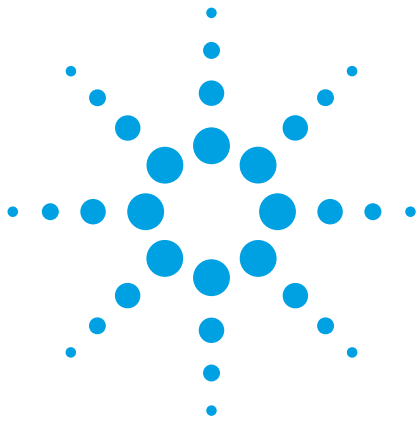




쉽고, 정밀하며, 정확한 정량 NMR

응용 자료

저자

Ronald Crouch
David Russell
Agilent Technologies, Inc.
Santa Clara CA 95051
USA

개요

매우 정확하고 정밀한 qNMR(quantitative NMR)은 VnmrJ 3.1 소프트웨어의 새로운 qNMR 도구와 외부 표준물질을 이용한 검교정을 통해 입증되었습니다. 주기적인 검교정으로 99.9%의 높은 정확도와 0.59%의 우수한 정밀도를 얻을 수 있으며, 개별 연구 시 검교정을 수행할 경우에는 각각 100%와 0.35%의 높은 정확도와 정밀도를 얻을 수 있습니다.

서론

저분자량 유기 화합물을 정량 분석하는 기술은 다양합니다. 가장 일반적인 기술은 크로마토그래피 분리를 수행한 후 분광 검출(예: UV/Vis, 증기화 광산란 등) 또는 스펙트럼 검출(예: 질량 분석기)에 기반하여 분석물을 검출하는 것입니다. 이들 검출법은 용도에 따라 각기 장점이 있지만, 공통적으로 감응 계수 또는 매트릭스 효과와 같은 문제가 발생한다는 단점이 있습니다. 범용적인 크로마토그래피 검출기는 없습니다.

NMR은 구조 분석에 가장 많이 사용되지만, 점차 중요한 정량 도구로 여겨지고 있습니다. NMR은 공진 시그널의 적분 강도가 해당 시그널에 나타나는 핵의 수에 정비례하므로 정량적으로 사용할 경우 가장 강력한 성능을 발휘합니다. 또한 스펙트럼의 모든 양성자의 감도가 동일하므로 정량 결과 측정 시 성분별 흡광 계수 또는 검교정이 필요 없습니다. NMR은 합성 및 생합성 제품, 정밀 화학 물질, 의약품, 대사 물질, 분해 산물, 생물학적 유체의 생체 화합물¹의 농도를 측정하는 데 사용되어 왔습니다. 특히 qNMR은 대사 물질, 신약 발굴 및 분석, 천연 제품 분석²에 유용한 것으로 나타나 있습니다.



Agilent Technologies

정량 NMR은 정확성과 정밀성이 높기 때문에, 여러 분석 연구실에서 일상적인 정량 도구로 사용할 수 있습니다. 내부 표준물질을 사용하는 화학적 기준법은 정확한 정량 분석이 가능하지만, 이 기술은 번거롭고 시료를 오염시킵니다. ERETIC(Electronic Referencing to access in vivo Concentrations), PIG(Pulse Into Gradient), ARTSI(Amplitude-corrected Referencing Through Signal Injection) 및 QUANTAS(Quantification by Artificial Signal)와 같은 여러 전자적 기준 접근 방식도 정확하고 정밀한 정량 결과를 제공하는 데 사용되고 있습니다. 그러나 이러한 분석법은 범위가 제한적이며/또는 본질적으로 오류 민감도가 높은 단점이 있습니다³⁻⁷.

저분자량 유기 화합물의 정확하고 정밀한 qNMR 결과를 손쉽게 얻을 수 있는 유일한 방법은 외부 농도 표준물질과 1D 스펙트럼을 완벽하게 통합하는 것입니다. 단, NMR 플랫폼의 안정성과 직선성이 높아야 합니다. 이 응용 자료는 사실상 모든 유기 화학 물질 시료를 쉽고 정확하고 완벽하게 정량 분석하는 Agilent NMR 시스템의 고유한 특징을 보여 줍니다. 또한 Agilent VnmrJ 3.1 소프트웨어를 비롯하여, 용매, 유전체, 그리고 시료 높이 변경에 거의 영향을 받지 않는 OneNMR probe 및 DirectDrive 콘솔을 사용하여 작은 유기 화합물 분자를 정량하는 과정을 설명합니다. 단 한 번의 검교정 측정으로 96.98~102.12%의 정확도(실제 농도 %)와 0.59~1.07%의 정밀도(% 표준 편차)를 얻을 수 있습니다. 실험실 환경에 미미한 변화가 있을 경우 각 연구 과정에서 검교정 데이터를 수집하여 원인을 밝히면 훨씬 더 높은 정확도와 정밀도(각각 99.48~100% 및 0.35~0.60%)를 얻을 수 있습니다.

실험

표준물질 및 시약

Ibuprofen은 Sigma-Aldrich에서 제공했으며 보관 용액은 200.00 mg/mL, 969.5 mM 농도의 DMSO-d₆(6개의 중수소 원자가 포함된 dimethylsulfoxide) 용매를 사용하여 준비했습니다. 이 보관 용액을 희석하여 최소 농도가 515 µM인 일련의 9개 시료를 만들었습니다. DMSO-d₆ 용매만 포함된 바탕 시료도 시료 세트에 포함했습니다. Caffeine은 Sigma-Aldrich에서 제공했으며 D₂O를 사용해 52.11 mM의 보관 용액을 만들고 모든 보관 용액은 D₂O로 희석했습니다.

기기

Ibuprofen 정량 실험은 5 mm OneNMR Probe와 7600-AS 시료 교환 장치가 포함된 Agilent 500 MHz DirectDrive NMR 분광기에서 수행했습니다. 모든 데이터는 실제 시료 온도를 25°C로 제어한 상태에서 수집했습니다. Probe는 처음부터 검교정 표준에 맞추어 튜닝하였고 이후에 진행된 모든 측정에서 같은 튜닝 상태를 유지했습니다.

Caffeine 정량 실험은 5 mm OneNMR Probe와 7600-AS 시료 교환 장치가 포함된 Agilent 400 MHz DirectDrive NMR 분광기에서 수행했습니다. Probe는 매번 연구를 시작하기 전에 검교정 표준에 맞춰 튜닝하였습니다.

분석 파라미터

각 기기에 사용된 파라미터는 표 1에 나와 있습니다.

표 1. Agilent NMR 분광기 조건

단일 검교정	
기기	5 mm OneNMR™ Probe가 있는 Agilent Direct Drive 500 MHz NMR
Excitation 펄스	12.1 µs @ 57 dB; 90° 팁(tip) 각도
리시버 게인	시료마다 자동으로 조정됨
스캔 횟수	1
작동 주파수	499.86 MHz
수집 시간	3.0초
푸리에 값	256k
apodization	0.3 Hz 지수적 선폭 증가
다중 검교정	
기기	5 mm OneNMR™ Probe가 있는 Agilent Direct Drive 400 MHz NMR
Excitation 펄스	11.5 µs @ 59 db; 90° 팁(tip) 각도
리시버 게인	20 dB
스캔 횟수	1
작동 주파수	399.92 MHz
수집 시간	4.0초
푸리에 값	256k
apodization	0.3 Hz 지수적 선폭 증가

결과 및 토의

외부 표준물질 검교정

애질런트 콘솔에서는 리시버 경로에서 시그널이 바로 디지털화됩니다. 이러한 디자인 아키텍처로 인해, 내부 기준 시그널 없이 외부 표준물질 검교정만으로 안정성과 직선성을 확보할 수 있으므로 뛰어난 품질의 완벽한 정량 분석 데이터를 얻을 수 있습니다.

검교정은 농도 범위가 10~100 mM인 시료에서 가능합니다. 시료에는 다른 시그널에서 잘 분리되는, 매우 감도가

좋은 공진 또는 공진 그룹이 있어야 하며 검교정 공진에 나타나는 총 핵 수를 알아야 합니다. 그런 다음 90도 펄스를 사용해 단일 스캔 1D 스펙트럼을 수집하고 검교정 공진을 포함하는 구역을 적분합니다. 이 적분 구역 값은 시료 농도 결과와 핵 수를 측정하여 수동으로 설정합니다. 농도 결과를 적분 값 필드에 입력하고 적분 값 설정 버튼(그림 1)을 클릭합니다. 그러면 **qEstimate** 명령을 사용하여 미지 성분 시료의 농도를 측정하는 데 필요한 모든 파라미터를 probe 파일에 입력할 수 있습니다.

이러한 값이 probe 파일에 입력되면 검교정이 완료되고 마우스를 클릭하여 시료 농도를 확인할 수 있습니다. 검교정 프로세스에 대한 자세한 설명은 VnmrJ 3.1 자동화 사용자 가이드의 정량 분석 도구 장을 참조하십시오.

검교정 표준물질의 간편한 적분

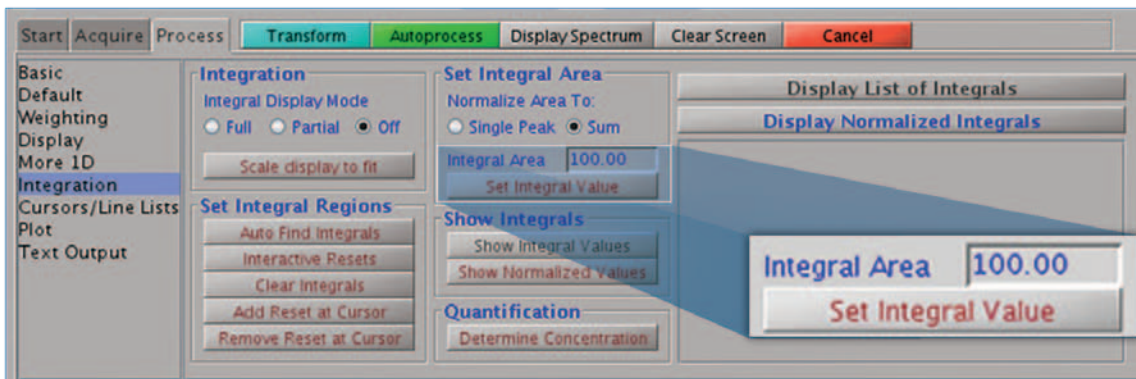


그림 1. 적분 영역을 설정하는 인터페이스 도구는 프로세스 탭 아래의 적분 패널에서 찾을 수 있습니다.

일반 qNMR에서의 주기적인 검교정

새로운 qNMR 도구로 허용 범위의 정확도와 정밀도에서 시료를 정량 분석하려면 probe를 최소한 한 번 이상 검교정해야 합니다(또는 90도 펄스 폭으로 주기적인 검교정 실시). 적분 오차는 방정식 $0.25 + (100/SN)^{0.5}$ 에 근접하기 때문에 오차를 1% 미만으로 줄이기 위해서는 시그널 대 노이즈 (S/N)가 최소한 150/1 이상이어야 합니다. 정확도와 정밀도가 중요한 경우에는 각 분석물과 검교정에 사용된 스펙트럼의 S/N을 고려해야 합니다.

일반 qNMR에 단일 검교정을 수행하는 방법을 설명하기 위해 15.17 mM 농도의 DMSO-d₆을 사용하여 ibuprofen 검교정 표준물질을 준비했고 5 mm NMR 튜브에 담았습니다. 또한 농도가 132 mM~500 μM인 일련의 9 가지 시료도 준비했습니다. 표준물질 시료의 농도와 1.33 ppm에서의 methyl doublet 강도를 qEstimate 검교정(그림 2)의 입력값으로 사용했습니다.

Probe 검교정이 완료된 후 시료를 자동으로 수집할 수 있도록 농도 계열의 각 시료를 입력했습니다. 일반 오토록(autolock), 오토심(autosim), 오토게인(autogain) 기능이 수행된 후 각 시료의 단일 스캔 ¹H NMR 스펙트럼이 수집되었습니다. 각 시료의 데이터가 차례로 수집되고 각 시료에 대해 최소 20 개의 반복 데이터 세트가 수집될 때까지 전 과정이 연속해서 반복되었습니다.

검교정 단계에서 적절한 외부 표준물질 스펙트럼 피크가 적분됨

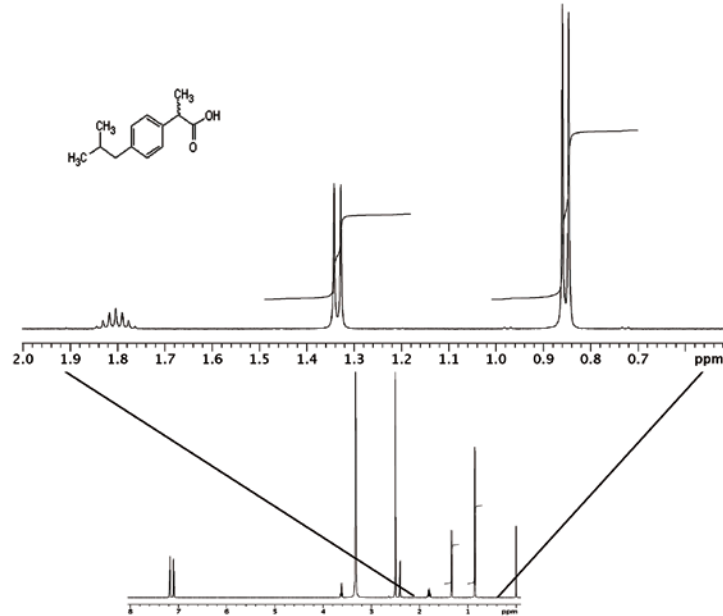


그림 2. 검교정에 사용된 ibuprofen의 ¹H NMR 스펙트럼(아래쪽 결과)과 0.5~2 ppm 구역이 확장된 표 2의 ibuprofen 농도 계열 정량 분석(위쪽 결과). Methyl doublet은 1.33 ppm에서 나타나고 isobutyl methyl doublet은 ~0.84 ppm에서 나타납니다. ibuprofen 구조도 표시되어 있습니다.

간편하게 소프트웨어에서 농도 측정

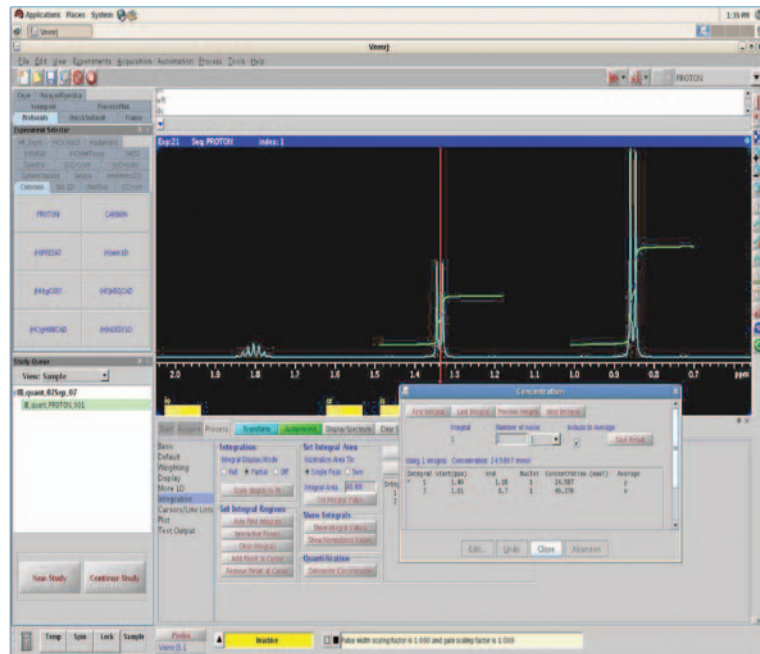


그림 3. 농도 측정 버튼을 사용하여 농도 팝업 창을 초기화할 수 있습니다. 또한 이 버튼으로 스펙트럼의 각 적분 구역에 인터랙티브 방식으로 다중농도를 할당하고 마지막 농도 계산에 넣을 구역을 선택할 수 있습니다.

그림 3에 나타난 창은 프로세스 탭 아래의 적분 패널에서 **농도 측정** 버튼으로 농도 측정 도구에 액세스하면 표시되는 창입니다. 스펙트럼의 각 적분 영역이 표시되며 인터랙티브 방식으로 적절한 다중도를 할당한 후 각 적분 영역을 농도 계산 목록에 추가할 수 있습니다. 조사 대상이 단일 시료인 경우 이 워크플로를 수동으로 빠르고 간단하고 쉽게 구현할 수 있습니다.

현재 조사에서는 스펙트럼이 180개가 넘기 때문에 자동 처리 매크로를 사용해 methyl doublet에 해당하는 구역(~1.3 ppm)과 isobutyl doublet에 해당하는 구역(~0.8 ppm)을 선택하고, 다중도(각각 3개 및 6개의 양성자)를 기준으로 해당 영역의 적분값을 측정했습니다. 그리고 두 시그널을 기준으로 시료 농도를 계산한 다음 마지막으로 csv(comma separated spreadsheet) 파일에 결과를 기록했습니다. 이 매크로의 예는 사용자 라이브러리의 분광기에서 확인할 수 있습니다(즉, /vnmr/userlib/mac/lib/qEst2csv). 이 작업에서 데이터를 분석하기 위해 각 피크를 독립적인 척도로 사용하여 농도를 측정했습니다.

표 2에는 전체 농도 계열에서 표준 편차가 1% 미만으로 결과가 나와 있습니다. 이 결과를 보면 거의 10^3 의 농도 범위에서 높은 직선성($R^2=0.9995$)이 나타난다는 것을 알 수 있습니다(그림 4).

표 2. 한 점 검교정(single-point calibration)을 사용한 ibuprofen 농도 계열의 정량 분석 정확도 및 정밀도

실제 농도(mM)	평균 측정 농도(mM)	표준 편차(mM)	정확도* (실제 %)	정밀도(%SD)
0.515	0.531	0.006	96.98%	1.07%
1.03	1.049	0.008	98.13%	0.79%
2.06	2.098	0.012	98.14%	0.59%
4.12	4.171	0.024	98.77%	0.57%
8.24	8.269	0.048	99.65%	0.58%
16.49	16.571	0.103	99.51%	0.62%
32.98	33.014	0.293	99.90%	0.89%
65.97	67.813	0.492	97.21%	0.73%
131.94	129.141	1.091	102.12%	0.84%
전체			98.46%	0.74%

* 농도가 매우 낮은 시료와 매우 높은 시료 모두에서 정확도가 손실될 수 있다는 점에 유의하십시오. 수집 시 사용된 단일 스캔으로 인해 S/N 비율이 낮으므로 농도가 낮은 시료에서 적분 오차가 나타날 수 있으며, 농도가 매우 높은 시료에는 방사 감쇠가 잠재적으로 영향을 미칠 수 있습니다.

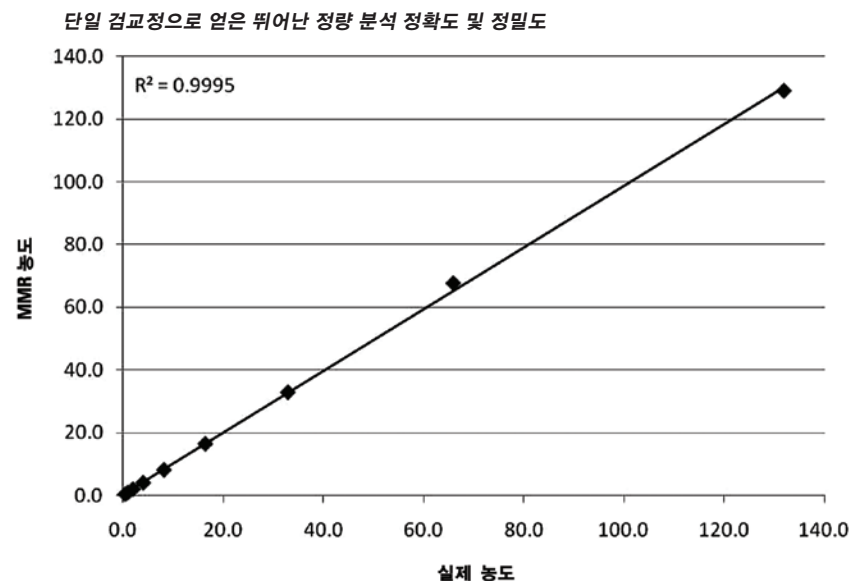


그림 4. 0.9995의 R^2 값으로 10^3 이상의 동적 범위에서 빠르고 쉽고 정확하게 ibuprofen 농도를 측정하여 실제 농도와 측정된 농도 간의 상관 관계 파악.

보다 높은 정확도와 정밀도를 제공하는 런타임 검교정

각 시료 연구 전에 검교정을 수행하여 보다 높은 정량 분석 정확도와 정밀도를 얻을 수 있습니다. 따라서 실험실 환경의 변화로 인해 발생하는 사소한 안정성 변화를 보상할 수 있습니다. 검교정 표준물질과 분석 대상 시료에 모두 동일한 게인 값을 사용할 경우 결과가 더욱 향상됩니다. 정확도와 정밀도가 높아진다는 것을 보여 주기 위해 caffeine을 분석물로 사용해 일련의 농도 표준물질 세 개를 준비했습니다. 준비된 시료 농도는 각각 50.44 mM, 51.91 mM, 52.11 mM으로, 계열 전체의 농도 차는 3.3%에 불과합니다. 세 가지 시료의 연구는 각각 외부 표준물질(D₂O에 54.11 mM caffeine 포함)을 자동 검량한 다음, 세 가지 시료를 정량 분석하는 방식으로 진행되었습니다. 7 개의 qNMR 연구를 연속으로 수행하고 총 630 개(각 농도마다 210 개)의 연구를 수행할 때까지 세 시간마다 이 연속된 연구를 다시 제출하도록 NMR 콘솔을 설정했습니다. 표 3에 나타난 것처럼 정량 분석의 전체 정확도는 99.94%이고 전체 정밀도는 0.51%로 나타났으므로 세 가지 시료의 아주 작은 농도 차이도 측정할 수 있다는 사실이 입증되었습니다.

두 번째 실험은 NMR 튜브의 시료 높이가 정량 분석 결과에 미치는 영향을 평가하기 위해 수행했습니다. 이 실험은 각 튜브에서 이전 실험에 사용한 시료를 없애고 각 튜브의 시료 높이를 각각 48 mm, 35 mm, 30 mm로 낮춘 후에 진행했습니다(표 4). 총 35 개의 연구는 3 시간마다 일련의 연구(7 개의 qNMR 연구, 각 연구는 외부 표준물질을 자동 검량한 후 세 가지 시료를 정량 분석하는 과정으로 구성됨)를 반복하도록 프로그래밍된 분광기에서 총 16 시간에 걸쳐 이루어졌습니다. OneNMR probe를 사용할 경우 결과

표 3. 다중 런타임 검교정을 통한 세 가지 caffeine 농도의 정량 분석 정확도 및 정밀도

실제 농도 (mM)	시료 높이 (mm)	평균 측정된 농도 (mM)	표준 편차 (mM)	정확도 (실제 %)	정밀도
52.11	54	52.16	0.27	99.85%	0.52%
50.44	45	50.70	0.21	99.48%	0.42%
51.91	37	51.99	0.31	99.90%	0.60%
전체				99.74%	0.51%

표 4. 시료 높이가 정확도와 정밀도에 미치는 영향

실제 농도 (mM)	시료 높이 (mm)	평균 측정 농도 (mM)	표준 편차 (mM)	정확도 (실제 %)	정밀도
52.11	48	52.13	0.19	99.96%	0.35%
50.44	35	50.44	0.17	100.00%	0.49%
51.91	30	—	—	—	—
전체				99.98%	0.42%

정확도 또는 정밀도가 저하되지 않고 시료 높이를 35~54 mm로 변경할 수 있음을 확인했습니다(표 4). 시료 3의 시료 높이(30 mm)는 일상적인 분석을 수행하기에 너무 짧아서 유용한 결과를 얻지 못했습니다.

¹³C 어깨 피크를 제거 하기 위해 측정하는 동안 이중 레벨 광대역 ¹³C 디커플링을 사용해 시료 1과 2의 시료로 두 번째 실험을 반복하였습니다⁹. 총 98 개의 연구는 2 시간마다 일련의 연구(7 개의 qNMR 연구, 각 연구는 외부 표준물질을 자동 검량한 후 두 가지 시료를 정량 분석하는 과정으로 구성 됨)를 반복하도록 프로그래밍된

분광기에서 총 28 시간에 걸쳐 이루어졌습니다. 그림 5의 아래쪽 결과는 결합된 기준 스펙트럼을 나타내며 ¹²C 시그널의 ¹³C 어깨 피크의 분해능을 분명하게 보여줍니다. 그림 5의 위쪽 결과에서는 ¹³C 어깨 피크가 주요 공진 대역에서 완전히 제거되었음을 알 수 있습니다. 광대역 ¹³C 디커플링으로 인해 노이즈/오차가 발생할 가능성이 있음에도 정량 분석의 정확도와 정밀도가 매우 양호하게 나타났습니다(표 5).

표 5. ¹³C 디커플링이 정확도 및 정밀도에 미치는 영향

실제 농도 (mM)	시료 높이 (mm)	평균 측정 농도 (mM)	표준 편차 (mM)	정확도 (실제 %)	정밀도
52.11	54	52.09	0.20	99.96%	0.37%
50.44	35	50.44	0.17	100.00%	0.49%
전체				99.98%	0.43%

¹³C 디커플링에 구애받지 않고 정량 분석의 높은 정확도와 정밀도 제공

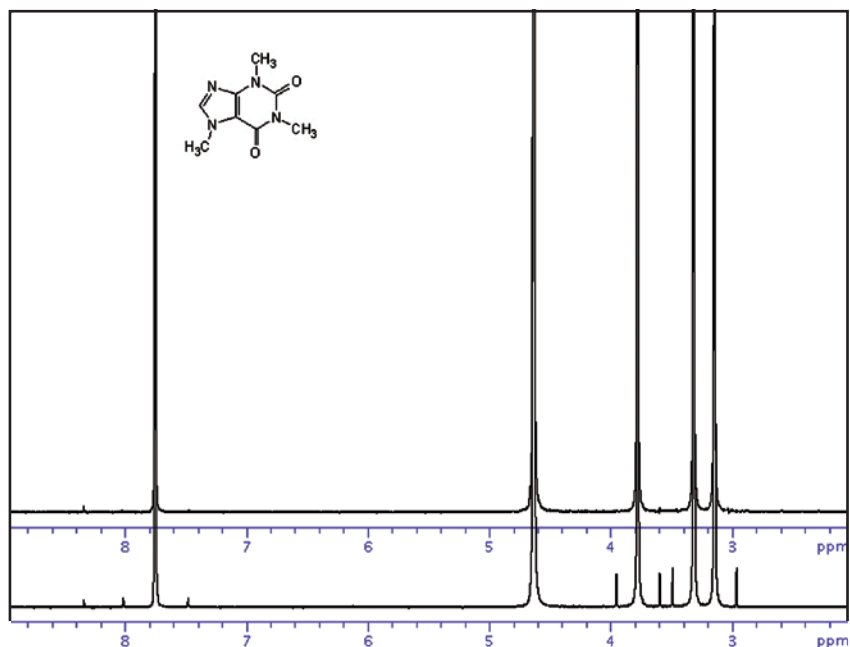


그림 5. 충분한 자기장에 이중 레벨 광대역 ¹³C 디커플링을 사용(위)하거나 사용하지 않고(아래) 240 ppm의 ¹³C 주파수 공간을 디커플링하여 수집된 caffeine 시료(표시된 구조). 두 실험 모두 양성자 NMR 수집에 3.6 초가 소요되었습니다. 디커플링은 실험 선택기의 Std1D 탭에 있는 BilevelDEC 실험 프로토콜로 진행되었습니다.

결론

NMR을 사용한 실험에서는 정량 기술에서 기대할 수 있는 모든 특성, 즉 특이성, 선택성, 감도, 직선성, 넓은 측정 범위(dynamic range), 장치 감응 계수를 효과적으로 보여주고 무엇보다 중요한 것은 양성자가 있는 모든 유기 분자를 폭넓게 검출한다는 점입니다. 그러나 정량 분석에 NMR을 사용할 경우 가장 큰 문제점은 시종의 NMR 하드웨어에 비직선성이 내재되어 있다는 것입니다. 각 시료에서 이러한 오류를 수정할 수 있지만 내부 화학 표준물질을 추가하거나 실험 데이터에 외부 기준 시그널을 통합해야 합니다. 내부 표준물질은 사용하기에 번거롭고 또 다른 측정 오류를 야기할 수 있으며, 외부 기준 시그널을 생성하기 위한 분석법은 범위가 매우 제한적이고 본질적으로 오류가 발생하기 쉽습니다.

Agilent NMR 시스템은 리시버의 시그널 경로가 완전히 디지털화되어 광범위한 시료 농도 범위에서 탁월한 감응 직선성을 제공한다는 점에서 독자적입니다. 또한 OneNMR Probe는 용매, 유전체 및 시료 높이 변화에도 거의 영향을 받지 않습니다. 애질런트는 이 견고한 하드웨어와 정교한 소프트웨어를 결합하여 탁월한 정량 분석용 도구를 개발했습니다. VnmrJ 3.1 소프트웨어를 사용하고 농도가 알려진 외부 표준물질로 검교정 파라미터를 한번에 측정하는 완벽한 통합 분석법으로, 쉽고 빠르게 NMR에서 시료를 정확하고 정밀하게 정량 분석할 수 있습니다. 저분자량 유기 화합물 분석 시 96.98~102.12%의 정확도와 0.59~1.07%의 정밀도를 얻을 수 있습니다. 실험실 환경 안정성에 미미한 변화가 있을 경우 각 시료 연구 과정에서 런타임 검교정을 진행하여 원인을 밝히면 훨씬 더 높은 정확도와 정밀도(각각 99.48~100% 및 0.35~0.60%)를

얻을 수 있습니다. 실제로 광대역 ¹³C 디커플링은 이러한 측정 오류에 크게 영향을 미치지 않습니다. 또한 검교정 파라미터 수집 및 저장, 정량 분석 연구 설정 및 예약, 맞춤형 보고서 작성과 같은 소프트웨어 기능으로 이러한 수준의 정확도와 정밀도를 빠르고 쉽게 확보하고 보고할 수 있습니다.

마지막으로 이 응용 자료는 양성자 NMR 데이터를 사용한 정량 분석만을 다루며 새로운 qNMR 도구는 주파수와 무관합니다. 사용자는 적합한 핵(즉, ³¹P, ¹⁹F, ¹³C 등)을 사용해 동일한 유형의 검교정을 수행한 다음 그러한 핵에 대해 수집된 데이터에 동일한 워크플로를 구현할 수 있습니다.

참조

1. R. Espina, et al. "Nuclear magnetic resonance spectroscopy as a quantitative tool to determine the concentrations of biologically produced metabolites: implications in metabolites in safety testing", *Chem Res Toxicol.* **22**, 299-310 (2009).
2. G. F. Pauli, B. U. Jaki, D. C. Lankin. "Quantitative ^1H NMR: development and potential of a method for natural products analysis.", *J Nat Prod.* **68**, 133-49 (2005).
3. K.I. Marro, et al., "Synthetic signal injection using inductive coupling." *J Magn Reson* **194**, 67-75 (2008).
4. F. Ziarelli, et al., "General implementation of the ERETIC method for pulsed field gradient probe heads." *J Magn Reson* **194**, 307-12 (2008).
5. Mehr, K., et al., "Electronic referencing techniques for quantitative NMR: pitfalls and how to avoid them using amplitude-corrected referencing through signal injection.", *Anal Chem* **80**, 8320-8323 (2008).
6. Upton, R. in ENC. 2008. Asilomar, California USA.
7. I.W. Burton, et al. "Quantitative ^1H NMR with external standards: use in preparation of calibration solutions for algal toxins and other natural products." *Anal Chem* **77**, 3123-31 (2005).
8. F. Malz and H. Jancke. "Validation of Quantitative nuclear magnetic resonance." *J. Pharm. Biomed. Anal.* **38**, 813-823 (2005).
9. E. Kupce, R. Freeman, G. Wider, K. Wüthrich, "Suppression of Cycling Sidebands using Bi-level Adiabatic Decoupling." *J. Magn. Reson. A* **122**, 81-84 (1996).

추가 정보

자세한 내용:

www.agilent.com

온라인 구매:

www.agilent.com/chem/store

국가별 애질런트 고객 센터

www.agilent.com/chem/contactus

미국 및 캐나다

1-800-227-9770

agilent_inquiries@agilent.com

유럽

info_agilent@agilent.com

아시아 태평양

adinquiry_aplsca@agilent.com

www.agilent.com

이 문서의 제품 사양 및 설명은 사전 공지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc., 2011
2011년 8월 한국에서 발행
발행물 번호 5990-7601KO

서울 강남구 역삼로 542 신사제2빌딩 2층 우) 135-848
한국애질런트테크놀로지스(주) 생명과학/화학분석 사업부
고객지원센터 080-004-5090 www.agilent.co.kr



Agilent Technologies