

Agilent 1260 Infinity III Prime LC 시스템의 에너지 소비

개요

Agilent 1260 Infinity III Prime LC 시스템은 작업을 자동화하고, 원활한 유지보수를 도와주며, 문제해결을 지원하는 모듈인 Agilent InfinityLab Assist를 탑재하여 시스템의 운영 효율과 가동 시간을 높여줍니다. 이러한 추가적인 이점에 따른 에너지 소비를 평가하기 위해 1260 Infinity III Prime LC 시스템을 Waters Alliance iS HPLC 시스템과 비교했습니다. 실험실의 일반적인 하루 중 다양한 운영 상태에서 에너지 사용량을 측정했습니다. 결과에 따르면 애질런트 시스템은 모든 상태에서 Waters 시스템에 비해 에너지 소비가 적은 것으로 나타났으며, 이는 보다 경제적이고 지속 가능한 작업을 추구하는 실험실에 더 현명한 선택임을 보여줍니다.

소개

최신 HPLC 시스템은 단순한 시료 분석기 그 이상의 가치가 있습니다. 기기 센서는 비분석 데이터를 수집하여 펄프 씰, 니들 시트 또는 검출기 램프와 같은 소모품의 마모와 파손을 모니터링하고, 교체가 필요한 경우 사용자에게 알립니다. 제어 소프트웨어는 시스템 평형을 유지하고, 분석 후 시스템을 종료하거나 펄프 프라이밍과 같은 일상적인 작업을 자동화하는 기능을 통합합니다.

InfinityLab Assist는 이러한 지원 수준을 한 단계 더 끌어올립니다. LC 스택에 추가된 이 얇은 모듈은 전용 프로세서와 대형 터치스크린을 갖추고 있어 LC에 연결된 크로마토그래피 데이터 시스템(CDS)과 관계없이 PC를 통해 상호작용하는 것보다 LC 시스템과 더 빠르고, 더 쉽고, 더 편리하게 상호작용할 수 있게 해줍니다. InfinityLab Assist에는 시스템을 시작하고 종료하는 작업을 자동화하고, 유지보수를 안내하며, 문제해결을 도와주는 기능을 비롯해 많은 기능이 있으며, 이에 대해서는 전용 백서에 설명되어 있습니다.¹

InfinityLab Assist를 사용하여 시간을 절약하고 확신을 높이며 사용 편의성을 개선할 수 있는 모든 이점은 이 추가 모듈로 인해 LC의 에너지 소비가 얼마나 증가하는지와 대비시켜 따져볼 필요가 있습니다. 이 질문에 대한 답을 얻기 위해 이 기술 개요에서는 일반적인 사용 조건에서 1260 Infinity III Prime LC 시스템의 에너지 소비량을 제시합니다. 마찬가지로 조작이 쉬운 터치스크린을 탑재한 경쟁 시스템인 Waters Alliance iS HPLC 에도 동일한 조건을 적용했습니다. LC 시스템의 에너지 소비를 논의한 이전 애질런트 발행물에서와 같이^{2,3} 이 분석법은 가능한 가장 낮은 에너지 소비에 맞춰 최적화되지 않았지만, 일반적인 실험실에 대한 현실적인 사용 사례를 대표하도록 했습니다.

실험

기기

UHPLC 시스템의 에너지 소비량은 CLM 221 전력계(Christ Electronic Systems, Memmingen, Germany)와 ALMEMO 2590 데이터 로거(Ahlborn, Holzkirchen, Germany)를 사용하여 측정했습니다. 모든 측정은 실온($23 \pm 2^\circ\text{C}$)에서 수행했습니다.

1260 Infinity III Prime LC는 다음 모듈로 구성되었습니다.

- InfinityLab Assist Interface(제품 번호 G7179A)와 InfinityLab Assist Hub(제품 번호 G7180A)로 구성된 Agilent InfinityLab Assist Upgrade(제품 번호 G7178A)
- Agilent 1260 Infinity III Flexible 펌프(제품 번호 G7104C)
- Agilent 1260 Infinity III 바이알 샘플러(제품 번호 G7129C)
- Agilent 1260 Infinity III 다중 컬럼 온도 조절 장치(제품 번호 G7116A)
- 10mm 표준 Agilent InfinityLab Max-Light 카트리지 셀(제품 번호 G4212-60008)이 포함된 Agilent 1260 Infinity III 다이오드 어레이 검출기 HS(제품 번호 G7117C)

Waters Alliance iS HPLC 시스템에 대해서도 동일한 실험을 수행했습니다. 이 시스템에는 Waters ACQUITY Quaternary Solvent Manager, Flow-Through 니들이 있는 Sample Manager, 컬럼 히터, 조절식 UV 검출기가 포함되어 있습니다. 사용된 분석법 파라미터와 컬럼은 애질런트 LC 시스템에서의 실험과 동일했습니다.

컬럼

이 연구에서 사용된 컬럼은 Agilent ZORBAX RRHD Eclipse Plus C18, $2.1 \times 50\text{mm}$, $1.8\mu\text{m}$ (제품 번호 959757-902)였습니다.

소프트웨어

1260 Infinity III Prime LC는 Agilent OpenLab CDS 소프트웨어 버전 2.7을 사용하여 제어했습니다. Waters LC는 Waters Empower 소프트웨어 버전 3.8을 사용하여 제어했습니다.

용매

용매는 전부 LC 등급 용매를 사용하였습니다. 초순수는 $0.22\mu\text{m}$ 의 membrane point-of-use cartridge(Millipak)를 장착한 Milli-Q Integral 시스템에서 얻었습니다.

시료

Agilent RRLC 체크아웃 시료(제품 번호 5188-6529)를 각 LC 시스템에서 분리를 위한 표준 시료로 사용했습니다.

분석법 설정

각 기기의 에너지 소비량은 실험실에서 하루 동안 세 가지 작동 상태, 즉 “유휴”, “준비” 및 “실행” 상태에서 측정했습니다(정확한 조건은 그림 1 참조). 실험실의 일반적인 하루는 각 시스템에서 실제 분석 시간(실행)이 8시간이고 프라임, 퍼징, 평형화와 시료 제출 대기 시간(준비)에 추가로 2시간이 소요되는 것으로 정의했습니다. 하루 중 나머지 시간에는 시스템이 대기 상태에 있는 것으로 간주했습니다. 이는 펌프, 컬럼 오븐, 검출기 램프의 전원은 꺼져 있지만, 시료 온도 조절 장치는 시료 냉각을 위해 계속 사용했다(유휴)는 의미입니다.

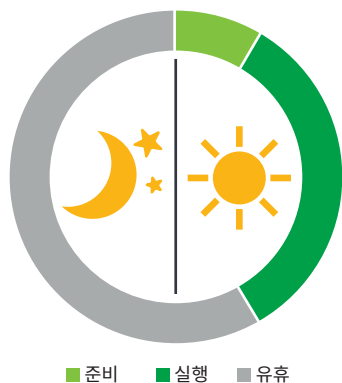
두 LC 시스템을 모두 켜고 밤새도록 유휴 상태로 두어 시료가 균일하게 냉각되도록 했습니다. 시료 외에 각 자동 시료 주입기에는 현실적인 충전 상태를 시뮬레이션하기 위해 1.5mL의 순수가 채워진 64개의 바이알이 들어 있습니다. 다음 날, 2시간 동안 유휴 상태의 에너지 소비량을 측정했습니다.

유휴 상태에서 에너지 소비량을 측정한 후, 해당 로컬 사용자 인터페이스를 사용하여 시스템의 분석을 준비했습니다. 시스템을 퍼징하고 평형화하기 위해 InfinityLab Assist에는 “준비하기 (Make Ready)” 작업이 있어, 예를 들어 매일 오전 7시에 작업이 실행되도록 준비하고 이를 저장 및 예약할 수 있습니다.¹ Waters LC의 절차는 사용자가 절차를 시작할 때마다 각 단계를 정의해야 하므로 더 많은 상호작용이 필요했습니다. 준비를 시작하고 나서 펌프, 컬럼 온도 조절 장치, 검출기 램프가 켜진 준비(Ready됨) 상태에서 에너지 소비량을 2시간 동안 다시 측정했습니다.

마지막으로, 30회의 주입 시퀀스를 제출했습니다. 이 실행 (Run) 상태에서는 표 1에 나열된 크로마토그래피 조건이 시료를 분리하기 위해 각 시스템에 적용되었습니다. 이러한 조건은 빠른 그레디언트, 짧은 실행 시간, 높은 압력(약 630bar)을 사용하는 일반적인 응용 작업을 나타냅니다. 30회 주입의 전체 시퀀스에 걸쳐 에너지 소비량을 측정했습니다. 하지만 최종 평가의 경우에는 2시간 내에 완료된 시료 수와 이 시간 동안 소비된 에너지만 기록했습니다.

표 1. 크로마토그래피 조건.

파라미터	값
이동상	A) 물 B) 아세트ونی트릴
유량	0.9mL/분
그레디언트	시간(분) %B 0.0 30 2.0 95 정지 시간: 3분 사후 시간: 1분
주입량	2µL
컬럼 온도	40°C
시료 온도	4°C
UV 검출기	240nm, 40Hz 데이터 속도



	유휴	준비	실행
주전원	켜짐	켜짐	켜짐
시료 온도 조절 장치	켜짐	켜짐	켜짐
컬럼 온도 조절 장치	꺼짐	켜짐	켜짐
펌프	꺼짐	켜짐	켜짐
검출기 램프	꺼짐	켜짐	켜짐
자동 시료 주입기(주입)	꺼짐	꺼짐	켜짐

그림 1. 일반적인 실험실 하루 동안의 LC 시스템으로 가정한 작동 상태.

결과 및 토의

Agilent 1260 Infinity III Prime LC와 Waters Alliance iS HPLC 시스템에서 동일한 분석법과 컬럼을 사용하여 표준 시료를 분리했습니다. 다양한 작동 상태(유틸, 준비, 실행)에서 에너지 소비량을 각각 2시간 동안 측정했습니다. 2시간의 실행 시간 내에 시료를 1260 Infinity III Prime LC에 24회, Waters 시스템에는 23회 주입했습니다. 이러한 차이는 시료를 주입하는 데 필요한 오버헤드 시간의 차이로 인해 발생합니다. 측정된 수치는 일반적인 하루 운영 동안의 일일 및 시료당 전체 에너지 소비량에 대한 이해를 얻기 위해 외삽되었습니다.

그림 2는 각 작동 상태에서 각 HPLC 시스템의 에너지 소비량을 나타냅니다. Waters 시스템은 애질런트 시스템보다 370-500kJ 더 많은 전력을 소비했습니다. 예상대로, 유틸 상태보다 준비 및 실행 상태에서 에너지 소비량이 더 높았습니다. 애질런트 시스템에서는 실행 상태가 준비 상태보다 에너지를 적게 소비했지만, Waters 시스템의 에너지 소비량은 두 상태에서 모두 동일했습니다. 애질런트 시스템의 차이점은 평균 시스템 압력으로 설명될 수 있습니다. 즉, 준비 상태에서 펌프는 수성 조성이 높은 이동상을 공급하여 고압을 생성합니다. 실행 중 이동상의 유기물 비율이 그라데이션에 따라 증가하여 점진적인 압력 감소와 전체 실행에 걸친 평균 압력 감소가 발생합니다. 애질런트 펌프의 경우 에너지 소비량은 시스템 압력과 상관관계가 있는 반면, Waters 펌프는 시스템 압력에 관계없이 동일한 전력으로 작동하는 것으로 보이는 상이한 기술을 사용합니다.

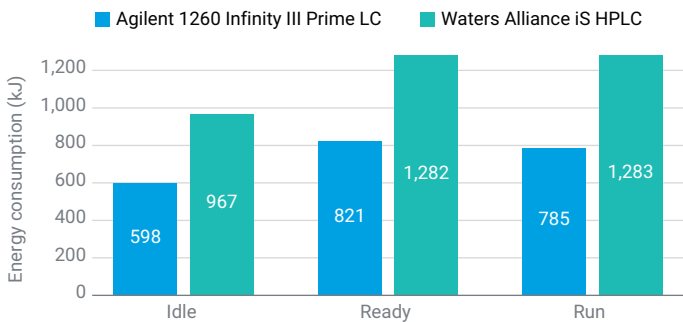


그림 2. Agilent 1260 Infinity III Prime LC와 Waters Alliance iS HPLC의 유틸, 준비 및 실행 상태에서 시간당 에너지 소비량(kJ)입니다.

매일 시료 측정(실행)에 8시간, 준비 및 시스템 평형화(준비)에 2시간, 유틸 시간(유틸)에 14시간을 사용한다고 가정할 때, 애질런트 시스템의 하루 총 에너지 소비량은 4.5kWh, Waters 시스템의 하루 총 에너지 소비량은 7.3kWh로 계산되었습니다 (그림 3). 많은 양의 시료를 처리하는 실험실에서는 LC가 시료를 측정하는 시간이 하루에 8시간 이상일 가능성이 높습니다. 시료 측정에 16시간, 준비 및 평형화에 2시간, 유틸 시간에 6시간이 걸린다고 가정할 때 총 에너지 소비량은 애질런트 시스템과 Waters 시스템의 경우 각각 4.9kWh와 8.0kWh로 증가합니다 (그림 3). 시료 측정 용량이 두 배로 늘어났음에도 에너지 소비량은 10% 미만으로 증가한 것입니다. 이 계산은 LC 시스템의 작동 시간을 시료 분석에 사용하는 경우 가장 효율적이라는 것을 잘 보여줍니다.

InfinityLab Assist는 LC 시스템을 더욱 효율적으로 운영하는 데 도움이 될 수 있습니다. 이 도구는 사용 효율성을 보여주고, 효율성이 시료 분석에 소요되는 시간, 준비, 플러싱 또는 유틸 작동에 소요되는 시간의 정의된 백분율 아래로 떨어지면 사용자에게 알려줍니다. 프로그래밍 가능한 작업은 사용자 일정에 따라 시스템을 자동으로 시작하거나 종료하는 데 도움이 됩니다(일정에 관계없이 실행 중인 시료가 먼저 처리됨). 안내식 유지보수와 문제해결을 통해 가동 중단이 최소화됩니다. 자세한 내용은 이전 백서에서 확인할 수 있습니다.¹

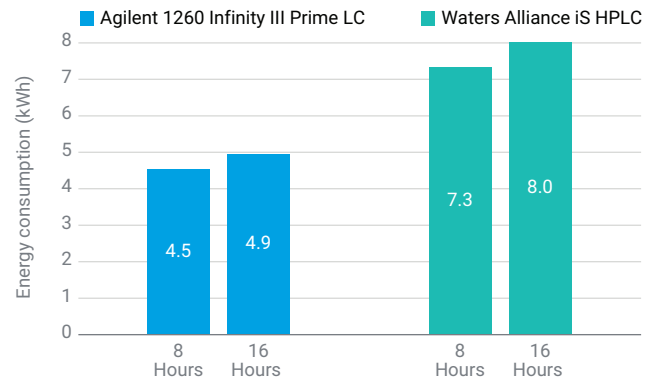


그림 3. 하루 작업당 8시간 또는 16시간의 시료 측정을 가정했을 때 Agilent 1260 Infinity III Prime LC와 Waters Alliance iS HPLC의 일일 에너지 소비량(kWh)입니다.

일일 에너지 소비량이 높은 것처럼 보일 수 있지만, LC 시스템을 운영하는 데 드는 비용은 시스템으로 측정된 시료 수에 따라서도 달라집니다. Agilent 1260 Infinity III Prime LC와 Waters Alliance iS HPLC 시스템은 모두 높은 압력(각각 800bar 및 689bar)에서 빠른 그레디언트를 실행할 수 있는 UHPLC 시스템입니다. 이러한 특성 덕분에 낮은 압력에서 작동하는 중간 성능 시스템에 비해 하루에 더 많은 시료를 분석할 수 있습니다. 다양한 Agilent InfinityLab LC 시스템의 에너지 소비에 대해서는 다른 발행물에 논의되어 있습니다.² 따라서 시료당 실제 에너지 소비량을 공정하게 파악하려면 일일 에너지 소비량을 하루에 처리된 시료 수로 나누어야 합니다.

본 기술 개요에 설명된 실험 조건에서 하루에 약 8시간의 시료 측정을 기준으로, 애질런트 시스템은 하루에 96개의 시료를 관리하는 반면, Waters 시스템은 같은 시간 내에 92개의 시료를 처리합니다. 이러한 수치는 각각 시료당 170kJ 및 287kJ로 환산됩니다(그림 4 참조). 하루 16시간의 시료 측정으로 고처리량 작업을 가정할 경우, 에너지 소비량은 시료당 각각 93kJ와 155kJ로 감소합니다.

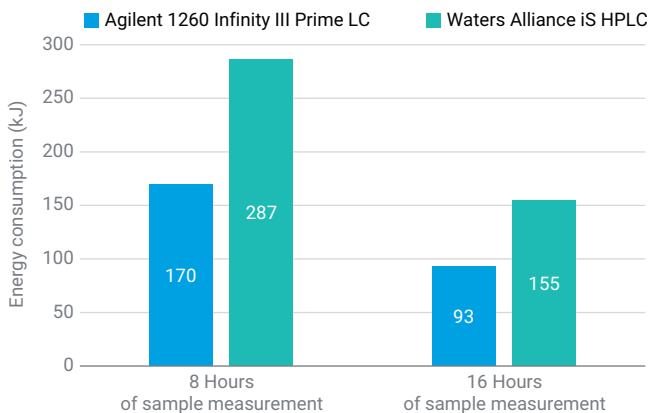


그림 4. 하루 작업당 8시간 또는 16시간의 시료 측정을 가정했을 때 Agilent 1260 Infinity III Prime LC와 Waters Alliance iS HPLC의 시료당 에너지 소비량(kJ)입니다.

결론

UHPLC 분석법의 일반적인 조건을 적용하여 유휴 상태 및 실행 상태에서 Agilent 1260 Infinity III Prime LC 시스템의 에너지 소비량을 측정했습니다. 비교를 위해, 동일한 분석법을 Waters Alliance iS HPLC 시스템에서도 실행했습니다. 애질런트 시스템은 다양한 작동 상태(유휴, 준비, 실행)에서의 에너지 소비량과 일일 전체 소비량, 시료당 에너지 소비량이 모두 낮았습니다. 하루에 측정되는 시료 수를 두 배로 늘렸을 때 에너지 소비량은 10% 이하로 증가했습니다. 이는 LC가 유휴 상태로 작동하는 대신 하루 종일 시료를 측정하는 경우에 가장 효율적으로 사용된다는 것을 보여줍니다. InfinityLab Assist는 자동화된 작업, 유지보수 피드백, 문제해결 지원을 추가하여 신뢰도와 사용 편의성을 높이면서 LC 가동 시간을 늘리는 데 도움이 될 수 있습니다.

참고 자료

1. The Agilent InfinityLab Assist: A Local User Interface to Control and Automate Your HPLC System. *Agilent Technologies white paper*, publication number 5994-7572EN, **2024**.
2. HPLC가 환경에 미치는 영향에 대해 알고 계십니까? InfinityLab LC 시스템 4종의 일상 작동 중 에너지 소비. *Agilent Technologies 기술 개요*, 발행물 번호 5994-2335KO, **2022**.
3. Comparing the Energy Consumption of Different UHPLC Systems. *Agilent Technologies technical overview*, publication number 5994-6214EN, **2023**.

www.agilent.com

DE-000585

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2024
2024년 10월 18일, 한국에서 인쇄
5994-7573KO

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

 **Agilent**
Trusted Answers