

## 수소 운반 가스와 Agilent HydroInert 소스를 사용한 EPA TO-15 분석

냉매 없는 극저온 열 탈착 및 수소 가스를 사용하는 SQ  
질량 분석기(GC/MS)와 결합된 가스 크로마토그래피를  
사용한 대기 테스트

### 저자

Laura Miles, Hannah Calder,  
Helen Martin  
Markes International Ltd.  
Llantrisant, UK  
Tarun Anumol,  
Amanda McQuay,  
Angela Smith Henry  
Agilent Technologies, Inc.  
Wilmington, DE, USA

### 개요

대기 모니터링은 일반적으로 가스 크로마토그래피/질량 분석법(GC/MS) 및 헬륨 운반 가스로 분석합니다. 최근의 헬륨 공급 부족은 각 조직들이 수소 운반 가스에 대해 적극적으로 연구하도록 유도하였으나, 대부분의 GC/MS 분석은 감도 저하 및 소스 내 수소화 또는 탈염화 현상을 보였습니다. 이 응용 자료에서는 100% 상대 습도(RH)에서 가습 캐니스터 “대기 독성물질” 시료의 GC/MS 분석을 위한 수소 운반 가스 및 Agilent HydroInert 소스의 사용과 더불어 열 탈착 사전 농축을 위한 냉매 없는 극저온 시스템을 사용하는 분석법을 설명합니다. 여기서는 프로펜부터 나프탈렌에 이르는 넓은 휘발성을 가진 65개 표적 화합물 검출을 입증했으며, 11pptv(부피 조분율)로 낮은 분석법 검출 한계(MDL)를 포함해 미국 환경보호국(EPA) 분석법 Toxic Organics-15(TO-15)에 명시된 기준 내에서 우수한 피크 모양과 성능을 얻었습니다.

## 서론

대기 중의 화학물질이 환경 및 세계 기후에 미치는 영향을 확인하기 위해서는 이 물질들을 모니터링해야 합니다. 이러한 모니터링으로 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 몇 가지 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-15'를 따라야 합니다.

캐니스터 샘플링이 주로 사용되지만, 계속해서 증가하는 관심 분석물질 및 농도 범위로 인해 전통적인 캐니스터 농축 기법 사용이 점점 까다로워지고 있습니다. 샘플링 위치의 온도 및 습도 범위도 문제입니다. 분석 기기에 물이 유입되면 컬럼과 검출기의 수명이 줄어들 뿐 아니라 분석물질 감응과 재현성에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로 높은 습도는 분석에 어려움을 초래합니다.

헬륨의 가용성은 지난 몇 년간 우려를 불러일으킨 문제였으며 수소와 같은 대체 운반 가스로의 전환이 획기적으로 증가했습니다. 그러나 기존 MS 시스템은 심하게 염분화된 화합물의 탈염분해에 문제를 가지고 있습니다. 이러한 문제는 총 이온 크로마토그램(TIC)에서 피크의 질량 스펙트럼을 변화시키고 잠재적으로 잘못된 화합물 식별로 이어질 수 있습니다. Agilent 5977B Inert Plus GC/MSD용으로 새롭게 설계된 Extractor 소스인 Agilent HydroInert는 이러한 수소 관련 문제를 해결해주며, GC/MS에서 수소 운반 가스의 성능을 향상시키는 데 도움을 줍니다. 수소 운반 가스를 사용하는 HydroInert 소스는 질량 스펙트럼 정확도를 유지하면서, 사용자가 기존의 헬륨 기반 질량 스펙트럼 라이브러리 및 정량 분석법을 그대로 사용할 수 있도록 합니다.

이 응용 자료에서는 캐니스터 자동 시료 주입기, 혁신적인 트랩 기반 수분 제거 장치, 열 탈착 가스 크로마토그래피/질량 분석기(TD-GC/MS)를 수소 운반 가스 및 HydroInert 소스와 함께 사용하여 US EPA 분석법 TO-15에 따라 100% RH의 캐니스터에서 여러 휘발성 “대기 독성물질”을 분석할 수 있는 방법에 대해 설명합니다. “TO-15”라는 용어는 일반적으로 캐니스터 샘플링을 설명하는 데 사용되지만 이 연구는 분석법의 특정 요건을 준수하는 것에 초점을 맞춥니다.

### US EPA 분석법 TO-15의 개요

주요 작업을 아래에 요약했습니다.

1. **샘플링:** 캐니스터를 청소하고 비운 후 샘플링 장소로 가져갑니다. 캐니스터 밸브가 열리고 유량 컨트롤러가 필터를 통해 캐니스터로 공기를 빨아들입니다. 설정된 일정 유량에 해당하는 샘플링 시간에 도달하면 캐니스터 밸브가 닫히고 캡으로 밀봉됩니다.

2. **보관:** 시료는 상온에서 보관되며 샘플링 후 20일 이내에 가능한 한 빨리 분석해야 합니다.
3. **시료 분석:** 알려진 양의 시료가 수분 제거 장치를 통과해 캐니스터 자동 시료 주입기에 연결된 캐니스터에서 농축기 시스템 내의 다중 흡착제 포커싱 트랩으로 보내집니다. 수분 제거 장치가 시료에서 대부분의 수분을 제거하며 트랩을 퍼징하면서 시료에 남아 있는 수증기를 추가적으로 제거할 수 있습니다. 농축 및 건조 단계가 완료된 후 VOC는 열적으로 탈착되고, 분리를 위해 운반 가스 스트림에 섞여 GC 컬럼으로 옮겨집니다.
4. **화합물 식별 및 정량화:** 분석법 TO-15는 시료의 정성 및 정량 분석을 위해 GC/MS를 사용합니다. 선형 Quadrupole MS의 경우, 넓은  $m/z$  범위(스캔 모드) 또는 이온 선택적 스캐닝(SIM 모드) 패턴 모니터링을 사용하여 관련 표적 화합물을 모니터링할 수 있습니다. TIC의 개별 피크에 대한 질량 스펙트럼을 검사하고 정량 이온과 정성 이온의 강도를 기준으로 VOC를 식별합니다. 그런 다음 획득한 질량 스펙트럼을 라이브러리 스펙트럼(유사한 조건에서 얻음)과 비교하여 화합물을 식별합니다. 주어진 화합물에 대해 정량 이온의 존재비를 알려진 농도의 화합물 존재비와 비교하여 시료 내 화합물의 농도를 결정합니다.

## 실험

### 기기 구성

이 연구에 사용된 분석 시스템에는 Kori-xr 수분 제거 장치 및 UNITY-xr 열 탈착기가 있는 다중 가스 CIA Advantage-xr 캐니스터 자동 시료 주입기와 HydroInert EI 소스 및 6mm 렌즈(부품 번호 G3870-20448)를 장착한 Agilent 8890B GC 및 5977B SQ GC/MSD 시스템이 결합되어 있습니다.

표 1 및 2는 캐니스터, TD, GC 및 MS 파라미터를 보여줍니다.

### 표준물질 준비

달리 명시하지 않는 한, 1ppm으로 65개의 “대기 독성” 화합물을 포함하는 1ppm (백만분율) 표준물질을 질소 밸런스 가스가 들어 있는 6L 캐니스터에서 10ppbv (부피 조분율)로 희석했습니다. 캐니스터에 적정량의 물을 주입하여 RH를 100%로 만들었습니다.

### 결과 및 토의

결과가 표 A1에 나와 있습니다(부록 참조).

### 크로마토그래피

그림 1은 RH 100%에서 일반적인 10ppbv TO-15 표준물질 분석을 보여주며, 그림 2는 다양한 휘발성 범위를 가진 16가지 화합물의 EIC(추출 이온 크로마토그램)를 보여줍니다. 100% RH에서 분석물질 트래핑 전에 특히 가벼운 VOC에서 Kori-xr 모듈이 물을 제거하는 효율성을 입증하는 우수한 피크 모양에 주목하세요.

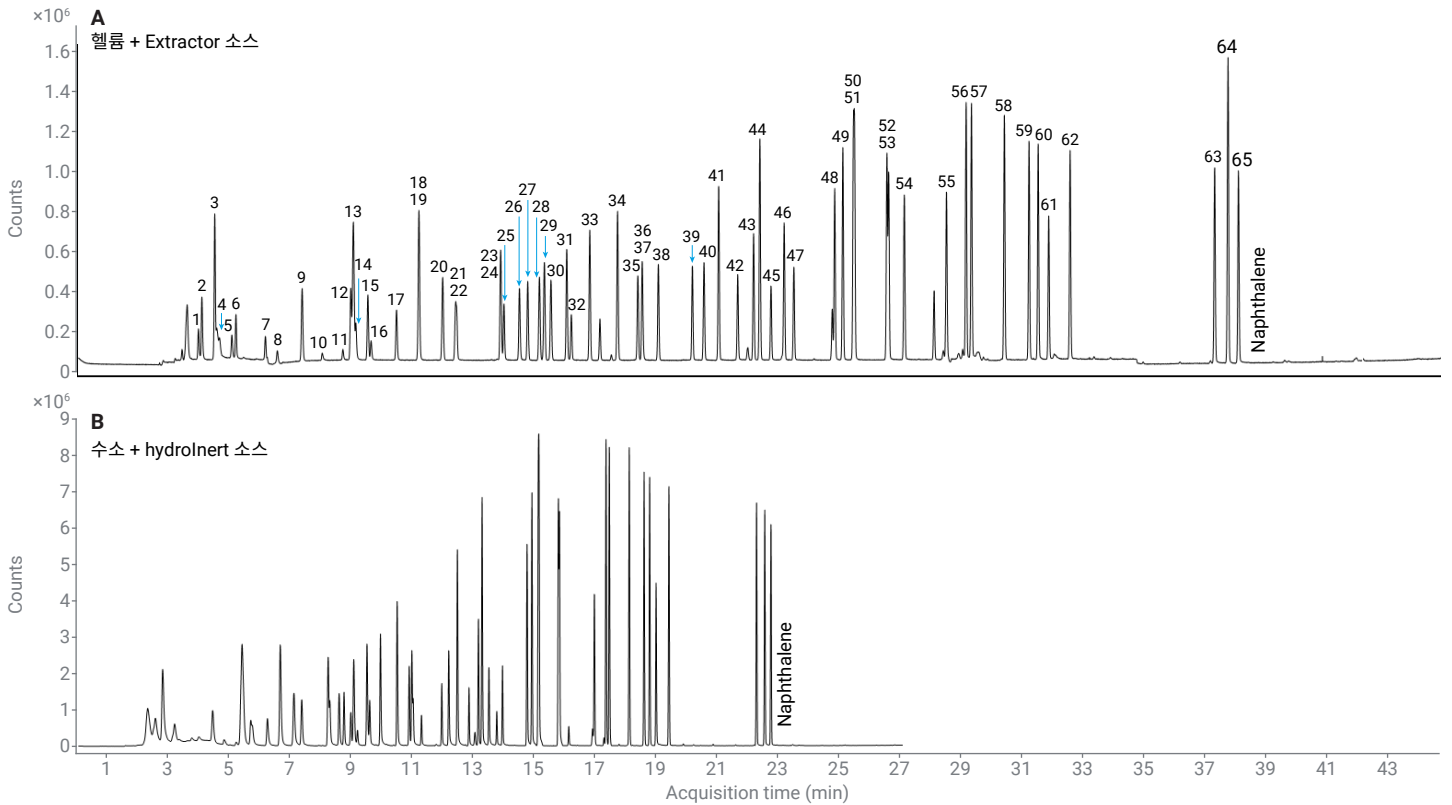
또 다른 주목할 만한 측면은 모든 화합물에 대한 머무름 시간 순서를 유지하면서 나프탈렌이 38분에서 23분으로 이동한 것으로 알 수 있듯이 수소 운반 가스가 GC 주기 시간을 40%(45분에서 27분) 줄인다는 것입니다. 빠른 크로마토그래피는 시료 처리량을 크게 증가시킬 수 있습니다.

표 1. GC 및 TD 파라미터.

파라미터	값
가스 크로마토그래프	Agilent 8890B GC
컬럼	Agilent J&W DB-624, 60m × 0.25mm, 1.40µm(부품 번호 123-1364)
주입구	비분할
주입구 온도	120°C
오븐 온도 프로그램	30°C(3분) 분당 8.3°C로 230°C까지 승온(0분 유지)
총 분석 시간	27분
MS 이송 라인 온도	230°C
주입량	NA
운반 가스	수소, 2.0mL/분, 일정 유속
<b>캐니스터 샘플링</b>	
기기	CIA Advantage-xr(Markes International)
시료량	최대 400mL(50~100% RH 시료의 경우)
<b>수분 제거</b>	
기기	Kori-xr(Markes International)
트랩 온도	-30°C/+300°C
<b>TD</b>	
기기	UNITY-xr(Markes International)
유동 경로	120°C
대기 분할	10mL/분
시료 유속	50mL/분
트랩 퍼징	50mL/분에서 1.0분
트랩 탈착	4mL/분 분할 흐름에서 2.0분
콜드 트랩	포커싱 트랩: 대기 독성(오염) 분석기(부품 번호 U-T15ATA-2S)

표 2. MS 파라미터.

파라미터	값
소스	HydroInert 소스
모드	전자 이온화, 70eV
소스 온도	300°C
사중극자 온도	200°C
스캔 범위	m/z 30 ~ 300



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

그림 1. 헬륨(A) 및 수소(B) 가스를 사용하여 100% RH에서 TO-15 표준물질 400mL 내 10ppbv 65개 성분을 분석한 결과. 나프탈렌의 머무름 시간이 38분에서 23분으로 이동하여 GC 주기 시간이 40% 감소했음을 보여줍니다.

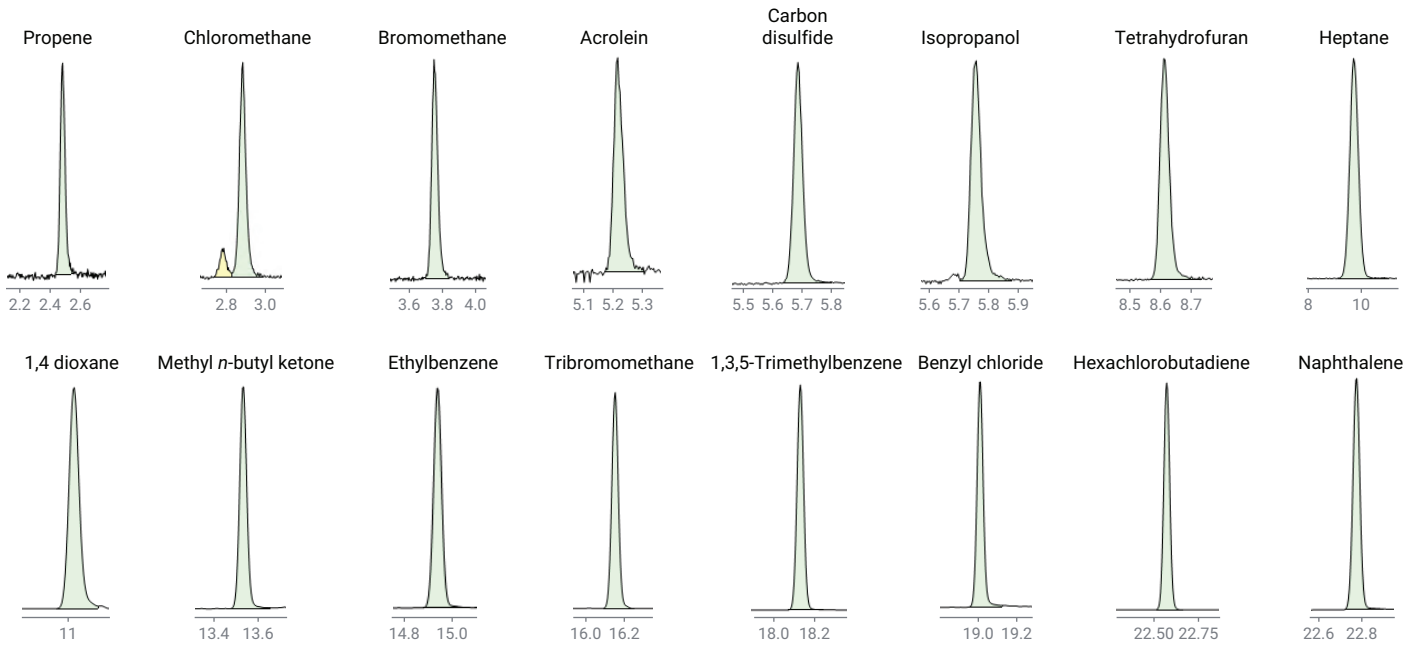


그림 2. 2.5ppbv로 들어 있는 화합물 16가지를 선택하고 수소 가스를 사용하여 분석하여 얻은 TIC의 우수한 피크 모양.

### 스펙트럼 충실도

HydroInert 소스는 수소 운반 가스를 사용하여 발생할 수 있는 수분해 및 기타 반응을 방지하여 스펙트럼 충실도를 유지합니다. 65개 성분 혼합물의 모든 분석물질에 대한 라이브러리 일치 점수 (LMS)는 90%를 훨씬 능가하여 원하지 않는 소스 반응이 방지되었음을 보여줍니다. 그림 3은 미국표준기술연구소 헬륨 라이브러리 (NIST20)에 대한 높은 일치 점수를 보여주는 두 가지 예입니다.

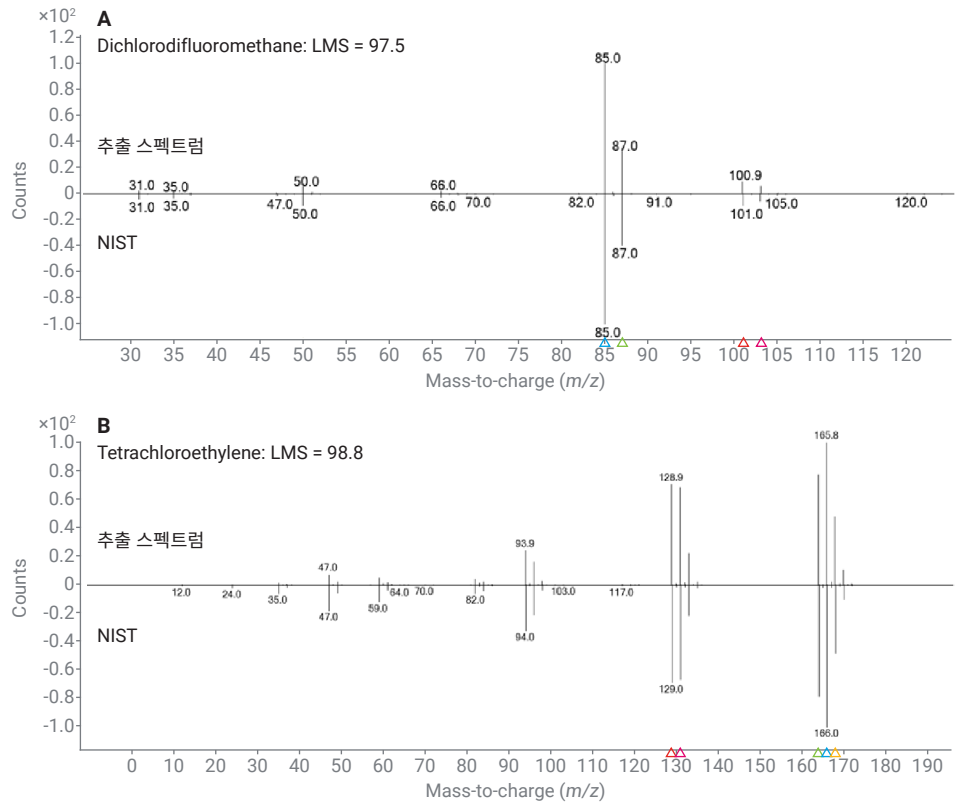


그림 3. 디클로로디플루오로메탄(A) 및 테트라클로로에틸렌(B)에 대한 추출 스펙트럼과 NIST 스펙트럼의 비교와 LMS. 스펙트럼 정확도가 유지됩니다.

### 직선성

농도에 관한 선형성은 0.5, 1.25, 2.5, 5, 7.5 및 10ppbv에서 계산되었습니다.

100% RH(표 A1)에서 우수한 시스템 직선성이 얻어졌으며 평균 R<sup>2</sup> 값은 0.50~10ppbv에서 0.999였습니다. 그림 4는 다양한 휘발성 범위를 가진 14가지 화합물의 100% RH 시료에 대한 직선성 도표를 보여줍니다.

### 분석법 검출 한계

MDL은 0.1ppbv에서 7개의 복제 시료를 기반으로 계산되었습니다.<sup>2</sup> 분석법 TO-15를 준수하려면 MDL이 ≤0.5ppbv여야 합니다.

수소 운반 가스를 사용한 계산은 분석된 28개 화합물에 대해 28pptv의 평균 MDL을 제공했으며(표 3), 이는 HydroInert 소스를 사용하는 TO-15로 분석법 기준을 충분히 달성할 수 있음을 입증하는 것입니다. 값의 범위는 4-ethyltoluene의 경우 11pptv, carbon disulfide의 경우 53pptv였고, propene의 경우에는 113pptv의 단일 이상치였습니다. 이러한 값은 모두 ≤0.5ppbv 요건보다 훨씬 더 낮습니다.

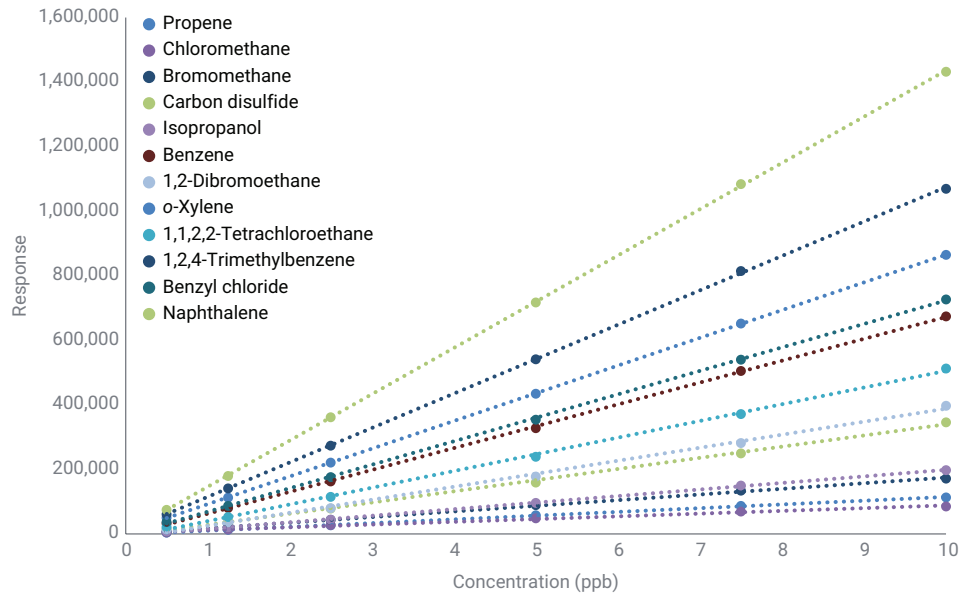


그림 4. 100% RH 시료에서 다양한 휘발성을 갖는 14가지 화합물에 대한 0.5~10ppbv 범위 직선성.

표 3. 100% RH 시료에 0.1ppbv로 들어 있는 28개 화합물에 대한 MDL 값.

번호	화합물	수소 MDL(pptv)	번호	화합물	수소 MDL(pptv)
1	Propene	113	15	Methyl methacrylate	34
2	Dichlorodifluoromethane	38	16	Bromodichloromethane	34
3	Vinyl chloride	29	17	Toluene	14
4	Butadiene	33	18	Tetrachloroethene	13
5	1,1-Dichloroethene	24	19	1,2-Dibromoethane	28
6	1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane	25	20	Chlorobenzene	14
7	Carbon disulfide	53	21	Ethylbenzene	14
8	Dichloromethane	29	22	Styrene	23
9	tert-Butyl methyl ether	16	23	1,1,2,2-Tetrachloroethane	16
10	Vinyl acetate	23	24	4-Ethyltoluene	11
11	Methyl ethyl ketone	42	25	1,3,5-Trimethylbenzene	14
12	Tetrachloromethane	17	26	1,2-Dichlorobenzene	17
13	Benzene	19	27	Hexachlorobutadiene	23
14	Heptane	13	28	Naphthalene	50
			평균		28

## 재현성

분석법 TO-15는 검량 테이블에 있는 각 화합물의 RRF(상대 감응 인자)에 대해 계산된 상대 표준 편차(RSD)가 30%보다 낮아야 하며, 한계가 최대 40%인 예외는

두 가지 뿐입니다. 결과는 7.47% RSD에서 100% RH에 대한 분석법 TO-15의 요구 사항 내에 있었습니다. 또한, 100% RH에서 10ppbv의 10회 반복에 대해 평균 면적 RSD는 1.22%였습니다. 다양한 농도의 100% RH를 50회 주입한 경우, 평균 머무름

시간 RSD는 0.09%였으며, 기준에 명시된 편차는 <1%입니다(그림 5). UNITY-Kori-CIA Advantage-xr을 사용한 효율적인 수분 관리 덕분에 수소 운반 가스에서도 안정적인 머무름 시간과 재현성 있는 피크 면적 반응을 얻을 수 있습니다.

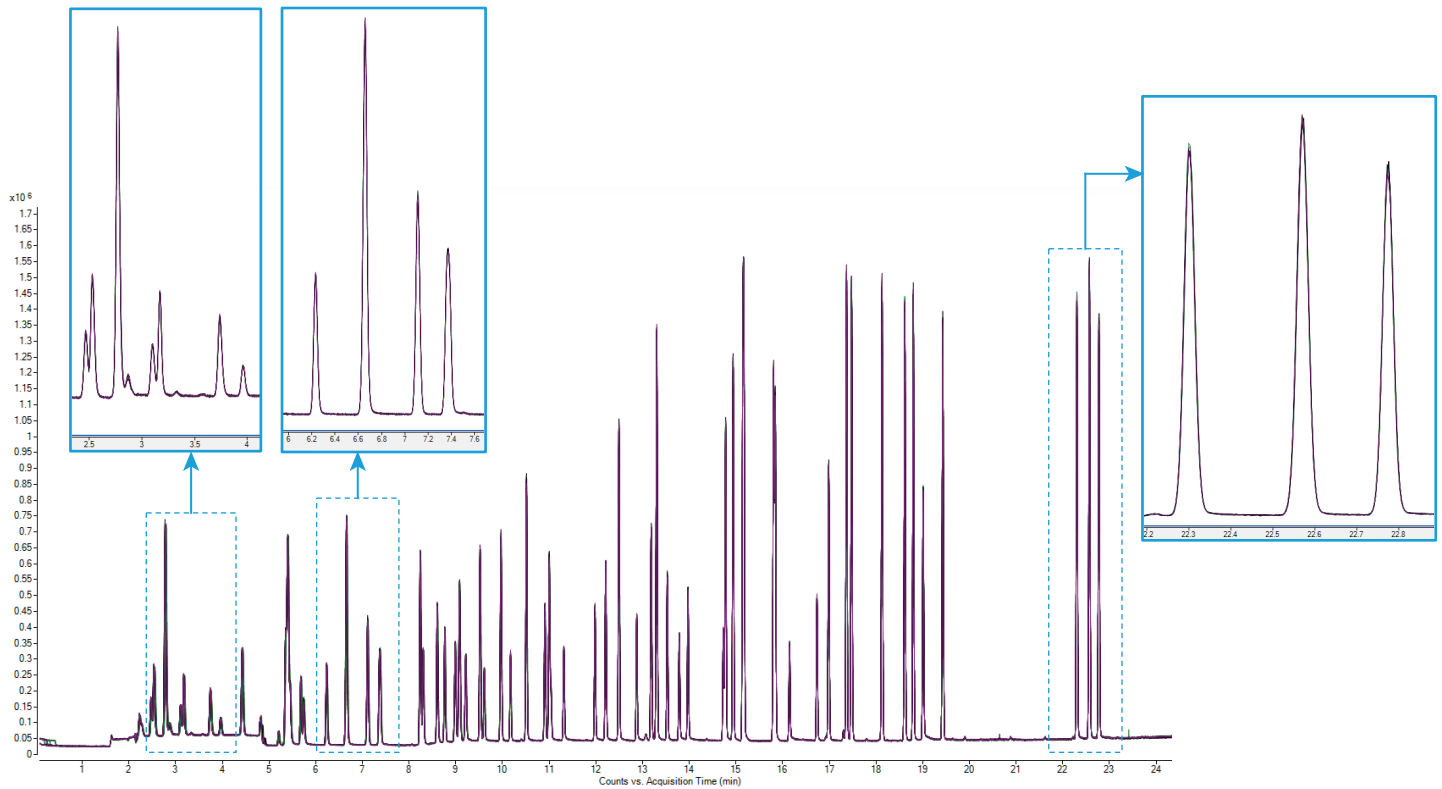


그림 5. 100% RH 시료에서 10ppbv 농도에 대해 10회 반복하여 얻은 오버레이. 평균 머무름 시간 RSD는 0.09%입니다.

### 실제 공기 시료

실제 공기 시료에 대한 시스템 성능을 설명하기 위해 앞서 설명한 것과 동일한 조건에서 실험실 공기 400mL를 분석했습니다. 65개 항목이 있는 TO-15 목록의 7개 성분이 정량화할 수 있는 농도인 것으로 나타났습니다(그림 6).

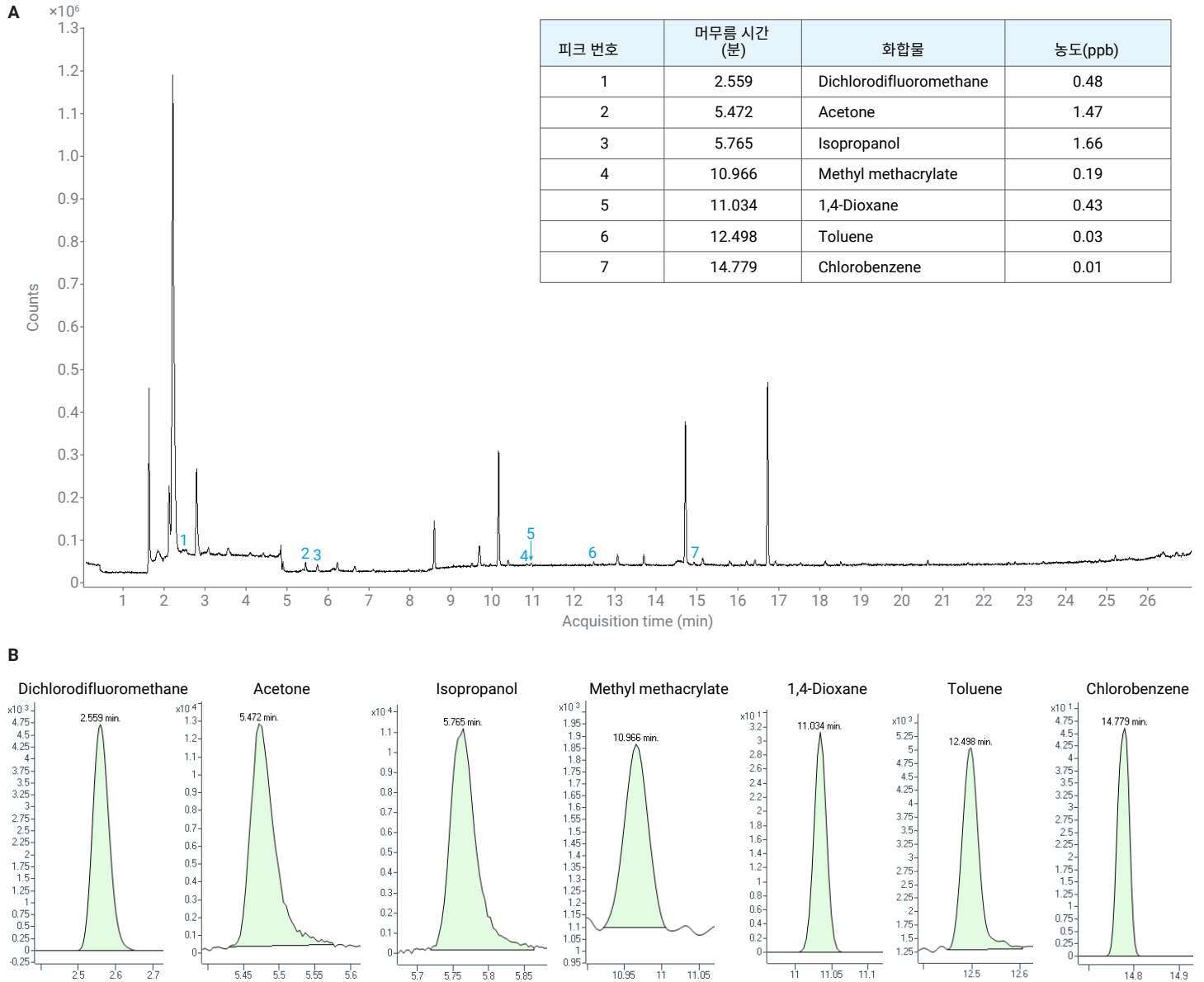


그림 6. (A) 이전에 설명한 조건을 사용하여 시골 공기 400mL를 분석하여 얻은 실제 시료 크로마토그램. TO-15 목록의 화합물이 표시되어 있습니다. (B) TO-15 목록에서 검출된 7개 화합물을 확대한 모습.



## 결론

Agilent 5977B SQ MS 및 CIA Advantage-Kori-xr-UNITY-xr 사전 농축 시스템과 결합된 Agilent 8890 GC를 수소 운반 가스와 함께 사용하면 미국 EPA 분석법 TO-15에 따라 습한 환경에서 "대기 독성물질"을 확실하게 분석할 수 있습니다.

이 결과의 중요한 특징은 100%의 습도에서 65가지 화합물로 구성된 TO-15 혼합물(propene에서 naphthalene까지)을 분석할 경우 우수한 크로마토그래피 성능을 보인다는 것입니다. 분석법 검출 한계가 11pptv로 낮아 성능이 분석법 TO-15의 요구 범위에 충분히 들어왔습니다.

결정적으로, TO-15 혼합물에서 가장 휘발성이 높은 성분에 대해서도 이러한 성능이 얻어졌는데, 이는 VOC 또는 극성 화학종의 분석에 악영향을 미치지 않으면서 습한 공기 흐름에서 수분을 효율적이고 선택적으로 제거했기 때문입니다. 또한 이 시스템은 전기 트랩 냉각을 사용하여 액체 냉각제와 관련된 비용과 불편을 제거합니다. 수소 운반 가스를 사용하는 Agilent HydroInert 소스는 질량 스펙트럼 정확도를 유지하면서, 사용자가 기존의 헬륨 기반 질량 스펙트럼 라이브러리 및 정량 분석법을 그대로 사용할 수 있도록 합니다. GC/MSD의 견고성과 신뢰성 덕분에 미국 EPA TO-15 요구 사항에 따라 데이터를 생성하면서 시스템을 장기간 작동할 수 있습니다.

## 참고문헌

1. Compendium Method TO-15: Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Collected in Specially-Prepared Canisters and Analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS), Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air (second edition), *US EPA 1999*. [https://19january2017snapshot.epa.gov/homeland-security-research/epa-air-method-toxic-organics-15-15-determination-volatile-organic\\_.html](https://19january2017snapshot.epa.gov/homeland-security-research/epa-air-method-toxic-organics-15-15-determination-volatile-organic_.html)
2. Ambient Air Determination of Volatile Organic Compounds Tank Sampling/Gas Chromatography-Mass Spectrometry, *Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China* (mee.gov.cn). [https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/201510/t20151030\\_315940.shtml](https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/201510/t20151030_315940.shtml)

## 부록

캐니스터 분석을 위한 기존의 많은 시스템은 액체 냉각제를 사용하여 VOC를 포획합니다. Markes의 시스템은 대신 전자식(Peltier) 냉각을 사용하여 대용량 시료에서 대부분의 VOC에 대해 정량 머무름을 제공할 수 있고 극저온 액체 비용을 줄여줍니다.

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.

MDL은 7개 값(MDL = 3.143 × 표준 편차 × 농도)에 대한 99% 신뢰도를 기반으로 계산되었습니다.

표 A1. 100% RH에서 TO-15 표준물질에 대해 얻은 헬륨 및 수소 운반 가스 결과의 데이터 비교. 직선성(R<sup>2</sup>) 값은 헬륨 운반 가스를 사용한 분석의 경우 0.22~10ppbv, 수소 운반 가스의 경우 0.5~10ppv 농도 범위에 대해 생성되었습니다.

번호	화합물	헬륨 운반 가스(100% RH)			수소 운반 가스(100% RH)		
		RT(분)	RRF RSD(%)	RRF RSD(%)	RT(분)	RRF RSD(%)	RRF RSD(%)
1	Propene	4.894	0.9997	6.3	2.47	0.9994	12.4%
2	Dichlorodifluoromethane	5.032	0.9998	5.6	2.53	1.0000	8.4%
3	Dichlorotetrafluoroethane	5.500	0.9997	7.7	2.77	0.9999	4.2%
4	Chloromethane	5.686	0.9808	11.0	2.88	0.9929	9.3%
5	Vinyl chloride	6.122	0.9994	4.6	3.10	0.9997	10.1%
6	Butadiene	6.276	0.9998	2.0	3.17	0.9999	12.4%
7	Bromomethane	7.346	0.9988	14.4	3.74	0.9988	10.3%
8	Chloroethane	7.723	0.9870	9.1	3.95	0.9999	5.2%
9	Trichlorofluoromethane	8.646	0.9999	6.2	4.42	0.9996	5.6%
10	Ethanol	9.299	0.9997	24.4	4.80	0.9990	20.9%
11	Acrolein	9.925	0.9993	9.3	5.20	0.9988	18.9%
12	1,1-Dichloroethene	10.258	0.9998	1.2	5.35	0.9999	13.2%
13	1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane	10.337	1.0000	4.8	5.40	0.9998	2.2%
14	Acetone	10.401	1.0000	2.7	5.45	0.9999	5.1%
15	Isopropanol	10.868	0.9981	18.8	5.74	0.9996	14.2%
16	Carbon disulfide	10.884	0.9999	0.9	5.67	0.9984	5.6%
17	Dichloromethane	11.657	0.9998	2.0	6.23	0.9995	8.7%
18	1,2-Dichloroethene	12.461	0.9999	1.6	6.65	0.9997	11.8%
19	tert-Butyl methyl ether	12.513	0.9997	4.2	6.65	0.9999	3.4%
20	Hexane	13.285	0.9956	13.6	7.11	0.9999	2.3%
21	1,1-Dichloroethane	13.578	1.0000	5.5	7.36	0.9996	10.1%
22	Vinyl acetate	13.737	0.9998	1.5	7.39	0.9981	12.5%
23	trans-1,2-Dichloroethene	15.112	0.9998	3.6	8.24	0.9997	11.4%
24	Methyl ethyl ketone	15.127	0.9998	9.2	8.23	0.9998	6.9%
25	Ethyl acetate	15.314	0.9999	5.5	8.30	1.0000	4.7%
26	Chloroform	15.904	0.9999	5.5	8.76	0.9984	8.6%
27	Tetrahydrofuran	15.912	0.9998	9.2	8.60	0.9997	6.8%
28	1,1,1-Trichloroethane	16.447	0.9999	8.2	8.99	0.9969	7.9%
29	Cyclohexane	16.637	0.9999	8.8	9.08	0.9997	2.6%
30	Tetrachloromethane	16.902	1.0000	7.4	9.21	0.9942	11.1%
31	1,2-Dichloroethane	17.378	1.0000	3.5	9.61	0.9999	5.6%
32	Benzene	17.390	0.9999	6.1	9.52	0.9998	2.0%
33	Heptane	18.075	0.9995	19.0	9.97	0.9998	2.8%
34	Trichloroethene	19.022	0.9999	5.1	10.51	0.9990	10.0%
35	1,2-Dichloropropane	19.557	0.9999	7.1	10.91	0.9990	4.9%
36	Methyl methacrylate	19.822	0.9989	2.9	11.00	0.9997	2.8%
37	p-Dioxane	19.914	0.9998	12.6	11.01	0.9981	15.6%
38	Bromodichloromethane	20.227	0.9999	6.2	11.32	0.9953	11.9%
39	cis-1,3-Dichloropropene	21.399	1.0000	4.5	11.98	0.9961	12.9%
40	4-Methylpentan-2-one	21.760	0.9999	2.8	12.21	0.9996	5.6%
41	Toluene	22.326	0.9999	16.3	12.50	1.0000	4.1%
42	trans-1,3-Dichloropropene	22.810	0.9997	2.9	12.88	0.9973	13.1%
43	1,1,2-Trichloroethane	23.305	1.0000	7.9	13.19	0.9990	6.3%

번호	화합물	헬륨 운반 가스(100% RH)			수소 운반 가스(100% RH)		
		RT(분)	RRF RSD(%)	RRF RSD(%)	RT(분)	RRF RSD(%)	RRF RSD(%)
44	Tetrachloroethene	23.828	1.0000	8.8	13.31	0.9996	2.9%
45	Methyl <i>n</i> -butyl ketone	23.959	0.9998	2.5	13.53	0.9942	17.0%
46	Chlorodibromomethane	24.398	0.9999	4.7	13.79	0.9973	12.6%
47	1,2-Dibromoethane	24.735	1.0000	4.4	13.98	0.9973	14.2%
48	Chlorobenzene	26.102	1.0000	11.9	14.78	0.9998	2.2%
49	Ethylbenzene	26.407	0.9999	20.2	14.94	1.0000	4.6%
50	<i>m</i> -Xylene	26.732	1.0000	20.8	15.16	0.9999	4.7%
51	<i>p</i> -Xylene	26.732	1.0000	20.8	15.16	0.9999	4.7%
52	<i>o</i> -Xylene	27.837	1.0000	25.2	15.81	1.0000	5.7%
53	Styrene	27.857	0.9999	10.3	15.84	1.0000	4.1%
54	Tribromomethane	28.376	0.9998	4.4	16.15	0.9976	6.8%
55	1,1,2,2-Tetrachloroethane	29.624	0.9999	6.8	16.99	0.9990	8.1%
56	4-Ethyltoluene	30.385	0.9999	6.3	17.37	1.0000	4.1%
57	1,3,5-Trimethylbenzene	30.551	1.0000	19.6	18.13	1.0000	4.5%
58	1,2,4-Trimethylbenzene	31.653	1.0000	10.4	17.48	0.9999	4.6%
59	1,2-Dichlorobenzene	32.485	0.9999	3.9	18.62	1.0000	1.0%
60	1,4-Dichlorobenzene	32.738	0.9999	3.3	18.80	0.9999	2.4%
61	Benzyl chloride	33.107	0.9998	2.3	19.01	0.9998	2.0%
62	1,3-Dichlorobenzene	33.840	0.9999	7.4	19.43	0.9999	3.8%
63	1,2,4-Trichlorobenzene	38.594	0.9965	18.9	22.30	0.9998	2.2%
64	Hexachlorobutadiene	39.121	0.9997	9.4	22.57	0.9988	7.5%
65	Naphthalene	39.315	0.9975	19.7	22.78	1.0000	1.6%
	평균값		0.9992	8.5		0.9990	7.5%

[www.agilent.com](http://www.agilent.com)

DE14855333

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2023  
2023년 5월 31일 한국에서 발행  
5994-5359KO

한국애질런트테크놀로지스(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