

응용 자료 081

US EPA 분석법 TO-15를 준수하는 극저온 환경이 필요 없는 대기 모니터링

응용 자료

환경, 캐니스터, TO-15, 대기 모니터링, 대기 독성물질

MARKES
international

개요

이 응용 자료에서는 극저온 환경이 필요 없는 시스템을 사용해 열탈착 농축을 수행하여 다양한 습도에서 캐니스터 대기 독성물질 시료를 분석하는 GC/MS 분석에 대해 설명합니다. 이 분석법은 4pptv와 같은 분석법 검출 한계를 포함해 US EPA 분석법 TO-15에 명시된 기준 범위 내에서 우수한 피크 모양과 뛰어난 성능을 제공하여 propene에서 naphthalene에 이르기까지 휘발성이 있는 65가지 표적 화합물을 검출할 수 있는 것으로 입증되었습니다.

서론

대기 중의 화학물질이 사람의 건강, 환경, 세계 기후에 미치는 영향을 확인하기 위해서는 이 물질들을 모니터링해야 합니다. 이로 인해 주로 대기(대체로 도시), 산업 배출물, 매립지 가스 중의 잠재적으로 유해한 VOC(휘발성 유기 화합물)에 대한 우려가 증가하는 상황에 부응하여 여러 국내외 규정이 개발되었습니다.

이러한 VOC 분석은 여러 표준 분석법에 따라 수행되며, 흡착 튜브(펌핑 또는 패시브), 캐니스터 또는 온라인 기법을 사용해야 합니다. 각 분석법은 저마다 고유한 이점과 적용범위를 갖고 있으며 미국과 캐나다에서는 캐니스터 샘플링이 가장 일반적으로 사용됩니다. 이 접근법을 사용하여 필요한 검출 한계를 얻기 위해서는 농축을 통해 분석물질에 집중하고 벌크 성분을 선택적으로 제거해야 합니다. 이 접근법은 가장 일반적인 캐니스터 표준 분석법인 US EPA 분석법 TO-15를 따라야 합니다. 이 프로토콜은 미국에서 주로 사용되지만 다른 국가에서도 캐니스터 샘플링을 사용하여 유사한 방법(중국 EPA 분석법 HJ 759)으로 따릅니다.



Agilent Technologies

캐니스터 샘플링이 주로 사용되지만, 계속해서 증가하는 관심 분석물질 및 농도 범위와 샘플링 장소의 온도 및 습도 범위로 인해 전통적인 캐니스터 농축 기법 사용이 점점 까다로워지고 있습니다. 분석 기기에 물이 유입되면 컬럼과 검출기의 수명이 줄어들 뿐 아니라 분석물질 감응과 재현성에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로 높은 수준의 습도를 처리하는 것이 특히 중요합니다.

이 응용 자료에서는 캐니스터 자동 시료 주입기, 혁신적인 트랩 기반 물 제거 장치, 열탈착 가스 크로마토그래피 질량 분석기(TD-GC/MS)를 함께 사용하여 US EPA 분석법 TO-15에 따라 습도 범위가 다양한 캐니스터에서 여러 휘발성 대기 독성물질을 분석할 수 있는 방법에 대해 설명합니다. TO-15는 일반적으로 캐니스터 샘플링을 설명하는 데 사용되지만 이 연구는 분석법의 특정 요건을 준수하는 것에 초점을 맞춥니다.

US EPA 분석법 TO-15의 개요[1]

다음은 분석법 TO-15에서 발췌한 내용으로 이 과정의 중요한 부분을 요약한 것입니다.

- 특수 처리된 스테인리스 스틸 캐니스터에 공기를 주입해 대기 시료를 채취합니다. 대기압 미만의 압력 및 가압 샘플링 모드에서는 초기에 가스를 제거한 캐니스터를 사용합니다. 펌프 배기 샘플링 라인은 대부분 상업적으로 이용 가능한 시료 주입기를 사용해 시료를 채취할 때 사용됩니다. 가압 샘플링에는 시료 캐니스터에 양압을 제공해주는 추가 펌프가 필요합니다. 공기 시료는 사전에 가스를 제거한 부동태화된 캐니스터로 시료가 주입되는 속도와 시간을 조절해주는 샘플링 트레인을 통해 채취합니다.
- 공기 시료를 채취한 후 캐니스터 밸브를 닫고 캐니스터에 식별 태그를 부착한 다음 분석을 위해 캐니스터를 실험실로 옮깁니다.

- 실험실에서 캐니스터를 받으면 캐니스터 태그의 데이터를 기록하고 분석할 때까지 캐니스터를 보관합니다. 대부분의 VOC는 보관 기간이 최대 30일입니다.
- 시료를 분석하기 위해 알려진 부피의 시료를 캐니스터에서 고체 다중흡착 농축기로 통과시킵니다. 다중흡착 성분, 샘플링 기간 및 기타 요소에 따라 시료의 수증기 부분이 샘플링 도중 농축기에 어느 정도 흡수됩니다. 표적 화합물을 보관하는 동안 헬륨을 사용해 농축기에서 건조 퍼지를 수행하여 시료의 수분 함량을 더 줄일 수 있습니다. 농축 및 건조 단계가 완료된 후 VOC는 열탈착되어 운반 가스 스트림에 혼합된 다음 감소된 온도 트랩 또는 소량 다중흡착 트랩에 트래핑되어 적은 양이 모아집니다. 그런 다음 열탈착을 통해 시료는 트랩에서 탈착되어 분리를 위해 가스 크로마토그래피 컬럼으로 운반됩니다.
- 분석법 TO-15 개요서의 분석 전략에서는 고분리능 GC(가스 크로마토그래피)와 MS(질량 분석기)를 함께 사용합니다. MS가 선형 quadrupole 시스템인 경우 넓은 범위의 질량 대 전하비를 연속해서 스캔(SCAN 모드)하거나 표적 목록 화합물의 선택 이온 모니터링 모드(SIM)로 모니터링하여 작동됩니다. MS가 표준 이온 트랩인 경우, 스캔 모드만 사용합니다. 1차 이온 및 2차 이온의 강도가 있는 다양한 VOC에 해당하는 이온의 조각화 패턴과 관련해서 총 이온 크로마토그램의 개별 피크의 질량 스펙트럼을 분석합니다. 화합물을 식별하기 위해 조각화 패턴을 유사한 조건에서 얻은 저장된 스펙트럼과 비교합니다. 주어진 화합물에 대해 1차 조각을 알려진 양의 화합물의 1차 조각에 대한 시스템 감응과 비교합니다. 이 방법으로 시료에 존재하는 화합물의 농도를 확인할 수 있습니다.

분석 장비

이 연구에서는 Kori-xr 물 응축기, UNITY-xr 열탈착기가 포함된 CIA Advantage 캐니스터 자동 시료 주입기와 GC/MS 시스템을 분석 시스템으로 사용했습니다(그림 1). 시스템의 개별 구성요소가 아래에 간략하게 설명되어 있습니다.

CIA Advantage는 0.5mL 시료 루프 또는 MFC(mass flow controller)를 사용하여 최대 27개의 캐니스터(또는 백)에서 VOC를 분석할 수 있는 자동 시료 주입기입니다.

이러한 샘플링 옵션을 통해 고농도 및 저농도 시료를 단일 자동 시퀀스로 자동 분석할 수 있습니다. 따라서 고농도 시료 희석, 관련된 분석 불확도 증가, 오염물질 유입 위험을 피할 수 있습니다. 또한 캐니스터 대기질 분석을 위한 기존의 극저온 냉각 기술의 한계인 고비용 및 결빙으로 인한 유동 경로 막힘 등을 해결할 수 있습니다. CIA Advantage는 또한 1mL 루프를 통해 내부 표준물질을 첨가할 수 있어 소량의 고농도 내부 표준물질 가스를 사용할 수 있습니다. 따라서 희석을 하거나 고가의 표준물질 가스를 사용해야 하는 필요성이 감소합니다.

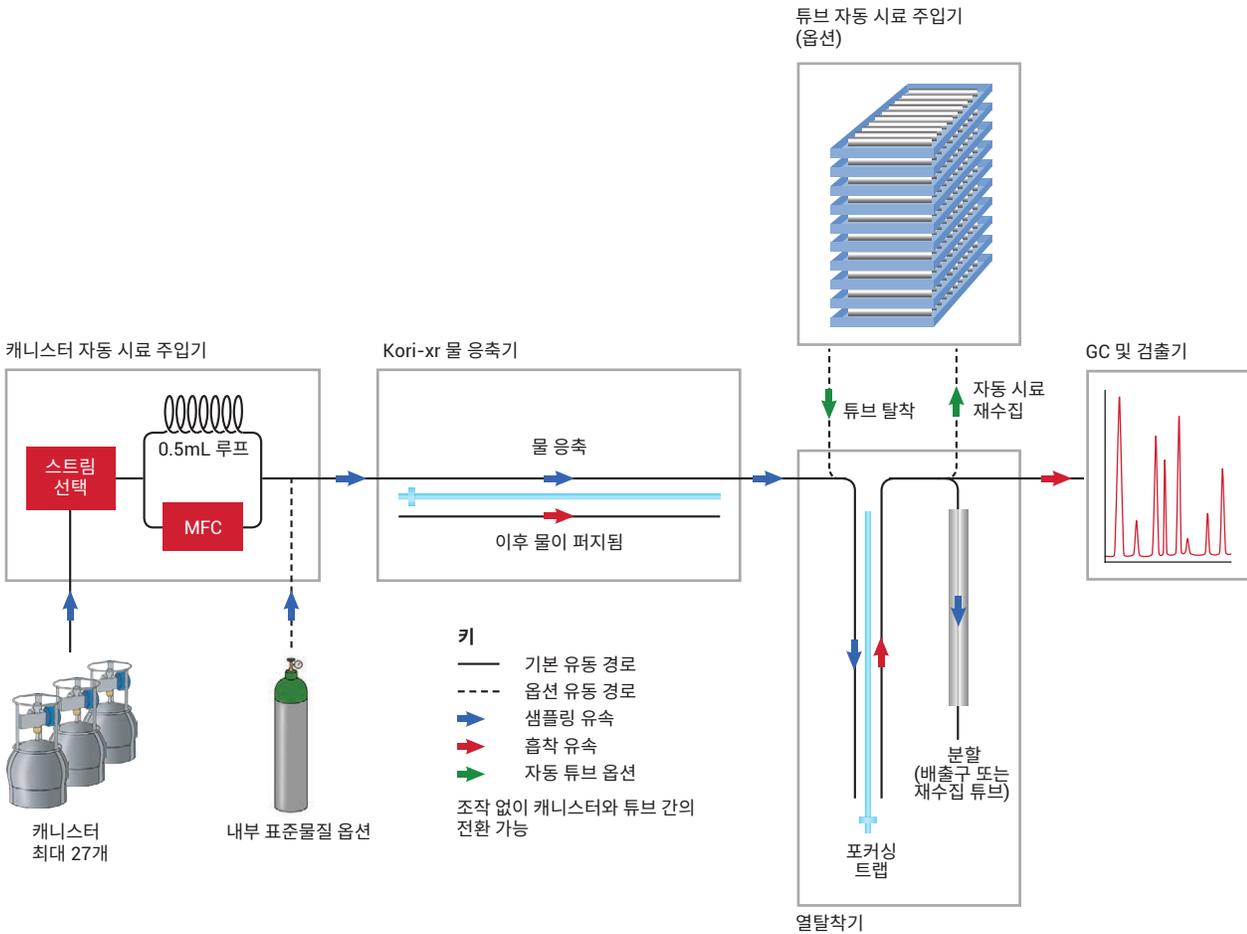


그림 1. 장비 구성

시료가 열탈착기로 유입되기 전에 공기 스트림에서 습도를 효율적으로 제거하는 Kori-xr 장치를 통과합니다(그림 2). 캐니스터와 백백 아니라 Kori-xr도 온라인 시료에 적용할 수 있습니다.

1 공기 샘플링 및 물 제거:

-30°C로 보관된 Kori-xr 트랩이 시료 주입구와 흡착제로 충전된 포커싱 트랩 사이에 위치하므로 공기 시료의 증발 단계의 물(●)이 얼음으로 침전됩니다. 이 과정에서 포커싱 트랩의 VOC(●●●) 수집은 영향을 받지 않은 상태로 유지됩니다.



2 트랩 탈착 및 물 퍼지:

샘플링이 완료되면 분석물질이 포커싱 트랩에서 GC로 이동하며 Kori-xr 트랩에서 얼음이 퍼지되어 다음 시료에 사용할 수 있도록 전처리됩니다.



그림 2. 습윤 공기 스트림 중의 수분을 제거하는 Kori-xr 장치의 작동

과량의 물이 제거된 시료가 UNITY-xr 열탈착기로 들어갑니다. 열탈착기에는 좁은 포커싱 트랩이 포함되어 있으며, 이 트랩은 0°C 이하[2]로 전자적으로 냉각되고 별도의 다공성 폴리머 베드, 그래파이트 카본 블랙, 분자체 흡착제로 채워집니다. 다양한 강도의 이 흡착제 조합으로 광범위한 휘발성 범위의 화합물을 정량적으로 트래핑할 수 있습니다. Kori-xr을 사용하는 구성에서는 수분 머무름의 위험 없이 포커싱 트랩에 더 낮은 온도를 사용할 수 있으므로 습윤 대기 중의 VOC, VVOC, oxygenates, monoterpenes를 정량적으로 얻을 수 있습니다.

분석물질이 트래핑되면 가스 흐름이 역전되고 트랩이 빠르게 가열되어(최대 100°C/s) 분석물질이 GC 컬럼으로 백플러시됩니다.

이 지점에서 시료를 분할하여 배출구로 보내거나 보관했다가 나중에 다시 분석할 수 있도록 깨끗한 흡착 튜브로 보낼 수 있습니다(흡착 튜브는 acetylene과 같은 휘발성이 매우 높은 화합물을 보관할 수 없음). ULTRA-xr 튜브 자동 시료 주입기를 추가하여 위의 시료 분할 및 재수집 프로세스를 자동화할 수 있습니다.

실험

표준물질: 그림 3-5에 표시된 크로마토그램은 65가지 화합물로 구성된 200mL의 TO-15 대기 독성 표준물질을 10ppbv에서 15psig(공칭)로 가압해 6L 캐니스터에 주입하여 분석한 결과입니다[3].

모든 실험에서 적당한 양의 물을 캐니스터에 주입하여 50%, 75% 및 100%의 상대 습도를 얻었습니다.

기기 파라미터

| 파라미터 | 값 |
|----------------------|--|
| 캐니스터 샘플링 | |
| 기기: | CIA Advantage(Markes International) |
| 시료량: | 최대 400mL(50~100% RH의 시료의 경우) |
| 수분 제거 | |
| 기기: | Kori-xr(Markes International) |
| 트랩 온도: | -30°C/+300°C |
| TD | |
| 기기: | UNITY-xr(Markes International) |
| 유동 경로: | 160°C |
| IS 루프 채움: | 1.0분 |
| 루프 평형: | 0.1분 |
| IS 루프 주입: | 50mL/분에서 1.0분 |
| 시료 유속: | 50mL/분 |
| 샘플링 후 | |
| 라인 퍼지: | 50mL/분에서 5분(Kori-xr 사용) |
| 트랩 퍼지: | 50mL/분에서 1.0분 |
| 콜드 트랩: | 대기 독성물질(p/n U-T15ATA-2S) |
| GC | |
| 컬럼: | Agilent J&W DB-624, 60m × 0.32mm, 1.80µm |
| 일정 유속: | 1.5mL/분 |
| 오븐: | 30°C(5분), 5°C/분으로 230°C까지 높임(0분) |
| Quadrupole MS | |
| 이온화원: | 300°C |
| Transfer line: | 200°C |
| 스캔 범위: | m/z 30~300 |

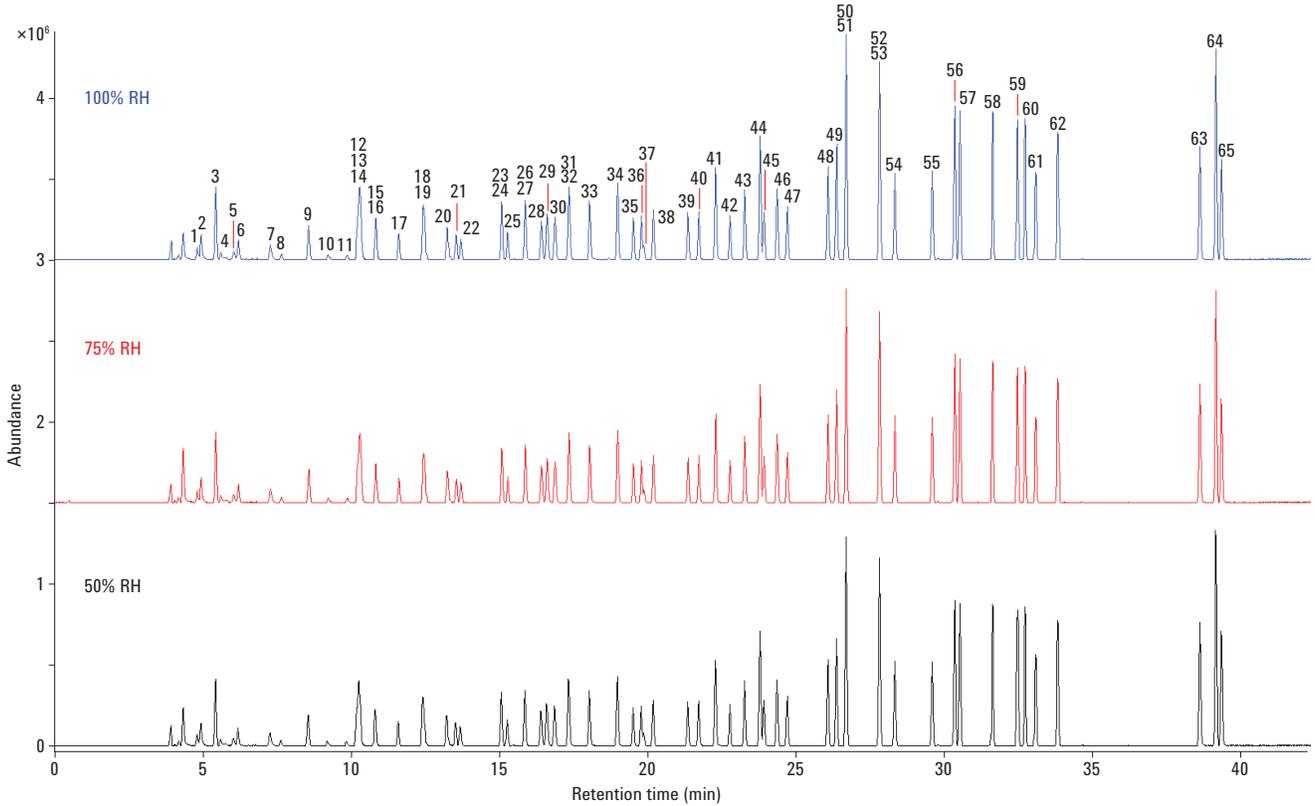
결과 및 토의

표 A1에 결과를 나열하였습니다(부록 참조).

크로마토그래피

그림 3은 50%, 75% 및 100%의 RH(상대 습도)에서 일반적인 10ppbv TO-15 표준물질 분석을 보여주며, 그림 4는 다양한 휘발성 범위를 가진 9가지 화합물의 EIC(추출 이온

크로마토그램)를 보여줍니다. 우수한 피크 모양(특히, 더 가벼운 VOC의 경우)과 3가지 습도 수준 사이의 높은 유사도는 Kori-xr 모듈이 분석물질 트래핑 전에 전체 습도 범위에서 물을 제거하는 데 효과적임을 나타냅니다.



| | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Propene | 18. 1,2-Dichloroethene | 35. 1,2-Dichloropropane | 52. <i>o</i> -Xylene |
| 2. Dichlorodifluoromethane | 19. <i>tert</i> -Butyl methyl ether | 36. Methyl methacrylate | 53. Styrene |
| 3. Dichlorotetrafluoroethane | 20. Hexane | 37. <i>p</i> -Dioxane | 54. Tribromomethane |
| 4. Chloromethane | 21. 1,1-Dichloroethane | 38. Bromodichloromethane | 55. 1,1,2,2-Tetrachloroethane |
| 5. Vinyl chloride | 22. Vinyl acetate | 39. <i>cis</i> -1,3-Dichloropropene | 56. 4-Ethyltoluene |
| 6. Butadiene | 23. <i>trans</i> -1,2-Dichloroethene | 40. 4-Methylpentan-2-one | 57. 1,3,5-Trimethylbenzene |
| 7. Bromomethane | 24. Methyl ethyl ketone | 41. Toluene | 58. 1,2,4-Trimethylbenzene |
| 8. Chloroethane | 25. Ethyl acetate | 42. <i>trans</i> -1,3-Dichloropropene | 59. 1,2-Dichlorobenzene |
| 9. Trichlorofluoromethane | 26. Chloroform | 43. 1,1,2-Trichloroethane | 60. 1,4-Dichlorobenzene |
| 10. Ethanol | 27. Tetrahydrofuran | 44. Tetrachloroethene | 61. Benzyl chloride |
| 11. Acrolein | 28. 1,1,1-Trichloroethane | 45. Methyl <i>n</i> -butyl ketone | 62. 1,3-Dichlorobenzene |
| 12. 1,1-Dichloroethene | 29. Cyclohexane | 46. Chlorodibromomethane | 63. 1,2,4-Trichlorobenzene |
| 13. 1,1,2-Trichlorotrifluoroethane | 30. Tetrachloromethane | 47. 1,2-Dibromoethane | 64. Hexachlorobutadiene |
| 14. Acetone | 31. 1,2-Dichloroethane | 48. Chlorobenzene | 65. Naphthalene |
| 15. Isopropanol | 32. Benzene | 49. Ethylbenzene | |
| 16. Carbon disulfide | 33. Heptane | 50. <i>m</i> -Xylene | |
| 17. Dichloromethane | 34. Trichloroethene | 51. <i>p</i> -Xylene | |

그림 3. 10ppbv의 65가지 화합물로 구성된 TO-15 표준물질 200mL를 50% RH, 75% RH 및 100% RH에서 분석한 결과. 간단하게 확인할 수 있도록 위쪽 2개의 극미량이 오프셋되었습니다.

주목할 만한 또 다른 측면은 끓는점이 가장 높은 화합물은 끓는점이 낮은 화합물보다 감응이 훨씬 더 높으며 더 높은 습도에서 강도 손실이 없다는 것입니다(그림 5).

이 감도는 분석물질 트래핑 또는 GC 컬럼 앞단에서의 화합물 재포커싱을 위해 극저온 액체를 사용하지 않고 얻은 것입니다.

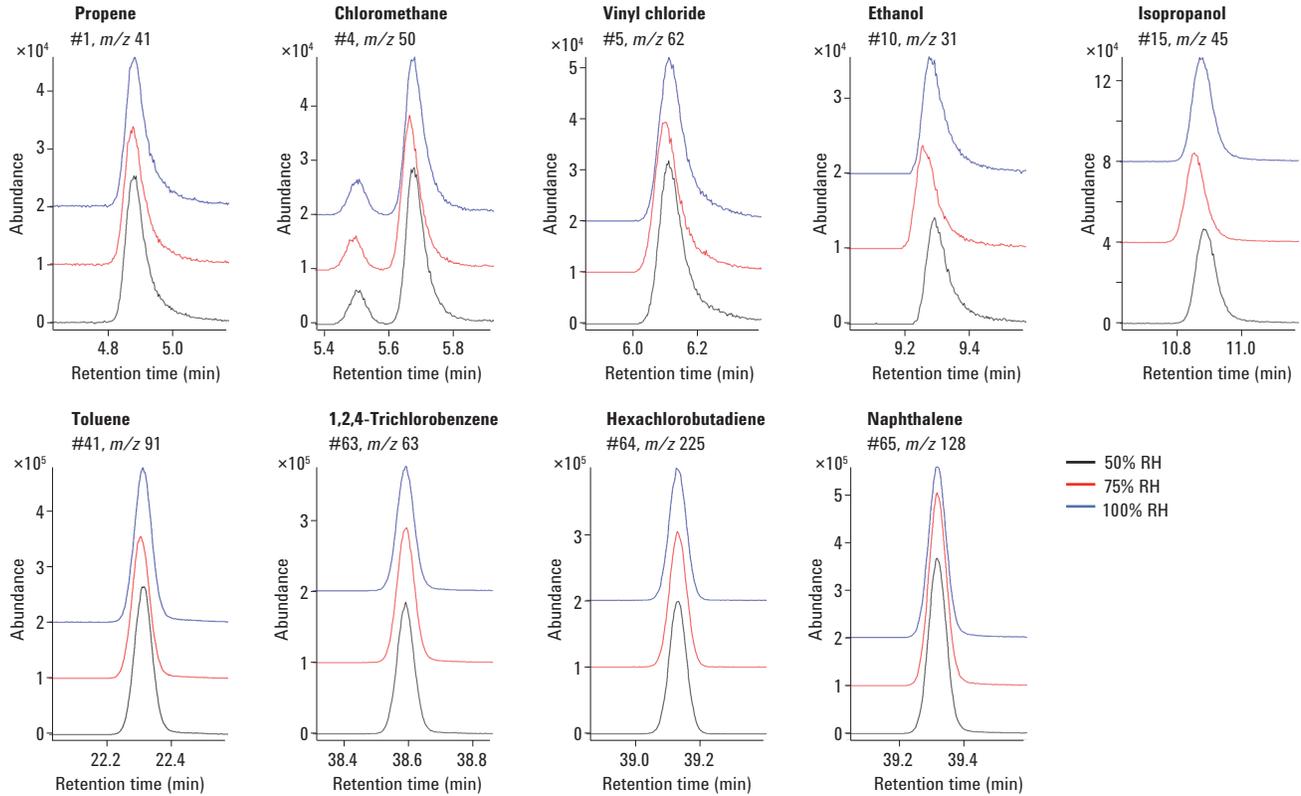


그림 4. 그림 3에 표시된 분석에서 선택한 9가지 분석물질의 EIC. 간단하게 확인할 수 있도록 각 사례에서 위쪽 2개의 극미량이 오프셋되었습니다.

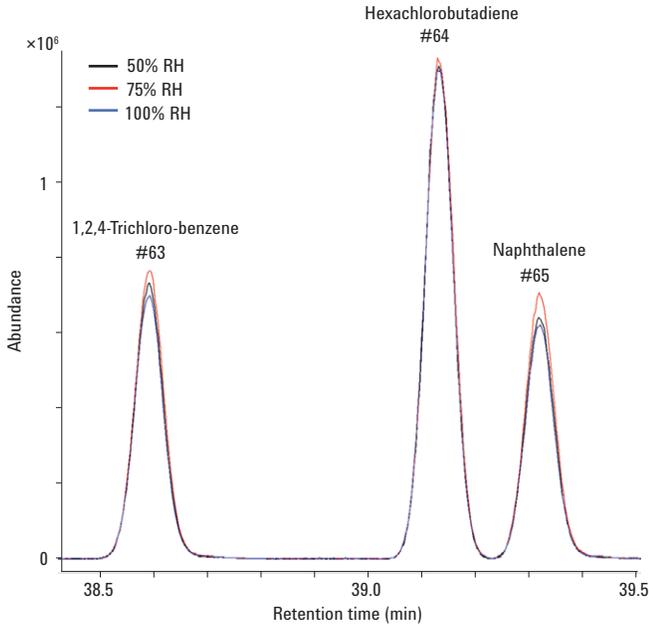


그림 5. 그림 3의 확장(제로 오프셋), 혼합물의 3가지 이상의 휘발성 화합물의 3가지 습도에서 나타나는 감응의 유사성.

직선성

직선성은 각각 0.22ppbv, 0.55ppbv, 1.10ppbv, 2.21ppbv, 4.41ppbv, 6.62ppbv, 8.82ppbv 및 25ppbv의 분석물질을 포함하는 400mL의 시료에 준하는 15psig(공칭)의 10ppbv 표준물질의 10mL, 25mL, 50mL, 100mL, 200mL, 300mL 및 400mL 시료를 사용하여 계산했습니다.

3가지 습도 레벨 모두에서 우수한 시스템 직선성을 얻었으며 (표 A1), 50%, 75% 및 100% RH에 대해 각각 0.9993, 0.9987 및 0.9992의 0.1-25ppbv에서 평균 R² 값을 구했습니다. 그림 6은 다양한 휘발성 범위를 가진 9가지 화합물의 100% RH 시료의 직선성 도표를 보여줍니다.

대용량 시료는 대부분의 휘발성 화합물에 대한 감응이 저하되지 않았으므로 분석물질 확장에 문제가 없음을 나타냅니다. 그러나 분석물질 감응이 크게 높은 경우 더 적은 양의 시료를 사용하면 Kori-xr 시스템에서 제거해야 하는 물의 양이 줄어들기 때문에 도움이 됩니다.

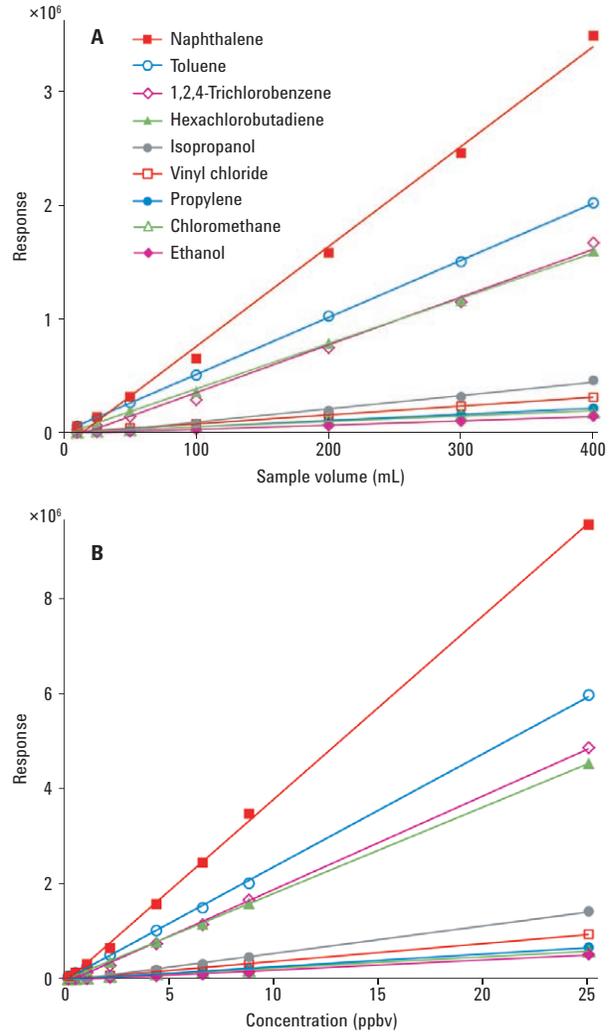


그림 6. 100% RH 시료의 휘발성이 다양한 9가지 화합물의 (A) 10~400mL 및 (B) 0.1~25ppbv의 직선성

분석법 검출 한계

MDL(분석법 검출 한계)은 0.1ppbv의 시료를 7회 반복하여 계산했습니다[4]. 분석법 TO-15를 준수하기 위해 MDL 농도를 0.5ppbv 이하로 맞춰야 합니다.

20pptv 이하의 65개 화합물 중에서 54개 화합물의 값을 계산하여 14pptv의 평균 MDL(표 A1)을 구했습니다. Dichlorotetrafluoroethane, tetrahydrofuran, 1,1,1-trichloroethane 및 1,2,4-trichlorobenzene의 경우 4pptv, ethanol의 경우 45pptv, propene의 경우 95pptv의 단일 이상치 등 값 범위가 다양하였습니다. 이러한 값은 모두 ≤ 0.5 ppbv 요건보다 훨씬 더 낮습니다.

재현성

분석법 TO-15는 검량 테이블의 각 화합물의 RRF(상대 감응 인자)에 대해 계산된 RSD가 30%보다 낮아야 하며, 한계가 최대 40%인 예외는 두 가지 뿐입니다.

결과는 3가지 습도 레벨에서 분석법 TO-15의 요건에 부합했습니다(표 A1). 50%, 75% 및 100% RH 레벨에서의 평균 값은 각각 7.9%, 9.0% 및 8.5%였습니다.

실제 공기 시료

실제 공기 시료에 대한 시스템의 성능을 보여주기 위해 이전에 설명한 것과 동일한 조건에서 시골 지역의 대기를 분석했으며 65가지 화합물로 구성된 TO-15 목록의 4가지 화합물이 정량할 수 있는 레벨로 확인되었습니다(그림 7).

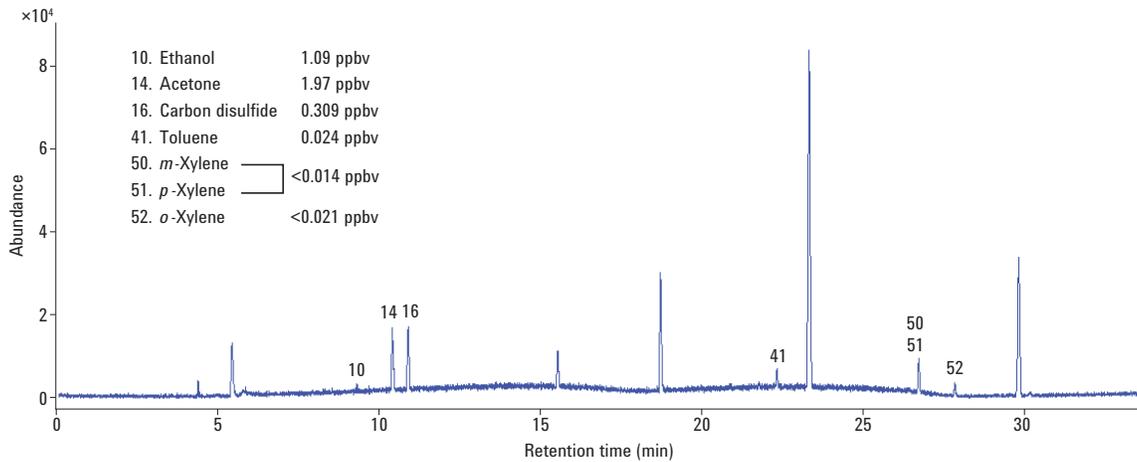


그림 7. 이전에 설명한 조건을 사용하여 시골 공기 250mL를 분석하여 얻은 실제 시료 크로마토그램. TO-15 목록의 화합물이 표시되어 있습니다.

결론

CIA Advantage-Kori-xr-UNITY-xr 농축 시스템을 사용하면 GC/MS 캐니스터를 사용해 습윤 환경의 대기 독성물질을 US EPA 분석법 TO-15에 따라 분석할 수 있습니다.

이 결과의 중요한 특징은 각각 50%, 75% 및 100% 습도에서 65가지 화합물로 구성된 TO-15 혼합물(propene에서 naphthalene까지) 분석할 경우 우수한 크로마토그래피 성능을 보인다는 것입니다. 성능은 분석법 TO-15의 요건에 충분히 부합하며 4pptv의 낮은 MDL를 제공합니다.

결정적으로, Kori-xr 모듈은 휘발성이 높은 유기 화합물 또는 극성 화합물 분석에 영향을 미치지 않으면서 습윤 공기 스트림 중의 물을 효율적이고 선택적으로 제거할 수 있으므로 TO-15 혼합물에 포함된 대부분의 휘발성 화합물에 대해서도 이러한 성능을 얻을 수 있었습니다. 이 시스템은 전자식 트랩 냉각(UNITY-xr 열탈착기와 Kori-xr 물 응축기 모두에서)을 사용하여 극저온 액체와 관련된 위험과 불편함도 제거합니다.

이 연구에 사용된 UNITY-xr-CIA Advantage 시스템을 포함해 모든 Markes TD 시스템의 2가지 추가 기능으로 다음을 수행할 수 있습니다.

- 표준 3½" 열탈착 시료 튜브 실행
- 손쉬운 보관과 샘플링을 위한 캐니스터 방출을 위해 분할된 시료를 깨끗한 흡착 튜브에 재수집

참고 문헌

1. 분석법 TO-15 개요서: 특수 처리된 캐니스터에 수집하여 GC/MS(가스 크로마토그래피/질량 분석기)로 분석한 대기 중의 휘발성 유기 화합물(VOC) 식별, 대기 독성 유기 화합물 식별(제2판)을 위한 분석법 개요서, US EPA, 1999년, www.epa.gov/homeland-security-research/epa-air-method-toxic-organics-15-15-determination-volatile-organic.
2. 캐니스터 분석을 위한 기존의 여러 시스템은 휘발성이 매우 높은 화합물을 트래핑하기 위해 극저온 액체를 사용합니다. Markes의 시스템은 그 대신 전자식(Peltier) 냉각을 사용하여 대용량 시료의 대부분의 휘발성 화합물의 정량 머무름을 제공할 수 있으므로 극저온 액체 비용이 발생하지 않습니다.
3. 분석법 TO-15에는 정화 테스트를 거치지 않은 캐니스터 (표적화된 VOC의 0.2ppbv 미만인 습윤 제로 공기를 직접 분석한 결과와 비교)를 사용해서는 안 된다고 명시되어 있습니다.
4. MDL은 7개 값의 99% 신뢰도를 기반으로 계산했습니다 (MDL = 3.143 × 표준편차 × 농도).

상표

CIA Advantage™, Kori-xr™, ULTRA-xr™ 및 UNITY-xr™은 Markes International의 상표입니다.

DB-624™는 Agilent Technologies의 상표입니다.

부록

표 A1. 각각 50%, 75% 및 100% 상대 습도에서 TO-15 표준물질에 대해 얻은 데이터. 농도 범위 0.1~25ppbv에 대한 직선성(R²) 값이 생성되었습니다.

| 번호 | 화합물 | RT(분) | 50% RH | | | 75% RH | | 100% RH | |
|----|--------------------------------|--------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| | | | R ² | RRF RSD(%) | MDL (ppbv) | R ² | RRF RSD(%) | R ² | RRF RSD(%) |
| 1 | Propene | 4.894 | 0.9989 | 3.4 | 0.094 | 0.9996 | 4.0 | 0.9997 | 6.3 |
| 2 | Dichlorodifluoromethane | 5.032 | 0.9993 | 8.2 | 0.011 | 0.9993 | 9.7 | 0.9998 | 5.6 |
| 3 | Dichlorotetrafluoroethane | 5.500 | 0.9994 | 9.6 | 0.004 | 0.9991 | 12.5 | 0.9997 | 7.7 |
| 4 | Chloromethane | 5.686 | 0.9965 | 14.8 | 0.028 | 0.9933 | 12.3 | 0.9808 | 11.0 |
| 5 | Vinyl chloride | 6.122 | 0.9992 | 7.2 | 0.019 | 0.9983 | 6.5 | 0.9994 | 4.6 |
| 6 | Butadiene | 6.276 | 0.9991 | 5.1 | 0.009 | 0.9989 | 6.0 | 0.9998 | 2.0 |
| 7 | Bromomethane | 7.346 | 0.9988 | 10.5 | 0.020 | 0.9993 | 13.5 | 0.9988 | 14.4 |
| 8 | Chloroethane | 7.723 | 0.9996 | 6.2 | 0.016 | 0.9980 | 8.8 | 0.9870 | 9.1 |
| 9 | Trichlorofluoromethane | 8.646 | 0.9993 | 7.5 | 0.008 | 0.9991 | 11.0 | 0.9999 | 6.2 |
| 10 | Ethanol | 9.299 | 0.9931 | 26.7 | 0.045 | 0.9866 | 13.4 | 0.9997 | 24.4 |
| 11 | Acrolein | 9.925 | 0.9984 | 14.2 | 0.033 | 0.9984 | 26.5 | 0.9993 | 9.3 |
| 12 | 1,1-Dichloroethene | 10.258 | 0.9993 | 3.7 | 0.006 | 0.9994 | 5.1 | 0.9998 | 1.2 |
| 13 | 1,1,2-Trichlorotrifluoroethane | 10.337 | 0.9993 | 6.8 | 0.005 | 0.9994 | 8.1 | 1.0000 | 4.8 |
| 14 | Acetone | 10.401 | 0.9980 | 6.3 | 0.024 | 0.9982 | 5.5 | 1.0000 | 2.7 |
| 15 | Isopropanol | 10.868 | 0.9979 | 23.4 | 0.016 | 0.9864 | 17.4 | 0.9981 | 18.8 |
| 16 | Carbon disulfide | 10.884 | 0.9994 | 2.8 | 0.007 | 0.9992 | 3.4 | 0.9999 | 0.9 |
| 17 | Dichloromethane | 11.657 | 0.9992 | 4.1 | 0.008 | 0.9996 | 4.4 | 0.9998 | 2.0 |
| 18 | 1,2-Dichloroethene | 12.461 | 0.9996 | 3.6 | 0.005 | 0.9990 | 5.4 | 0.9999 | 1.6 |
| 19 | tert-Butyl methyl ether | 12.513 | 0.9985 | 7.8 | 0.008 | 0.9996 | 5.5 | 0.9997 | 4.2 |
| 20 | Hexane | 13.285 | 0.9984 | 16.8 | 0.022 | 0.9982 | 16.2 | 0.9956 | 13.6 |
| 21 | 1,1-Dichloroethane | 13.578 | 0.9996 | 6.6 | 0.011 | 0.9992 | 9.6 | 1.0000 | 5.5 |
| 22 | Vinyl acetate | 13.737 | 0.9991 | 3.6 | 0.011 | 0.9991 | 5.2 | 0.9998 | 1.5 |
| 23 | trans-1,2-Dichloroethene | 15.112 | 0.9988 | 3.2 | 0.008 | 0.9995 | 8.6 | 0.9998 | 3.6 |
| 24 | Methyl ethyl ketone | 15.127 | 0.9995 | 4.6 | 0.034 | 0.9989 | 4.5 | 0.9998 | 9.2 |
| 25 | Ethyl acetate | 15.314 | 0.9995 | 2.8 | 0.025 | 0.9996 | 7.0 | 0.9999 | 5.5 |
| 26 | Chloroform | 15.904 | 0.9994 | 7.4 | 0.005 | 0.9995 | 9.5 | 0.9999 | 5.5 |
| 27 | Tetrahydrofuran | 15.912 | 0.9997 | 5.0 | 0.004 | 0.9995 | 10.5 | 0.9998 | 9.2 |
| 28 | 1,1,1-Trichloroethane | 16.447 | 0.9992 | 10.8 | 0.004 | 0.9985 | 14.4 | 0.9999 | 8.2 |
| 29 | Cyclohexane | 16.637 | 0.9992 | 6.8 | 0.018 | 0.9973 | 7.8 | 0.9999 | 8.8 |
| 30 | Tetrachloromethane | 16.902 | 0.9993 | 9.3 | 0.005 | 0.9987 | 12.3 | 1.0000 | 7.4 |
| 31 | 1,2-Dichloroethane | 17.378 | 0.9997 | 6.8 | 0.014 | 0.9993 | 7.9 | 1.0000 | 3.5 |
| 32 | Benzene | 17.390 | 0.9993 | 12.3 | 0.015 | 0.9997 | 10.2 | 0.9999 | 6.1 |
| 33 | Heptane | 18.075 | 0.9997 | 14.3 | 0.017 | 0.9998 | 16.5 | 0.9995 | 19.0 |
| 34 | Trichloroethene | 19.022 | 0.9993 | 7.7 | 0.009 | 0.9996 | 9.3 | 0.9999 | 5.1 |
| 35 | 1,2-Dichloropropane | 19.557 | 0.9995 | 9.1 | 0.008 | 0.9995 | 11.3 | 0.9999 | 7.1 |
| 36 | Methyl methacrylate | 19.822 | 0.9994 | 4.7 | 0.017 | 0.9991 | 6.6 | 0.9989 | 2.9 |
| 37 | p-Dioxane | 19.914 | 0.9997 | 16.1 | 0.015 | 0.9982 | 6.8 | 0.9998 | 12.6 |
| 38 | Bromodichloromethane | 20.227 | 0.9994 | 7.6 | 0.011 | 0.9992 | 10.1 | 0.9999 | 6.2 |
| 39 | cis-1,3-Dichloropropene | 21.399 | 0.9993 | 7.3 | 0.006 | 0.9997 | 8.8 | 1.0000 | 4.5 |
| 40 | 4-Methylpentan-2-one | 21.760 | 0.9997 | 4.0 | 0.007 | 0.9989 | 6.9 | 0.9999 | 2.8 |

| 번호 | 화합물 | RT(분) | 50% RH | | | 75% RH | | 100% RH | |
|-------------|-----------------------------------|--------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| | | | R ² | RRF RSD(%) | MDL (ppbv) | R ² | RRF RSD(%) | R ² | RRF RSD(%) |
| 41 | Toluene | 22.326 | 0.9996 | 7.8 | 0.021 | 0.9997 | 11.0 | 0.9999 | 16.3 |
| 42 | <i>trans</i> -1,3-Dichloropropene | 22.810 | 0.9994 | 6.0 | 0.009 | 0.9990 | 7.7 | 0.9997 | 2.9 |
| 43 | 1,1,2-Trichloroethane | 23.305 | 0.9996 | 8.2 | 0.007 | 0.9990 | 11.9 | 1.0000 | 7.9 |
| 44 | Tetrachloroethene | 23.828 | 0.9995 | 8.6 | 0.007 | 0.9995 | 10.1 | 1.0000 | 8.8 |
| 45 | Methyl <i>n</i> -butyl ketone | 23.959 | 0.9997 | 4.3 | 0.008 | 0.9993 | 2.8 | 0.9998 | 2.5 |
| 46 | Chlorodibromomethane | 24.398 | 0.9992 | 6.3 | 0.009 | 0.9993 | 6.9 | 0.9999 | 4.7 |
| 47 | 1,2-Dibromoethane | 24.735 | 0.9996 | 6.5 | 0.007 | 0.9994 | 7.4 | 1.0000 | 4.4 |
| 48 | Chlorobenzene | 26.102 | 0.9997 | 7.3 | 0.007 | 0.9995 | 9.4 | 1.0000 | 11.9 |
| 49 | Ethylbenzene | 26.407 | 0.9998 | 7.5 | 0.018 | 0.9995 | 8.8 | 0.9999 | 20.2 |
| 50 | <i>m</i> -Xylene | 26.732 | 1.0000 | 8.0 | 0.014 | 0.9996 | 9.4 | 1.0000 | 20.8 |
| 51 | <i>p</i> -Xylene | 26.732 | 1.0000 | 8.0 | 0.014 | 0.9996 | 9.4 | 1.0000 | 20.8 |
| 52 | <i>o</i> -Xylene | 27.837 | 0.9999 | 8.9 | 0.021 | 0.9997 | 9.8 | 1.0000 | 25.2 |
| 53 | Styrene | 27.857 | 0.9999 | 5.7 | 0.007 | 0.9992 | 7.4 | 0.9999 | 10.3 |
| 54 | Tribromomethane | 28.376 | 0.9991 | 5.3 | 0.006 | 0.9990 | 4.7 | 0.9998 | 4.4 |
| 55 | 1,1,2,2-Tetrachloroethane | 29.624 | 0.9999 | 7.1 | 0.010 | 0.9995 | 10.2 | 0.9999 | 6.8 |
| 56 | 4-Ethyltoluene | 30.385 | 1.0000 | 4.3 | 0.010 | 0.9994 | 5.4 | 0.9999 | 6.3 |
| 57 | 1,3,5-Trimethylbenzene | 30.551 | 1.0000 | 5.1 | 0.023 | 0.9997 | 9.0 | 1.0000 | 19.6 |
| 58 | 1,2,4-Trimethylbenzene | 31.653 | 1.0000 | 6.6 | 0.019 | 0.9995 | 8.2 | 1.0000 | 10.4 |
| 59 | 1,2-Dichlorobenzene | 32.485 | 1.0000 | 3.5 | 0.016 | 0.9993 | 5.4 | 0.9999 | 3.9 |
| 60 | 1,4-Dichlorobenzene | 32.738 | 1.0000 | 2.8 | 0.008 | 0.9994 | 2.9 | 0.9999 | 3.3 |
| 61 | Benzyl chloride | 33.107 | 0.9999 | 2.1 | 0.006 | 0.9991 | 2.9 | 0.9998 | 2.3 |
| 62 | 1,3-Dichlorobenzene | 33.840 | 1.0000 | 6.7 | 0.006 | 0.9993 | 7.4 | 0.9999 | 7.4 |
| 63 | 1,2,4-Trichlorobenzene | 38.594 | 0.9991 | 19.3 | 0.004 | 0.9972 | 16.1 | 0.9965 | 18.9 |
| 64 | Hexachlorobutadiene | 39.121 | 0.9999 | 4.9 | 0.010 | 0.9996 | 3.3 | 0.9997 | 9.4 |
| 65 | Naphthalene | 39.315 | 0.9994 | 16.4 | 0.010 | 0.9982 | 16.2 | 0.9975 | 19.7 |
| 평균 값 | | | 0.9993 | 7.9 | 0.014 | 0.9987 | 9.0 | 0.9992 | 8.5 |

응용 분석은 명시된 분석 조건 하에서 수행되었습니다.
다양한 조건에서의 작동 또는 호환되지 않는 시료
매트릭스는 표시된 성능에 영향을 미칠 수 있습니다.

자세한 정보

이러한 데이터는 일반적인 결과를 나타냅니다. 애질런트의
제품 및 서비스에 대한 자세한 정보는 애질런트 웹사이트
(www.agilent.com/chem)를 방문하십시오.

www.agilent.com/chem

애질런트는 이 자료의 오류 또는 장비의 설치, 성능, 이 자료의 사용
등과 관련된 사고나 결과적 손상에 대해 법적 책임을 지지 않습니다.

이 발행물의 정보, 설명 및 사양은 사전 공지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc., 2017

2017년 7월 11일

한국에서 인쇄

5991-2829KO

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



Agilent Technologies