

Agilent 6475 QQQ LC/MS 시스템을 사용한 산업 폐수에서의 표적 PFAS 분석



저자

Aimei Zou
Agilent Technologies, Inc.

개요

이 응용 자료에서는 폐수 매트릭스에서 과불화화합물(PFAS)의 정량 분석과 관련된 산업 제조업체의 규제 요구 사항에 중점을 둡니다. 미국 환경보호청(EPA) Method 1633의 범위를 넘어, 71종의 native PFAS 화합물과 37종의 표지 PFAS 화합물을 포함한 포괄적인 표적 목록을 폐수 시료를 사용하여 철저히 조사하고 분석했습니다. 시료 추출은 Agilent Bond Elut PFAS WAX SPE 카트리지를 사용하여 수행했습니다. PFAS 정량 분석은 Agilent 1290 Infinity II 액체 크로마토그래프(LC) 시스템과 Agilent 6475 QQQ 질량 분석기(LC/TQ)를 결합하여 수행했습니다. 직선성, 감도, 정확도 및 정밀도를 포함한 분석 성능 파라미터를 검증했습니다. 또한, 폐수 시료의 분석 결과에 대해 자세한 논의를 진행했습니다.

소개

PFAS는 광범위한 응용으로 인해 중요한 환경 오염물질로 떠오르고 있습니다. 이러한 화합물은 안정적인 탄소-불소 결합을 특징으로 하며, 분해 과정에 대한 저항력이 뛰어납니다. 이러한 저항력으로 인해 환경 내에서 잔류하게 되고 지표수에서의 잠재적 축적을 초래합니다. 산업 환경에서 PFAS는 소방 폼 생산, 금속 도금, 반도체 제조 등의 공정에 유용하게 사용됩니다.¹⁻⁴ 결과적으로, 산업 폐수 흐름은 PFAS 오염의 주요 원인이 되어 주변 생태계에 잠재적으로 유해한 노출을 초래합니다.⁴ 다양한 PFAS의 제조와 사용은 유럽연합의 잔류성 유기 오염물질(EU POPs) 규정과 화학물질의 등록, 평가, 허가 및 제한(REACH)에 따라 금지되거나 제한되고 있습니다. ⁶⁹ 미국 EPA는 2024년 1월에 폐수를 포함한 다양한 매트릭스에서 PFAS를 검출하고 정량화하기 위한 표준 분석 프로토콜인 Method 1633을 발표했습니다.⁶

산업 폐수 내 PFAS를 정확하게 정량화 하는 것은 규제 준수, 환경 모니터링 및 위험 평가에 있어 필수적입니다. 액체 크로마토그래피/탠덤 질량 분석법(LC/MS/MS)은 산업 폐수와 같은 복잡한 매트릭스에서 PFAS 화합물을 정확하게 식별하고 정량화하는 강력한 분석 기술로 부상했습니다.

이 응용 자료에서는 산업 폐수에서 신규 PFAS와 기존 PFAS 정량화를 위한 포괄적인 접근 방식을 제시합니다. 1290 Infinity II LC와 6475 LC/TQ로 분석합니다. 이 자료에는 분석법, 분석 파라미터 및 획득한 결과가 자세히 설명되어 있습니다. 수집 방법은 100종 이상의 native PFAS 및 동위원소 표지된 PFAS를 포함하는 Agilent PFAS MRM 데이터베이스를 기반으로 합니다. 본 연구에서는 EPA Method 1633에 따라 시료 전처리에 Bond Elut PFAS WAX 카트리지를 이용한 고체상 추출(SPE) 방법을 적용했습니다. 이 응용 자료는 산업 폐수 중 PFAS 오염으로 인한 환경적 영향을 이해하고 완화하기 위한 지속적인 노력에 기여하는데 목표를 두고 있습니다.

실험

화학물질 및 표준물질

이 연구에 화학물질과 용매는 모두 LC/MS 등급을 사용했습니다. 초순수는 Milli-Q 정수 시스템(Merck Millipore, 미국)에서 생성하였습니다.

Native 및 동위원소 표지 PFAS 분석 표준물질은 Wellington Laboratories Inc.(Guelph, ON, 캐나다)와 Toronto Research Chemicals(Toronto, ON, 캐나다)에서 개별 원액, 용액 혼합물, 분말 표준물질 등의 형태로 구입하였습니다. 검량 표준물질의 준비는 Agilent PFAS eMethod 솔루션(제품 번호 G5285AA)의 워크플로 가이드에 명시된 절차를 따랐습니다.

기기

Agilent 1290 Infinity II LC 시스템 운영 조건과 6475 LC/TQ 기기 파라미터는 Agilent PFAS MRM 데이터베이스로 불리는 표 1에 자세히 설명되어 있습니다. 용매와 LC 유로에서 PFAS 오염을 최소화하기 위해 표준 LC 대신 Agilent PFC(폴리플루오르화 화합물)-free HPLC 변환 키트(제품 번호 5004-0006)를 설치했습니다. 데이터 처리는 Agilent MassHunter LC/MS Acquisition 소프트웨어 버전 12.0과 Quantitative Analysis 소프트웨어 버전 12.0을 사용했습니다.

표 1. LC 조건 및 MS 소스 파라미터.

Agilent 1290 Infinity II LC 조건			
분석 컬럼	Agilent ZORBAX RRHD Eclipse Plus C18, 95Å, 2.1 × 100mm, 1.8µm, 1200bar pressure limit (제품번호 959758-902)		
UHPLC Guard	Agilent ZORBAX RRHD Eclipse Plus C18, 2.1mm, 1.8µm, 1200bar pressure limit, UHPLC Guard (제품번호 821725-901)		
컬럼 온도	55°C		
주입량	5µL		
자동 시료 주입기 온도	5°C		
이동상 A	5mM 아세트산 암모늄 수용액		
이동상 B	Methanol		
이동상 유량	0.4mL/분		
그라디언트	시간(분)	%A	%B
	0.00	85	15
	1.00	85	15
	1.50	45	55
	5.50	30	70
	7.00	20	80
	12.00	0	100
	14.40	0	100
14.50	85	15	
정지 시간	14.5분		
사후 시간	2.5분		
니들 세척	Multiwash		
세척 용매 1(S1)	15:85 메탄올:물		
세척 용매 2(S2)	1:1 아세토니트릴:2-프로판올		
Agilent 6475 MS 파라미터			
이온화원	Agilent AJS ESI		
극성	Negative		
Q1 및 Q3 분리능	단위		
주기 시간	580ms		
가스 온도	230°C		
가스 유량	6L/분		
Nebulizer	20psi		
Sheath 가스 온도	375°C		
Sheath 가스 유량	12L/분		
캐필러리(Negative)	2,500V		
노즐 전압	0V		

시료 추출

이 연구에 사용된 산업 폐수 시료는 지역 기관에서 제공받았습니다. EPA 1633에 따른 시료 전처리 절차는 그림 1에 자세히 설명되어 있습니다. 우선, 방부 처리하지 않은 폐수 시료 10mL를 15mL 폴리프로필렌(PP) 원추형 튜브에 넣고 추출 내부 표준물질(EIS)로 사용하기 위해 대체물질로 강화했습니다. SPE 카트리지를 장착하기 전에 수산화 암모늄이나 아세트산을 사용하여 시료 pH를 6~7 사이로 조정했습니다. 매트릭스 스파이크 품질 관리(QC) 시료를 준비하기 위해, 적정량의 native PFAS 혼합 용액을 폐수 시료에 첨가하여 저농도 스파이크 QC(LSQ) 및 고농도 스파이크 QC(HSQ)를 만들었습니다. 매트릭스 바탕시료는 native PFAS 표준물질을 추가하지 않고 준비했습니다. SPE 셋업, 카트리지를 컨디셔닝, 시료 로딩 및 용출, Carbon S 정제, 농축 및 재구성 단계를 포함한 전체 과정은 그림 1에 자세히 나와 있습니다.

최종 시료의 사전 농축 계수는 20배였습니다. 중요한 점은, 추출되지 않은 내부 표준물질(NIS)이 전처리 후 주입 전에 첨가되었으며 대체물질로 EIS 회수율을 보고하는 데 사용되었습니다.⁶



그림 1. 폐수 시료 추출 절차.

결과 및 토의

초기 검량 성능

Native PFAS(표적 분석물질), 대체물질(EIS), 동위원소 성능 표준물질(NIS)을 포함한 일련의 검량액을 사용하여 분석 기기의 초기 검량을 얻었습니다. 용액 내 표적 분석물질의 농도는 기기의 작동 범위에 맞춰 다양하게 조절한 반면, EIS와 NIS의 농도는

일정하게 유지했습니다. 최소 7개의 연속된 검량 표준물질을 사용하여 각 표적 분석물질에 대해 상대 표준 오차(RSE) $\leq 20\%$ 를 얻었습니다. 각 검량 표준물질의 정확도와 정밀도는 각각 일반적으로 허용 가능한 범위인 70~130% 및 $\leq 20\%$ (n = 3)에 부합했습니다. 그림 2는 PFPeS, PFHxPA, PFMBA 및 PFBS의 4가지 대표적 분석물질에 대한 초기 검량 그래프를 보여줍니다.

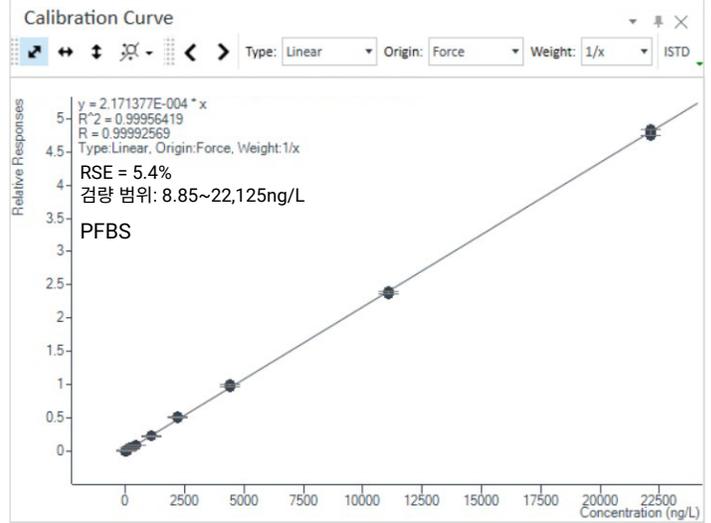
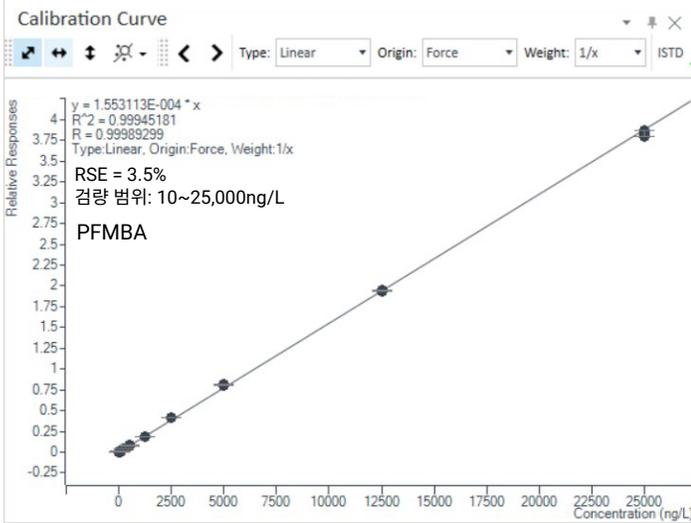
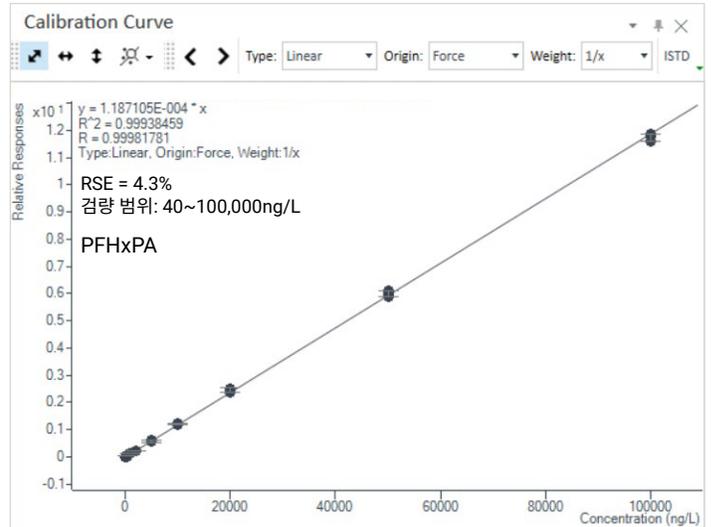
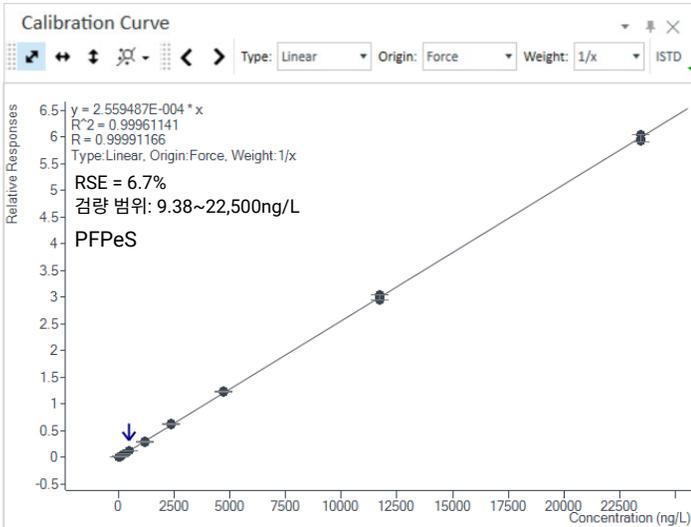


그림 2. PFPeS, PFHxPA, PFMBA 및 PFBS에 대한 선형 검량선(농도당 3회 주입).

분석법 감도

파일럿 연구 중, 스파이크 되지 않은 산업 폐수(매트릭스 바탕시료)를 분석한 결과 많은 양의 native PFAS가 검출되었습니다. 따라서 이 매트릭스는 분석법 검출 한계(MDL)를 평가에 적합하지 않았습니다.⁷ 이 연구에서는 정량 한계(LOQ)를 기준으로 분석법 감도를 평가했으며, LOQ는 가장 낮은 초기 검량 표준물질의 농도 이상으로 설정되었습니다. 이는 EPA Method 1633에 설명된 성능 기준을 충족했습니다.⁶ 모든 표적 분석물질에 대한 LOQ를 표 2에 요약했으며, 녹색으로 강조된 화합물은 EPA 1633에 포함된 화합물입니다. 표 2에서 볼 수 있듯이, 이 연구에서 얻은 LOQ는 모두 EPA 1633에 등재된 수용성 매트릭스의 LOQ 값보다 낮거나 해당 범위 내에 있었습니다. 이러한 결과는 6475 LC/TQ를 사용한 분석법의 감도가 높음을 보여줍니다.

분석법 정확도 및 정밀도

분석법의 정확도와 정밀도는 각각 QC 회수율과 회수율의 %RSD를 기준으로 평가했습니다. 저농도 스파이크 QC(LSQ, 농도 범위 0.0125~0.125µg/kg)와 고농도 스파이크 QC(HSQ, 농도 범위 0.25~2.5µg/kg)는 3회 반복하여 전체 시료 추출 절차에 따라 수행했습니다. QC에서 각 분석물질의 측정 농도는 스파이크 되지 않은 폐수 시료에 존재하는 native 레벨을 빼고 보정했습니다. 분석법 회수율은 평균 백분율 회수율에 따라 계산되었으며, 분석법 정확도는 회수율의 %RSD로 평가되었습니다.

표 2. 분석 결과 요약.

번호	화합물	PFAS 그룹	CAS 번호	대체 표준물질	LOQ(ng/L)	EPA 1633의 LOQ 플링 범위(ng/L)	LSQ		HSQ	
							회수율	정밀도 (n = 3)	회수율	정밀도 (n = 3)
1	PFUnDA	PFCA	2058-94-8	¹³ C ₇ -PFUnDA	2.5	1-4	113%	2%	86%	2%
2	PFTTrDA	PFCA	72629-94-8	¹³ C ₂ -PFDoDA	1	1-4	104%	3%	81%	4%
3	PFTDA	PFCA	376-06-7	¹³ C ₂ -PFTDA	1	1-4	103%	3%	91%	7%
4	PFPeS	PFSA	2706-91-4	¹³ C ₃ -PFHxS	0.938	1-4	111%	1%	90%	2%
5	PFPeA	PFCA	2706-90-3	¹³ C ₅ -PFPeA	1	2-8	108%	1%	91%	1%
6	PFOSA	FASA	754-91-6	¹³ C ₈ -PFOSA	1	1-4	128%	10%	98%	6%
7	PFOS	PFSA	1763-23-1	¹³ C ₈ -PFOS	0.73	1-4	76%	1%	91%	3%
8	PFOPA	PFFA	40143-78-0	Cl-PFOPA	10	NA	100%	3%	78%	3%
9	PFODA	PFCA	16517-11-6	¹³ C ₂ -PFHxDA	1	NA	87%	4%	87%	14%
10	PFOA	PFCA	335-67-1	¹³ C ₈ -PFOA	1	1-4	84%	2%	99%	2%
11	PFNS	PFSA	68259-12-1	¹³ C ₈ -PFOS	2.4	1-4	111%	1%	90%	3%
12	PFNA	PFCA	375-95-1	¹³ C ₉ -PFNA	1	1-4	76%	2%	92%	1%
13	PFMPA	PFECA	377-73-1	¹³ C ₄ -PFBA	1	4-16	87%	1%	93%	2%
14	PFMBA	PFECA	863090-89-5	¹³ C ₅ -PFPeA	1	4-15	114%	1%	110%	2%
15	PFHxS	PFSA	355-46-4	¹³ C ₃ -PFHxS	0.74	1-4	79%	2%	84%	2%
16	PFHxPA	PFFA	40143-76-8	Cl-PFOPA	4	NA	72%	2%	119%	5%
17	PFHxDA	PFCA	67905-19-5	¹³ C ₂ -PFHxDA	1	NA	86%	4%	84%	13%
18	PFHxA	PFCA	307-24-4	¹³ C ₅ -PFHxA	1	1-4	76%	1%	70%	1%
19	PFHpS	PFSA	375-92-8	¹³ C ₈ -PFOS	0.952	1-4	111%	1%	89%	2%
20	PFHpA	PFCA	375-85-9	¹³ C ₄ -PFHpA	1	1-4	97%	1%	112%	2%
21	PFEESA	PFESA	113507-82-7	¹³ C ₃ -PFBS	0.89	2-8	104%	1%	83%	2%
22	PFDS	PFSA	335-77-3	¹³ C ₈ -PFOS	0.964	1-4	108%	3%	88%	4%
23	PFDPa	PFFA	52299-26-0	Cl-PFOPA	10	NA	85%	8%	83%	2%
24	PFDoS	PFSA	79780-39-5	¹³ C ₈ -PFOS	2.42	1-4	91%	2%	83%	6%
25	PFDoDA	PFCA	307-55-1	¹³ C ₂ -PFDoDA	1	1-4	108%	3%	85%	2%

번호	화합물	PFAS 그룹	CAS 번호	대체 표준물질	LOQ(ng/L)	EPA 1633의 LOQ 플링 범위(ng/L)	LSQ		HSQ	
							회수율	정밀도 (n = 3)	회수율	정밀도 (n = 3)
26	PFDA	PFCA	335-76-2	¹³ C ₆ -PFDA	1	1-4	120%	2%	88%	2%
27	PFBS	PFSA	375-73-5	¹³ C ₃ -PFBS	0.885	1-4	116%	1%	83%	2%
28	PFBPA	PFPA	52299-24-8	Cl-PFOPA	4	NA	91%	6%	88%	8%
29	PFBA	PFCA	375-22-4	¹³ C ₄ -PFBA	2.5	4-16	99%	0%	92%	1%
30	P5MeODIOXOAc	PFECA	1190931-41-9	¹³ C ₃ -HFPO-DA	2.5	NA	128%	7%	100%	3%
31	N-MeFOSAA	FASAA	2355-31-9	² H ₃ -N-MeFOSAA	0.76	1-4	81%	2%	86%	4%
32	N-MeFOSA	FASA	31506-32-8	² H ₃ -N-MeFOSA	1	1-4	114%	32%	88%	16%
33	NFDHA	PFECA	151772-58-6	¹³ C ₅ -PFHxA	1	2-7	115%	1%	103%	2%
34	N-EtFOSAA	FASAA	2991-50-6	² H ₅ -N-EtFOSAA	0.775	1-4	82%	3%	74%	5%
35	N-EtFOSA	FASA	4151-50-2	² H ₅ -N-EtFOSA	1	1-4	57%	28%	99%	17%
36	MeFOSE	FASE	24448-09-7	² H ₇ -MeFOSE	4	10-40	91%	11%	80%	12%
37	MeFHxSA	FASA	68259-15-4	¹³ C ₆ -PFOSA	2.25	NA	51%	19%	58%	23%
38	MeFBSA	FASA	68298-12-4	¹³ C ₈ -PFOSA	4	NA	57%	29%	51%	12%
39	HFPO-TA	PFECA	13252-14-7	¹³ C ₉ -PFNA	0.95	NA	96%	4%	82%	3%
40	HFPO-DA	PFECA	13252-13-6	¹³ C ₃ -HFPO-DA	1	2-8	109%	3%	87%	4%
41	FOSAA	FASAA	2806-24-8	² H ₃ -N-MeFOSAA	1	NA	92%	10%	102%	13%
42	FHxSA	FASA	41997-13-1	¹³ C ₈ -PFOS	1	NA	54%	31%	117%	6%
43	FDSA	FASA	NA	¹³ C ₈ -PFOSA	1	NA	116%	8%	83%	11%
44	FBSA	FASA	30334-69-1	¹³ C ₃ -PFHxS	1	NA	57%	33%	113%	5%
45	EtFOSE	FASE	1691-99-2	² H ₉ -EtFOSE	4	10-40	59%	40%	94%	4%
46	DONA	PFECA	919005-14-4	¹³ C ₄ -PFHpA	0.945	2-8	97%	1%	80%	1%
47	diSAmPAP	SAmPAP	2965-52-8	(¹³ C ₂) ₂ -8:2 diPAP	2.45	NA	97%	5%	100%	13%
48	Cl-PFHxPA	PFPA	NA	Cl-PFOPA	4	NA	74%	2%	98%	6%
49	9Cl-PF3ONS	PFESA	756426-58-1	¹³ C ₈ -PFOS	2.3	4-15	95%	2%	78%	3%
50	8:8 PFPi	PFPIA	40143-79-1	(¹³ C ₂) ₂ -6:2 diPAP	2.4	NA	124%	5%	110%	7%
51	8:3 FTCA	FTCA	34598-33-9	¹³ C ₆ -PFDA	2.5	NA	49%	17%	77%	12%
52	8:2 FTUCA	FTUCA	70887-84-2	¹³ C ₂ -8:2 FTUCA	1	NA	113%	14%	96%	14%
53	8:2 FTSA	FTSA	39108-34-4	¹³ C ₂ -8:2 FTSA	0.958	4-15	107%	1%	87%	2%
54	8:2 FTCA	FTCA	27854-31-5	¹³ C ₂ -8:2 FTCA	10	NA	108%	11%	109%	12%
55	8:2 diPAP	diPAP	678-41-1	(¹³ C ₂) ₂ -8:2 diPAP	0.978	NA	89%	5%	108%	13%
56	7:3 FTCA	FTCA	812-70-4	¹³ C ₂ -8:2 FTUCA	2.5	25-100	79%	16%	85%	15%
57	6:8 PFPi	PFPIA	610800-34-5	(¹³ C ₂) ₂ -6:2 diPAP	4.86	NA	66%	6%	108%	3%
58	6:6 PFPi	PFPIA	40143-77-9	¹³ C ₂ -PFDoDA	0.97	NA	87%	4%	99%	4%
59	6:2/8:2 diPAP	diPAP	943913-15-3	(¹³ C ₂) ₂ -6:2 diPAP	0.975	NA	115%	3%	98%	9%
60	6:2 FTUCA	FTUCA	70887-88-6	¹³ C ₂ -6:2 FTUCA	1	NA	125%	13%	96%	12%
61	6:2 FTSA	FTSA	27619-97-2	¹³ C ₂ -6:2 FTSA	0.948	4-15	112%	1%	87%	3%
62	6:2 FTCA	FTCA	53826-12-3	¹³ C ₂ -6:2 FTCA	25	NA	105%	12%	112%	11%
63	6:2 diPAP	diPAP	57677-95-9	(¹³ C ₂) ₂ -6:2 diPAP	0.97	NA	114%	3%	96%	4%
64	5:3 FTCA	FTCA	914637-49-3	¹³ C ₂ -6:2 FTUCA	2.5	25-100	78%	18%	88%	15%
65	4-PFecHS	PFSA	646-83-3	¹³ C ₈ -PFOS	2.3	NA	105%	2%	86%	2%
66	4:2 FTSA	FTSA	757124-72-4	¹³ C ₂ -4:2 FTSA	0.934	4-15	108%	2%	86%	2%

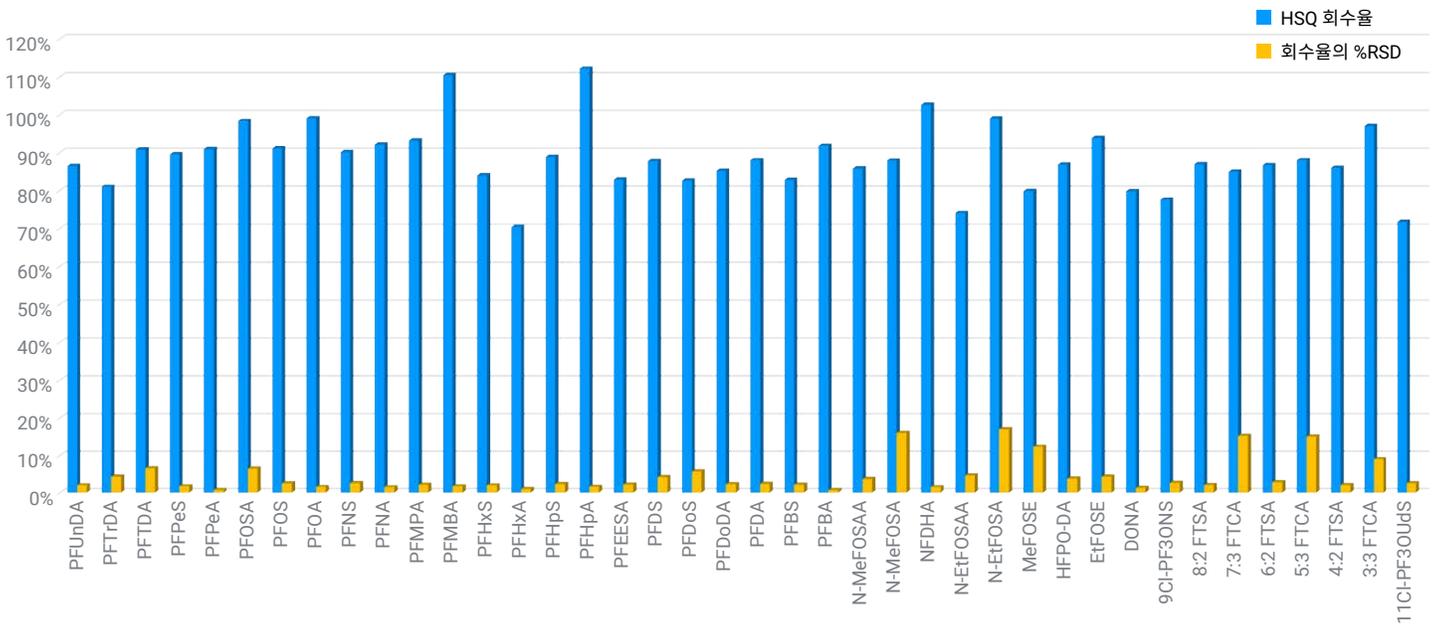
번호	화합물	PFAS 그룹	CAS 번호	대체 표준물질	LOQ(ng/L)	EPA 1633의 LOQ 플링 범위(ng/L)	LSQ		HSQ	
							회수율	정밀도 (n = 3)	회수율	정밀도 (n = 3)
67	3:3 FTCA	FTCA	356-02-5	¹³ C ₅ -PFPeA	5	5-20	98%	12%	97%	9%
68	11Cl-PF3OUdS	PFESA	763051-92-9	¹³ C ₆ -PFOS	0.945	4-15	90%	1%	72%	3%
69	10:2 FTUCA	FTUCA	70887-94-4	¹³ C ₂ -10:2 FTUCA	1	NA	122%	13%	101%	8%
70	10:2 FTSA	FTSA	120226-60-0	¹³ C ₂ -8:2 FTSA	0.964	NA	110%	2%	86%	4%
71	10:2 FTCA	FTCA	53826-13-4	¹³ C ₂ -10:2 FTCA	50	NA	84%	7%	95%	8%

NA: 해당 없음

녹색으로 강조된 셀은 EPA 1633에 포함된 표적입니다.

표 2에는 모든 표적 분석물질에 대한 회수율 값과 %RSD가 나와 있습니다. LSQ 시료의 경우, 71종 분석물질 중 70종이 50~130%의 회수율을 충족했습니다. HSQ 시료의 경우, 모든 표적 분석물질이 이 조건을 충족했으며, 이는 본 연구에서 산업 폐수 시료로부터 PFAS를 추출하는 데 사용된 WAX 카트리지의 뛰어난 효율성을 입증합니다. EPA 1633에서 규제하는 40종 분석물질의

경우 HSQ 회수율은 70~110% 사이로 떨어졌으며 정확도는 17% 이하로 양호했습니다. EPA 1633 목록에 있는 40종 화합물에 대한 회수율과 정밀도 분포는 그림 3에 나타내었습니다. 이 결과는 각 기술적 전처리에 재현성이 있음을 나타내며, 이는 산업 폐수 시료 매트릭스에서 PFAS 분석을 위해 개발된 워크플로의 정확성과 신뢰성을 확인시켜 줍니다.



EPA Method 1633 목록에 있는 40종 표적물질

그림 3. EPA 1633 목록에 있는 40종 표적에 대한 회수율과 정밀도 분포.

폐수 분석 결과

산업 폐수 시료에 존재하는 native PFAS의 농도를 측정했습니다. 분석 결과의 신뢰성을 보장하기 위해 대체물을 추가하여 폐수 시료를 두 번 전처리한 다음 전체 추출 과정과 LC/TQ 검출을 수행했습니다. 그림 4는 폐수 시료 추출물에서 LOQ 수준 이상인 것으로 검출된 화합물의 크로마토그램을 보여줍니다. 10종 이상의 native PFAS 표적물질(HFPO-DA, PFBA, PFBS, PFDA, PFDoDA, PFHpA, PFMBA, PFNA, PFOA, PFOS, PFPeA, PFUnDA 등;

현재 EPA, POPs, REACH 등의 규정에 따라 대부분이 금지 또는 제한되어 있음)이 폐수 시료에서 LOQ 수준을 넘는 것으로 나타났습니다. 스파이크된 QC 시료를 사용하여 얻은 이러한 표적물질의 회수율은 76%에서 120% 사이였으며, RSD는 5% 이하였습니다. 이 회수율과 회수율 재현성 결과는 산업 폐수에서 PFAS를 분석하기 위해 새로 개발된 분석법의 신뢰성을 확인시켜 주었습니다.

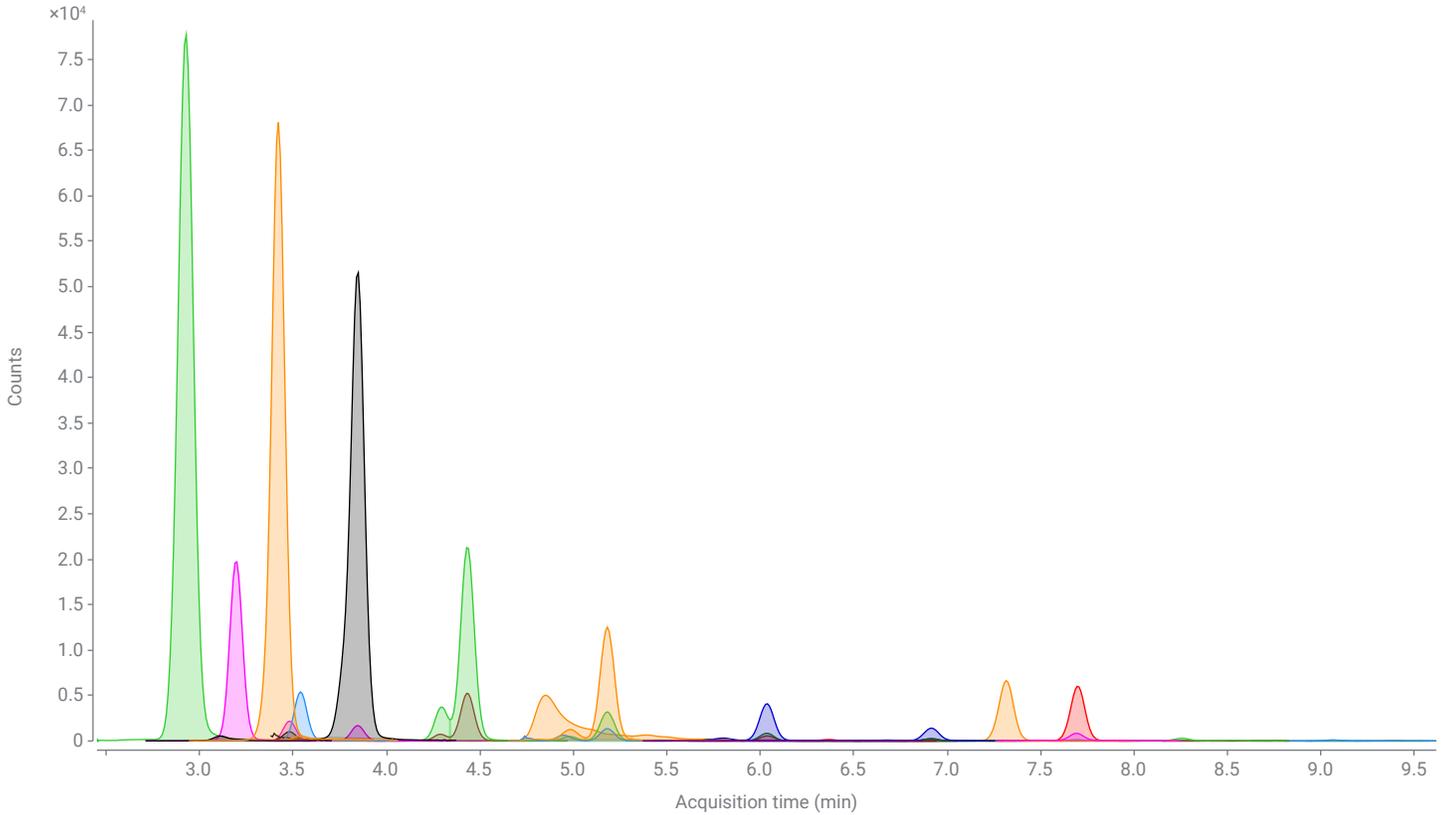


그림 4. 스파이크 되지 않은 폐수 추출물의 MRM 크로마토그램(매트릭스 바탕시료).

결론

본 연구는 Agilent 1290 Infinity II LC와 Agilent 6475 LC/TQ 시스템을 사용하여 PFAS 오염의 주요 원인 중 하나인 산업 폐수에서 PFAS를 정량 분석하는 데 중점을 두었습니다. Agilent PFAS MRM 데이터베이스(제품 번호 G1736AA) 및 eMethod (제품 번호 G5285AA)를 기반으로 108종의 PFAS(native 및 표지 물질 포함)를 포함하는 포괄적인 수집 방법이 개발되었습니다.

SPE 기반 시료 전처리는 EPA Method 1633에 설명된 대로 EIS와 NIS를 추가하여 Carbon S로 정제한 후 Agilent Bond Elut PFAS WAX 카트리지를 사용해 수행했습니다. 워크플로에 대한 검량 성능, LOQ, 스파이크된 QC 회수율 및 재현성을 평가했습니다. 분석물질의 93%에서 LOQ ≤ 5ng/L이 달성되었고, 화합물의 99%에서 HQC 회수율은 50~130%를 충족했으며 %RSD는 20 이하였습니다. 이러한 결과는 Agilent 6475 LC/TQ를 사용한 분석 워크플로의 높은 선택성과 감도를 입증합니다. 이 시스템은 환경으로 방출하기 전에 폐수 중 PFAS 오염물질 수준을 모니터링/제어해야 하는 산업 제조업체에 종합적 솔루션을 제공합니다.

감사문

폐수 시료를 제공해 주신 Shane Snyder 교수와 Mauricius Marques dos Santos 박사(난양 환경 및 수자원 연구소)에게 감사의 말을 전합니다.

참고 문헌

1. Barisci, S.; Suri, R. Occurrence and Removal of Poly/Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in Municipal and Industrial Wastewater Treatment Plants. *Water Science & Technology* **2021**, *84*(12), 3442–3468. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.484>
2. Jones, C.; Cacuum, E. Water Supply Challenges for the Semiconductor Industry. *Semiconductor-Digest* **2022** October 24.
3. Kunacheva, C.; *et al.* Mass Flows of Perfluorinated Compounds (PFCs) in Central Wastewater Treatment Plants of Industrial Zones in Thailand. *Chemosphere* **2011**, *83*, 737–744.
4. Wang, S.; *et al.* First Report of a Chinese PFOS Alternative Overlooked for 30 Years: Its Toxicity, Persistence, and Presence in the Environment. *Environmental Science and Technology* **2013**, *47*, 10163–10170.
5. **OECD, Portal on Per and Poly Fluorinated Chemicals, Country Information.**
6. EPA Method 1633: Analysis of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Aqueous, Solid, Biosolids, and Tissue Samples by LC-MS/MS, EPA 821-R-24-001, January **2024**.
7. 40 CFR Appendix B to Part 136 - Definition and Procedure for the Determination of the Method Detection Limit. Revision 2, July 1, **2023**.

www.agilent.com

DE65062394

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2024
2024년 6월 4일 한국에서 발행
5994-7508KO

한국에질런트테크놀로지스(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