

Agilent 8850 가스 크로마토그래프를 이용한 고속 증류주 분석 및 장기 안정성 테스트

저자

Youjuan Zhang,
Jinqiang Zhang 및 Shun Na
Agilent Technologies, Inc.
Shanghai, China

개요

증류주에 함유된 주요 성분의 정확하고 빠른 분석은 제품 품질을 보장하고, 생산을 간소화하며, 품질 문제를 효율적으로 해결하는 데 필수적입니다. 이 연구에서는 불꽃 이온화 검출기(FID)가 장착된 Agilent 8850 가스 크로마토그래피(GC) 시스템을 사용하여 증류주에 함유된 알코올, 알데히드, 에스테르, 유기산을 빠르게 분석하는 솔루션을 개발했습니다. 10m 길이의 Agilent J&W DB-WAX UI 컬럼과 8850 GC의 독특한 고속 오븐 가열 및 냉각 기능을 이용하여 고속 분석을 수행했고, 그 결과 기존 분석법에 비해 단일 시료의 분석 주기가 1/3로 단축되었습니다. 다양한 운반 가스를 연구한 결과, 증류주 산업의 품질 관리 부서에서 요구하는 조건을 충족하는 뛰어난 성능 결과가 얻어졌습니다. 2,000회 이상의 실제 시료 주입을 통해 이 고속 분석법의 적용 가능성과 시스템의 초고불활성 및 장기 안정성을 검증했습니다.

소개

증류주 산업에서 알코올, 에스테르, 알데하이드, 산과 같은 화합물은 증류주의 풍미, 품질 및 안정성에 직접적인 영향을 미칩니다. 따라서 이러한 화합물에 대한 정확한 정량 분석은 품질 기준을 충족하는 제품을 생산하는데 중요한 단계입니다. 기존의 분석 방법¹은 시간이 많이 걸리는 경우가 많고, 품질 관리(QC) 부서에서는 생산 라인의 실시간 수요를 충족하거나 품질 문제에 신속하게 대응하기 위해 짧은 시간 내에 많은 수의 시료를 테스트하려고 합니다. 신속한 분석 솔루션은 작업 효율성을 크게 향상시킬 뿐만 아니라 대기 시간을 줄여 원활한 생산 공정과 제품 안정성을 보장합니다. 또한, 빠르고 신뢰할 수 있는 분석 기술은 잠재적인 공정 문제를 확인하는데 도움을 주어 생산 공정의 최적화에 기여합니다.

Agilent 8850 GC 시스템은 빠른 분석이 필요한 실험실을 위해 특별히 설계된 특수 목적의 소형 가스 크로마토그래프로, 에너지 효율성이 높고 고도화된 인텔리전스가 특징입니다. 이 시스템의 가장 두드러진 특징 중 하나는 오븐으로, 매우 빠르게 가열하고 냉각할 수 있어 신속한 테스트 시나리오에 이상적입니다. 이 연구에서는 8850 GC와 함께 고도로 불활성인 10m DB-WAX 컬럼을 사용하여 증류주에 대한 빠른 분석을 수행했습니다. 실험실마다의 다양한 요구 사항을 충족하기 위해 질소, 헬륨, 수소 등 다양한 운반 가스에서 시스템 성능을 평가했습니다. 연구 결과에 따르면, 이 시스템은 기존 방법(30분 이상 소요)에 비해 분석 시간을 크게 단축할 수 있었으며, 사용하는 운반 가스에 관계없이 3배 이상의 시간 절감 효과를 달성했습니다. 특히 수소를 운반 가스로 사용했을 때 성능 향상이 우수했습니다. 증류주에 함유된 17가지 주요 성분이 단 3분 만에 용출되었고, 단일 시료의 전체 사이클에 단 7분이 걸렸습니다. 이는 기존 방식에 비해 효율성이 5배 향상되었음을 의미합니다. 이 시스템의 빠른 분석 능력은 증류주 산업에 귀중한 솔루션을 제공하여 기존 방식에서 볼 수 있는 것과 동일한 수준의 정확도와 신뢰성을 유지하면서도 더 빠르고 효율적인 테스트를 가능하게 합니다.

실험

불꽃 이온화 검출기(FID)가 장착된 8850 GC를 이용해 고속 증류주 분석을 진행했습니다. 5µL 시린지가 장착된 Agilent 7650A 자동 시료 주입기를 이용하여 시료를 주입했습니다. 데이터는 OpenLab CDS 2.7을 사용하여 수집하고 처리했습니다.

표 1. 질소, 헬륨 및 수소 운반 분석법에 대한 Agilent 8850 GC 구성.

	질소 운반체	헬륨 운반체	수소 운반체
GC 시스템	Agilent 8850 GC/FID		
주입구	분할/비분할, 250°C, 분할비 200:1 애질런트 주입구 라이너, Ultra Inert, 낮은 압력 저하, 분할형, 유리송 (품번 5190-2295)		
컬럼	Agilent J&W DB-WAX Ultra Inert, 10m × 0.18mm, 0.18µm (품번 121-7012UI)		
운반체	N ₂ , 램프 유량, 0.06mL/분(0.5분), 그 후 분당 20mL/분 속도로 0.5mL/분까지 증가	He, 램프 유량, 0.16mL/분(0.2분), 그 후 분당 20mL/분 속도로 0.8mL/분까지 증가	H ₂ , 램프 유량, 0.2mL/분(0.1분), 그 후 분당 10mL/분 속도로 1mL/분까지 증가
오븐	35°C(1.4분), 12°C/분으로 70°C까지 승온, 150°C/분으로 210°C까지 승온하고 1분 유지; 분석 후 실행: 240°C(1분)	35°C(1분), 26°C/분으로 70°C까지 승온, 130°C/분으로 240°C까지 승온하고 0.5분 유지; 분석 후 실행: 245°C(1분)	35°C(0.7분), 34.4°C/분으로 70°C까지 승온, 172°C/분으로 240°C까지 승온하고 0.5분 유지; 분석 후 실행: 245°C(0.5분)
FID	250°C; 수소: 30mL/분, 공기: 300mL/분; 보충 가스(N ₂): 25mL/분		
주입	0.5µL 애질런트 ALS 시린지, Gold Standard, 23-26초 테이퍼형 니들 (품번 5181-1273)		

참고: 표 1의 오븐 램프 속도는 8850 240V 고속 오븐을 기준으로 합니다.

시료 전처리

17개의 표적 화합물 단일 표준물질과 3개의 내부 표준물질(ISTD)을 ANPEL Laboratory Technologies(Shanghai) Inc.에서 구입했습니다. 고객들이 실제 시료(중국 술) 4개를 제공했습니다.

이 연구에 사용된 용매는 부피 비율이 60:40인 에탄올/물 용액이었습니다. 혼합 표준 원액은 각각의 표준 화합물을 정해진 양만큼 첨가하고 용매로 희석하여 제조했습니다. 검량선을 생성하기 위해 6가지 농도의 표준물질 용액을 준비했으며 각 표적 화합물의 구체적인 농도를 표 2에 나타내었습니다.

내부 표준 화합물은 tert-펜tan올, n-펜틸 아세테이트 및 2-에틸부티르산입니다. 에탄올/물 용액(60:40)도 용매로 사용했으며, 내부 표준물질(ISTD) 화합물의 최종 분석 농도는 200ppm이었습니다. 정량 계산 시, 알코올과 알데하이드는 tert-펜tan올을 내부 표준물질로 사용하여 계산하였고, 에스터는 n-펜틸 아세테이트를 사용하여 계산하였으며, 아세트산과 헥산산은 2-에틸부티르산을 사용하여 정량했습니다.

결과 및 토의

이 연구에서는 실험실마다의 다양한 요구 사항을 고려하여 질소, 헬륨, 수소를 운반 가스로 사용하여 종류 분석의 성능을 평가했습니다. 비용 관리가 필요한 실험실의 경우 질소 분석법에 우선 순위를 둘 수 있습니다. 높은 효율성을 추구하지만 수소를 운반 가스로 사용할 수 없는 실험실의 경우, 헬륨 분석법이 적합한 선택입니다. 초고속 분석이 필요한 경우 수소 분석법을 선택할 수 있습니다.

분석법 최적화

동일한 수집 조건에서 중간 프릿 라이너(부품 번호 5190-5105)를 사용하면 크로마토그래피 피크가 더 선명해지고 분리 성능이 향상된다는 것은, 이미 분석법 개발의 초기 단계에서 밝혀진 사실입니다. 그러나 유리솜이 들어간 라이너와 비교했을 때, 5190-5105 라이너를 기반으로 한 면적 반복성 결과는 그다지 좋지 않았습니다. 알코올과 에스테르의 절대 피크 면적 반복성은 3%를 초과했고, 산의 반복성은 더욱 나빴습니다. 이 연구에서는 여러 가지 라이너를 비교한 후 5190-2295 라이너를 선택했습니다. 분석법 최적화를 통해 만족스러운 피크 모양이 얻어졌습니다. 이 고속 분석법을 개발하는 동안 질소를 운반 가스로 사용하고 컬럼을 일정 유량 모드로 작동시켰을 때 첫 번째 용출 화합물인 아세트알데히드의 피크 모양이 중간 프릿 라이너에 의해 날카로워지는 사실도 관찰되었습니다. 그러나 5190-2295 라이너와 같이 유리솜이 들어간 라이너로 바꾸었을 때 아세트알데히드 피크가 더 넓어지고 심지어 갈라지는 모습도 나타났습니다(그림 1). 이전에 설명한 대로, 중간 프릿 라이너의 반복성은 유리솜 라이너의 반복성보다 떨어집니다. 따라서 이 테스트에서는 최종적으로 5190-2295 라이너가 사용되었습니다. 이 연구에서는 아세트알데히드의 피크 모양을 최적화하기 위해 유속 램프 모드를 채택했습니다. 처음에는 컬럼 유량을 낮은 값으로 설정하여 잠시 유지한 다음, 정상 유량까지 빠르게 높였습니다. 이렇게 한 결과, 보다 선명한 아세트알데히드 피크를 얻을 수 있었습니다.

질소 운반 가스 결과

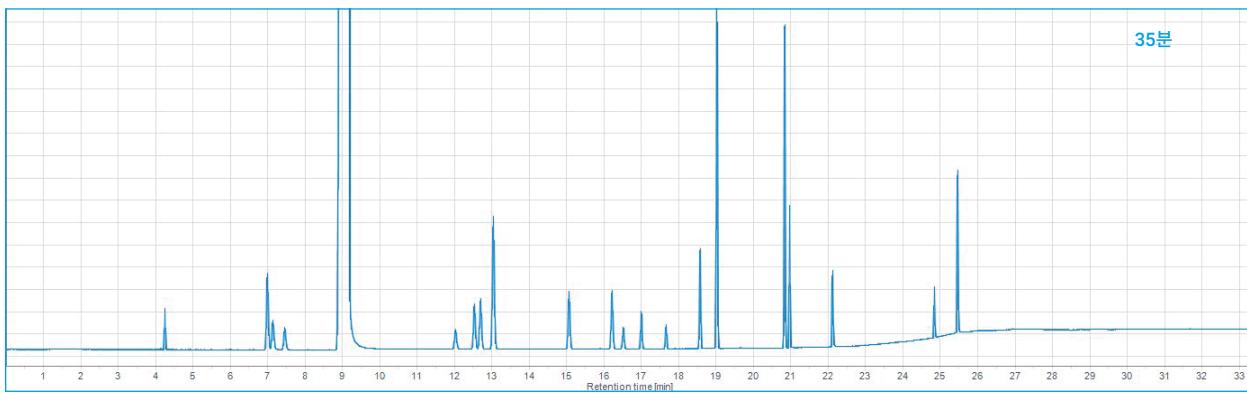
이 8850 GC 시스템의 빠른 가열 및 냉각 특성과 10m 길이의 짧은 컬럼을 사용하여 종류주를 빠르게 분석할 수 있었습니다. 질소를 운반 가스로 사용하는 경우, 단일 주입에 대한 GC 실행 시간은 6.25분이고 그 다음에는 1분의 분석 후 실행이 이어집니다. 냉각 및 평형화 시간은 약 3분이며, 한 시료의 총 분석 시간은 11분입니다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 기존 분석법으로는 냉각 및 평형화 시간을 포함해 단일 시료를 분석하는 데 35분 이상이 소요됩니다. 이와 대조적으로 고속 분석법은 단 11분만 소요됩니다. 고속 분석법으로 이렇게 시간을 크게 단축하면 동일한 시간 내에 실험실 효율성을 3배 이상 높일 수 있습니다. 그림 3은 분석 시간이 크게 단축되었음에도 불구하고 분리 및 피크 모양 결과가 우수함을 보여줍니다. 에틸 아세테이트, 아세탈, 메탄올과 같은 주요 화합물 그룹은 베이스라인 분리와 함께 보다 선명하고 대칭적인 피크를 나타내고, 에틸 락테이트와 n-헥사놀도 완전한 베이스라인 분리를 보여줍니다. 정확한 정량화를 위해서는 대칭적인 피크 모양과 우수한 분리가 필수적이며, 이 시스템에서 얻은 결과는 정확성하고 명확하였습니다.

분석법 파라미터의 최적화를 통해 우수한 피크 모양과 분리를 얻을 수 있었습니다. 다음으로, 직선성, 반복성, 검출 한계(LOD) 및 기타 성능 검사를 포함한 분석법 검증을 진행했습니다. 여러 유형의 실제 시료에서 각 표적 성분의 농도가 다르다는 점을 고려할 때, 이 연구에서는 각 화합물의 직선 범위가 달랐습니다(자세한 내용은 표 2 참조). 각 화합물에 대해 6-포인트 검량선을 생성했으며, 상관 계수는 모두 0.9992 이상이었습니다. 그림 4는 주요 알코올, 알데히드, 에스테르 및 산에 대한 검량선을 보여줍니다.



그림 1. 아세트알데히드의 피크 모양을 최적화합니다.

A



B

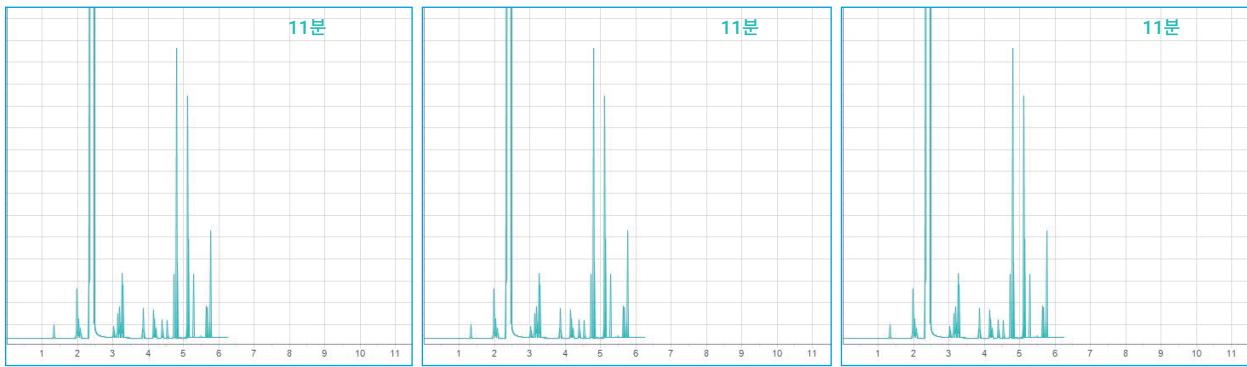


그림 2. N_2 운반 가스 사용 시 기존 분석법과 고속 분석법의 전체 주기 비교. 기존 분석법은 단일 시료(A)를 분석하는 데 35분이 걸리는 반면, 이 11분 고속 분석법은 동일한 시간 제한 내에서 3개의 시료(B)를 분석할 수 있습니다.

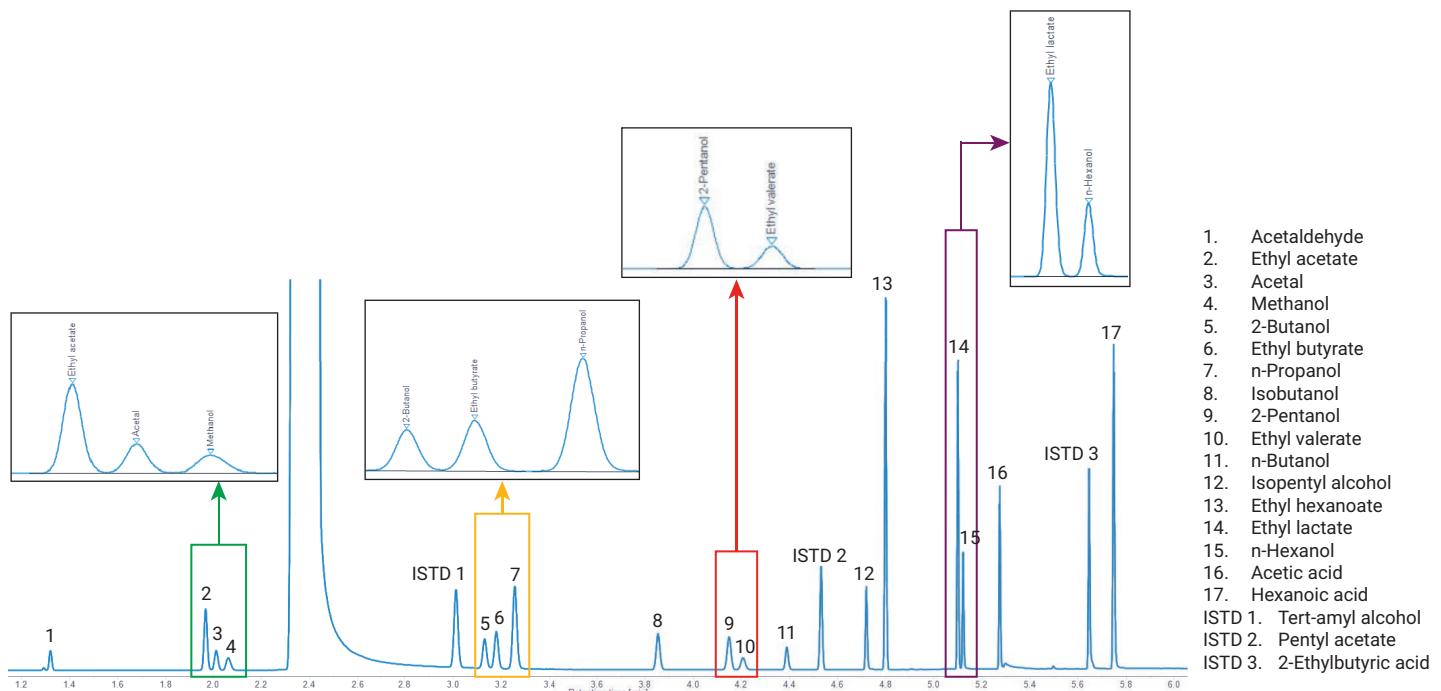


그림 3. N_2 운반 가스 사용 시 L2 농도에서 17가지 표적 화합물의 GC/FID 크로마토그램.

표 2. N₂ 운반 가스 사용 시 각 대상 화합물에 대한 직선 범위와 직선성 결과.

번호	명칭	L1 (ppm)	L2 (ppm)	L3 (ppm)	L4 (ppm)	L5 (ppm)	L6 (ppm)	R ²
1	Acetaldehyde	50	100	250	500	800	1000	0.9995
2	Ethyl acetate	150	300	750	1500	2400	3000	0.9998
3	Acetal	50	100	250	500	800	1000	0.9992
4	Methanol	50	100	250	500	800	1000	0.9999
5	2-Butanol	50	100	250	500	800	1000	0.9999
6	Ethyl butyrate	75	150	375	750	1200	1500	0.9999
7	n-Propanol	150	300	750	1500	2400	3000	0.9999
8	Isobutanol	50	100	250	500	800	1000	1
9	2-Pentanol	50	100	250	500	800	1000	0.9999
10	Ethyl valerate	25	50	125	250	400	500	0.9999
11	n-Butanol	25	50	125	250	400	500	0.9999
12	Isopentyl alcohol	50	100	250	500	800	1000	0.9999
13	Ethyl hexanoate	250	500	1250	2500	4000	5000	1
14	Ethyl lactate	250	500	1250	2500	4000	5000	0.9999
15	n-Hexanol	50	100	250	500	800	1000	0.9998
16	Acetic acid	300	500	800	1000	1600	2000	0.9993
17	Hexanoic acid	225	375	600	750	1200	1500	0.9998

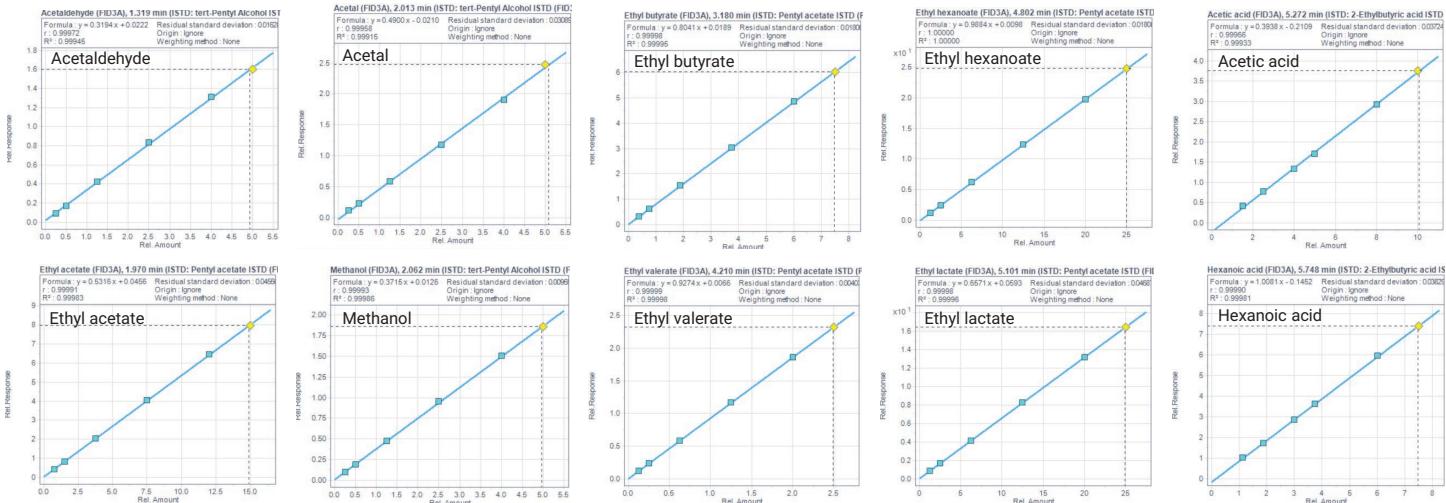


그림 4. N₂ 운반 가스 사용 시 일부 대표 화합물의 검량선.

낮음, 중간, 높음 농도의 표준물질을 각 농도에 대해 8회 연속 주입했습니다. 첫 번째 주입은 폐기했으며, 나머지 7회 주입에 대한 머무름 시간과 피크 면적의 반복성 결과를 표 3과 그림 5에 나타내었습니다. 머무름 시간의 %RSD는 0.02%를 넘지 않았고, 피크 면적의 반복성은 2.5% 이내로 시스템의 안정성과 불활성이 뛰어남을 입증했습니다. 아세트산과 헥산산도 이 시스템에서 안정적인 결과를 보였습니다. 아세트산과 헥산산의 재현성이

떨어지기 시작하면 라이너가 오염되었는지 확인하는 것이 좋습니다. 새로운 라이너로 교체하여 결과가 좋아지는지 확인해볼 수 있습니다.

검출 한계(LOD) 테스트를 위해 L1보다 낮은 농도의 표준 용액을 준비했습니다. 신호대 잡음비(S/N = 3)를 사용하여 각 화합물의 LOD 값을 계산하였으며, 그 내용을 표 4와 그림 6에 나타내었습니다.

표 3. N_2 운반 가스 사용 시 17개 표적 화합물의 반복성 결과.

번호	명칭	RT	면적 %RSD (n = 7)			RT %RSD (n = 7)		
			L1	L3	L6	L1	L3	L6
1	Acetaldehyde	1.32	1.857	0.387	0.428	0.011	0.008	0.004
2	Ethyl acetate	1.969	0.7	0.332	0.46	0.017	0.006	0.005
3	Acetal	2.013	0.835	0.468	0.399	0.014	0.008	0.006
4	Methanol	2.062	1.141	0.564	0.36	0.02	0.01	0.008
5	2-Butanol	3.13	1.018	0.406	0.362	0.009	0.009	0.007
6	Ethyl butyrate	3.178	1.022	0.459	0.439	0.008	0.005	0.006
7	n-Propanol	3.255	0.788	0.42	0.361	0.008	0.007	0.007
8	Isobutanol	3.852	1.065	0.469	0.204	0.013	0.007	0.006
9	2-Pentanol	4.148	0.543	0.389	0.37	0.02	0.012	0.005
10	Ethyl valerate	4.206	1.574	0.461	0.367	0.01	0.011	0.008
11	n-Butanol	4.387	2.004	0.85	0.325	0.012	0.007	0.005
12	Isopentyl alcohol	4.72	0.847	0.384	0.376	0.005	0.004	0.006
13	Ethyl hexanoate	4.8	0.459	0.343	0.361	0.008	0.002	0.004
14	Ethyl lactate	5.1	0.585	0.317	0.418	0.005	0.004	0.006
15	n-Hexanol	5.122	1.178	0.559	0.417	0.006	0.003	0.004
16	Acetic acid	5.274	2.1	0.682	0.702	0.007	0.005	0.007
17	Hexanoic acid	5.749	1.134	2.476	0.679	0.012	0.006	0.018

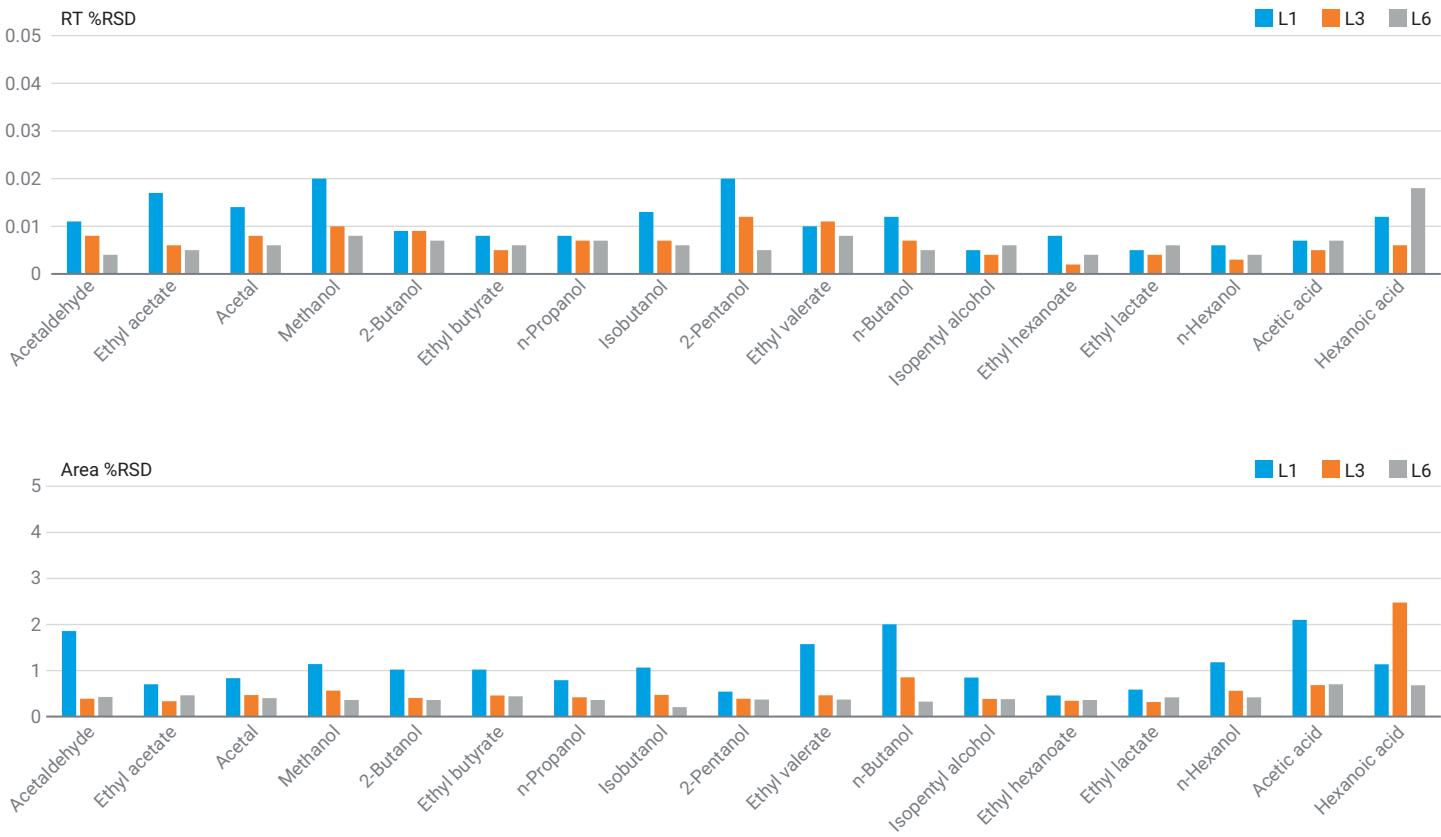


그림 5. N_2 운반 가스 사용 시 표적 화합물의 반복성 결과.

표 4. N₂ 운반 가스 사용 시 17개 화합물에 대해 계산된 LOD.

피크 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
표준 용액 농도(ppm)	11	33	11	11	11	17	33	11	11	6	6	11	56	56	11	60	45
S/N(P2P)	12.7	30.3	10.8	6.9	15.8	17.4	44.0	18.9	18.4	5.6	13.1	44.2	163.1	167.5	63.6	45.0	92.1
LOD(ppm)	2.6	3.3	3.1	4.8	2.1	2.9	2.3	1.8	1.8	3.0	1.3	0.8	1.0	1.0	0.5	4.0	1.5

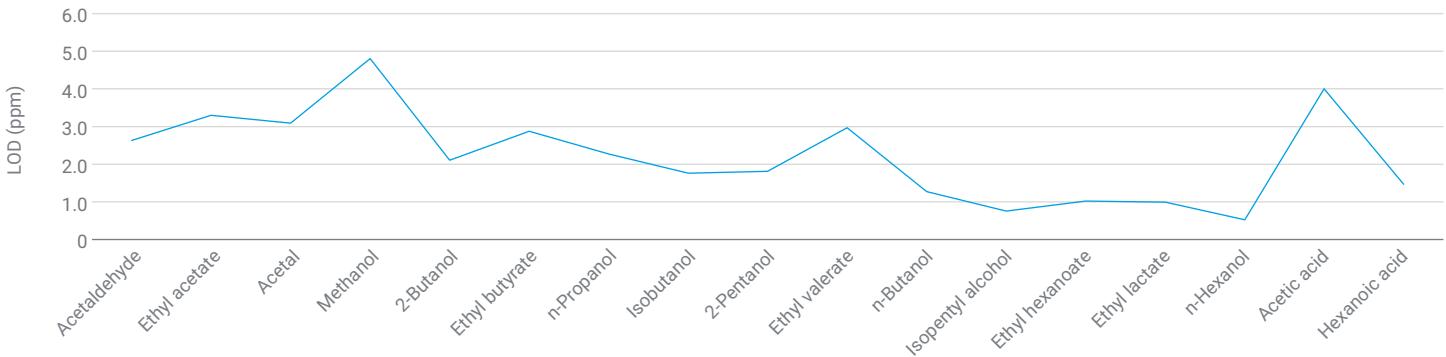


그림 6. N₂ 운반 가스 사용 시 표적 화합물에 대한 LOD.

유기산의 교차 오염

증류주에 함유된 산은 종종 교차 오염을 유발하는 경향이 있는데, 이는 주입구 라이너에서 발생하는 경우가 많습니다. 헥산산의 잔류물은 아세트산의 잔류물에 비해 더 두드러집니다. 이 연구에서는 산의 교차 오염을 조사했습니다. 교차 오염 실험을 시작하기 전에 세프타와 라이너를 새 것으로 교체했습니다. 시린지 세척 용매로는 탈이온수와 에탄올을 사용했습니다. 시료를 주입한 후 시린지를 탈이온수로 두 번, 에탄올로 두 번 세척했습니다. 다음 시료 주입 전에 동일한 절차를 반복하여 탈이온수로 두 번, 에탄올로 두 번 세척하는 식으로 주입 니들에 잔여물이 남아 있지 않도록 했습니다. 매우 높은 농도의 표준물질(L6)을 주입한 후에는 에탄올/물(v/v 40:60) 블랭크를 연속적으로 여러 번

주입했습니다. 블랭크에서 아세트산과 헥산산의 피크 면적을 농도 수준 L1과 L6에서 이들 산의 피크 면적과 비교했습니다. 그림 7에서 볼 수 있듯이, 고농도 표준물질을 주입한 후, 첫 번째 블랭크에서 아세트산의 교차 오염은 L6에서 아세트산의 1.05%를 차지하는 반면, 헥산산의 교차 오염은 L6에서 헥사노산의 2.37%를 차지합니다. 그림 7은 또한 L1의 산에 상대적인 교차 오염 비율을 보여줍니다. 이를 통해 시스템이 저농도 시료에 영향을 미치지 않을 만큼 충분히 깨끗한지 평가할 수 있었습니다. 2회의 블랭크 주입을 실시한 후, 헥산산의 교차 오염은 L1의 10% 미만이었으며, 이는 저농도 시료 분석에 미치는 영향이 미미하다는 것을 나타냅니다. 여러 번의 블랭크 주입 후에도 헥산산 잔류물이 높은 수준으로 남아 있는 것으로 확인되면 라이너를 새 것으로 교체해야 합니다.

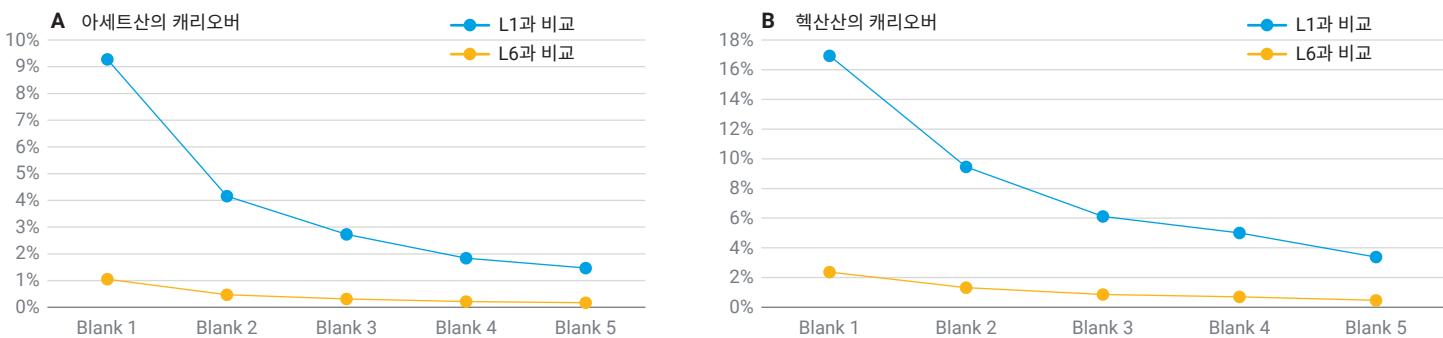


그림 7. 아세트산(A)과 헥산산(B)의 교차 오염. 파란색 선은 L1 농도 수준에서 산의 피크 면적과 비교했을 때 블랭크의 잔류 산에 대한 피크 면적 비율을 나타냅니다. 주황색 선은 L6 농도 수준에서 산의 피크 면적과 비교했을 때 블랭크의 잔류 산에 대한 피크 면적 비율을 나타냅니다.

실제 시료 분석

이 분석법이 실제 상황에서 얼마나 효과적인지 더 잘 이해하기 위해, 이 연구에서는 서로 다른 브랜드에서 공급받고 다양한 제조 기술을 사용하여 생산된 중국 술 4개 시료를 분석했습니다. 분석 결과, 4개 시료에서 표적 성분의 종류와 농도가 상당히 달랐으며, 이는 중국 주류 생산 공정의 다양성을 잘 보여줍니다.

이러한 차이에도 불구하고 모든 표적 피크는 대칭적인 모양을 보였으며 그림 8에서 볼 수 있듯이 인접 화합물과 효과적으로 분리되었습니다. 이는 이 분석법이 시료의 복잡성이나 생산 과정의 차이에 관계없이 안정적이고 정확한 피크 식별을 제공한다는 것을 나타냅니다.

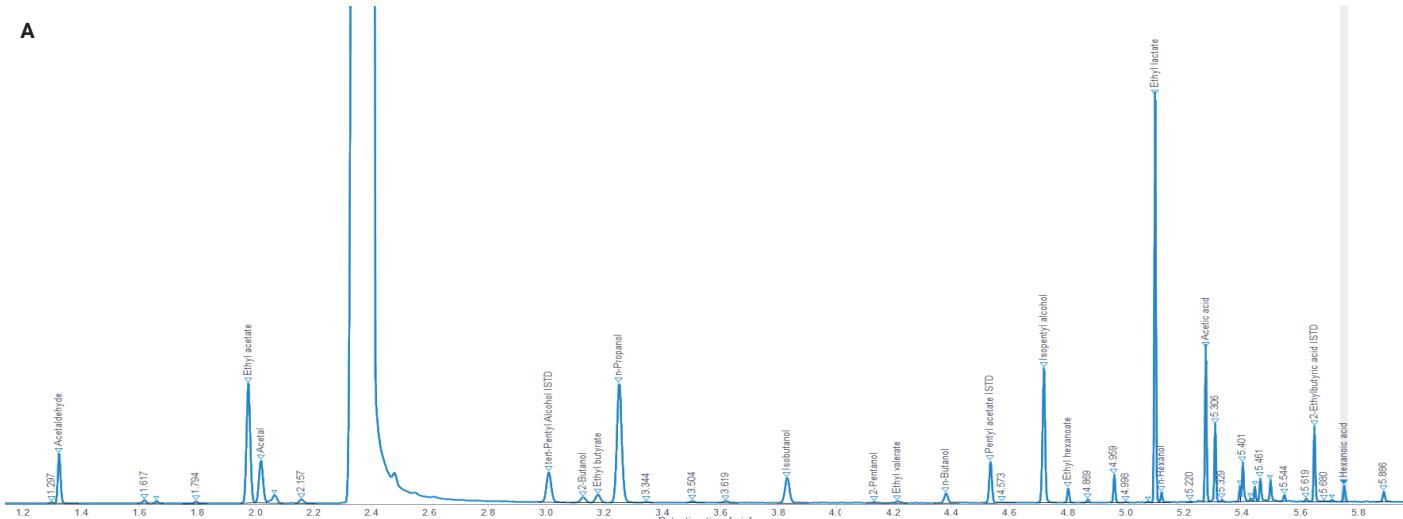


그림 8. N_2 운반 가스 이용 시 다양한 풍미 특성을 가진 중국 술의 크로마토그램: (A) 신맛이 나는 술, (B) 향이 강한 술, (C) 향이 약한 술, (D) 혼합된 향의 술(다음 페이지에서 계속).

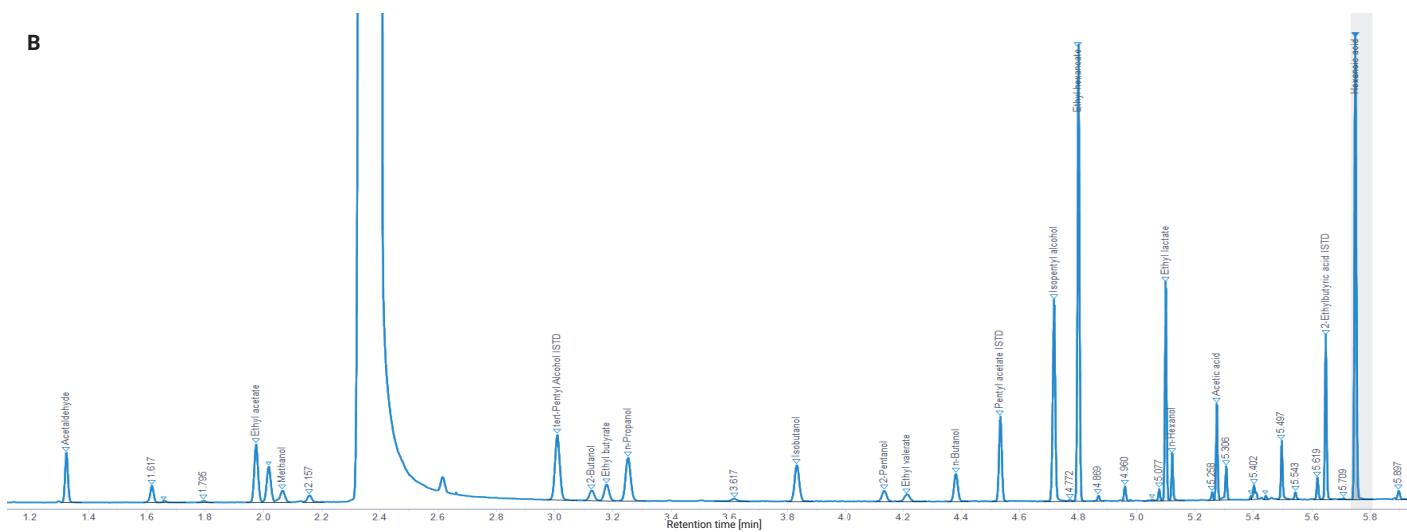
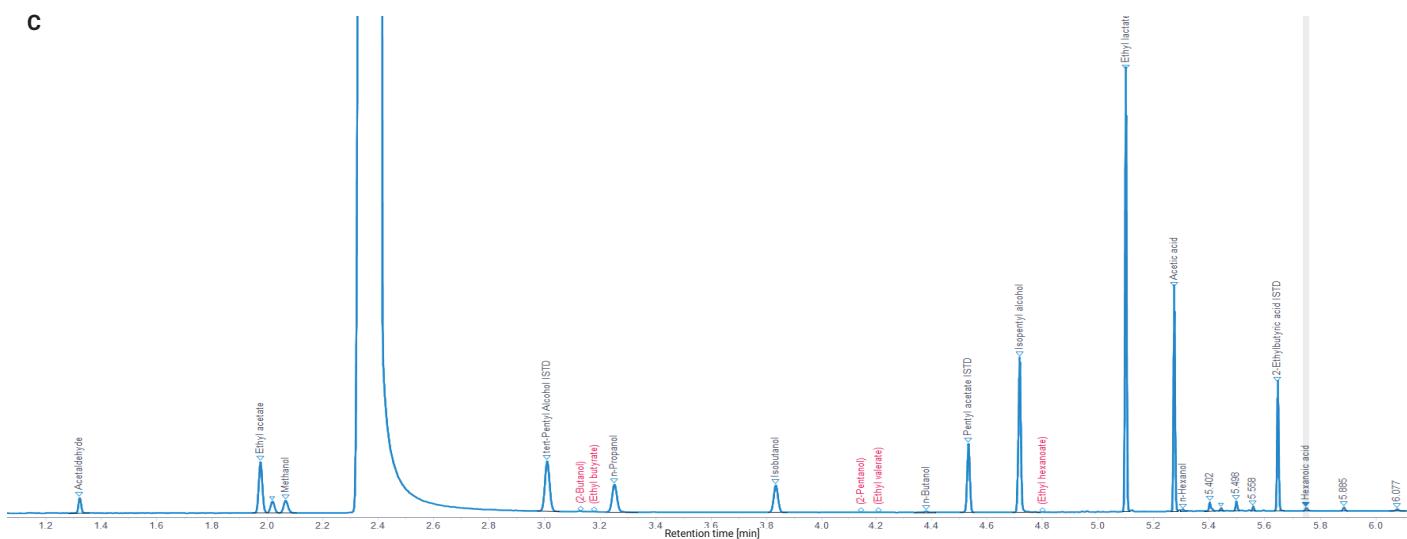
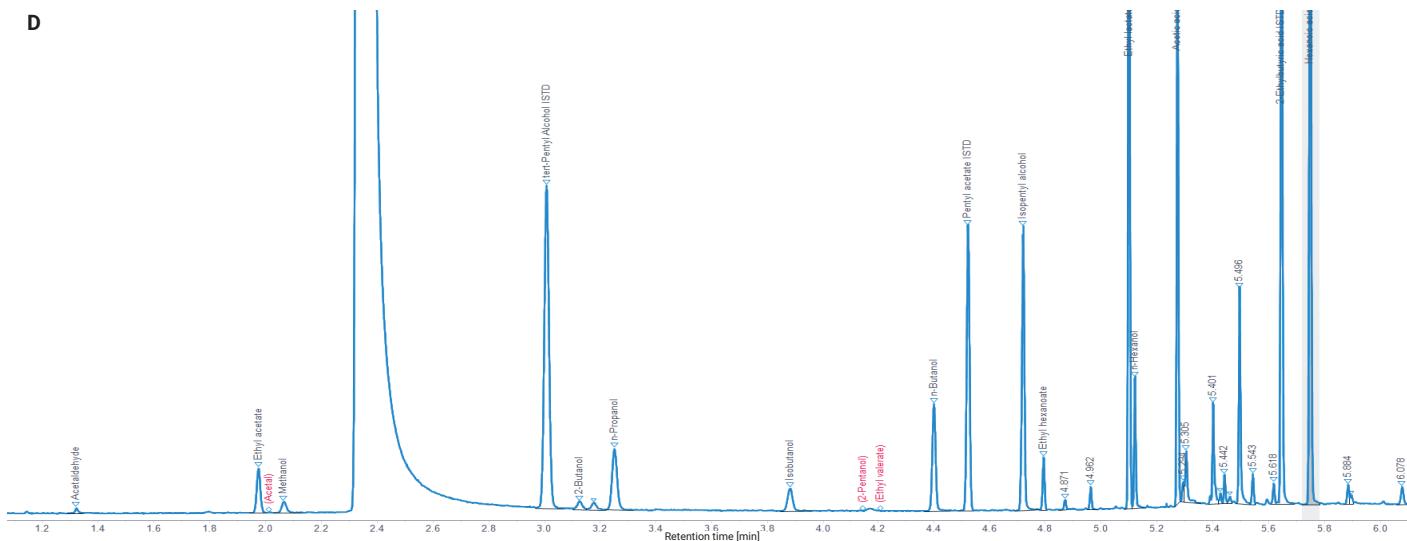
B**C****D**

그림 8. N_2 운반 가스 이용 시 다양한 풍미 특성을 가진 중국 술의 크로마토그램: (A) 신맛이 나는 술, (B) 향이 강한 술, (C) 향이 약한 술, (D) 혼합된 향의 술(이전 페이지의 계속).

시간 경과에 따라 분석 시스템의 신뢰성과 견고성을 추가적으로 확인하기 위해 실제 시료를 사용하여 장기 안정성 실험을 수행했습니다. 10m DB-WAX 컬럼은 연구 기간 내내 일정하게 유지되었으며, 최적의 성능을 유지하기 위해 셉타와 라이너와 같은 소모품만 주기적으로 교체했습니다. 이러한 안정성 테스트의 결과를 그림 9에 나타내었는데, 첫 번째 주입, 100번째, 500번째, 1,000번째, 1,500번째, 2,000번째 주입에서 얻은 크로마토그램을

비교해볼 수 있습니다. 결과에 따르면, 상당한 양의 물(중국산 술 시료의 경우 약 50%가 물)이 존재하더라도 2,000회 주입 후에도 머무름 시간이 일정하게 유지되었고, 모든 표적 피크가 날카롭고 대칭적인 모양을 유지하여 일관되고 효과적인 분리가 이루어졌습니다. 이는 장기간 사용 시에도 시스템의 안정성과 견고성이 뛰어나 종류주 시료의 일상적인 분석에 매우 적합함을 보여줍니다.

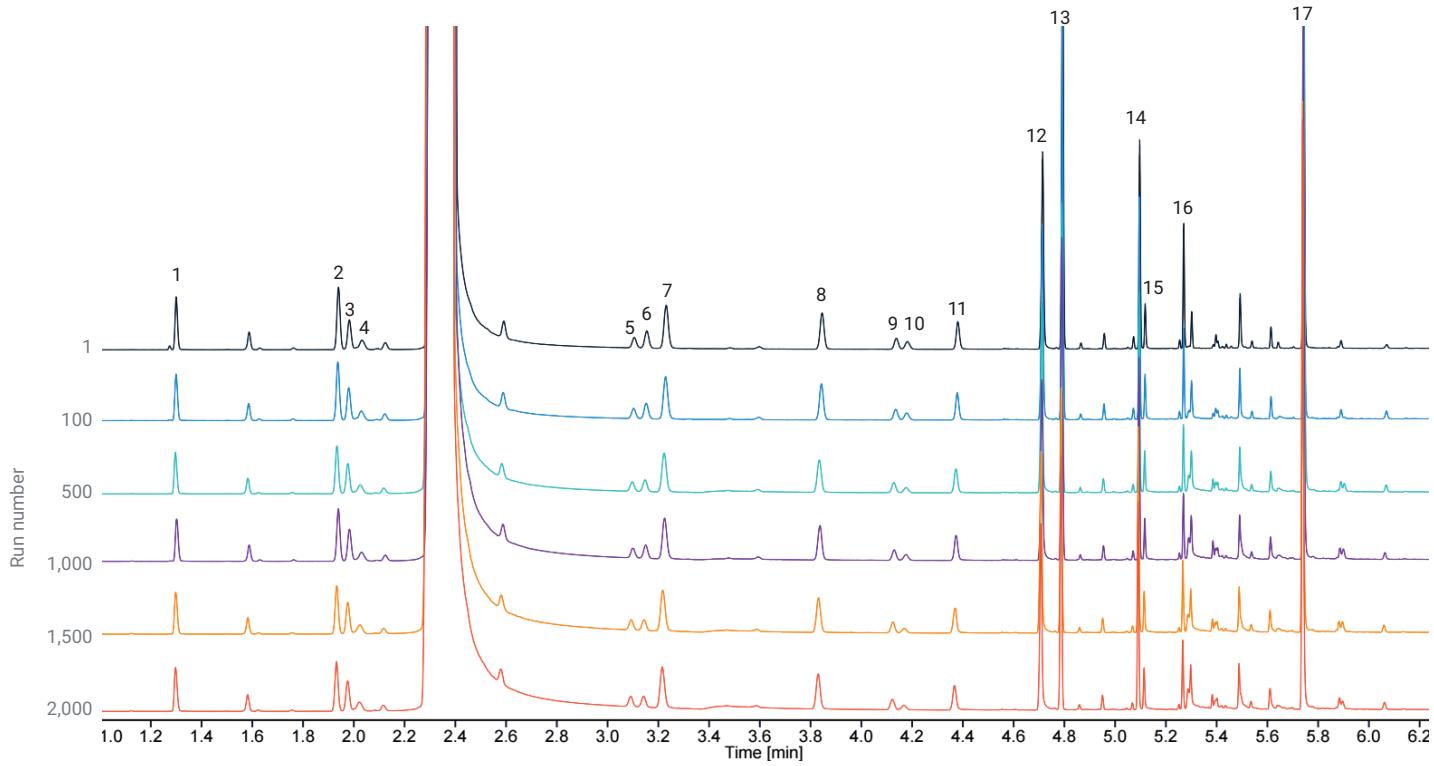


그림 9. N_2 운반 가스 사용 시 동일한 중국 술의 반복 주입을 통해 얻은 GC/FID 크로마토그램을 중첩시켜 나타냈습니다.

8850 GC로 에너지 절감

기존 분석법과 비교했을 때, 8850 GC를 사용하여 종류주를 분석하면 속도가 3배 빨라지고, 실험실 효율성이 3배 향상됩니다. 35분이 걸리는 기존의 분석법을 사용하면 24시간 내에 41개의 시료를 분석할 수 있습니다. 이와 대조적으로 11분의 고속 분석법을 사용하면 같은 시간 내에 130개의 시료를 분석할 수 있습니다. 8850 GC의 브라우저 인터페이스나 터치스크린을 통해 그림 10과 같이 일일 전력 소비량을 관찰할 수 있습니다. 8850을 24시간 연속 가동하여 종류주 시료를 분석한 결과, 일일 전력 소비량은 10.02kW로 기록되었습니다. 24시간 동안 130개의 시료를 분석했으므로 시료 주기당 평균 전력 소비량은 0.07708kW였습니다. 이에 비해, 일반적인 GC에서 기존 분석법을 사용하여 종류주를 분석할 때는 24시간 내에 41개의 시료만 분석할 수 있으며, 총 전력 소비량은 9.07kW로 기록되었습니다. 그러면 시료 사이클당 평균 전력 소비량은 0.22122kW로 계산됩니다. GC가 유휴 상태이거나 열 구역이 일정 온도에 도달했을 때 사용하는 전력은 열 구역을 램프하는

동안, 특히 오븐을 램프하는 동안 사용하는 전력에 비해 상대적으로 적습니다. 같은 기간 동안 8850 GC는 3배나 많은 가열 사이클을 실행했습니다. 이러한 사이클로 인해 전체 전력 소비량은 약간 증가했지만, 8850의 시료당 전력 소비량은 기존 GC 시스템의 34.8%에 불과한 것으로 계산되었습니다.

종류주 QC 실험실에서는 하루에 100-200개의 시료를 처리하는 것이 일반적이므로 대개는 여러 대의 GC 시스템을 동시에 운영합니다. 예를 들어, 하루에 130개의 시료를 분석하는 경우 작업을 완료하는 데 8850 GC가 단 한 대만 필요하지만, 동일한 시간 내에 동일한 결과를 얻으려면 기존 GC는 3대가 필요합니다. 주 5일, 연간 50주 근무를 가정하면 8850 GC 1대는 연간 32,500 개의 시료를 처리할 수 있으며, 총 전력 소비량은 2,505.1kW입니다. 이와 대조적으로, 1년에 같은 수의 시료를 처리하려면 기존 GC 3대가 필요하며, 총 전력 소비량은 7,189.65kW입니다. 전기 비용이 kWh당 약 0.12달러인 미국에서는 두 대의 기존 GC를 추가 구매할 필요 없이 연간 562.2달러를 절약할 수 있습니다 (표 5 참조).

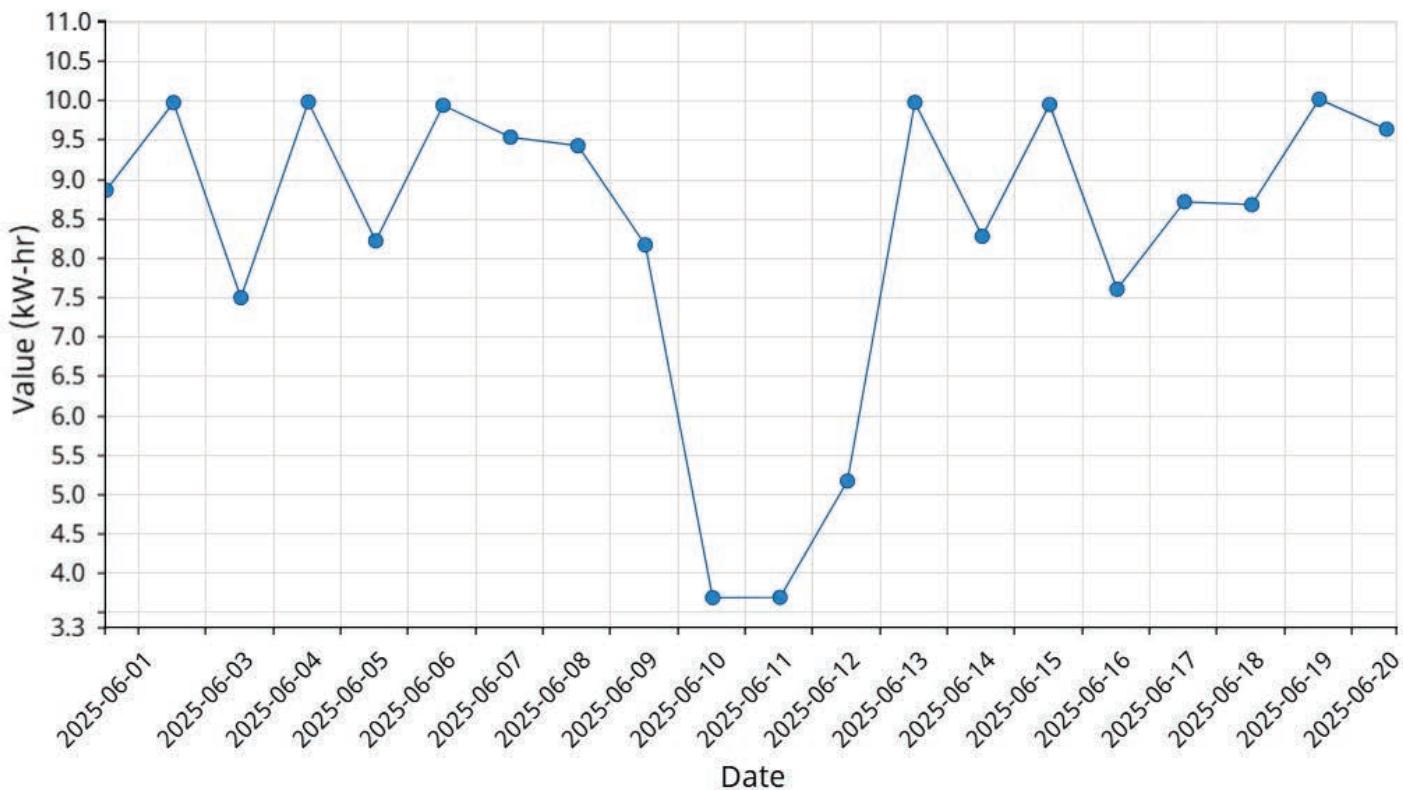


그림 10. N_2 운반 가스 사용한 실제 시료 분석 시 Agilent 8850 GC의 일일 전력 소비량.

표 5. N₂ 운반 가스 사용 시 8850 GC에서 절감되는 에너지

파라미터	값	
GC 유형	8850 GC	일반 GC
증류주 분석당 평균 전력	0.07708kWH	0.22122kWH
증류주 실행 시간	11분	35분
하루 24시간 동안의 실행 횟수	130개 시료	41개 시료
기기 사용 빈도	주당 5일 연간 50주	
연간 32,500개 시료에 사용되는 에너지	8850 GC 1대로 2505.1kWH	일반 GC 3대로 7189.65kWH
에너지 비용	kWh당 0.12달러	
연간 에너지 비용	300.6달러	862.8달러
8850 에너지 소모/일반 에너지 소모	34.8%	
8850 GC의 연간 에너지 비용 절감	562.2달러	

헬륨이나 수소를 운반 가스로 사용하면 시료 분석 속도가 더욱 빨라져 단위 시간 내에 더 많은 시료를 분석할 수 있습니다. 또한 질소 사용과 비교했을 때는 에너지 절감 효과가 더 큽니다. 자세한 내용은 부록 표를 참조하십시오.

헬륨 운반 가스 결과

질소 운반 가스에 비해 헬륨을 운반 가스로 사용하면 분석 속도가 빨라집니다. GC 실행 시간은 분석 후 실행 시간, 냉각, 오븐 평형화를 포함하여 4분에 불과하며, 단일 실행에 대한 전체 분석 주기는 그림 11에서 볼 수 있듯이 9분으로 단축됩니다.

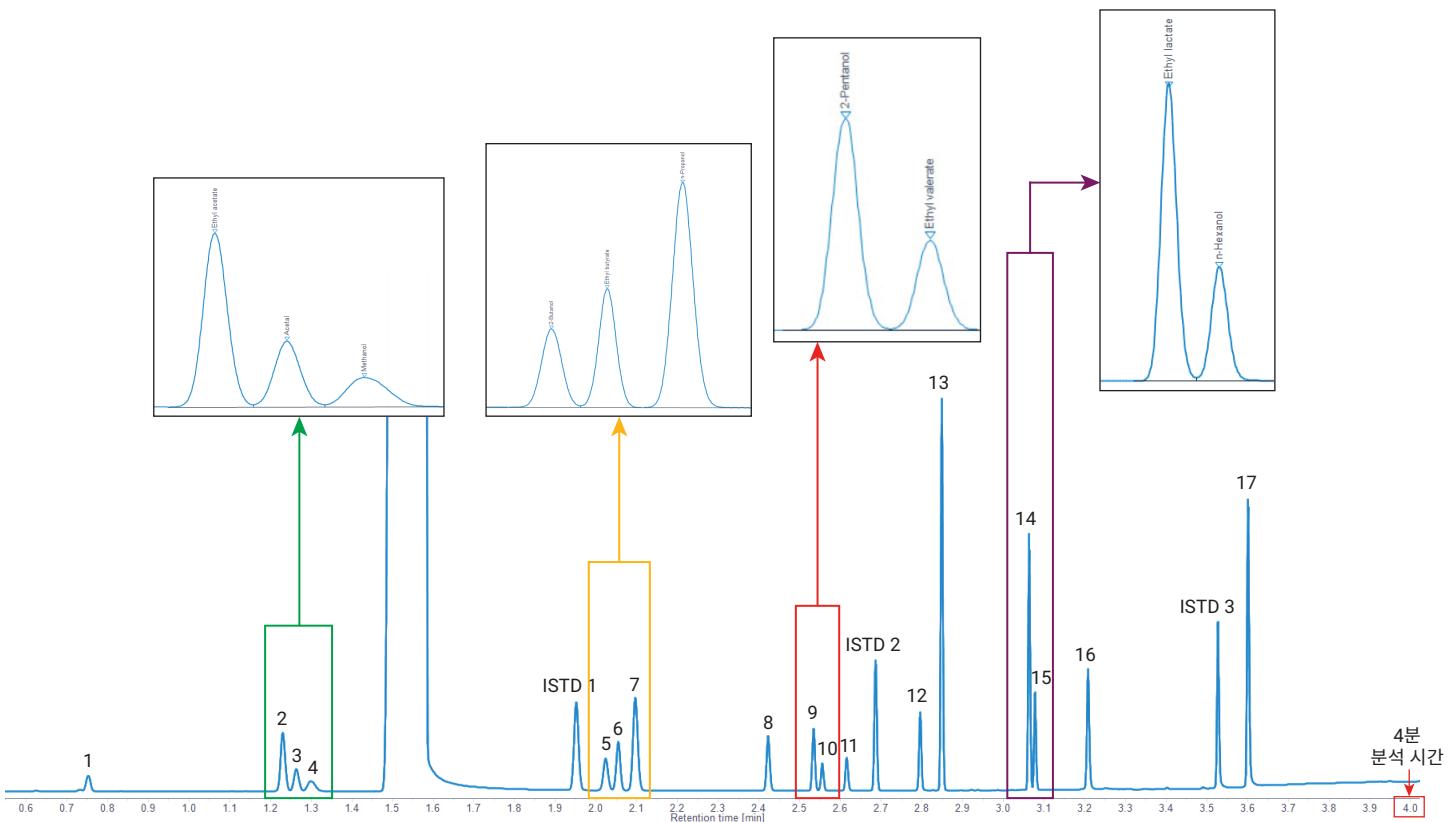


그림 11. He 운반 가스 사용 시 L2 농도에서 17가지 표적 화합물의 GC/FID 크로마토그램.

헬륨을 운반 가스로 사용할 때의 분석법 검증도 수행했습니다. 표 2에 나타난 바와 같이, 검량선의 범위는 질소를 운반 가스로 사용했을 때와 일치합니다. 모든 화합물의 상관 계수는 0.9995 이상이었습니다. 또한 표 6은 17개 화합물에 대한 %RSD 면적이

2.7%보다 훨씬 낮다는 것을 보여줍니다. LOD를 계산하는 방법은 질소 운반 가스의 경우와 동일합니다. 표 6에 나타난 바와 같이 LOD 결과는 0.5-4.3ppm 범위로 질소 운반 가스를 사용하여 얻은 결과와 일반적으로 일치하는 것으로 나타났습니다.

표 6. 헬륨 운반 가스 사용 시 17가지 표적 화합물에 대한 R², RSD 및 LOD.

	명칭	RT	R ²	면적 %RSD (n = 7)			LOD ppm(P2P)
				L1	L3	L6	
1	Acetaldehyde	0.75	0.9999	0.77	0.83	0.88	2.5
2	Ethyl acetate	1.227	0.9999	0.96	0.83	0.64	2.5
3	Acetal	1.26	0.9998	0.92	0.93	0.82	2.1
4	Methanol	1.295	0.9998	1.59	1.22	1.01	4.3
5	2-Butanol	2.021	0.9999	0.58	1.22	1.18	1.4
6	Ethyl butyrate	2.052	0.9999	0.92	0.96	0.86	1.7
7	n-Propanol	2.095	0.9999	0.65	1.17	1.18	1.5
8	Isobutanol	2.418	0.9999	0.76	1.13	1.23	0.9
9	2-Pentanol	2.532	0.9999	0.90	1.26	1.28	0.7
10	Ethyl valerate	2.555	0.9999	1.18	0.99	0.98	1.0
11	n-Butanol	2.613	0.9999	0.89	1.36	1.29	0.7
12	Isopentyl alcohol	2.795	0.9999	0.88	1.32	1.31	0.6
13	Ethyl hexanoate	2.849	0.9999	0.76	1.08	1.17	0.7
14	Ethyl lactate	3.064	0.9999	0.94	1.03	1.04	1.0
15	n-Hexanol	3.077	0.9998	0.99	1.46	1.33	0.5
16	Acetic acid	3.207	0.9995	2.52	1.94	1.24	4.0
17	Hexanoic acid	3.601	0.9997	2.43	1.64	2.68	0.9

수소 운반 가스 결과

초고속 분석을 원한다면 수소를 운반 가스로 선택할 수 있습니다. 수소를 운반 가스로 사용하면 GC 실행 시간이 3분에 불과합니다. 분석 후 실행 시간, 냉각 시간, 오븐 평형화 시간을 포함하여 단일 시료 분석에 걸리는 주기 시간을 7분으로 단축하여 종류주를 초고속으로 분석할 수 있습니다.

수소 운반 가스를 사용할 때의 분석법 검증 방식은 질소를 운반 가스로 사용하는 경우와 동일합니다. 그림 12와 표 7은 성능 결과를 보여줍니다. 수소는 초고속 분석을 가능하게 하며 피크 모양, 분리능, 직선성, 반복성 및 검출 한계를 포함한 성능 결과는 운반 가스로 질소/헬륨을 사용했을 때와 마찬가지로 뛰어납니다.

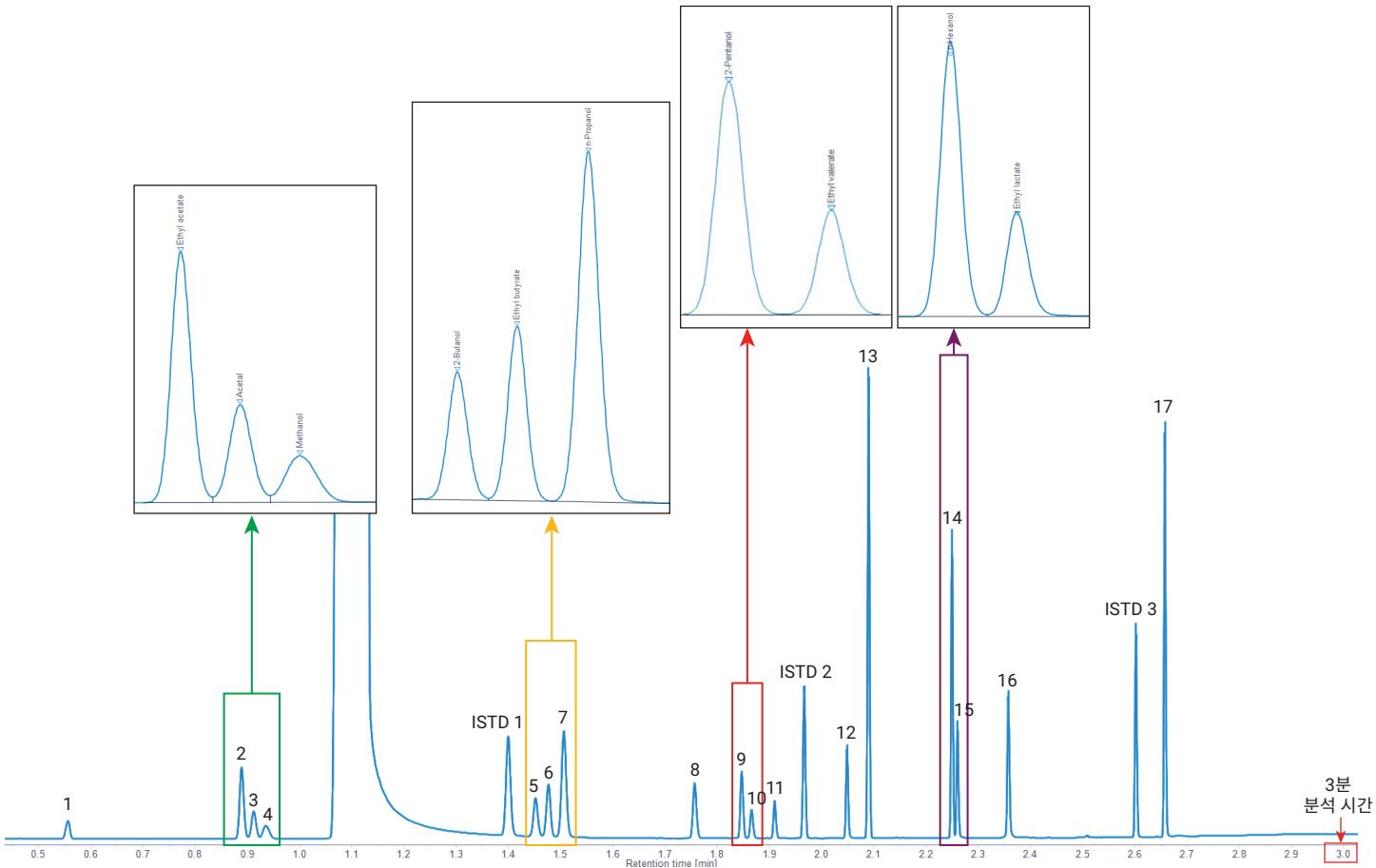


그림 12. H_2 운반 가스 사용 시 L2 농도에서 17가지 표적 화합물의 GC/FID 크로마토그램.

표 7. 수소 운반 가스 사용 시 17가지 표적 화합물에 대한 R², RSD 및 LOD.

	명칭	RT	R ²	면적 RSD % (n = 7)			LOD ppm(P2P)
				L1	L3	L6	
1	Acetaldehyde	0.556	0.9999	1.10	0.49	0.39	1.7
2	Ethyl acetate	0.889	0.9999	0.47	0.40	0.24	1.8
3	Acetal	0.912	0.9999	0.55	0.41	0.26	1.5
4	Methanol	0.935	0.9999	0.87	0.52	0.31	3.3
5	2-Butanol	1.452	0.9999	0.67	0.32	0.25	1.2
6	Ethyl butyrate	1.476	0.9999	0.82	0.46	0.28	1.3
7	n-Propanol	1.506	1	0.30	0.31	0.22	1.3
8	Isobutanol	1.756	0.9999	0.87	0.71	0.27	0.8
9	2-Pentanol	1.847	1	0.51	0.33	0.25	0.6
10	Ethyl valerate	1.866	0.9999	0.94	0.26	0.32	0.7
11	n-Butanol	1.91	0.9999	0.59	0.33	0.29	0.6
12	Isopentyl alcohol	2.049	0.9999	0.51	0.38	0.26	0.5
13	Ethyl hexanoate	2.09	0.9999	0.53	0.43	0.25	0.5
14	Ethyl lactate	2.25	0.9997	0.19	0.29	0.23	0.8
15	n-Hexanol	2.26	0.9999	0.44	0.54	0.25	0.4
16	Acetic acid	2.357	0.9991	1.33	2.06	0.49	1.3
17	Hexanoic acid	2.657	0.9999	1.45	1.94	0.99	0.5

결론

이 응용 자료는 지능적이고 사용자 친화적이며, 효율적이고 빠르며, 에너지를 절약하고 환경 친화적이며, 콤팩트한 Agilent 8850 GC 시스템이 종류주에 함유된 핵심 성분의 정량 분석에 미치는 긍정적 영향을 명확하게 보여줍니다. Agilent 8850 GC의 빠른 가열 및 냉각 기능과 짧은 컬럼을 활용함으로써 기존 분석법에 비해 분석 시간이 1/3로 단축되었습니다. 이렇게 분석 시간이 단축되면서 실험실 효율성이 크게 향상되고 기존 GC 시스템에 비해 에너지 소모도 3분의 1에 불과합니다. 중요한 점은 속도와 에너지 절감 측면에서 이러한 개선이 크로마토그래피 성능 저하를 수반하지 않는다는 것입니다.

이 연구에서는 다양한 실험실의 실제적 요구에 맞춰 세 가지 다른 운반 가스 조건에서 종류주에 함유된 17가지 핵심 화합물을 분리하고 정량화하는 과정을 살펴보았으며, 그 결과 기대 이상의 사실을 확인했습니다. 실제 시료를 2,000회 이상 주입한 후에도 알코올, 알데히드, 에스테르, 유기산의 머무름 시간과 피크 모양이 일정하게 유지되었습니다. 이는 주로 수용성 시료 조건에서 시스템의 뛰어난 불활성과 안정성을 보여줍니다. 이러한 우수한 성능은 종류주 산업의 QC 부서에 빠른 선별과 정확한 정량화를 위한 신뢰할 수 있는 방법을 제공합니다.

참고 자료

1. Kenneth, L.; Zhou, Y. Analysis of Distilled Spirits Using an Agilent J&W DB-WAX Ultra Inert Capillary GC Column. *Agilent Technologies application note*, publication number 5991-6638EN, **2016**.
2. Denoyer, E. Improving Return on Innovation in Gas Chromatography. *Agilent Technologies application note*, publication number 5991-7833EN, **2017**.

부록

표 A1. He와 H₂ 운반 가스 사용 시 Agilent 8850 GC에서 절감되는 에너지.

파라미터	값		
GC 유형	일반 GC (N ₂ 운반체)	8850 GC (He 운반체)	8850 GC (H ₂ 운반체)
종류주 분석당 평균 전력	0.22122kWH	0.07331kWH	0.06112kWH
종류주 실행 시간	35분	9분	7분
하루 24시간 동안의 실행 횟수	41개 시료	160개 시료	205개 시료
기기 사용 빈도	매주 5일 연간 50주		
연간 32,500개 시료에 사용되는 에너지	7,189.65kWH	2,382.6kWH	1,986.4kWH
에너지 비용	kWh당 0.12달러		
연간 에너지 비용	862.8달러	285.9달러	238.4달러
8850 에너지 소모/일반 에너지 소모	100%	33.1%	27.6%
8850 GC의 연간 에너지 비용 절감	0	576.9달러	624.4달러

참고: 표 5와의 일관성을 유지하기 위해 여기서 계산에 사용된 시료 처리량은 32,500 개입니다. 실제로 헬륨이나 수소를 운반 가스로 사용할 경우 연간 시료 처리량은 각각 최대 40,000개와 51,250개에 달할 수 있습니다. 즉, 계산된 에너지 절감은 현재 부록 표에 제시된 값보다 훨씬 더 클 것입니다. 그러나 비교하기 쉽도록 하기 위해 부록 표에는 여전히 계산에 32,500개의 시료 처리량을 사용했습니다.

www.agilent.com

DE-009756

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2025
2025년 10월 9일, 한국에서 발행
5994-8642KO

한국애질런트테크놀로지스(주)
대한민국 서울특별시 서초구 강남대로 369,
DF타워 9층, 06621
전화: 82-80-004-5090(고객지원센터)
팩스: 82-2-3452-2451
이메일: korea-inquiry_lsca@agilent.com

 **Agilent**
Trusted Answers