

ICP-MS를 이용한 식용 코코넛 제품의 금속 오염물질에 대한 빠르고 정확한 분석

헬륨 모드에서 Agilent 7850 ICP-MS를 사용한
FSSAI 규정 준수 분석법



저자

Thomas Paul K, Vinay Jain,
Gaurav Kapadnis 및
Vivek Dhyani,
Agilent Technologies, Inc.

소개

코코넛 야자수(*Cocos nucifera L.*)는 주요 재배 작물로서, 중요한 영양원을 제공하고 아시아, 남미, 중미, 카리브해, 아프리카의 열대 지방에 위치한 국가들의 경제에 기여합니다. 주요 코코넛 생산국은 인도네시아, 필리핀, 인도이며, 스리랑카, 브라질, 베트남이며 파푸아뉴기니도 주요 생산국입니다.^{1,2} 코코넛의 흰색 과육 또는 "속"은 날것으로 먹거나 다양한 음식을 준비하는 데 사용하거나 코코넛 오일을 추출하는 데 사용할 수 있습니다. 잘 익은 코코넛의 속에서 추출한 식용유인 코코넛 오일은 최근 몇 년 동안 수많은 건강상의 이점으로 인해 엄청난 인기를 얻었습니다.³ 코코넛에서 추출한 다른 식용 제품으로는 코코넛 워터, 코코넛 밀크, 크림, 버터가 있으며 가루, 플레이크, 칩 형태의 건조 코코넛 과육도 있습니다.

식품 안전을 개선하기 위한 전 세계적인 노력⁴이 지난 수십 년 동안 진행되어 왔으며 식품 생산, 가공, 포장, 보관, 운송 및 보존의 모든 단계가 면밀히 검토되었습니다. 소비자와 규제 기관은 식품 및 재료에 함유된 원치 않는 오염물질과 독소로 인한 건강 위험을 최소화하는 데 중점을 두고 있습니다. 식품 안전을 보장하는 한 가지 측면은 식품에 자연적으로 존재하거나 오염으로 인해 발생할 수 있는 잠재적 독성 성분의 농도를 통제하는 것입니다. 특히 납(Pb), 비소(As), 수은(Hg), 카드뮴(Cd) 등 "중금속"으로 불리는 일부 원소 오염물질은 환경과 건강에 파괴적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있습니다. 오염된 토양이나 지하수, 공기 중 침전물과 같은 환경적 노출, 그리고 비료, 살충제 및 기타 농약의 사용을 포함한 인위적인 오염원을 통해 높은 수준의 금속이 식량 작물에 유입될 수 있습니다. 식품 생산, 가공, 포장 과정에서 의도적이든 우발적이든 금속이 성분, 첨가물 또는 오염물질로 유입될 수도 있습니다.

세계적인 식품 안전 문제를 해결하기 위해 전 세계 규제 기관에서는 다양한 식품, 재료 및 첨가물에 함유된 다양한 원소 오염물질에 대한 최대 허용 농도를 공표하고 규제하고 있습니다. 예를 들어, 미국 식품의약국(USFDA) 연방규정집 제21편(21 CFR) 제1장 B 하위장 제100부-199부에는 사람의 소비를 목적으로 하는 식품 및 첨가물의 생산과 품질에 적용되는 규정이 포함되어 있습니다.⁵ 인도에서는 인도식품안전표준기관(FSSAI)이 다양한 식품에 허용되는 독소, 잔류물 및 오염물질(중금속 포함)의 최대 수준을 규제합니다. 표 1에는 FSSAI 식품안전표준(오염물질, 독소 및 잔류물) 규정 1차 개정안, 2020에 명시된 코코넛 제품 내 규제 오염 원소의 최대 허용 농도가 나와 있습니다.⁶

표 1. FSSAI 규정에 명시된 코코넛 제품 내 원소 오염물질의 최대 허용 농도.

원소	최대 농도, ppm
납	0.1*
구리	30
비소	0.1*
주석	250
카드뮴	1.5
수은	1
니켈	1.5

* Pb와 As에 대한 제한은 코코넛 오일에만 적용됩니다. 다른 오염물질 원소에 대한 제한은 비특정 식품에 대한 일반적인 한도입니다.

ICP-MS는 식품 생산 및 모니터링을 포함한 다양한 산업 분야에서 시료의 미량 원소를 확인하는 데 널리 사용됩니다. ICP-MS 기술의 주요 장점은 검출 한계가 낮고, 다중 원소 분석이 가능하며, 처리량이 높고, 스펙트럼 간섭이 비교적 적어 정확도가 좋다는 것입니다.

Agilent 7850 ICP-MS는 ICP-MS 기술이나 애질런트 시스템에 생소한 실험실을 포함하여 식품의 원소 오염물질을 분석해야 하는 식품 테스트 실험실에 이상적인 기기입니다. 7850은 검증된 하드웨어 성능, 유용한 소프트웨어 프리셋, 내장된 분석법과 보고서 템플릿, 사용 편의성을 갖춘 기능을 결합하여 분석 워크플로의 모든 측면을 간소화합니다. 7850의 매우 견고한 플라즈마 이온 소스는 다양한 유형의 시료를 쉽게 처리하여 정확한 데이터, 우수한 장기 안정성, 낮은 유지보수를 보장합니다. 7850은 헬륨(He) 충돌 셀 모드와 운동 에너지 판별(KED)^{7,8}(He KED 모드라고 함)을 사용하여 일반적인 스펙트럼 간섭을 제어하고, 이중 하전 간섭은 Agilent ICP-MS MassHunter 소프트웨어의 반질량 보정을 사용하여 처리할 수 있습니다.⁹ 이러한 기능은 정확한 결과를 보장하는 데 도움이 되며 시료 재측정 필요성을 줄여줍니다. 이 기기는 10차 선형 측정 범위를 가지고 있어 주요 분석물질과 미량 분석물질을 한 번의 실행으로 측정할 수 있으므로 분석법 설정이 간단하고 범위를 벗어난 결과로 인한 재실행 횟수가 줄어듭니다.

7850에는 또한 Agilent Ultra High Matrix Introduction(UHMI) 에어로졸 희석 기술이 표준으로 포함되어 있습니다. UHMI는 이미 뛰어난 7850의 플라즈마 견고성을 더욱 향상시켜 이 기기에서 퍼센트 수준의 총 용존 고형물(TDS)이 들어 있는 시료를 처리할 수 있게 해줍니다.¹⁰ ICP-MS MassHunter의 IntelliQuant 기능은 분석자가 QuickScan 전체 질량 스펙트럼 데이터에서 최대 78개 원소에 대한 반정량 결과를 얻을 수 있도록 해주는 유용한 스크리닝 기능도 제공합니다. QuickScan은 수집당 시간을 2초만 추가시키며 원소별 검량 표준이 필요하지 않습니다. IntelliQuant의 주기율표 "heat map" 보기는 시료 내 모든 원소의 농도에 대한 빠르고 간단한 개요를 제공하여 분석자가 정량 분석에 포함되지 않은 예상치 못한 오염물질을 식별하는 데 도움을 줍니다.¹¹

이 연구에서는 코코넛 제품의 원소 오염물질을 분석하기 위해 7850 ICP-MS 시스템을 사용하는 방법에 대해 설명합니다. 분석물 목록에는 FSSAI 규정에 명시된 Pb, Cu, As, Sn, Cd, Hg, Ni이 포함되었습니다. 여러 가지 인기 있는 코코넛 기반 식품 제품의 시료를 마이크로웨이브로 분해하여 7850 ICP-MS로 분석했고, Agilent SPS 4 자동 시료 주입기를 이용해 시료를 공급했습니다. 측정된 원소 농도가 FSSAI 규정에 명시된 한도를 준수하는지 평가했습니다.

실험

코코넛 제품 시료

코코넛 오일, 코코넛 밀크, 건조 코코넛 가루 등 코코넛 기반 식품 3가지를 연구 대상으로 선정했습니다. 상업적으로 판매되는 이러한 제품은 인도 방갈로르의 지역 슈퍼마켓에서 구입했습니다.

시료 전처리

각 코코넛 제품에 대해 $0.5g \pm 0.001g$ 의 시료를 마이크로웨이브 분해 용기에 넣어 3개의 시료를 준비했습니다. 그런 다음 8mL의 미량 금속 등급 질산(HNO_3) 및 0.5mL의 미량 금속 등급 염산(HCl)을 각 용기에 첨가했습니다. 표 2에 설명된 프로그램을 사용하여 Anton-Paar Go 마이크로웨이브 분해 시스템에서 시료를 분해했습니다. 이렇게 만들어진 투명한 시료 용액을 탈이온수를 이용해 25mL로 희석했습니다. 7850 ICP-MS를 사용하여 준비된 시료의 미량 금속 함량을 분석했습니다. 분석법 블랭크와 스파이킹 시료를 코코넛 시료와 함께 준비했습니다. 시료 준비와 분석 과정을 그림 1에 개략적으로 나타내었습니다.

표 2. 코코넛 시료 준비를 위한 마이크로웨이브 분해 프로그램.

단계	램핑 시간(분)	온도(°C)	유지 시간(분)
1	10	120	5
2	10	160	5
3	10	180	20

검량 표준물질

검량 표준물질은 2% HNO_3 와 1% HCl의 매트릭스에서 준비했습니다. ICP-MS 분석을 위해 통상적으로 HCl이 시료에 첨가되는데, HCl이 존재하면 HNO_3 만으로는 화학적으로 불안정한 Hg와 같은 원소가 용액에 유지되기 때문입니다. HCl에서 형성되는 Cl 기반 다원자 간섭은 모든 애질런트 ICP-MS 시스템에 표준으로 탑재된 He KED 모드를 사용하여 쉽게 제어할 수 있습니다.⁶ 검량 표준물질은 다원소 검량 표준물질-2A(품번 8500-6940)와 Hg용 Part 2, 그리고 다원소 표준물질 3(품번 8500-6948)을 포함한 애질런트 혼합 용액을 사용하여 준비했습니다. 대부분의 원소는 0.05-1000ppb 범위에서 검량되었고, Hg는 0.05-10ppb 범위에서 검량되었습니다.

600ppb의 Li, Sc, Ge, Rh, Tb, Lu 및 Bi(애질런트 품번 5188-6525)와 Ir(Hg에 대한 권장 ISTD)을 포함하는 내부 표준물질(ISTD) 용액은 1% HNO_3 에서 준비했습니다. 시료 희석을 최소화하고 가능한 최상의 검출 한계를 유지하기 위해 내부 표준물질 용액을 시료 흐름보다 약 16배 낮은 유량으로 온라인 첨가했습니다.

기기

분석에 Agilent 7850 ICP-MS를 사용하였습니다. 7850에는 퍼센트 수준의 매트릭스를 일상적으로 분석할 수 있도록 플라즈마 견고성을 더욱 강화하는 UHMI 에어로졸 희석 시스템과 일반적인 다원자 간섭을 간단하고 안정적으로 제어할 수 있는 ORS⁴ 충돌/반응 셀이 포함되어 있습니다. 7850에는 MicroMist 유리 동심 네블라이저, 온도 조절식 석영 스프레이 챔버 및 2.5mm 내경 주입기가 있는 석영 토치로 구성된 표준 시료 주입 시스템이 장착되어 있습니다. 니켈 스키머 콘과 함께 니켈 도금 구리 샘플링 콘을 사용했습니다.

시료 준비에는 총 희석 배수 50(최종 용량이 25mL가 되도록 0.5g 시료를 준비)이 적용되었으므로, 분해물의 매트릭스 수준은 최대 2% TDS에 이를 수 있습니다. 그러나 식물성 기름이나 견과류 기름과 같은 식품은 일반적으로 유기물 함량이 매우 높는데, 이는 마이크로웨이브 분해 과정에서 파괴되므로 이 연구에서 분석한 용액은 매트릭스 수준이 비교적 낮았습니다. 애질런트 ICP-MS 시스템은 우수한 매트릭스 내성(견고한 고온의 플라즈마 조건)을 위해 정기적으로 최적화되므로 이 연구에서 분석한 시료에는 UHMI 에어로졸 희석이 필요하지 않았습니다. ICP-MS MassHunter 소프트웨어의 범용 autotune 기능을 사용하여 기기 조건을 최적화했습니다. ArO, C₂, ArC, ArCl 등과 같은 잠재적인 백그라운드 및 매트릭스 기반 다원자 간섭을 효과적으로 제어하기 위해 He KED 모드에서 모든 분석물을 수집했습니다. 기기 작동 조건은 표 3에 나타냈습니다.

표 3. Agilent 7850 ICP-MS 범용 프리셋 조건.

ICP-MS 파라미터	설정
RF 전력(W)	1550
샘플링 깊이(mm)	10
네블라이저 가스 유량(L/분)	0.8
렌즈 튜닝	autotune
He 셀 가스 유량(mL/분)	5.0
KED 바이어스(V)	5

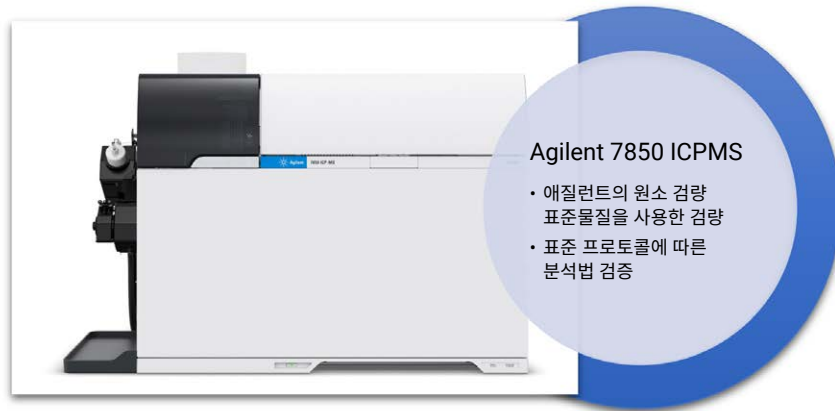


그림 1. 코코넛 제품의 시료 준비와 분석을 위한 워크플로 다이어그램.

결과 및 토의

대표적인 검량 곡선을 그림 2에 나타내었습니다. 상관 계수, 기기 검출 한계(IDL), 분석법 검출 한계(MDL)와 같은 검량 파라미터는 표 4에 나와 있습니다. MDL은 시료 실행이 끝날 때 측정한 6개의 별도 분석법(분해) 블랭크를 기준으로 계산했으며 희석 배수 50으로 보정했습니다.

표 4. 용액 내에서, 그리고 희석 보정 후의 검량 직선성과 DL.

분석 물질	R 값	IDL (ppb)	시료의 MDL (ppb)
⁶⁰ Ni	0.9999	0.013	0.625
⁶³ Cu	1.0000	0.007	0.357
⁷⁵ As	0.9999	0.015	0.747
¹¹¹ Cd	1.0000	0.007	0.347
¹¹⁸ Sn	1.0000	0.010	0.524
²⁰⁸ Pb*	1.0000	0.001	0.049
²⁰¹ Hg	0.9999	0.013	0.673

*Pb는 가장 양이 많은 세 가지 동위원소 206, 207, 208의 총합으로 측정했습니다.

7850 ICP-MS는 모든 원소에 대해 우수한 직선성을 보였으며, 표 4에 나타난 모든 검량 원소의 상관 계수(R 값)가 0.9999보다 우수했습니다. 원래 코코넛 제품 시료의 MDL은 모두 낮은 ppb 또는 ppb 이하 수준이었습니다. 이러한 한도는 사람의 소비를 목적으로 하는 코코넛 오일에 대한 FSSAI 규정 2020년 개정안에 명시된 요건을 충분히 충족합니다(표 1).

코코넛 제품의 미량 원소에 대한 정량 결과

표 5에는 코코넛 제품에서 측정된 7가지 목표 원소에 대한 평균 정량 결과와 상대 표준 편차(RSD)를 요약했습니다.

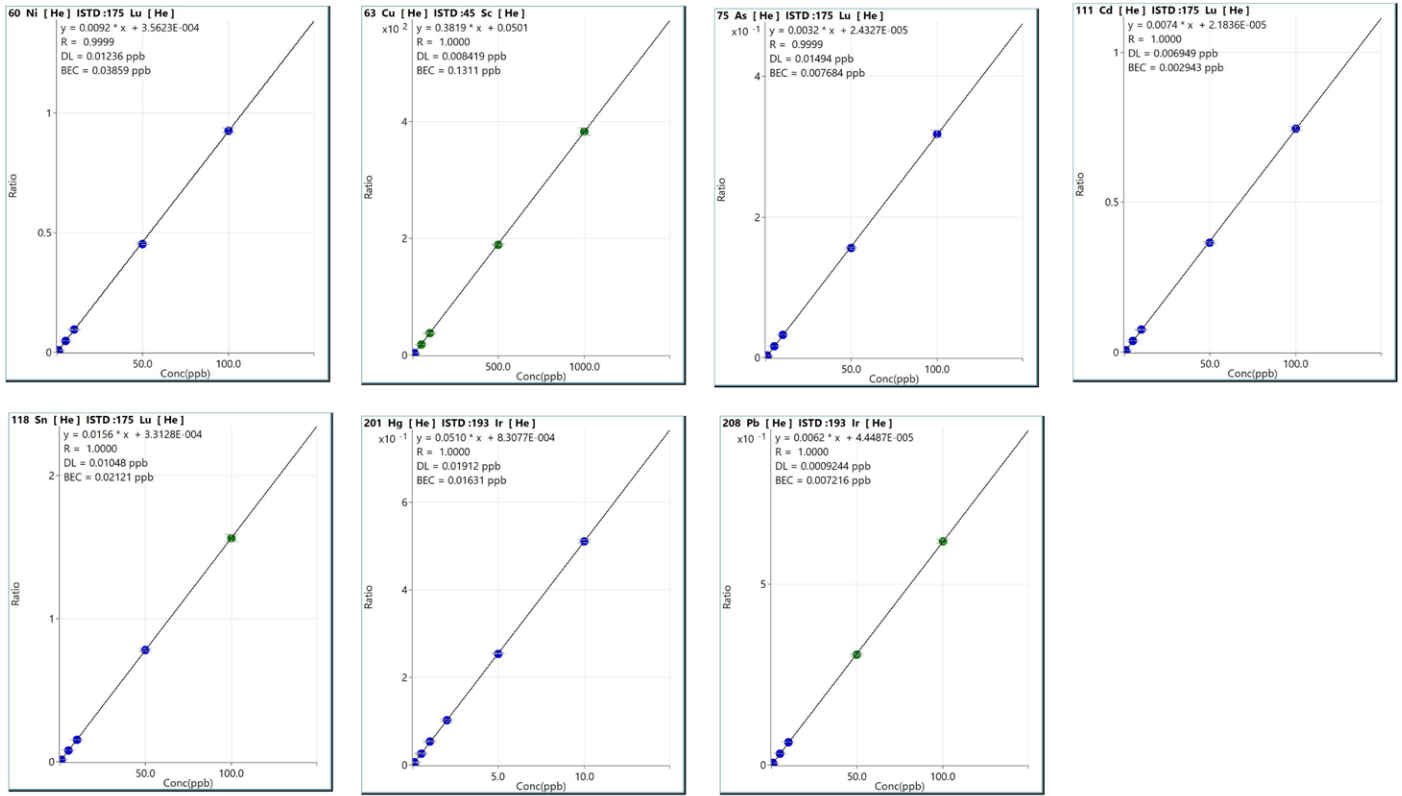


그림 2. FFAI 규정에서 요구하는 원소에 대한 검량 곡선.

표 5. 코코넛 제품의 원소에 대한 희석 보정된 정량 결과($\mu\text{g/g}$, ppm)(n=6).

원소	코코넛 오일		코코넛 밀크		코코넛 파우더	
	평균	%RSD	평균	%RSD	평균	%RSD
^{60}Ni	< MDL		0.35	3.28	2.79	3.79
^{63}Cu	0.32	3.17	1.28	3.40	10.47	3.59
^{75}As	< MDL		< MDL		< MDL	
^{111}Cd	< MDL		< MDL		< MDL	
^{118}Sn	< MDL		< MDL		< MDL	
^{201}Hg	< MDL		< MDL		< MDL	
$^{208}\text{Pb}^*$	< MDL		< MDL		< MDL	

*Pb는 가장 양이 많은 세가지 동위원소 206, 207, 208의 총합으로 측정했습니다

스파이크 회수율

코코넛 제품의 원소 오염물질을 판별하기 위한 분석법을 다단계 스파이크 회수율 테스트를 통해 검증했습니다. 시료 분해 후, 다중 원소 표준물질을 이용하여 시료 용액을 다음 세 가지 수준으로 스파이킹했습니다. 레벨 1, 0.005mg/kg; 레벨 2, 0.01mg/kg;

레벨 3, 0.02mg/kg. 그림 3은 세 가지 코코넛 시료 분해 각각에서 세 가지 스파이크 레벨에 대한 스파이크 회수율 데이터를 보여줍니다. 모든 스파이크 회수율은 AOAC 표준 분석법 성능 요건 가이드라인에 정의된 80-120%의 허용 기준을 충족했습니다.¹²

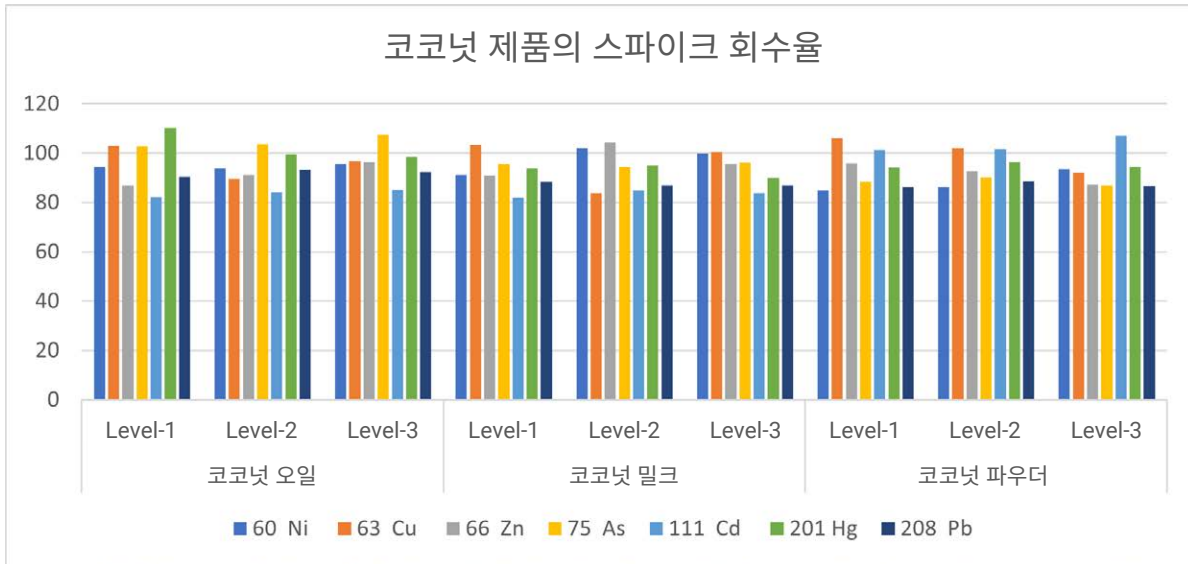


그림 3. 코코넛 제품 시료 분해에서 세 가지 스파이크 수준에 대한 스파이크 회수율(%)입니다.

재현성 연구

이 연구에 기술된 전체 시료 준비 및 분석법의 재현성을 확인하기 위해 시료 용액에 특정 농도를 첨가한 후 2일(n=6)에 걸쳐 코코넛 시료 분석을 독립적으로 수행했습니다. 일간 재현성을 일중 반복성과 비교했습니다. 표 6에 나타난 결과는 7850 ICP-MS를 사용한 시료 준비 방법과 정량 분석의 재현성이 우수함을 보여줍니다.

ISTD 회수율(%)

이 연구를 위해 수행된 전체 분석 과정(검량 표준물질, 시료, 스파이크, 분석법 블랭크 포함)의 실행 시간은 약 2시간이었습니다. 그림 4는 하나의 완전한 시료 배치에 대한 ISTD 안정성 제어 차트를 보여줍니다. ISTD 회복율은 검량 블랭크의 신호에 맞춰 정규화됩니다. 모든 ISTD 회수율 플롯은 $\pm 20\%$ 이내였으며, 실행 내내 내부 표준 오류가 발생하지 않았습니다. 이러한 결과는 7850 ICP-MS의 안정성과 매트릭스 내성이 뛰어난 것을 보여줍니다. 작업 과정 동안 저질량 및 고질량 ISTD 원소에 대한 신호에서 유의미한 신호 drift나 발산은 관찰되지 않았습니다. 회수율 테스트 결과, 플라즈마가 다양한 시료 매트릭스를 효과적으로 분해할 수 있는 것으로 나타났습니다.

표 6. 코코넛 제품의 원소 오염물질에 대한 일중 반복성과 일간 재현성. 농도 단위: $\mu\text{g/g}$.

분석 물질	코코넛 오일				코코넛 밀크				코코넛 파우더			
	반복성(n=6)		재현성(n=12)		반복성(n=6)		재현성(n=12)		반복성(n=6)		재현성(n=12)	
	평균	%RSD	평균	%RSD	평균	%RSD	평균	%RSD	평균	%RSD	평균	%RSD
⁶⁰ Ni	0.52	2.41	0.51	3.18	0.60	3.57	0.60	3.49	3.05	1.40	3.07	1.43
⁶³ Cu	0.87	2.26	0.86	3.33	1.42	3.26	1.42	3.83	9.78	1.59	9.98	2.76
⁷⁵ As	0.63	2.64	0.62	3.70	0.32	4.84	0.31	4.90	0.53	2.77	0.53	2.07
¹¹¹ Cd	0.50	2.22	0.48	4.75	0.30	3.63	0.30	4.52	0.46	1.99	0.45	3.08
¹¹⁸ Sn	0.54	2.04	0.55	2.49	0.35	3.40	0.35	3.29	0.49	1.38	0.51	3.69
²⁰¹ Hg	0.51	3.01	0.50	4.24	0.29	3.37	0.29	3.40	0.43	1.71	0.41	4.57
²⁰⁸ Pb*	0.52	2.71	0.54	3.71	0.30	2.96	0.32	4.91	0.44	2.16	0.44	2.35

*Pb는 가장 양이 많은 세 가지 동위원소 206, 207, 208의 총합으로 측정했습니다.

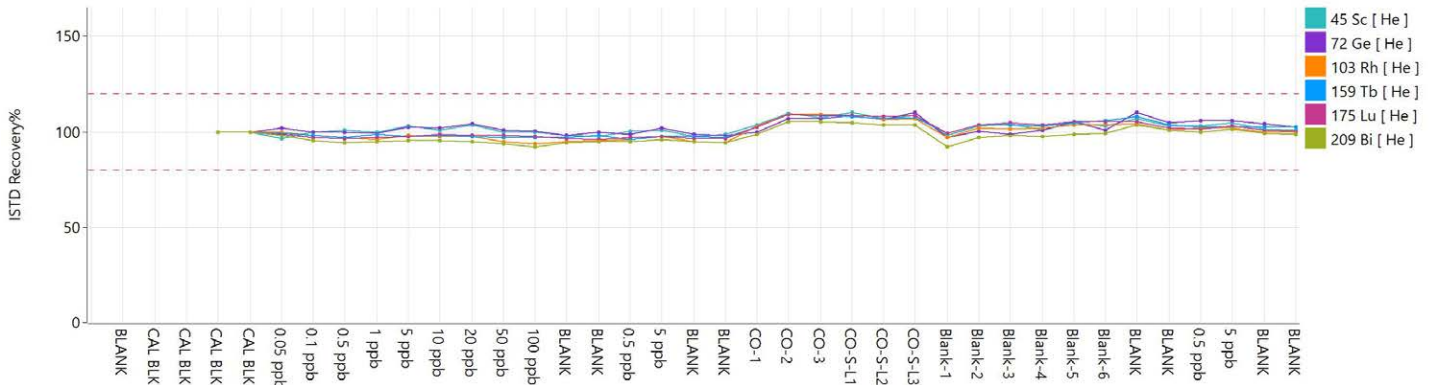


그림 4. 2시간 동안의 ISTD 측정의 안정성.

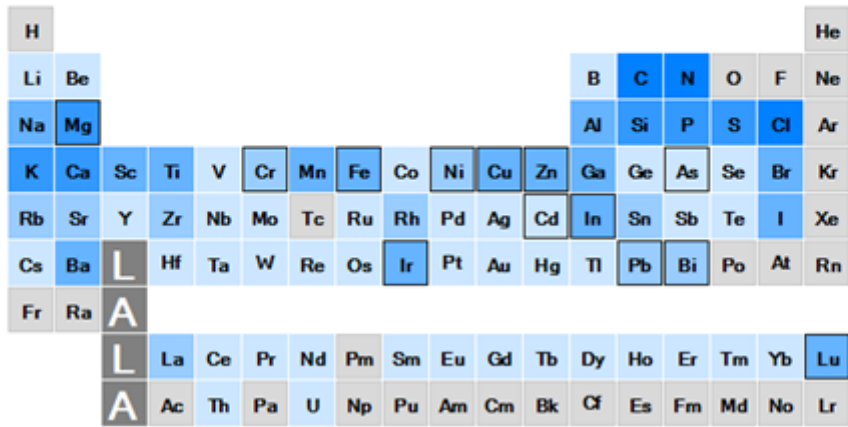
IntelliQuant 데이터

분석자가 프리셋 분석법을 기반으로 ICP-MS MassHunter에서 분석법을 생성하면 He 모드의 IntelliQuant QuickScan 수집이 분석법에 자동으로 포함됩니다. QuickScan은 단 2초의 추가 측정 시간만으로 모든 질량에 대한 데이터를 수집합니다. QuickScan을 사용하면 각 시료에 존재하는 원소를 빠르게 파악할 수 있으므로 알려지지 않은 시료를 스크리닝하는 데 적합합니다. QuickScan은 정량 분석에 포함되지 않은 예상치 못한 원소를 식별하고 측정된 질량 스펙트럼을 이론적인 동위원소 존재비와 자동으로 비교하여 해당 원소의 유무를 확인하는 데 사용할 수 있습니다.

IntelliQuant는 QuickScan 데이터를 사용하여 저장된 질량/응답 곡선을 기반으로 최대 78개 원소의 반정량적 농도를 계산합니다. 특별한 설정이나 별도의 검량이 필요하지 않아 분석이 간소화됩니다. IntelliQuant 데이터는 He KED 모드에서 수집되므로 다원자 이온 중첩으로 인한 분석물질의 오류가 거의 없어 데이터 품질이 보장됩니다.

이 연구에서는 세 가지 유형의 코코넛 제품 각각에 대한 QuickScan 데이터를 수집하고 IntelliQuant를 사용하여 각 시료에서 측정된 "모든 원소"의 농도를 계산했습니다. QuickScan 데이터는 그림 5, 6 및 7과 같이 코코넛 오일, 코코넛 밀크, 코코넛 파우더에 대한 주기율표 heat map으로 각각 표시될 수 있습니다. 각 원소의 색 강도는 선택한 시료에서 해당 원소의 농도를 나타내며, 색이 어두울수록 농도가 높음을 나타냅니다. 데이터를 농도 값이 나열된 기존 표로도 나타낼 수 있습니다.

나트륨을 예로 들어보면 코코넛 오일의 heat map은 188ppb로 비교적 낮은 함량을 나타냅니다(그림 5). 코코넛 오일은 일반적으로 과육을 냉간 압착하여 생산되는데, 이렇게 하면 추가 성분을 사용할 필요가 없습니다. 주로 식품에 사용되는 코코넛 밀크의 경우, 방부 효과와 맛을 내기 위해 염화나트륨이 첨가됩니다. 이러한 소금 첨가로 인해 나트륨 함량이 78ppm으로 높아졌습니다(그림 6). 그림 7은 건조된 코코넛 파우더의 나트륨 함량이 5ppm임을 보여줍니다. 이는 제조 과정에서 오일과 과육에 함유된 나트륨 함량이 합쳐져 농축된 결과일 가능성이 높습니다.



Na

IntelliQuant에 따른 농도

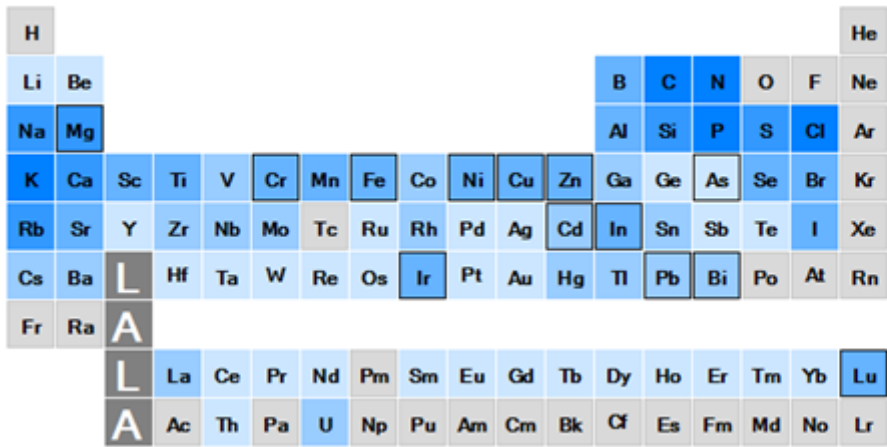
188.124 ppb

총 매트릭스 고형분

34.193ppm

- > 100ppm
- 1ppm-100ppm
- 10ppb-1ppm
- < 10ppb
- < DL

그림 5. 코코넛 오일 시료의 IntelliQuant 주기율표 heat map 보기.



Na

IntelliQuant에 따른 농도

78236.365ppb

총 매트릭스 고형분

864.782ppm

- > 100ppm
- 1ppm - 100ppm
- 10ppb - 1ppm
- < 10ppb
- < DL

그림 6. 코코넛 밀크 시료의 IntelliQuant 주기율표 heat map 보기.

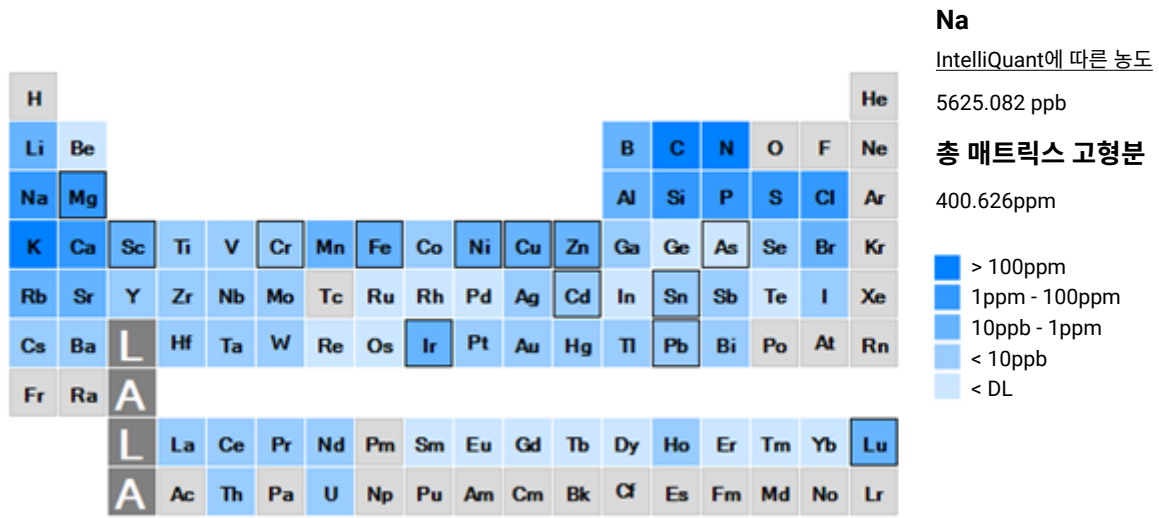


그림 7. 코코넛 파우더 시료의 IntelliQuant 주기율표 heat map 보기.

결론

코코넛 오일, 코코넛 밀크, 코코넛 파우더 등 식용 코코넛 제품의 중금속과 미량 원소를 정량하기 위해 Agilent 7850 ICP-MS를 사용했습니다. 분석을 위한 시료 준비에 마이크로웨이브를 이용한 분해가 사용되었습니다. 모든 분석물질에 대해 우수한 검량 직선성이 얻어졌는데, 0.05-1000ppb(Hg의 경우 0.05-10ppb)의 검량 범위에서 선형 회귀가 관찰되었습니다. 세 가지 농도 수준에서 수행된 스파이크 회수율 연구를 통해 데이터 검증을 수행했습니다. 일중 재현성 연구를 수행했으며, 데이터를 비교한 결과, 일간 재현성은 일중 반복성과 비슷하게 우수한 것으로 나타났습니다. 이러한 결과는 이 분석법이 FSSAI 규정에 따라 식용 코코넛 제품의 다양한 원소를 일상적으로 검출하고 정확하게 정량하는 데 적합함을 확인시켜 줍니다.

참고 자료

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations, [FAOSTAT](#) (2025년 5월 25일 접속)
2. Warsakoon, W.M.M.P.D.K.; Wikramasinghe, I.; Ranaweera, K.K.D.S.; Purasinghe, S.S. Preliminary Study on Heavy Metals in Coconut and Coconut Products, *Cord*, **2010**, 26 (1)
3. Famurewa, A. C.; Ekeleme-Egedigwe, C. A.; Onyebao, C.; Kanu, S. C.; Besong, E. E.; Maduagwuna, E. K. Comparative assessment of different coconut oils: Chromatographic and spectrometric analyses of pesticide residues, toxic heavy metals, and associated contents, *Measurement: Food*, **2023**, 10, 100082

4. González-Torres, P.; Puentes, J.G.; Moya, A.J.; La Rubia, M.D. Comparative Study of the Presence of Heavy Metals in Edible Vegetable Oils, *Applied Science*, **2023**, 13, 3020
5. United States Food and Drugs Administration, Code of Federal Regulation-Title 21, [eCFR :: 21 CFR Chapter I Subchapter B -- Food for Human Consumption](#) (2025년 5월 25일 접속)
6. Ministry of Health and Family Welfare, Food Safety and Standards Authority of India, August 2020, p 18, [5f3d09f97b78aGazette_Notification_Limit_Metal_19_08_2020.pdf \(fssai.gov.in\)](#)(2025년 5월 25일 접속)
7. Octopole 충돌/반응 셀 및 헬륨 모드, Agilent 발행물, [5994-1172KO](#)
8. Enhanced Helium Mode Cell Performance for Improved Interference Removal in ICP-MS, Agilent 발행물, [5990-7573EN](#)
9. Kubota, T. Agilent ICP-MS MassHunter를 사용한 2가 전하 이온 간섭의 보정 단순화, Agilent 발행물, [5994-1435KO](#)
10. Agilent 고매질 시료 주입(UHMI), Agilent 발행물, [5994-1170KO](#)
11. Agilent ICP-MS IntelliQuant Software: For greater sample insight and confidence in results, Agilent 발행물, [5994-1677EN](#)
12. AOAC INTERNATIONAL (2019). SMPR® 2019.003 Standard Method Performance Requirements. Appendix F, 1-18, AOAC International, Rockville, MD, USA

이 응용 연구에 사용된 제품

애질런트 제품

[7850 ICP-MS](#) 

[SPS 4 자동 시료 주입기](#) 

[다원소 검량 표준물질-2A](#) 

[다원소 검량 표준물질 3](#) 

[ICP-MS 시스템용 내부 표준 혼합물](#) 

www.agilent.com/chem/7850icpms

DE-006016

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2025
2025년 6월 3일, 한국에서 발행
5994-8417KO

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