

## 듀얼-셀 시스템(DCS) 및 고급 헬륨 모드(AHM)

기존 He-KED보다 감도가 높고 간섭 제거 기능이 향상된 첨단 기술



### 애질런트의 충돌 반응 셀(CRC) 기술이 거처온 발전 과정

- **2001:** CRC 기능을 갖춘 최초의 ICP-MS인 Agilent 7500c(Octopole Reaction System(ORS) 탑재)를 출시했습니다.
- **2011:** 충돌 유도 분해(CID)를 이용한 고에너지 헬륨 모드(HEHe)를 도입했습니다.
- **2012:** 세계 최초의 삼중 사중극자 ICP-MS인 Agilent 8800 ICP-QQQ를 출시했습니다.
- **2016:** 축 방향 가속 기능을 갖춘 2세대 삼중 사중극자 ICP-MS인 Agilent 8900 ICP-QQQ를 출시했습니다.
- **2026:** Agilent 9500 ICP-QQQ에 혁신적인 듀얼-셀 시스템(DCS)과 고급 헬륨 모드(AHM)를 도입했습니다.

## 소개

충돌/반응 셀(CRC) 기술은 최신 ICP-MS 시스템의 표준 기능으로, 데이터 품질을 저하시키는 스펙트럼 간섭을 제거하는 신뢰할 수 있는 수단을 제공합니다. 통합 CRC를 갖춘 ICP-MS 시스템은 환경 및 식품 분석에 사용되는 SQ ICP-MS부터 발전된 연구 응용 분야에 사용되는 QQQ ICP-MS(ICP-QQQ)까지 다양합니다. 일상적인 응용 분야에서는 헬륨 운동 에너지 판별(He KED) 모드, 일반적으로 헬륨 모드(He 모드)라고 하는 모드가 CRC 작동 모드 중 가장 널리 사용됩니다. 헬륨 모드가 널리 사용되는 이유는 특정 원소에 대한 최적화 없이도 광범위한 동중원소의 간섭을 줄이는 데 보편적으로 효과적이기 때문입니다.

반응성 셀 가스에 의존하고 복잡한 조정이 필요한 CRC(흔히 반응 셀이라고 함)와 달리, He 모드는 복잡한 조정 없이도 흔히 발생하는 다원자 이온 간섭을 효과적으로 완화합니다. 반면, 반응 셀은 관심 분석물질에 작용하는 특정 간섭 이온을 기반으로 가스 종류(예: 암모니아 또는 산소)를 신중하게 선택하고 파라미터를 조정해야 하는 경우가 많습니다.

애질런트는 He 모드의 간편함을 기반으로 Agilent 9500 삼중 사중극자 ICP-MS(ICP-QQQ)용 고급 헬륨 모드(AHM)를 개발했습니다. AHM은 새롭게 설계된 애질런트 듀얼-셀 시스템(DCS)과 고속 셀 전압 제어를 기반으로 구현된 간섭 제거 기술의 획기적인 발전입니다. 이러한 혁신 기술은 질량 범위 전체에 걸쳐 높은 감도를 제공하며, 일상적인 응용 분야에서 탁월한 간섭 제거 성능을 발휘합니다. 기존 He 모드와 비교했을 때, AHM은 다음과 같은 개선점을 보여줍니다.

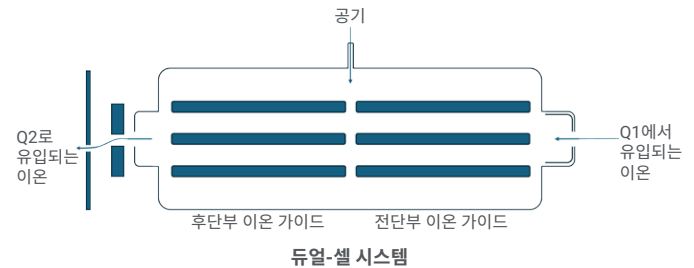
- 베릴륨(Be) 및 붕소(B)와 같은 낮은 원자량 원소의 경우 감도가 약 20배 향상
- 중질량에서 높은 원자량 원소의 경우 약 2배 정도 향상
- 검출 한계(DL)를 유지하면서 데이터 수집 시간을 33% 이상 단축하여 분석 측정 시간 단축

AHM은 기존의 He KED를 대체할 뿐만 아니라 가스 미사용, He, HEHe 등 여러 튜닝 모드를 하나의 간소화된 모드로 통합합니다. 9500 ICP-QQQ에 통합된 AHM은 이전 버전보다 더 빠르고 간단하며 더 높은 성능을 제공하는 차세대 표준 헬륨 모드입니다.

본 기술 자료는 DCS 및 AHM의 성능 향상 메커니즘에 대해 설명합니다. 또한, AHM의 분석적 개선점을 강조하기 위해 기존 He KED 모드와의 비교 결과도 포함되어 있습니다.

## DCS 설계 특징 및 간섭 제거 기능

DCS는 두 개의 사중극자(Q1과 Q2) 사이에 배치되어 Agilent 9500 ICP-QQQ에 통합된 독자적인 CRC입니다. DCS의 구성을 그림 1에 나타내었습니다. 단일 다극 이온 가이드를 사용하는 기존 CRC와 달리, DCS는 두 개의 이온 가이드를 특징으로 하며, 하나는 셀 앞쪽 Q1 근처에, 다른 하나는 셀 뒤쪽 Q2 근처에 있습니다. 두 개의 이온 가이드는 각각 전면 셀 바이어스 전압과 후면 셀 바이어스 전압이라고 하는 바이어스 전압을 사용하여 독립적으로 제어됩니다. 이온을 DCS를 통해 이동시키는 데 사용되는 것이 바로 이러한 전압입니다.



**그림 1.** 헬륨 셀 가스를 사용하여 가압되는 애질런트 듀얼-셀 시스템(DCS)의 개략도. 셀의 KED 전압은 전면 및 후면 이온 가이드 바이어스 간의 전압 차를 적용하여 정밀하게 제어됩니다. DCS의 혁신적인 설계는 운동 에너지 판별(KED) 및 충돌 유도 분해(CID) 메커니즘의 조합을 통해 고급 헬륨 모드(AHM)에서 최적화된 간섭 제거 성능을 가능하게 합니다.

표준 운영 조건에서 He 가스 유량은 14mL/min으로 설정되며, 전면 셀 바이어스 전압은 -98V, 후면 셀 바이어스 전압은 -88V입니다. 두 셀 사이의 전압 차이(10V)가 KED 전압으로 작용합니다. 이 구성에서 DCS는 KED와 충돌 유도 분해(CID) 메커니즘의 조합을 통해 간섭 이온을 효과적으로 억제할 수 있습니다. DCS에서 "듀얼"이라는 용어는 이중 이온 가이드와 이중 간섭 제거 메커니즘 모두를 의미합니다.

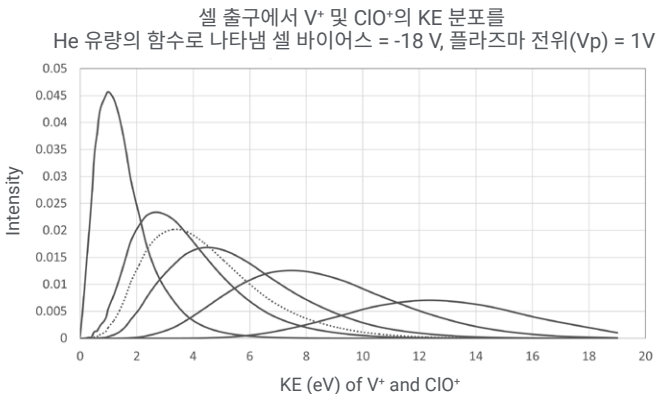
존재비 감도(AS)는 강한 피크가 인접 질량에 미치는 영향을 측정하는 지표입니다. 다극 이온 가이드를 사용하는 HEHe 모드에서 AS 성능은 고에너지 이온이 존재할 때 저하되는 경향이 있어 특정 원소에만 사용이 제한됩니다. 반대로, DCS는 후방 이온 가이드에서의 충돌을 통해 고에너지 이온을 안정화시킴으로써 가스 미사용 모드와 유사한 AS 성능을 발휘합니다. 또한, 전면 셀 바이어스 전압을 매우 낮은 값(예: -90V)으로 설정하면 CID 효율이 향상되며, KED는 14mL/min의 He 유량에서 계속 작동합니다. DCS의 이러한 특성 덕분에 기존의 He KED 모드에 비해 감도가 더 높고 간섭 제거 기능이 더 우수합니다.

### He KED 성능 향상 및 DCS 설계에 대한 설명

He KED는 일상적인 ICP-MS 분석에서 가장 널리 사용되는 셀 모드 중 하나입니다. 이 방법은 He 원자, 분석 대상 이온 및 간섭 이온 간의 충돌 단면적 차이를 이용하여 다원자 이온 간섭을 줄입니다. 다원자 이온은 분석 대상 이온보다 단면적이 크기 때문에 셀 내에서 He과 더 많이 충돌하고 더 많은 운동 에너지(KE)를 잃습니다. 셀과 Q2 사이에는 KE 전압 또는 KED라고 알려진 전압 장벽이 인가됩니다. 이 장벽은 에너지가 낮은 간섭 이온을 억제하는 동시에 에너지가 높은 분석물 이온이 Q2와 검출기로 통과하도록 합니다.

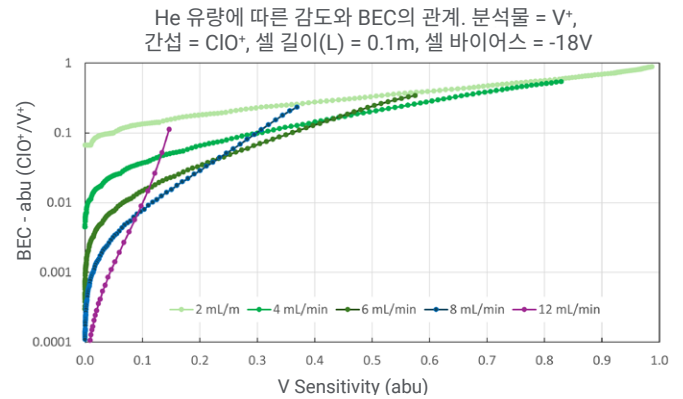
He KED 모드에서는 이온과 He 가스 원자 간의 충돌 횟수를 늘림으로써 성능을 향상시킬 수 있으며, 이러한 효과는 He 유량을 증가시킴으로써 얻을 수 있습니다. 이 경우 “성능”은 분석 대상 이온과 간섭 이온 간의 신호대 잡음비(S/N)와 타겟 분석물의 신호 강도(감도)를 모두 의미합니다.

그림 2는 8900 ICP-QQQ에 장착된 He 충돌 셀의 시뮬레이션 결과를 보여줍니다. 이 그림은 바나듐( $V^+$ ) 분석 이온과 염소 산화물( $ClO^+$ ) 간섭 이온에 대한 셀 출구에서의 운동 에너지 분포를 보여줍니다.  $V^+$  이온은 He과의 충돌로 인해 운동 에너지를 잃고 에너지 분포가 넓어집니다. He 유량이 증가함에 따라 충돌 횟수가 늘어나 KE 분포가 좁아집니다.  $ClO^+$  이온은  $V^+$  이온보다 충돌 단면적이 크기 때문에 더 많은 충돌을 겪게 되며, 이로 인해 KE 손실이 더 크고  $V^+$  이온과의 분리가 더욱 뚜렷해집니다.



**그림 2.** 셀 출구에서  $V^+$  및  $ClO^+$  이온의 운동 에너지(KE) 분포를 계산한 결과입니다. 실선은 He 유량이 2, 4, 6, 8, 12mL/min일 때 셀 출구에서  $V^+$  이온의 운동 에너지 분포를 나타냅니다. 점선은 He 유량이 4mL/min일 때  $ClO^+$  이온의 KE 분포를 나타냅니다. 동일한 He 유량 4mL/min에서 두 이온을 비교했을 때,  $ClO^+$  이온은 더 큰 충돌 단면적 때문에  $V^+$  이온보다 낮은 KE 분포를 보입니다.

셀 출구에 적절한 KED 전압을 인가하면  $V^+/ClO^+$  비율을 향상시킬 수 있습니다. 그러나 일부  $V^+$  이온도 손실되어 감도가 저하됩니다. 그림 3은 그림 2에 나타낸 시뮬레이션에서 사용된 다양한 He 유량 및 KED 전압에 대한  $ClO^+/V^+$ 를 기반으로 계산된 감도와 백그라운드 등가 농도(BEC)를 보여줍니다. 더 높은 KED 전압을 사용하면 백그라운드 노이즈가 감도보다 빠르게 감소하여 BEC 성능이 향상됩니다.



**그림 3.** 다양한 He 유량에서  $ClO$  매트릭스 내 BEC에 대한 바나듐(V) 감도를 계산했습니다. 각 He 유량에서, KED를 매개 변수로 사용하여 V의 감도(X축)와  $ClO$  매트릭스에서 V의 BEC(Y축)를 계산했습니다. 두 값 모두 He 유량 = 0mL/min 및 KED = 0V의 기준 조건에 대해 정규화된 상대 값으로 표현됩니다.

### 시뮬레이션을 통해 얻은 인사이트: KED 전압과 감도 간의 특실 관계

시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 KED 전압을 증가시키면 BEC 성능은 향상되지만 감도는 감소합니다. 또한, He 유량이 높을수록 감도와 BEC가 모두 향상되지만, 그 효과는 약 6mL/min 부근에서 정체됩니다. 이러한 한계는 높은 유량에서 이온이 과도하게 열적 평형 상태에 가까워지면서 KED의 효과가 감소하기 때문에 발생합니다.

높은 He 유량에서 효과적인 KED 성능을 유지하려면 이온의 셀 진입 에너지를 높여야 하며, 이를 위해 이온 가이드 바이어스 전압을 낮출 수 있습니다.

높은 감도와 효과적인 간섭 제거를 보장하기 위해 DCS는 이러한 원칙에 따라 설계되었습니다. He 이외의 셀 가스(예:  $O_2$  또는  $NH_3$ )를 사용할 경우, 전면 및 후면 이온 가이드 모두에 동일한 바이어스 전압이 인가되므로 시스템이 기존의 단일 이온 가이드처럼 작동할 수 있습니다.

## AHM의 개요 및 장점

일반적으로, 다원소 ICP-MS 분석법은 기존의 He KED 모드에서 감도가 낮기 때문에 Be이나 B와 같은 낮은 원자량 원소를 측정할 때 가스 미사용 모드를 적용합니다. 결과적으로, 많은 일상적인 ICP-MS 응용 분야에서는 가스 미사용, He 및 HEHe를 조합한 여러 튜닝 설정이 필요했습니다. 각 모드를 전환하면서 셀 압력 안정화가 필요하여 지연이 발생합니다.

실제로 낮은 원자량 원소( $m/z < 23$ )는 일반적으로 다원자 이온 간섭의 영향을 받지 않으므로 KED가 불필요한 경우가 많습니다. 따라서 AHM에서는 낮은 원자량 원소에 대해서는 DCS에 다른 전압을 인가하여(사실상 KED를 비활성화)  $m/z \geq 23$  원소에 대해서는 표준 설정을 유지합니다.

DCS 전압은 고속 전압 제어 회로를 사용하여 Q2와 동기화되어 동적으로 전환되므로 기존 He 모드에 비해 낮은 원자량 원소에 대한 감도가 20배 이상 향상됩니다. AHM은 가스 미사용 모드로 작동할 필요성을 없애주어 분석법을 크게 단순화합니다. 대부분의 응용 분야에서는 기본적으로 AHM만으로도 충분합니다.<sup>1</sup>

## 기존 He 모드와 비교한 AHM의 성능

AHM 모드에서 작동하는 DCS가 탑재된 9500 ICP-QQQ의 성능을 평가하기 위해 일상적인 응용 또는 까다로운 응용을 시뮬레이션할 수 있도록 다양한 유형의 시료를 준비했습니다. 그 결과를 기존의 He KED 모드를 사용하여 얻은 결과와 비교했습니다.

### 낮은 원자량 원소

그림 4에서 볼 수 있듯이, AHM 모드는 He 모드에 비해 낮은 원자량 분석물질( $m/z < 23$ )에 대한 감도를 약 20배 향상시킵니다. Be의 경우, AHM은 가스 미사용 모드에 비해 약 3분의 1의 감도를 제공합니다.

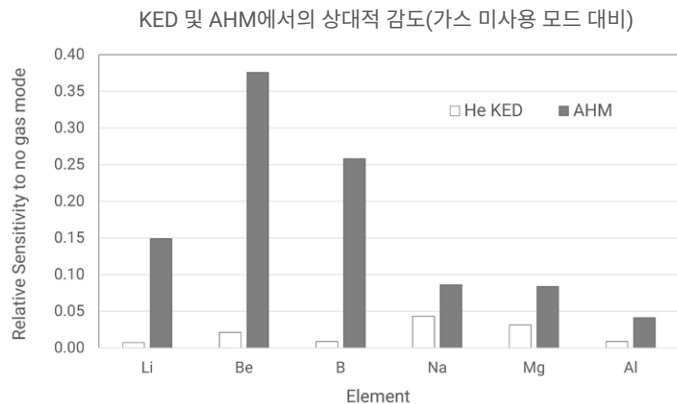


그림 4. AHM 및 He 모드에서 Agilent 9500 ICP-QQQ의 상대적 감도를 가스 미사용 모드와 비교한 결과.

## 탄소가 풍부한 매트릭스

그림 5에서 볼 수 있듯이 Mg, Al 및 Cr은 가스 미사용, He 및 AHM 모드를 사용하여 15% 이소프로필 알코올(IPA)에서 측정되었습니다. 간섭에는  $^{24}\text{Mg}^+$ 에서  $\text{C}_2^+$ ,  $^{27}\text{Al}^+$ 에서  $\text{C}_2\text{H}_3^+$ , 그리고  $^{57}\text{Cr}^+$ 에서  $\text{ArC}^+$ 가 포함되었습니다. AHM은 He 모드보다 약 2배 높은 감도(cps/ppb)를 보였고, BEC(ppb)는 더 낮았습니다.

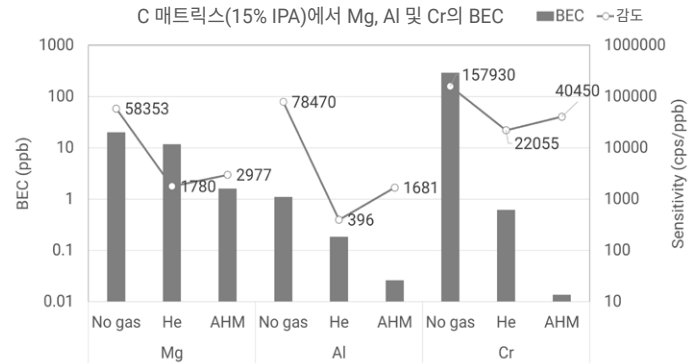


그림 5. 15% IPA 용액에서 Mg, Al, Cr의 감도 및 BEC 비교.

## 염화물 및 칼슘 매트릭스

까다로운 적용 상황을 시뮬레이션하기 위해 V, As 및 Se는 블랭크, 2% HCl, 그리고 100ppm Ca가 첨가된 2% HCl에서 측정되었습니다. 간섭에는  $^{51}\text{V}^+$ 에서  $\text{ClO}^+$ ,  $^{75}\text{As}^+$ 에서  $\text{ArCl}^+$ , 그리고  $^{78}\text{Se}^+$ 에서  $\text{ArClH}^+/\text{CaClH}^+$ 가 포함되었습니다. 그림 6에서 볼 수 있듯이, AHM은 He 모드보다 더 높은 감도(cps/ppb)와 더 낮은 BEC(ppb)를 제공했습니다. 특히, 블랭크의 Se BEC는 AHM에서 한 자릿수 ppt 수준이었습니다.

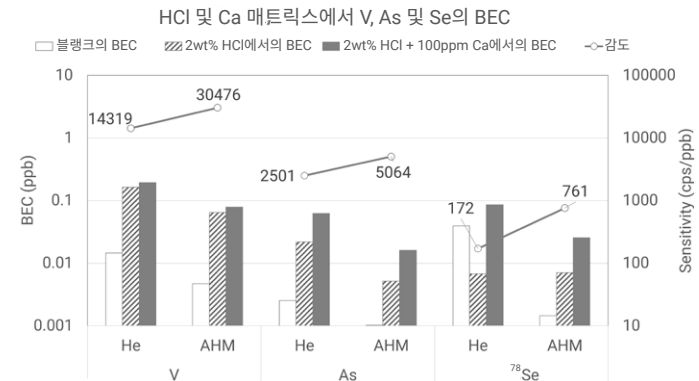


그림 6. He 모드와 AHM을 이용한 Cl 및 Ca 간섭 제거 비교.

## 바륨 매트릭스의 유로듐(Eu)

20ppm 바륨(Ba) 매트릭스에서 Eu 동위원소( $^{151}\text{Eu}$  및  $^{153}\text{Eu}$ )는 모두  $\text{BaO}^+$  간섭의 영향을 받습니다. 그림 7에서 볼 수 있듯이, AHM은 He 모드보다 두 배 높은 감도와 더 낮은 BEC 값을 제공하여 Eu 측정에 효과적임을 입증했으며, 이는 9500 ICP-QQQ 분석법의 유효성을 확인시켜 줍니다.

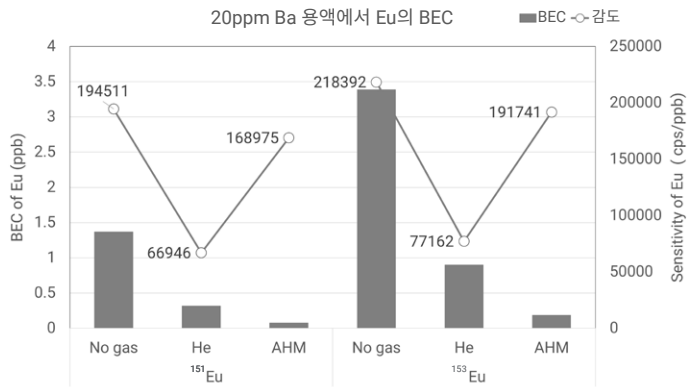


그림 7. 20ppm Ba 용액에서 Eu의 감도 및 BEC 비교. 가스 미사용, He, AHM 모드를 사용하여 <sup>151</sup>Eu와 <sup>153</sup>Eu를 측정했습니다.

## 결론: 간섭 제거 및 감도에 대한 새로운 표준

Agilent 9500 ICP-QQQ는 듀얼-셀 시스템(DCS)과 고급 헬륨 모드(AHM)를 포함한 혁신적인 기술을 탑재하고 있으며, 이 두 가지 기술은 ICP-MS 성능에 있어 상당한 발전을 의미합니다.

이온 거동 및 충돌 역학에 대한 철저한 이해를 바탕으로 개발된 DCS는 광범위한 질량 범위에서 탁월한 간섭 제거 성능과 높은 감도를 제공합니다. 이중 이온 가이드 설계와 이중 메커니즘 접근 방식(KED + CID)은 기존의 고에너지 HEHe 및 He KED 모드의 한계를 뛰어넘어 더 넓은 적용 범위와 더 나은 존재비 감도를 제공합니다.

AHM은 낮은 원자량 및 높은 원자량 원소 모두에 대해 실시간으로 셀 조건을 지능적으로 최적화함으로써 He 기반 간섭 제거 방식을 혁신합니다. 낮은 원자량 원소에 대해 최대 20배의 감도 향상을 제공하고 멀티툰 전환이 필요 없는 AHM은 워크플로를 간소화하고 분석 시간을 단축하며 데이터 품질을 향상시킵니다.

DCS와 AHM의 결합은 ICP-MS에서 성능, 효율성 및 사용 편의성에 대한 새로운 기준을 제시합니다. 이러한 혁신 덕분에 사용자는 더욱 빠르고 정확하며 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있습니다. 따라서 9500 ICP-QQQ는 차세대 분석 기능을 원하는 실험실에 이상적인 솔루션입니다.

## 참고 문헌

1. Siva, S. 개별 샘플링 및 자동 희석 기능을 갖춘 ICP-QQQ를 이용한 식품의 자동 분석, 애질런트 발행물, [5994-9095KO](#)

[www.agilent.com/chem/9500icpqqq](http://www.agilent.com/chem/9500icpqqq)

DE-012982

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2026  
2026년 6월 1일, 한국에서 발행  
5994-8985KO

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](mailto:korea-inquiry_lsca@agilent.com)

