

까다로운 매질의 PAH에 대한 최적화된 GC/MS/MS 분석

JetClean 및 중간 컬럼 백플러시를 갖춘 Agilent
8890/7000D QQQ GC/MS 사용

저자

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

개요

Agilent 8890GC와 Agilent 7000D QQQ GC/MS 시스템을 연동하여 다환 방향족 탄화수소 (PAH) 분석에 사용했습니다. 기기 구성 및 운용 조건의 적절한 선택으로 이 시스템은 어려운 매질의 PAH를 분석하는 강력한 수단을 제공합니다. 중간 컬럼 백플러시, 연속 수소 이온화원 세척(JetClean) 및 대체 drawout 렌즈의 사용으로 1~1,000pg의 검량 범위에서 탁월한 직선성을 나타냅니다. 높은 유기물 함유 토양 추출물의 반복 주입으로 시스템의 정밀도 및 견고성을 입증합니다. 또한 MS 대비 MS/MS의 보다 우수한 선택성은 데이터 검토를 단순화합니다.

도입

PAH는 수생 생물에 유독하며 의심되는 인간 발암물질입니다. 그것은 다양한 원인으로 발생하여 오염물로서 전 세계에 널리 분포하고 있습니다.

세 종류 PAH 발생 원인:

- **석유:** 화석 연료 관련 석유 주입으로 발생
- **연소:** 연소에 의한 발생
- **생물:** 자연 생물학적 과정에 의한 형성

환경 도처에 존재하는 PAH는 해산물에서 식용유, 훈제 육류에 이르기까지 많은 식품의 극미량 오염물로 모니터링되며 공기, 물 그리고 토양 환경에서도 모니터링됩니다. PAH는 HPLC/UV, GC/FID, GC/MS 또는 GC/MS/MS를 비롯한 다양한 기법으로 분석되어 왔습니다.

본 응용 자료는 MRM 모드의 GC/MS/MS를 중점적으로 다룹니다. 일반적인 검량 범위는 허용 가능한 직선성 $R^2 > 0.99$ 의 1~1,000pg 입니다. 내부 표준물질(ISTD) 면적 재현성은 일반적으로 검량 표준물질 $\pm 20\%$ 및 시료 $\pm 30\%$ 에서 지정됩니다.

PAH의 특성으로 인해 분석에서 많은 문제가 발생합니다. PAH는 분자량 및 끓는 범위가 광범위합니다. 활성적 또는 변성적이지 않지만, 끈적거리고 표면에 쉽게 정착합니다. PAH는 탈승화(침적)하며 기화가 어렵습니다. 고온 및 표면 접촉 최소화가 중요합니다. 피크 테일링은 용리 마지막에 흔히 보여 수동 적분 및 데이터 검토를 수행해야 합니다. 경우에 따라, ISTD 반응이 검량 범위 전반에서 일관되지 않아 분석법의 직선성에 문제가 발생할 수 있습니다.

PAH 관련 문제 외에도, 분석에서는 매질 관련 문제가 흔히 발생합니다. 예를 들어, 식품 및 토양 분석에서 분석물질 이후에 용리되는 고비점 매질 오염물로 인한 후속 분석의 고스트 피크 방지를 위해 베이카아웃 시간 연장이 필요할 수 있습니다. 끓는점이 가장 높은 오염물은 컬럼 헤드에 침전될 수 있으므로 더 자주 컬럼 끝단을 잘라내고 머무름 시간 변화로 MRM 및 데이터 분석 시간 범위를 조절해야 합니다.

실험

사용 시스템은 고매질 시료의 PAH 분석에 대한 잠재적 문제를 최소화하도록 구성하였습니다. 사용한 주요 기술은 다음과 같습니다:

- **MS/MS:** GC/MS/MS의 MRM 모드로 향상된 선택성은 매질 간섭 반응을 줄이거나 제거함으로써 GC/MS 대비 고매질 시료의 데이터 검토를 단순화합니다. 간섭 반응으로 종종 정량 또는 정성 이온의 수동 적분을 필요로 합니다.
- **JetClean:** 7000D QQQ GC/MS 시스템의 이 옵션은 분석 중 이온화원에 낮은 연속 수소 유속(0.33mL/분)을 제공합니다. 수소를 사용한 이온화원의 연속 세척은 PAH 분석을 위한 검량 직선성 및 시간에 따른 반응의 정밀도를 크게 향상하는 것으로 입증되었습니다¹⁻³. 수동 이온화원 세척의 필요성은 특히, 고매질 시료에서 크게 감소합니다.

- **9mm extractor 렌즈:** Agilent extractor 이온화원은 다양한 분석 문제의 특정 요구를 충족할 수 있는 유연성을 더합니다. PAH 분석의 경우, 9mm 추출 렌즈는 PAH 침적이 가능한 표면을 최소화하는 훌륭한 선택이며 JetClean의 사용은 보다 우수한 직선성, 정밀도 및 피크 모양을 제공하는 데 기여합니다.
- **중간 컬럼 백플러시:** 백플러시는 마지막 분석물질이 컬럼을 빠져 나간 후 운반 가스의 흐름을 역류하는 기술입니다. MS 데이터 수집 후, 오븐은 분석 후 모드의 최종 온도를 유지하며, 첫 번째 컬럼의 운반 가스 흐름을 역류합니다. 이 역류 흐름은 데이터 수집 마지막에 컬럼에 있던 모든 고비점 화합물을 컬럼 헤드의 split vent trap으로 운반합니다. 흐름을 역전하는 기능은 Agilent Purged Ultimate Union(PUU)이 제공합니다. 티(tee)가 삽입된 PUU는 이 경우, 두 개의 동일한 15m 컬럼 사이에 있습니다. 분석 동안, 8890 기체역학 시스템 장치(PSD) 모듈 운반 가스의 소량 보충 흐름을 PUU의 배출 가스로 사용하였습니다. 백플러시 동안, PSD 보충 흐름은 더 높은 값으로 상승하여 첫 번째 컬럼의 고비점 물질을 역방향으로 배출하고, 두 번째 컬럼은 정방향으로 흐르게 합니다. 이 구성의 경우, 백플러시 시간은 1.5분이었습니다.
- **8890 PSD 모듈:** PSD는 백플러시 응용에 최적화된 8890 기체역학 모듈입니다. 백플러시 동안, 기존 구성에 비해 사용한 헬륨의 유량은 크게 감소합니다. PSD는 원활한 펄스 주입과 백플러시 설정을 간소화합니다.

그림 1은 사용한 시스템 구성입니다.

표1 및 2는 기기 분석 파라미터를 나열한 것입니다. 기기 온도는 끓는점이 가장 높은 PAH의 침적 방지를 위해 충분히 높게 유지되어야 합니다. 주입구 및 MSD 이송 라인온은 320°C로 유지합니다. MS 이온화원은 최소 320°C로 유지하여야 합니다.

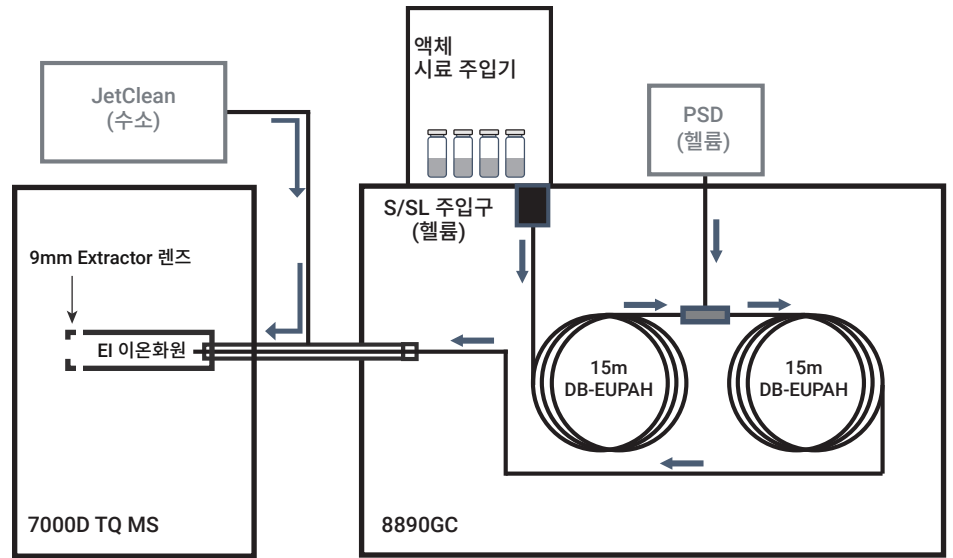


그림 1. 시스템 구성

표 1. PAH 분석을 위한 GC 및 MS 조건

빠른 오븐, 자동 시료 주입기 및 트레이를 갖춘 8890GC	
주입구	EPC 분할/비분할
모드	펄스 비분할
주입 펄스 압력	0.7분 동안 50psi
분할 배출로 퍼지 흐름	0.75분에 50mL/min
샘플 퍼지 유속 모드	표준
주입량	1.0µL
주입 온도	320°C
운반 가스	헬륨
주입구 라이너	Agilent 4-mm single taper, with glass wool (p/n 5190-2293)
오븐	1분간 80°C, 25°C/분으로 200°C까지, 8°C/분으로 335°C까지, 6.325분 유지 총 분석 시간: 29분 분석 후 시간: 1.5분 평형 시간: 0.5분
컬럼 1	DB-EUPAH, 0.25mm × 15m, 0.25µm(맞춤 주문)
제어 모드	일정 유속, 0.9557mL/분
주입구 연결	분할/비분할
출구 연결	PSD(PUU)
분석 후 유속(백플러시)	-12.027mL/분
컬럼 2	DB-EUPAH, 0.25mm × 15m, 0.25µm(맞춤 주문)
제어 모드	일정 유속, 1.1557mL/분
주입구 연결	PUU
출구 연결	MSD
분석 후 유속(백플러시)	12.518mL/분

7000D QQ GC/MS	
이온화원	비활성 extractor
Drawout 렌즈	9mm
Tune 파일	atunes.ei.tune.xml
모드	MRM
용매 지연	4분
EM 전압 게인 모드	10
사중극자 온도 (MS1, MS2)	150°C
이온화원 온도	320°C
이송 라인 온도	320°C
JetClean 모드	수집 및 세척
JetClean 수소 유속	0.33mL/분

펄스 비분할 주입은 PAH, 특히 무거운 물질의 컬럼 이동을 극대화하는 데 사용됩니다. 유리솜이 있는 직선형 구경 4mm 라이너는 필수입니다. 유리솜은 열을 PAH로 전달하고 주입구 바닥이 보이지 않게 합니다. 주입구 바닥에 응축한 PAH는 기화와 컬럼으로 보내기가 어렵습니다.

PAH 검량 표준물질은 isooctane으로 Agilent PAH Analyzer calibration kit (p/n G3440-85009)을 희석하였습니다. 이 키트는 27종 PAH 원액 10µg/mL 및 5종 ISTD 원액 50µg/mL를 포함합니다. 일곱 가지 정량 농도 준비: 1, 2, 10, 20, 100, 200, 1,000pg/µL 각 농도는 ISTD 500pg/µL도 포함합니다. 화합물 식별은 표 2와 그림 2를 참조하십시오.

사초 토탄(sedge peat, Garden Magic, Michigan Peat Company, Houston, TX) 시료를 밤새 120°C로 건조했습니다. 건조 토탄 5g을 dichloromethane/acetone (1:1 v:v) 30mL로 밤새 교반하면서 추출했습니다. 추출물을 여과하고 여과액을 기화하여 부피를 7.5배 줄였습니다. 그 결과 추출물은 견고성 실험에 사용했습니다.

표 2. 정량 및 정성 이온에 사용한 MRM 전이

화합물	RT	정량 이온	CE	정성 이온	CE
Napthalene-d8	5.041	136.0 → 136.0	19		
Napthalene	5.067	128.0 → 102.0	22	128.0 → 127.0	20
1-Methylnaphthalene	5.693	142.0 → 115.0	30	142.0 → 141.0	30
2-Methylnaphthalene	5.864	142.0 → 115.0	30	142.0 → 141.0	30
Biphenyl	6.249	154.0 → 152.0	25	154.0 → 153.0	25
2,6-Dimethylnaphthalene	6.285	156.0 → 115.0	30	156.0 → 141.0	30
Acenaphthylene	6.986	152.0 → 150.0	40	152.0 → 151.0	40
Acenaphthene-d10	7.095	162.0 → 160.0	19		
Acenaphthene	7.149	154.0 → 152.0	40	153.0 → 152.0	40
2,3,5-Trimethylnaphthalene	7.361	170.0 → 155.0	25	170.0 → 153.0	25
Fluorene	7.858	166.0 → 165.0	30	166.0 → 163.0	34
Dibenzothiophene	9.618	184.0 → 139.0	40	184.0 → 152.0	40
Phenanthrene-d10	9.819	188.0 → 188.0	19		
Phenanthrene	9.879	178.0 → 176.0	34	178.0 → 152.0	30
Anthracene	9.940	178.0 → 176.0	34	178.0 → 152.0	30
1-Methylphenanthrene	11.217	192.0 → 191.0	25	192.0 → 165.0	30
Fluoranthene	12.882	202.0 → 200.0	50	202.0 → 201.0	50
Pyrene	13.692	202.0 → 200.0	50	202.0 → 201.0	30
Benzo(a)anthracene	17.145	228.0 → 226.0	38	228.0 → 224.0	38
Chrysene-d12	17.309	240.0 → 236.0	25	118.0 → 116.0	25
Chrysene	17.400	228.0 → 226.0	38	228.0 → 224.0	38
Benzo(b)fluoranthrene	20.379	252.0 → 250.0	42	250.0 → 248.0	40
Benzo(k)fluoranthrene	20.445	252.0 → 250.0	42	250.0 → 248.0	40
Benzo(j)fluoranthrene	20.543	252.0 → 250.0	42	250.0 → 248.0	40
Benzo(e)pyrene	21.412	252.0 → 250.0	40	250.0 → 248.0	40
Benzo(a)pyrene	21.549	252.0 → 250.0	40	250.0 → 248.0	40
Perylene-d12	21.806	264.0 → 260.0	40	264.0 → 236.0	25
Perylene	21.884	252.0 → 250.0	40	250.0 → 248.0	40
Dibenz(a,c)anthracene	24.347	278.0 → 276.0	38	276.0 → 274.0	38
Dibenz(a,h)anthracene	24.474	278.0 → 276.0	38	276.0 → 274.0	38
Indeno(1,2,3,-cd)pyrene	24.504	276.0 → 274.0	42	138.0 → 124.0	30
Benzo(ghi)perylene	25.644	276.0 → 274.0	42	274.0 → 272.0	42

결과 및 토의

초기 검량

그림 2는 검량 표준물질 100pg의 MRM TIC입니다. 선택한 파라미터로 모든 PAH의 피크 모양, 특히 가장 최신 피크 모양이 매우 우수합니다.

9mm 렌즈 및 연속 수소 세척을 사용하면 보통은 신호 대 잡음비(S/N)가 다소 감소하므로, 원하는 최저 검량 농도 확인이 중요합니다. 예를 들어, 그림 3은 1pg 농도에서 몇 가지 화합물에 대한 정량 이온의 반응입니다. 1pg농도에서 모든 분석물질은 검량에 대한 충분한 신호를 보입니다.

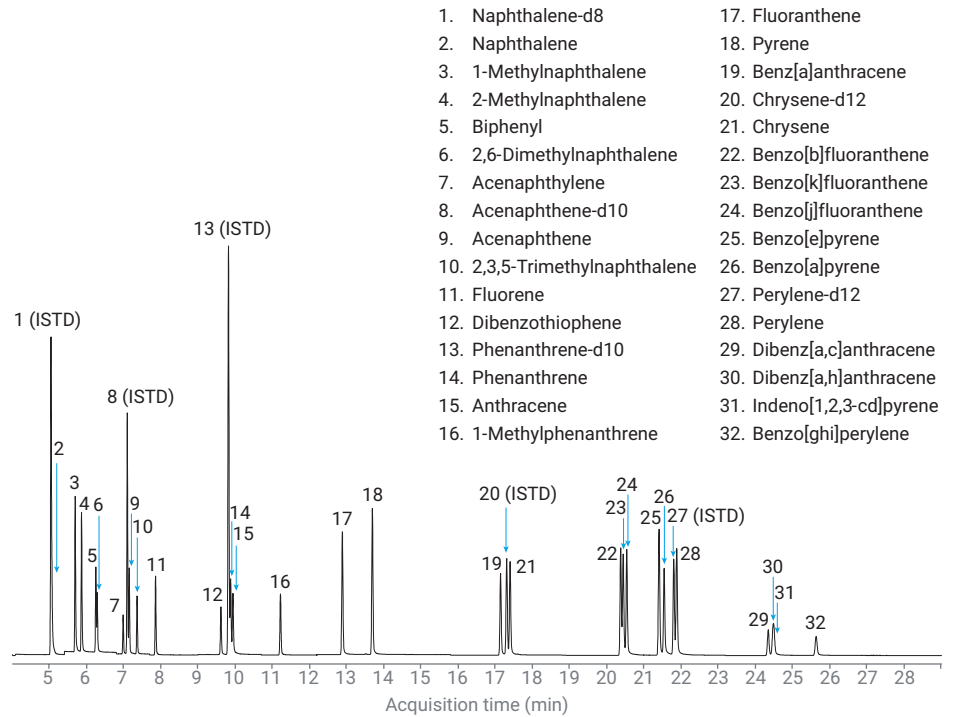


그림 2. 100pg 표준물질 혼합물의 MRM TIC

+EI MRM CID at 30.0 (142.0 → 115.0)

+EI MRM CID at 50.0 (202.0 → 200.0)

+EI MRM CID at 42.0 (276.0 → 274.0)

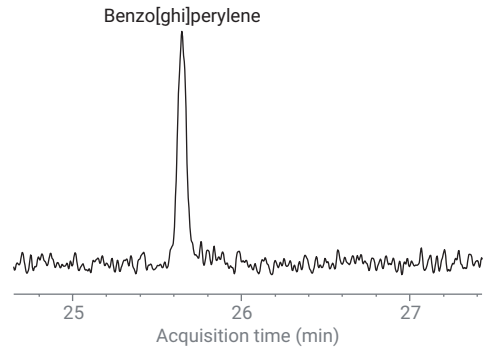
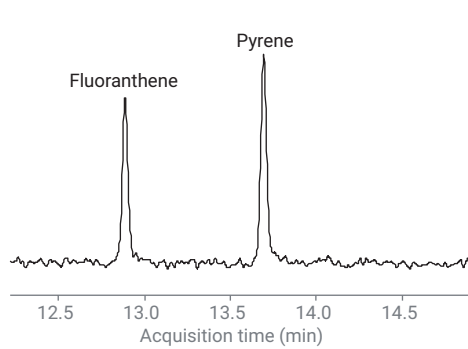
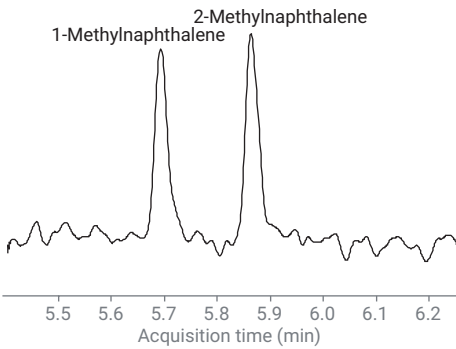


그림 3. 최저 검량 표준물질(1pg)에서 선택한 화합물의 정량 이온 MRM 반응

표 3은 1~1,000pg의 일곱 개 농도로 시스템의 ISTD 검량 4회에 대한 R² 값입니다. 모든 분석물질은 전체 범위에서 우수한 직선성을 나타냅니다. 처음 2회의 검량은 초기 검량이며, 이후 2회 검량은 표준물질 100ppb를 60회 분석한 후였습니다. 이 데이터는 여기에서 구성된 시스템을 이용한 반응 직선성 및 일관성을 입증합니다.

반응 안정성

그림 4는 표준물질 100pg의 120회 순차 반복 분석에서 몇 가지 분석물질에 대해 계산된 농도입니다. 본 시스템은 우수한 반응 안정성을 보여줍니다. 계산 농도의 평균 RSD는 모든 27종 분석물질의 120회 이상 주입에서 1.5%입니다.

120회 이상 주입에 대한 ISTD 원래 면적의 RSD는 다음과 같았습니다.

- Naphthalene-d₈(2.9%)
- Acenaphthene-d₁₀(3.2%)
- Phenanthrene-d₁₀(2.9%)
- Chrysene-d₁₂(4.7%)
- Perylene-d₁₂(5.1%)

표 3. 일곱 개 농도 ISTD 검량의 R² 값: 1~1,000pg MRM. 검량 1과 2는 초기, 검량 3과 4는 표준물질 100pg의 60회 분석 후 수행하였습니다.

화합물	검량 1	검량 2	검량 3*	검량 4*
Napthalene	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
1-Methylnaphthalene	0.9999	0.9999	0.9999	0.9998
2-Methylnaphthalene	0.9999	0.9999	0.9999	0.9998
Biphenyl	0.9999	0.9998	0.9999	0.9998
2,6-Dimethylnaphthalene	0.9998	0.9998	0.9998	0.9997
Acenaphthylene	0.9999	0.9998	0.9999	0.9999
Acenaphthene	0.9999	0.9999	0.9999	1.0000
2,3,5-Trimethylnaphthalene	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
Fluorene	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
Dibenzothiophene	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999
Phenanthrene	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
Anthracene	0.9997	0.9999	0.9999	0.9999
1-Methylphenanthrene	0.9998	0.9999	0.9999	0.9998
Fluoranthene	0.9997	0.9999	0.9999	0.9999
Pyrene	0.9998	0.9999	0.9998	0.9998
Benzo(a)anthracene	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999
Chrysene	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
Benzo(b)fluoranthrene	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
Benzo(k)fluoranthrene	0.9997	0.9996	0.9998	0.9995
Benzo(j)fluoranthrene	0.9992	0.9999	1.0000	0.9985
Benzo(e)pyrene	0.9996	0.9998	0.9998	0.9999
Benzo(a)pyrene	0.9994	0.9996	0.9995	0.9997
Perylene	0.9995	0.9996	0.9995	0.9996
Dibenz(a,c)anthracene	0.9996	1.0000	0.9996	0.9993
Dibenz(a,h)anthracene	0.9994	0.9995	0.9997	0.9996
Indeno(1,2,3,-cd)pyrene	0.9994	0.9994	0.9996	0.9996
Benzo(ghi)perylene	0.9997	0.9998	0.9998	0.9998

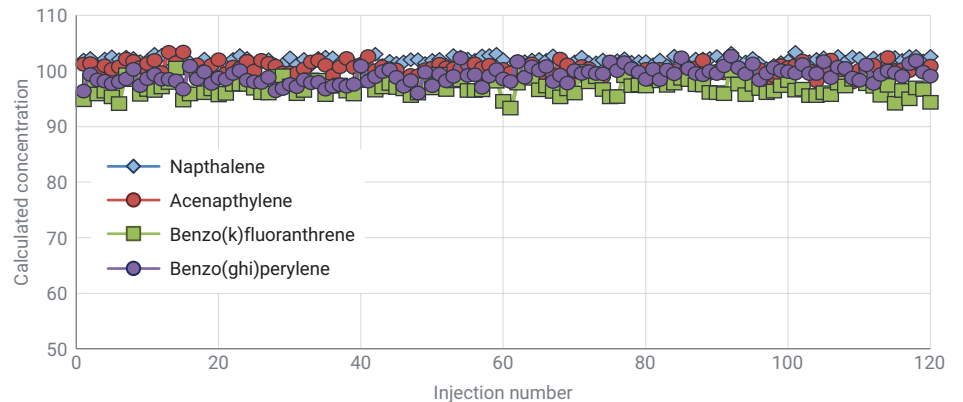


그림 4. 검량 표준물질 100pg의 120회 이상 연속 주입으로 계산된 농도 안정성

토양 추출물의 반응 안정성

견고성 시험에 사용한 토양 추출물은 시스템 시험을 위해 의도적으로 고매질 함량 추출물로 선택했습니다. 그림 5는 PAH 표준물질 100pg 및 ISTD 500pg로 스파이크한 추출물의 스캔 TIC와 비교를 위한 PAH 표준물질 100pg의 스캔 TIC입니다. 토양 추출물은 매우 높은 매질 수준을 가집니다. 이러한 수준의 유기물 함량을 가진 토양은 일반 분석에서 추가적인 시료 cleanup을 고려해야 합니다. 사용한 시료 전처리하는 시험 용도로만 사용하였습니다.

시스템 견고성 시험을 위해 토양 추출물에 27종 분석물질 100pg 및 ISTD 500pg를 각각 스파이크했습니다. 그 다음, 스파이크한 추출물을 60회 주입했습니다. 각 분석마다 용매 기반 검량선에 대해 PAH를 정량하고, 그 결과 계산된 농도를 플롯으로 나타냈습니다. 그림 6은 몇 가지 분석물질의 계산 농도입니다. Naphthalene 및 benzo[ghi]perylene은 모두 스파이크한 100pg 농도보다 더 높은 측정 농도를 보입니다. 이러한 화합물은 그림 7의 오프셋과 거의 일치하는 농도에서 토양에 존재하는 것으로 밝혀졌습니다. Perylene (표시되지 않음)은 토양에서 대략 200pg으로 발견되었습니다.

27종 분석물질 모두에 대한 계산 농도의 평균 RSD는 4.1%였습니다. 27종 분석물질 중 25종의 경우, 계산 농도는 토양의 최초 주입 대비 60회 토양 주입 후 20% 이내였습니다. 예상대로 benzo[ghi]perylene과 같은 가장 무거운 분석물질이 가장 빠른 반응 손실을 보였습니다.

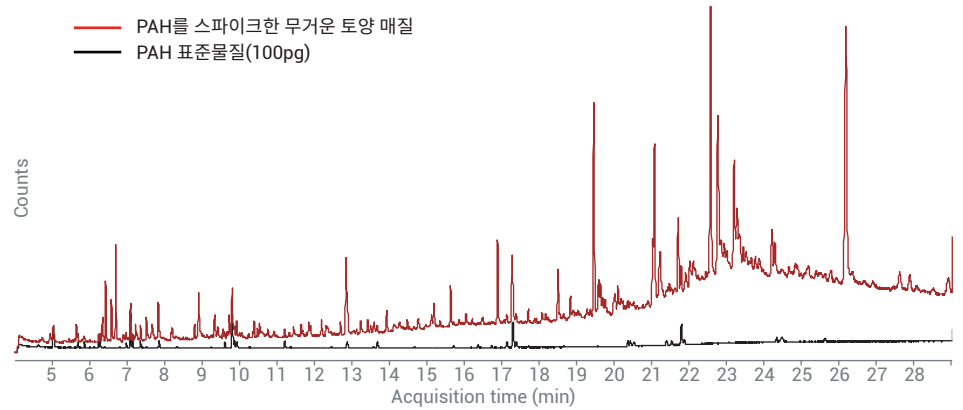


그림 5. 토양 추출물, PAH 표준물질 100pg 및 ISTD 500pg의 스캔 TIC 모두를 동일한 스케일로 그려 추출물의 다량 물질을 보여줍니다.

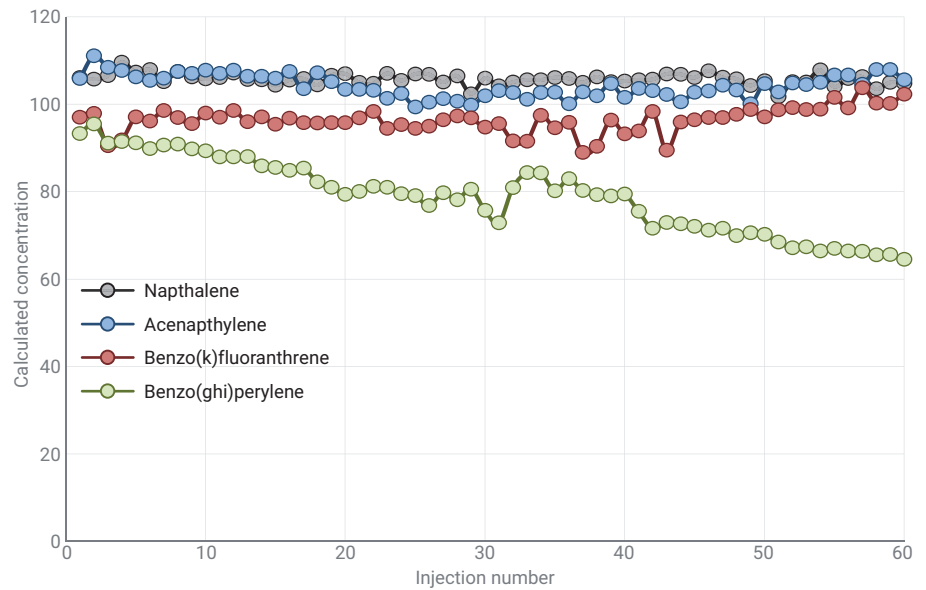


그림 6. PAH 표준물질 100pg 및 ISTD 500pg로 스파이크한 토양 매질의 60회 이상 주입으로 계산한 농도 안정성

토양 추출물 60회 주입 후, 주입구 유지보수를 수행하였습니다. 이는 셉텀, 주입구 라이너 및 골드 실을 교체하고 컬럼1의 헤드를 30cm를 잘라냈습니다. 라이너와 골드 실을 제거한 상태에서, 주입구는 메탄올로 적신 면봉으로 닦아냈습니다. 유지보수 후, 검량 표준물질 100ppb로 분석하고 두 개의 반복 연구 전에 생성한 기존의 검량선으로 정량했습니다. 표 4는 측정 농도입니다. 모든 분석물질은 예상 농도의 12% 이내에 있었습니다. 표 4는 주입구 유지보수 후 전체 검량에 대한 R² 값입니다. 표4의 데이터는 토양에 의한 시스템 성능 저하가 예상대로 주입구 및 컬럼 헤드로 제한됨을 입증합니다.

여기서 다른 매질은 흔히 사용하는 매질 수준의 경우와 같이 이온화원을 세척할 필요는 없었습니다. JetClean과 9mm drawout 렌즈를 사용하면 일반적인 소스 성능 저하의 원인인 침전물을 크게 줄입니다.

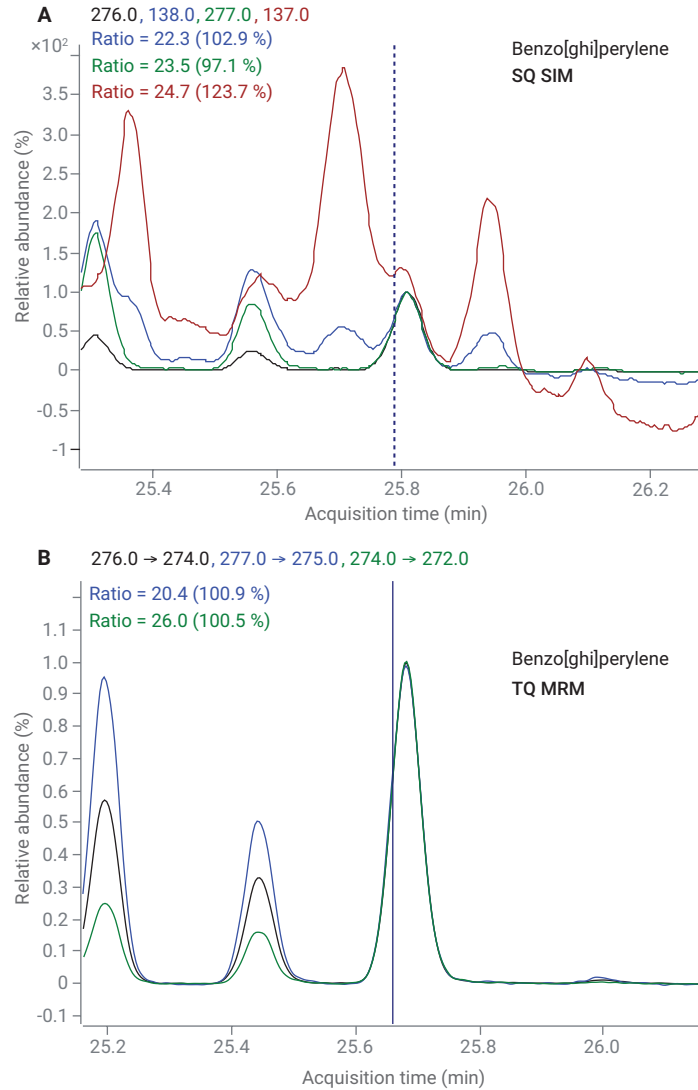


그림 7. 토양 추출물에 스파이크한 PAH 100ppb의 중첩 정량 및 정성 이온 크로마토그램. A) SQ GC/MS, SIM 모드에서의 Benzo[ghi]perylene. B) GC/MS/MS, MRM 모드에서의 동일한 추출물

MRM 선택성

PAH 분석은 보통 SQ GC/MS로 성공적으로 수행하지만⁴, 토양과 같은 매질은 표적 화합물의 스펙트럼 간섭으로 데이터 검토가 어려울 수 있습니다. 간섭의 영향을 해명하기 위해 이러한 간섭은 수동 적분을 흔히 필요로 합니다. GC/MS/MS 사용은 이러한 간섭을 크게 줄입니다. 그림 7은 이를 그림으로 설명합니다. 위는 SQ SIM 데이터의 세 가지 정성 이온과 중첩한 benzo[ghi]perylene의 정량 이온이며, 아래는 TQ의 MRM으로 같은 내용을 보여줍니다.

GC/MS 크로마토그램의 정성 이온(277) 중 하나는 상대적으로 간섭이 없습니다. 나머지 두 개의 정성 이온(138과 137)은 수동 적분이 필요한 상당한 매질 간섭을 보입니다. 반면, GC/MS/MS MRM(B)은 매우 뛰어난 선택성으로 데이터 검토를 훨씬 용이하게 합니다.

결론

이 시스템은 GC/MS PAH 분석에서 발생하는 많은 문제를 해결합니다. GC/MS/MS의 사용으로 매질의 스펙트럼 간섭에 대한 훨씬 높은 선택성을 제공하여 GC/MS 대비 데이터 검토를 단순화합니다. JetClean, 9mm drawout 렌즈, 보다 높은 구간 온도와 적절한 라이너의 사용으로 직선성, 피크 모양 및 시스템 견고성을 크게 향상합니다. JetClean과 백플러시로 수동 이온화원 세척 및 컬럼 끝단 자르기의 필요성이 크게 감소하여 실험실의 생산성 향상을 가능하게 합니다.

표 4. 일곱 개 농도 ISTD 검량의 R² 값 및 검량 확인: 시스템 유지보수 후 1~1,000pg MRM

화합물	재검량 전 검량 검증 표준물질 100pg의 계산 농도	유지보수 후 검량
Naphthalene	99	1.0000
1-methylnaphthalene	96	1.0000
2-Methylnaphthalene	98	1.0000
Biphenyl	94	1.0000
2,6-dimethylnaphthalene	93	1.0000
Acenaphthylene	99	1.0000
Acenaphthene	98	1.0000
2,3,5-Trimethylnaphthalene	98	1.0000
Fluorene	97	1.0000
Dibenzothiophene	90	1.0000
Phenanthrene	96	1.0000
Anthracene	105	1.0000
1-methylphenanthrene	96	1.0000
Fluoranthene	97	1.0000
Pyrene	97	1.0000
Benz[a]anthracene	95	0.9999
Chrysene	96	1.0000
Benzo[b]fluoranthene	97	1.0000
Benzo[k]fluoranthene	99	1.0000
Benzo[j]fluoranthene	112	1.0000
Benzo[e]pyrene	94	1.0000
Benzo[a]pyrene	96	1.0000
Perylene	94	1.0000
Dibenz[a,c]anthracene	96	0.9999
Dibenz[a,h]anthracene	94	1.0000
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	95	1.0000
Benzo[ghi]perylene	94	1.0000

참고문헌

1. Szelewski, M.; Quimby, B. D. Optimized PAH Analysis Using the Agilent Self-Cleaning Ion Source and Enhanced PAH Analyzer, *Agilent Technologies Application Note*, publication number 5191-3003EN, **2013**.
2. Modified ion source triple quadrupole mass spectrometer gas chromatograph for polycyclic aromatic hydrocarbons", Kim A. Anderson, Michael J. Szelewski, Glenn Wilson, Bruce D. Quimby, Peter D. Hoffman, *Journal of Chromatography A* **2015**, 1419(6), 89-9US.
3. 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**.
4. Andrianova, A. A.; Quimby, B. D. Optimized GC/MS Analysis for PAHs in Challenging Matrices, *Agilent Technologies Application Note*, publication number 5994-0499EN, **2019**.

www.agilent.com/chem

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2018
2018년 12월 12일, 한국에서 인쇄
5994-0498KO

서울시 용산구 한남대로 98, 일신빌딩 4층 우)04418
한국에질런트테크놀로지스(주) 생명과학/화학분석 사업부
고객지원센터 080-004-5090 www.agilent.co.kr