

GC/MS, 수소 운반 가스 및 Agilent HydroInert 소스를 사용한 PAH 분석



저자

Bruce D. Quimby,
Samuel Haddad,
Anastasia A. Andrianova
Agilent Technologies, Inc.

개요

Agilent 8890 GC 및 Agilent 5977C GC/MSD를 수소 운반 가스와 수소 작동에 최적화된 새로운 이온화원과 함께 사용하였습니다. Agilent HydroInert 소스를 이 응용 자료에서 설명하는 분석법과 함께 사용하면 다환 방향족 탄화수소(PAH) 분석에서 0.25~1,000pg의 검량 범위에 대한 뛰어난 피크 모양, 감도 및 직선성을 실현할 수 있습니다. 적절한 기기 구성 및 작동 조건을 선택하면, 수소 운반 가스를 사용하는 시스템에서 헬륨을 사용하는 시스템과 유사하거나 보다 나은 결과를 생성할 수 있습니다. 유기물 함유량이 많은 토양 추출물의 반복 주입으로 시스템의 정밀도와 견고성을 입증했습니다.

서론

PAH는 분자의 고리 사이에 공유되는 한 쌍의 탄소 원자가 있는 적어도 두 개 이상의 융합된 공액계 벤젠 고리로 구성된 화합물 그룹입니다. PAH는 다양한 물질에서 발생하는 오염물질로 전 세계에 널리 분포되어 있습니다. 어디에나 존재하는 특성을 가져 해산물, 식용유, 훈제 육류와 같은 다양한 식품의 극미량 오염물질과 그리고 공기, 물 그리고 토양 환경에서도 모니터링됩니다. PAH는 HPLC/UV, GC/FID, GC/MS, GC/MS/MS를 비롯한 다양한 기법으로 분석되어 왔습니다.

이 응용 자료는 GC 운반 가스로 수소를 사용하는 SIM(Selected ion Monitoring) 모드의 GC/MS를 설명합니다. 헬륨은 GC/MS 분석에 가장 적합한 일반적인 운반 가스이지만, 반복되는 헬륨 부족으로 운반 가스로 수소를 사용하는 응용에 대한 수요가 증가하였습니다. GC/MS 분석에서의 수소 사용에는 고려해야 할 몇 가지 사항이 있습니다.

첫째, 수소는 반응성 기체로 주입구, 컬럼, 때로는 질량 분석기 전자 이온화(EI) 이온화원과 분석 결과에 영향을 줄 수 있는 화학 반응이 발생할 수 있습니다. 고온의 GC/MS에서 분석물질과 수소 가스 사이에 화학 반응 문제가 없는지 확인하는 것이 중요합니다.

둘째, 안정적인 깨끗한 수소 가스 공급원의 사용은 필수입니다. 장기간 사용을 위해, 99.9999% 이상의 사양과 물 및 산소 사양이 낮은 발생기를 권하며 수분 필터를 수소

발생기와 함께 사용하는 것이 좋습니다. 단기적인 사용에서는 크로마토그래피 또는 연구용 수소 실린더를 사용할 수도 있습니다. 또한, 인화성 또는 폭발성 가스를 사용하는 작업자는 적절한 가스 취급 및 사용에 대한 실험실 안전 과정을 수강하는 것이 좋습니다.

추가로 GC/MS 응용의 경우, 수소 운반 가스로 전환할 때 가스 크로마토그래프 및 질량 분석기의 하드웨어 변경이 필요할 수 있습니다. Agilent EI GC/MS 기기, 헬륨에서 수소 운반가스 전환 사용자 안내서¹는 전환 단계를 자세히 설명하고 있습니다. 이 단계에는 주입구 라이너, 컬럼, 진공 펌프 및 EI 이온화원의 선택이 포함됩니다. 크로마토그래피 조건 및 주입 용매의 변경도 필요할 수 있습니다.

수소 운반 가스 사용의 이점 중 하나는 EI 이온화원 세척의 필요성이 감소한다는 것입니다. Agilent JetClean 기술의 사용에서도 유사한 이점을 얻을 수 있으며, 이 기술은 분석 중에 지속적인 낮은 수소 흐름을 이온화원에 사용합니다.^{2,3,4} 수소 운반 가스 사용의 두 번째 이점은 크로마토그래피 분리능을 유지하면서도 분석 시간을 단축하는 것입니다.

비교적 지속성이 강한 화합물인 PAH는 최적화된 분석법과 이 응용 자료에서 설명하는 권장 사양을 준수하며 수소 운반 가스를 사용하면 분석 가능합니다. 이 연구에서 해결한 PAH 분석의 다른 문제는 늦게 용리하는 분석물질에서 자주 나타나는 피크 테일링과 검량 범위 전체에 걸친 ISTD 감응 불일치가 있습니다. HydroInert 소스를 사용한 최적화된 분석법으로 각

검량 범위에서 분석물질 27종 모두에 대해 $R^2 \geq 0.999$ 의 우수한 직선성을 확인할 수 있었습니다. 분석물질 27종에서 18종은 0.1~1,000pg, 8종은 0.25~1,000pg, 한 종은 0.5~1,000pg의 검량 범위를 가졌습니다. 분석법 검출 한계(MDL)는 0.03~0.20pg이며 평균은 0.09pg였습니다.

실험

이 실험에 사용한 시스템은 PAH 분석에서 수소 운반 가스의 잠재적인 문제를 최소화할 수 있도록 구성하였습니다. 사용한 주요 파라미터는 다음과 같습니다.

- **수소 가스:** 순도 사양 99.9999%, 물 및 산소 사양이 낮은 수소를 운반 가스로 사용했습니다
- **필스 비분할 주입:** PAH, 특히 무거운 PAH를 컬럼으로 최대한 전달하기 위해 사용했습니다
- **컬럼 규격:** Agilent J&W DB-EUPAH, 20m×0.18mm id, 0.14µm(제품 번호 121-9627)를 사용하여 최적의 가스 유속과 주입구 압력을 유지했습니다
- **주입구 라이너:** Agilent 범용 Ultra Inert mid-frit 라이너(제품 번호 5190-5105)는 토양 추출물에 대해 우수한 피크 모양, 비활성, 긴 수명을 제공합니다
- **HydroInert EI 이온화원:** PAH는 운반 가스가 헬륨인 경우에도 MS EI 이온화원에 고유한 문제를 가집니다.² 수소 운반 가스를 사용하면 일반적으로 PAH에 대한 분석 성능은 향상되며 특히, 수소 사용에 최적화된 HydroInert 소스를 사용하면 더욱 좋아집니다. HydroInert 소스에 기본 포함된 9mm extractor 렌즈는 최고의 검량 직선성, 감응 정밀도 및 피크 모양을 제공하는 PAH 분석을 위한 최상의 선택입니다

그림 1은 이 연구에서 사용한 시스템 구성입니다.

기기 작동 파라미터는 표 1과 2에 나와 있습니다. 기기 온도는 끓는점이 가장 높은 PAH의 침적을 방지하도록 충분히 높게 유지되어야 합니다. 주입구와 MSD 이송 라인은 320°C로 유지되며, MS 이온화원은 320°C에서 작동합니다.

펄스 비분할 주입은 PAH, 특히 무거운 PAH의 컬럼 이동을 극대화하는 데 사용됩니다. Ultra Inert mid-frit 라이너는 이 용도로 적합합니다. 프리트는 PAH에 열을 전달하고 주입구 바닥을 가립니다. PAH가 주입구 바닥에서 응축되면 기화되어 컬럼으로 다시 도입되기 어렵습니다.

PAH 검량 표준물질은 isooctane을 사용해 Agilent PAH Analyzer Calibration 키트 (제품 번호 G3440-85009)를 희석했습니다. 이 키트는 27종 PAH 원액 10µg/mL와 5종 ISTD 원액 50µg/mL를 포함합니다. 검량 표준물질 12 레벨을 제조했습니다. 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 10, 20, 100, 200, 400, 750, 1,000ng/mL. 모든 레벨은 ISTD 500ng/mL를 포함합니다. 화합물 식별은 표 2와 그림 2를 참조하세요. 모든 정량 분석은 Agilent MassHunter Quantitative Analysis 소프트웨어 버전 11.1로 수행했습니다.

시판 표토 시료(Weaver Mulch, Coatesville, PA, USA)를 120°C에서 밤새 건조했습니다. 건조한 토양 5g을 다시 밤새 교반하면서 dichloromethane/acetone(1:1 v/v) 30mL로 추출했습니다. 추출물을 여과하고 여과액을 기화해 부피를 7.5배 줄였습니다. 처리된 추출물은 견고성 실험에 사용했습니다.

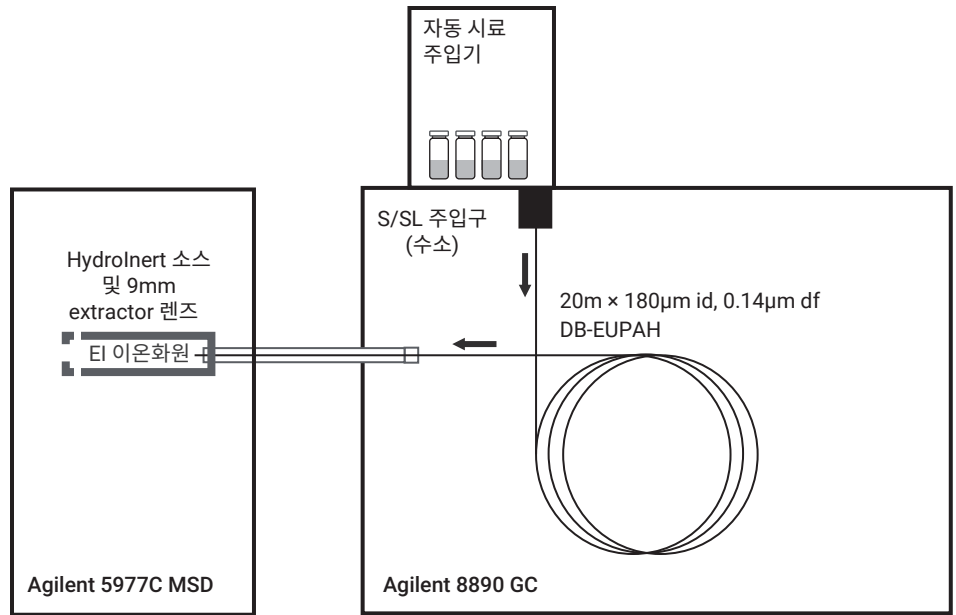


그림 1. 시스템 구성.

표 1. PAH 분석을 위한 GC 및 MS 조건.

분석법 파라미터	
주입구	EPC 분할/비분할
모드	펄스 비분할
주입 펄스 압력	0.70분까지 40psi
분할 배출구 퍼지 유속	0.75분에서 50mL/min
주입량	1µL
주입구 온도	320°C
주입구 라이너	Agilent 범용 Ultra Inert mid-frit 라이너(p/n 5190-5105)
컬럼	Agilent J&W DB-EUPAH, 20m x 0.18mm, 0.14µm(p/n 121-9627)
컬럼 온도 프로그램	60°C(1분 유지) 200°C까지 25°C/min 335°C까지 10°C/min(6분 유지) 총 분석 시간: 20분
운반 가스 및 유속	H ₂ , 0.9mL/min 일정 유속
MSD	HydroInert 9mm
이송 라인 온도	320°C
이온화원 온도	320°C
사중극자 온도	150°C
EM 전압 게인 모드	3
모드	SIM
튜닝	ETUNE.U

견고성 시험에 사용한 토양 추출물은 시스템 시험을 고려하여 고매질 함량 추출물을 선택했습니다. 이러한 수준의 유기물 함량을 가진 토양 시료는 일반 분석에서 추가적인 시료 cleanup이 필요할 수 있습니다. 이 연구에 사용한 시료 전처리는 테스트 전용입니다. 또한, 추출 용매(1:1 v/v dichloromethane/acetone)는 수소 운반 가스를 사용한 일반 분석에서는 권장하지 않습니다. 디클로로메탄과 같은 할로겐화 용매는 뜨거운 주입구에서 수소와 반응하여, 시간이 지남에 따라 라이너와 컬럼 헤드를 열화시킬 수 있는 저농도 HCl을 형성할 수 있습니다.

표 2. 정량 및 정성용 SIM 이온.

화학명	RT(분)	정량 이온	정성 이온 1	정성 이온 2	정성 이온 3
Naphthalene-d ₈	4.068	136	134	108	
Naphthalene	4.089	128	127	129	102
1-Methylnaphthalene	4.681	142	141	115	139
2-Methylnaphthalene	4.833	142	141	115	143
Biphenyl	5.215	154	153	76	155
2,6-Dimethylnaphthalene	5.236	156	141	155	115
Acenaphthylene	5.761	152	151	153	76
Acenaphthene-d ₁₀	5.851	164	80		
Acenaphthene	5.889	153	154	151	155
2,3,5-Trimethylnaphthalene	6.075	170	155	169	153
Fluorene	6.380	166	165	163	167
Dibenzothiophene	7.424	184	185	139	152
Phenanthrene-d ₁₀	7.552	188	189		
Phenanthrene	7.585	178	179	177	152
Anthracene	7.625	178	179	177	152
1-Methylphenanthrene	8.438	192	191	193	190
Fluoranthene	9.529	202	203	201	101
Pyrene	10.060	202	203	201	101
Benzo[a]anthracene	12.611	228	226	229	114
Chrysene-d ₁₂	12.731	240	236		
Chrysene	12.794	228	226	229	114
Benzo[b]fluoranthene	15.058	252	126		
Benzo[k]fluoranthene	15.114	252	126		
Benzo[j]fluoranthene	15.181	252	126		
Benzo[e]pyrene	15.821	252	253	126	250
Benzo[a]pyrene	15.927	252	253	250	126
Perylene-d ₁₂	16.133	264	260		
Perylene	16.191	252	253	126	250
Dibenz[a,c]anthracene	18.020	278	279	139	138
Dibenz[a,h]anthracene	18.093	278	279	139	138
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	18.093	276	138	277	137
Benzo[ghi]perylene	18.655	276	138	277	137

결과 및 토의

초기 검량

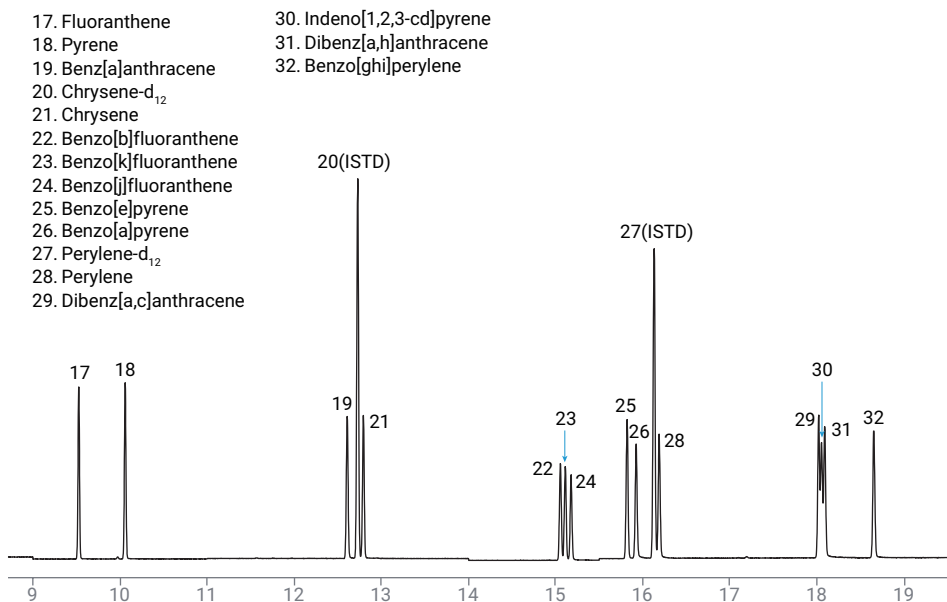
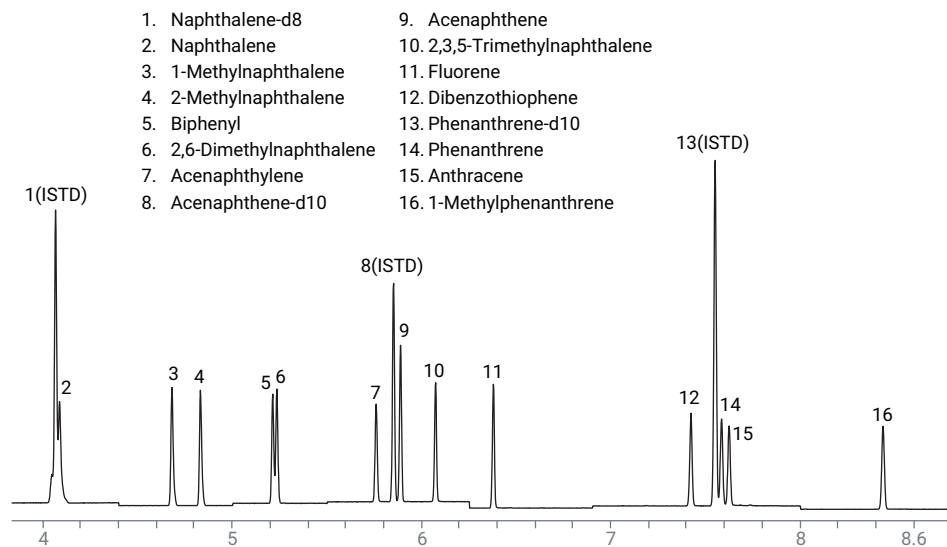


그림 2. 500pg/μL ISTD가 첨가된 100pg/μL 검량 표준물질의 SIM TIC.

그림 2는 ISTD 500pg/μL와 검량 표준물질 100pg/μL의 SIM TIC입니다. 이 연구의 파라미터를 사용하면 PAH, 특히 늦게 용리되는 화합물에 대한 우수한 피크 모양을 얻을 수 있습니다. 단 하나의 예외는, 처음과 두 번째 피크인 naphthalene-d8과 naphthalene이 펄스 주입의 사용으로 다소 왜곡된다는 것입니다. 일반적으로 HydroInert 소스는 수소 운반 가스의 사용으로 최상의 PAH 피크 모양을 제공합니다. 현재 설정으로 얻은 크로마토그래피 분리능 역시 헬륨에서 얻은 것보다 우수합니다.² 수소 운반 가스와 보다 작은 직경의 컬럼 조합으로 현재 분석법의 분석 시간은 20분이었습니다(헬륨에서의 분석 시간은 26분). 현재 분석법의 분석 시간을 더 단축하면서 헬륨에서와 동일한 분리능을 유지할 수도 있습니다. 그러나, 20분의 분석 조건이 dibenz[a,c]anthracene, indeno[1,2,3-cd]pyrene, dibenz[a,h]anthracene에 대한 최상의 분리능을 가져 이 분석법을 선택했습니다.

또한, HydroInert 소스 사용은 신호 대 잡음비가 우수하여, 그림 3과 같이 검량 범위를 피코그램 이하 수준으로도 확장할 수 있습니다.

분석물질 27종에서 18종은 검량 범위 0.1~1,000pg에서 충분한 신호를 가졌습니다. 8종은 0.25~1,000pg에서 검량했습니다. 2-methylnaphthalene, 단 한 종만 0.5~1,000pg의 검량 범위를 사용했습니다. 표 3은 0.1~1,000pg에서 12개 레벨을 이용한 검량 결과입니다. 모든 분석물질은 전체 범위에서 우수한 직선성을 나타냅니다.

필요한 경우, 상대 표준 오차(RSE) 값을 사용하여 가장 낮은 검량값을 제거하여 <20%의 RSE 값을 얻었습니다. 모든 검량의 R² 값은 0.999 이상이었습니다.

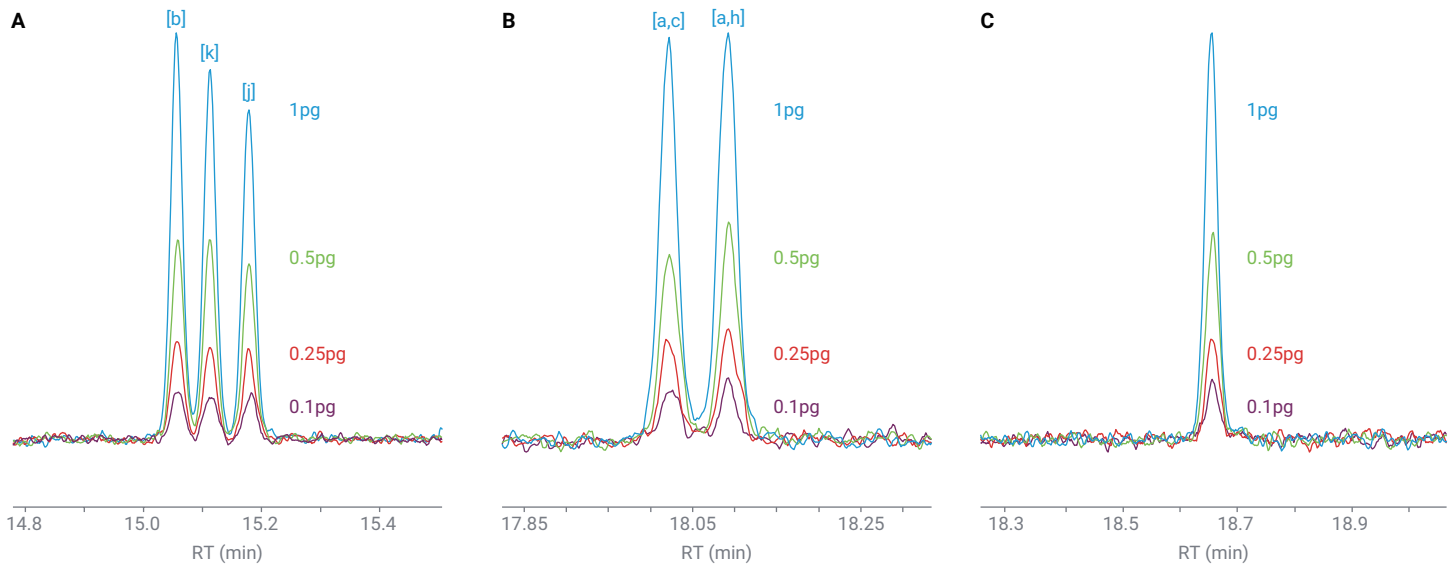


그림 3. 최저 검량 레벨에서 선택 화합물에 대한 정량 이온 감응. (A) benzofluoranthene의 [b], [k], [j] 이성질체. (B) dibenzanthracene의 [a,c], [a,h] 이성질체. (C) Benzo[ghi]perylene.

분석법 검출 한계

초기 검량 완료된 후 MDL 연구를 수행했습니다. 검량 표준물질 0.25pg으로 8회의 시험을 수행했습니다. 계산된 MDL은 수식 1에 표기된 공식을 적용하여 얻었습니다. 보고 한계가 더 높은 화합물의 경우, 0.5pg 농도로 8회 시험했습니다. 계산된 MDL은 표 3과 같습니다. 27종 화합물의 MDL 범위는 0.03~0.20pg 었습니다.

공식 1. MDL 계산 공식.

$$MDL = s \times t(n - 1, 1 - \alpha = 99) = s \times 2.998$$

여기서:

$t(n - 1, 1 - \alpha)$ = 자유도가 $n - 1$ 일 때 99% 신뢰 수준에 대한 t 값

n = 시험 횟수(8회)

s = 8회 시험 표준 편차

검량 범위에 대한 ISTD 감응 안정성

PAH 분석을 위해 헬륨 운반 가스와 표준 3mm extractor 렌즈 사용에서의 문제 중 하나는 분석물질의 농도가 증가함에 따라 상승하는 ISTD 감응입니다. 이 영향으로 perylene- d_{12} 감응이 검량 범위에서 최대 60%까지 증가하고 정량에서 심각한 오류가 발생할 수 있습니다. 이전에는 이 문제를 JetClean과 9mm extractor 렌즈를 사용하여 해결하였습니다.^{3,4} JetClean은 헬륨을 운반 가스로 사용하면서, 보통 0.2~0.35mL/min의 수소를 이온화원에 지속적으로 추가합니다. 이 방법은 서서히 증가하는 ISTD의 영향을 크게 줄이고 우수한 정량 결과를 제공합니다.

그림 4는 현재 분석법을 이용한 검량 범위에 대한 ISTD 감응 안정성을 나타냅니다. 그림 4에서 확인할 수 있듯이, HydroInert 소스, 9mm extractor 렌즈와 함께 수소 운반 가스를 사용하면 서서히 증가하는 ISTD 감응 문제도 해결할 수 있습니다. 검량 범위 전체에서 원시 면적 감응의 %RSD는 3.3% 이하입니다. 이는 표 3에 나타낸 우수한 검량 직선성을 실현하는데 중요한 요소입니다.

표 3. 0.1~1,000pg 범위, 12 레벨에 대한 SIM 모드 ISTD 검량 결과. 모든 검량은 1/x 가중치로 선형 피팅되었습니다.

화학명	RT (분)	CF 하한 (pg)	CF 상한 (pg)	CF R ²	상대 표준 오차	평균 RF RSD	MDL에 대한 농도(pg)	MDL (pg)
Naphthalene-d₈ [ISTD]	4.068	ISTD						
Naphthalene	4.089	0.1	1,000	0.9998	5.7	23.0	0.50	0.19
1-Methylnaphthalene	4.681	0.25	1,000	0.9992	11.4	4.8	0.50	0.06
2-Methylnaphthalene	4.833	0.5	1,000	0.9992	10.9	7.6	0.50	0.07
Biphenyl	5.215	0.25	1,000	0.9991	11.1	9.7	0.50	0.18
2,6-Dimethylnaphthalene	5.236	0.25	1,000	0.9989	12.8	5.4	0.50	0.07
Acenaphthylene	5.761	0.25	1,000	0.9999	6.6	4.3	0.50	0.06
Acenaphthene-d₁₀ [ISTD]	5.851	ISTD						
Acenaphthene	5.889	0.25	1,000	0.9995	8.7	7.4	0.25	0.14
2,3,5-Trimethylnaphthalene	6.075	0.25	1,000	0.9997	13.8	12.6	0.50	0.20
Fluorene	6.380	0.25	1,000	0.9996	10.0	5.0	0.25	0.05
Dibenzothiophene	7.424	0.1	1,000	0.9998	7.6	16.9	0.25	0.09
Phenanthrene-d₁₀ [ISTD]	7.552	ISTD						
Phenanthrene	7.585	0.25	1,000	0.9998	6.2	5.3	0.25	0.10
Anthracene	7.625	0.1	1,000	0.9998	15.1	17.3	0.25	0.16
1-Methylphenanthrene	8.438	0.1	1,000	0.9996	8.5	4.9	0.25	0.10
Fluoranthene	9.529	0.1	1,000	0.9994	11.6	10.7	0.25	0.03
Pyrene	10.060	0.1	1,000	0.9993	11.3	16.4	0.25	0.06
Benz[a]anthracene	12.611	0.1	1,000	0.9998	8.3	19.8	0.25	0.03
Chrysene-d₁₂ [ISTD]	12.731	ISTD						
Chrysene	12.794	0.1	1,000	0.9999	6.2	19.3	0.25	0.06
Benzo[b]fluoranthene	15.058	0.1	1,000	0.9990	11.4	16.2	0.25	0.05
Benzo[k]fluoranthene	15.114	0.1	1,000	0.9993	13.1	18.5	0.25	0.06
Benzo[j]fluoranthene	15.181	0.1	1,000	0.9994	10.6	18.4	0.25	0.06
Benzo[e]pyrene	15.821	0.1	1,000	0.9996	9.3	16.2	0.25	0.09
Benzo[a]pyrene	15.927	0.1	1,000	0.9998	8.2	4.7	0.25	0.05
Perylene-d₁₂ [ISTD]	16.133	ISTD						
Perylene	16.191	0.1	1,000	0.9999	5.2	55.6	0.25	0.12
Dibenz[a,c]anthracene	18.020	0.1	1,000	0.9997	6.3	14.3	0.25	0.06
Dibenz[a,h]anthracene	18.093	0.1	1,000	0.9997	7.0	11.6	0.25	0.07
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	18.093	0.1	1,000	0.9993	10.9	9.2	0.25	0.08
Benzo[ghi]perylene	18.655	0.1	1,000	0.9997	9.4	11.0	0.25	0.14

토양 추출물에 대한 감응 안정성

그림 5는 비교를 위한 토양 추출물과 바탕 용매의 스캔 TIC입니다. 확인할 수 있듯이, 토양 추출물은 매우 높은 매트릭스 수준으로 시스템 시험용으로 수행했습니다. 이 수준의 유기물 함량을 가진 토양 시료의 일반 분석에서는 추가적인 시료 cleanup를 권장합니다. 이 연구에 사용한 시료 전처리는 테스트 전용입니다. 또한, 추출 용매(1:1 v/v dichloromethane/acetone)는 수소 운반 가스를 사용한 일반 분석에서는 권장하지 않습니다. 디클로로메탄과 같은 할로젠화 용매는 뜨거운 주입구에서 수소와 반응하여 시간이 지남에 따라 라이너와 컬럼 헤드를 열화시킬 수 있는 저농도 HCl를 형성할 수 있습니다.

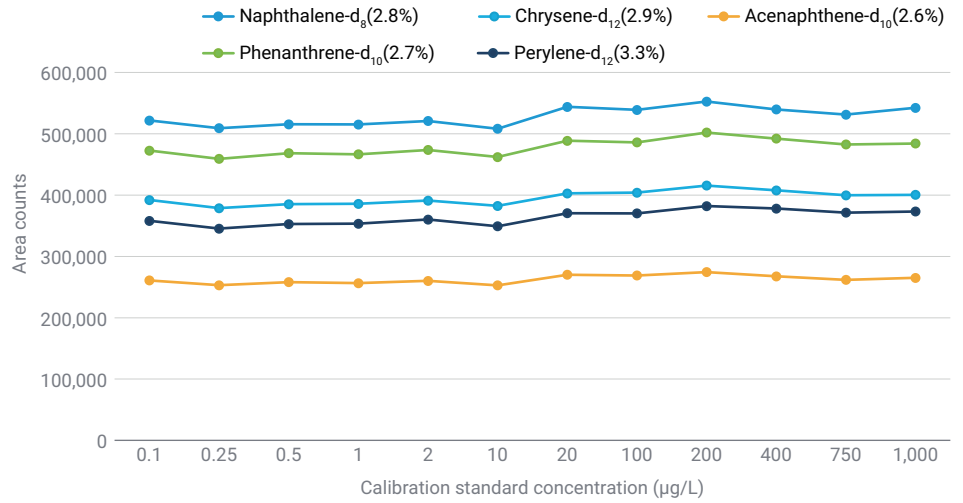


그림 4. 검량 범위에서의 ISTD 감응 안정성.

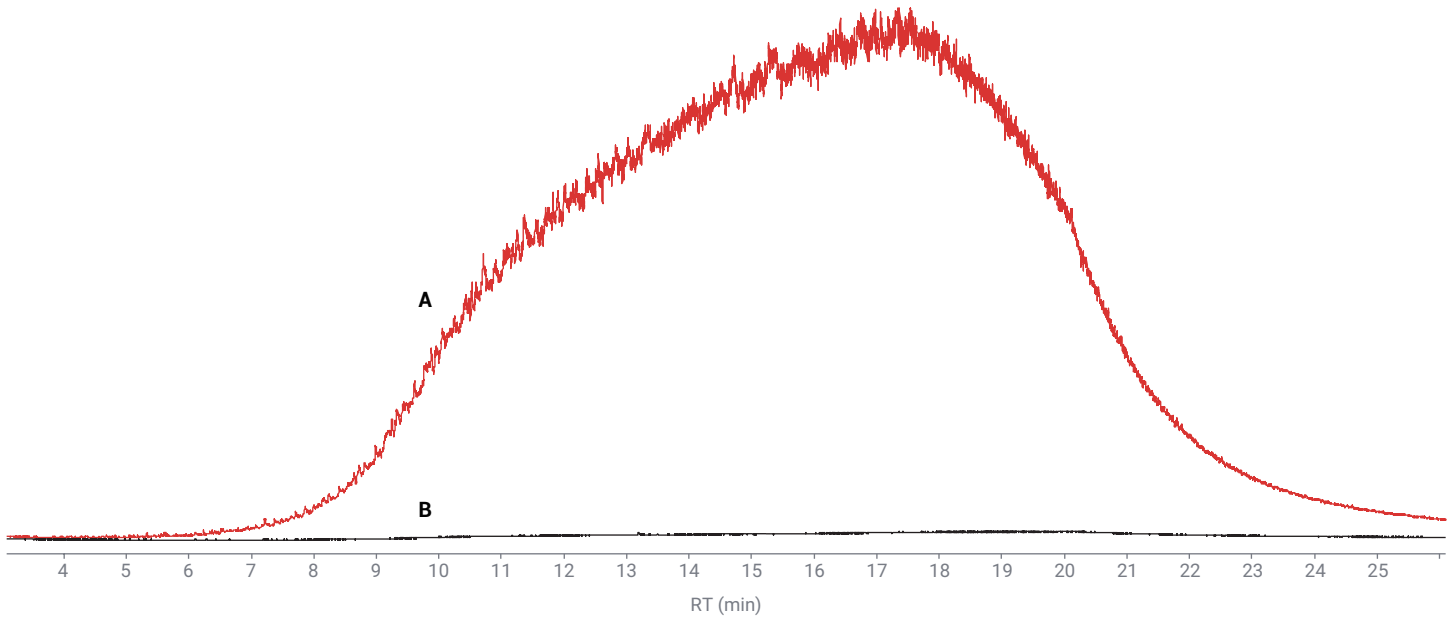


그림 5. (A) 토양 추출물의 스캔 TIC (B) 비교를 위한 바탕 용매의 스캔 TIC.

그림 6은 PAH 표준물질 100ppb와 ISTD 500ppb를 첨가한 토양 추출물의 SIM TIC입니다. SIM TIC에서 볼 수 있듯이, 토양 매트릭스는 일부 시간 세그먼트에서 백그라운드 신호에 상당한 영향을 주며, 그 중 가장 큰 영향을 미친 것은 마지막 세그먼트입니다. 추출된 SIM 276 이온 (benzo[g,h,i]perylene 정량 이온)은 정량 가능하도록 플롯팅되었습니다.

그림 7은 첨가 토양 추출물 속 PAH에 대한 측정된 농도의 감응 안정성을 보여줍니다. GC 주입구 또는 컬럼 유지보수는 100회의 주입 테스트 과정에서 필요하지 않았습니다. EM(Electron multiplier)의 게인 곡선은 키워드를 사용해 시퀀스 동안 15회 실행마다 자동 업데이트되었습니다. 그림 7에서와 같이, 결과는 100회 주입에서 안정적이었습니다. 모든 화합물의 측정 농도는 92~131pg의 범위 내에 있었습니다.

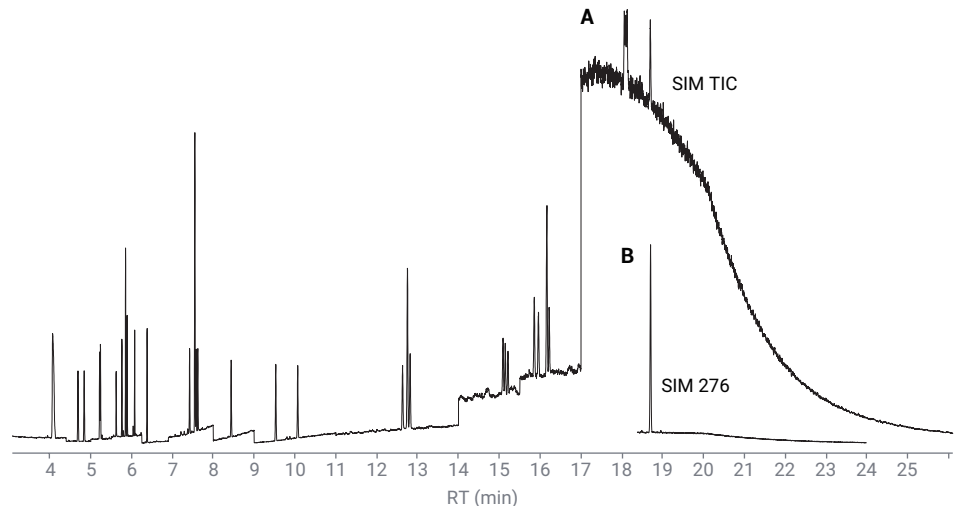


그림 6. PAH 표준물질 100ppb와 ISTD 500ppb를 첨가한 토양 추출물. (A) SIM TIC. (B) benzo[g,h,i]perylene의 SIM 276 정량 이온.

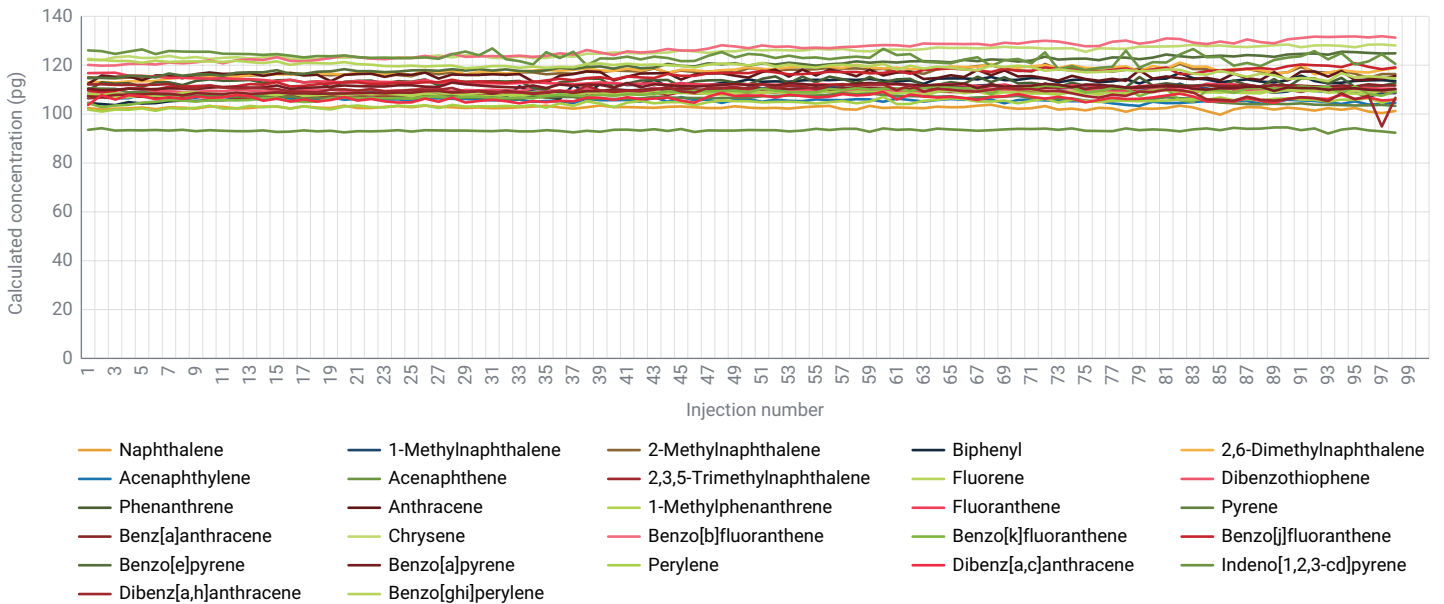


그림 7. PAH 표준물질 100pg과 ISTD 500pg을 첨가한 토양 매트릭스의 100회 이상 주입으로 계산한 농도의 안정성.

결론

수소 운반 가스와 Agilent HydroInert 소스의 사용을 안내하는 GC/MS 분석법으로 이전의 헬륨 사용 분석법과 비교하여 몇 가지 사항이 개선되었습니다.

- 테일링이 거의 또는 전혀 없는 탁월한 크로마토그래피 피크 모양
- 헬륨 사용 시보다 유사하거나 그 이상인 MDL 및 직선성
- 더 짧은 분석 시간과 향상된 크로마토그래피 분리능
- 10,000 검량 범위에서 안정적인 ISTD 감응
- <1~1,000pg에 대한 우수한 직선성
- 평균 MDL ~0.1pg
- 까다로운 토양 추출물의 100회 이상 주입에도 안정적인 성능

PAH 분석을 보다 지속 가능한 수소 운반 가스로 수행하려는 실험실의 경우, 9mm extractor 렌즈 및 HydroInert 소스를 사용하면 기존과 동일하거나 더 우수한 성능으로 전환할 수 있습니다.

참고 문헌

1. Agilent EI GC/MS Instrument Helium to Hydrogen Carrier Gas Conversion. *Agilent Technologies user guide*, publication number 5994-2312EN, **2022**. <https://www.agilent.com/cs/library/usermanuals/public/user-guide-coverting-ei-gcms-instruments-5994-2312en-agilent.pdf>
2. Andrianova, A. A.; Quimby, B. D. Optimized GC/MS Analysis for PAHs in Challenging Matrices. *Agilent Technologies 응용 자료*, 발행 번호 5994-0499KO, **2019**.
3. Anderson, K. A. *et al.* Modified Ion Source Triple Quadrupole Mass Spectrometer Gas Chromatograph for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *J. Chromatogr. A* **2015**, 1419, Pages 89–98.
4. Quimby, B. D.; Prest, H. F.; Szelewski, M. J.; Freed, M. K. In-Situ Conditioning in Mass Spectrometer Systems. US Patent 8,378,293, **2013**.

www.agilent.com

DE82649723

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2023
2023년 2월 14일 한국에서 발행
5994-5711KO

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