모두 복잡한 DES 매트릭스 시료를 분석하는 동안 5800 ICP-OES 분석법이 뛰어난 견고성과 정밀성을 보인다는 것을 나타냅니다.

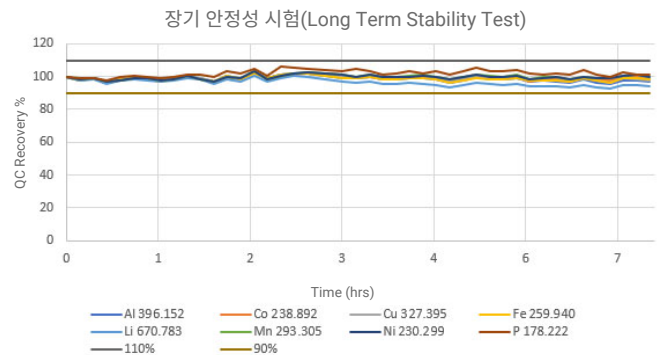


그림 5. 7시간에 걸쳐 분석한 CCV 용액의 회수율을 보여주는 장기적 안정성 테스트 (Long-term stability test). 실선은 ±10% 제어 한계를 나타냅니다.

표 6. 7시간(시료당 41초) 동안 측정된 결과의 %RSD와 평균 회수율% 데이터. n = 425.

원소	RSD(%)	평균 회수율(%)
Al	1.79	98
Co	1.72	99
Cu	1.67	99
Fe	1.66	98
Li	2.20	96
Mn	1.80	99
Ni	1.71	99
P	2.10	101

결론

AVS 7 스위칭 밸브가 통합된 Agilent 5800 VDV ICP-OES는 DES에서 귀중한 LIB 관련 원소를 효과적으로 측정했습니다. DES를 이용해 수명이 다한 LIB에서 금속을 용출하는 것은 배터리 재활용을 위한 전통적인 제련 공정에 비해 더욱 지속 가능한 대안을 제공합니다. Agilent ICP Expert Pro 소프트웨어의 제어를 받는 5800은 스파이크된 ChCl:요소 DES 용액에서 LIB의 대표적인 8가지 원소를 빠르고 정확하고 안정적으로 분석할 수 있었습니다. 정량적 데이터의 품질을 보장하기 위해 다음과 같은 하드웨어 및 소프트웨어 도구가 사용되었습니다:

- IntelliQuant Screening은 모든 분석 물질에 대해 최적의 검량 범위와 간섭 없는 파장을 추천하여 분석법 개발을 간소화하고 DES에서 분석 물질의 정확한 분석을 보장합니다.
- AVS 7은 AVS가 없을 때 시료당 90초가 걸렸던 것에 비해 41초만 소요되어 시료 처리량이 향상되었습니다. 또한 시료당 아르곤 소모량을 9.8L로 낮추고 토치와 nebulizer와 같은 소모품의 세척 빈도를 줄임으로써 비용을 최소화했습니다.
- FBC는 Al, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, P에 대한 백그라운드 구조를 자동으로 보정하고 FACT는 더 복잡한 백그라운드 스펙트럼에서 Li 피크를 디콘볼루션했습니다.

5800 ICP-OES 분석법의 정확도는 DES에서 높은 수준과 낮은 수준으로 스파이크된 모든 분석 물질의 회수율을 통해 확인되었으며, 결과 범위는 100 ±10% 이내였습니다. 645개의 용액을 7시간 동안 분석한 결과, 우수한 장기 안정성(long-term stability)이 입증되었습니다. QC 및 스파이크된 DES 시료의 회수율은 예상 값의 ±10% 이내였습니다. 스파이크된 DES 시료 측정의 경우 모든 원소에 대한 RSD가 ≤2.2%로 우수한 정밀도가 달성되었습니다.

AVS 7이 장착된 5800 VDV ICP-OES의 성능은 ChCl:요소 DES와 같은 복잡한 매트릭스에서 Co, Mn, Li와 같은 중요한 LIB 관련 원소를 빠르고 정량적으로 분석하는 데 적합하다는 것을 보여줍니다.

참고 자료

1. Battery Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Lead Acid, Lithium Ion), By End-use (Aerospace, Automobile), By Application (Automotive Batteries, Industrial Batteries), By Region, And Segment Forecasts, 2024 – 2030, Grand View Research, [Battery Market Size, Share & Growth Analysis Report, 2030](#) (accessed December 2024)
2. Jin, S.; Mu, D.; Lu, Z.; Li, R.; Liu, Z.; Wang, Y.; Tian, S.; Dai, C. A comprehensive review on the recycling of spent lithium-ion batteries: Urgent status and technology advances. *J. Clean. Prod.*, 340, **2022**, 130535, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130535>
3. Zhu, A.; Bian, X.; Han, W.; Cao, D.; Wen, Y.; Zhu, K.; Wang, S. The application of deep eutectic solvents in lithium-ion battery recycling: A comprehensive review. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 188, **2023**, 106690, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106690>
4. Lu, Q.; Chen, L.; Li, X.; Chao, Y.; Sun, J.; Ji, H.; Zhu, W. Sustainable and Convenient Recovery of Valuable Metals from Spent Li-Ion Batteries by a One-Pot Extraction Process. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 9(41), **2021**, 13851–13861. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c04717>
5. ICP-OES를 이용한 리튬 이온 배터리 재료의 원소 분석에 대한 실습 안내서, 애질런트 발행물, [5994-5489KO](#)
6. Innovative Freeform Optical Design Improves ICP-OES Speed and Analytical Performance, Agilent publication, [5994-5891EN](#)
7. Reduce Costs and Boost Productivity with the Advanced Valve System (AVS) 6 or 7 Port Switching Valve System, Agilent publication, [5991-6863EN](#)
8. Agilent IntelliQuant Screening: 더 스마트하고 더 빠른 반정량 ICP-OES 분석, 애질런트 발행물, [5994-1518KO](#)
9. Agilent IntelliQuant 소프트웨어: 보다 우수한 시료 인사이트 및 간소화된 분석법 개발, 애질런트 발행물, [5995-1516KO](#)
10. Fitted Background Correction (FBC)—fast, accurate and fully-automated background correction [5991-4836EN](#)
11. FACT Spectral Deconvolution 소프트웨어를 사용한 복잡한 시료의 실시간 스펙트럼 보정, [5991-4837KO](#)

애질런트 부품 번호

설명	부품 번호
Easy-fit 일체형 토치, 1.8mm id 석영 인젝터, 5000 시리즈 VDV/SVDV ICP-OES용	G8010-60228
더블 패스 스프레이 챔버, 볼 조인트 소켓 및 UniFit 배수구가 있는 유리 사이클론 디자인, Agilent 5000 시리즈 ICP-OES용	G8010-60256
Nebulizer, 유리 동심 SeaSpray nebulizer, Agilent 5000 시리즈 ICP-OES용	G8010-60255
시료 루프, ADS/AVS용, 1.00mL, 1.00mm id, 1/pk	5005-0423
연동 펌프 튜빙, 흰색/흰색, 12/pk	3710034400
PVC 연동 펌프 튜빙, 주황색/흰색, 12/pk	3710046900
연동 펌프 튜빙, 파란색/파란색, 12/pk	3710034600
폐기물 용기 키트, 10L, Stay Safe 캡 및 필터 포함	5005-0437
Al용 Agilent 1000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8243
Co용 Agilent 10,000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8377
Co용 Agilent 1000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8347
Cu용 Agilent 1000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8349
Fe용 Agilent 1000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8472
Fe용 Agilent 10,000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8403
In용 Agilent 1000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8468
Li용 Agilent 1000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8478
Mn용 Agilent 1000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8484
Mn용 Agilent 10,000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8415
Ni용 Agilent 1000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8492
Ni용 Agilent 10,000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8423
P용 Agilent 1000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8500
P용 Agilent 10,000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8429
Te용 Agilent 1000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8534
Y용 Agilent 1000ppm 단일 원소 원액, 500mL	5190-8556

www.agilent.com/chem/5800icpoes

DE-003064

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2025
2025년 1월 27일, 한국에서 발행
5994-8017KO

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