

30년 역사의 4중극자 질량 분석기

역사, 개발, 미래의 트렌드

설계, 장비, 응용 분야: 지난 30년에 걸쳐 4중극자 질량 분석기(QMS)에 많은 변화가 일어났습니다. 분석기가 점점 더 소형화되고 내구성이 높아졌으며 용도가 광범위해지고 디지털화되었습니다. 초기에 주로 연구 분야에서 사용되던 QMS가 현재에는 반도체 산업, 동결 건조 또는 리크 감지에 사용됩니다.

역사적 검토

처음 출시된 4중극자 질량 분석기에는 케이블을 통해 분석기와, 고주파 발생기와 같은 기타 모듈에 연결된 제어 유닛이 19인치 랙에 통합되어 있었습니다. 그림 1은 1980년대 말 일반적으로 사용되던 QMS 420 4중극자 제어 유닛의 그림입니다. 이 장치는 4회선 LCD 디스플레이와 키보드를 사용하여 제어 유닛을 통해, 또는 PC 소프트웨어를 통해 작동되었습니다. 직렬 인터페이스(RS-232-C)가 컴퓨터와의 통신에 사용되었습니다. 즉 상황에 따라 디스플레이 아래에 있는 소프트 키를 사용했습니다. 또한 모듈을 통해 아날로그 또는 디지털 입출력을 사용할 수 있었습니다. 측정값은 레코더 또는 오실로스코프 채널을 통해 표시할 수 있습니다[2].

그 당시 사용 가능했던 소프트웨어는 이를 통해 측정하는 한편 QMS를 미세하게 조정할 수 있는 여러 하위 프로그램으로 구성되었습니다. 예를 들어, 측정을 수행하려면 특정 하위 프로그램을 열어야 했습니다. 저장된 측정 결과를 나중에 액세스하려면 소프트웨어의 또 다른 부분으로 전환해야 했습니다[3].

초기의 이러한 질량 분석기는 1990년대 초에 접어들면서 질량 범위가 최대 300 u인 소형 QMS로 대체되었습니다. 이전 모델과는 달리 소형 버전의 전자 장치들은 분석기의 진공 피드 스루에 바로 위치해 있습니다. 이로써 전자 장치를 랙에 추가적으로 설치할 필요가 없습니다. 소형 QMS 전자 장치의 경우 일반적으로 분석기보다 많은 공간이 필요하지 않습니다. 게다가 소형 버전은 랙 전자 장치가 장착된 QMS와 비교할 때 상대적으로 비용 효과적이었지만 특히 감도, 감지 한계 및 측정 속도와 관련하여 성능이 제한적이었습니다. 이러한 장치는 특히 잔류 기체 분석, 리크 감지 또는 일정 기간 동안의 특정 질량 모니터링과 같은 간단한 작업에 적합합니다. 그러나 고진공 응용 분야용 분석기를 베이크 아웃하려면 전자 장치를 제거해야 합니다. 그림 2는 초기의 소형 QMS 중 하나의 그림입니다.

2000년대 중반까지 출시된 대부분의 QMS에는 여전히 직렬 인터페이스가 장착되었습니다. 예를 들어, ArcNet과 광섬유 케이블을 통해 네트워크 내의 여러 장치가 하나의 소프트웨어를 통해 소위 "다중화" 작업이 실현되었습니다[4]. 나중에 RS-485, USB 또는 이더넷 인터페이스를 탑재한 장치가 이 용도로 개발되었습니다. 이더넷의 경우 여러 대의 QMS를 하나의 사무실이나 생산 네트워크에 통합할 수 있습니다. 물론 WLAN을 통한 무선 통신도 가능합니다.

또한 장치의 운영 소프트웨어도 지속적으로 개선되었습니다. 제어 유닛의 작동은 거의 완전하게 소프트웨어 작동으로 대체되었습니다. Windows 기반 프로그램의 모든 기능, 즉 설정, 보정, 측정, 평가 기능 등이 하나의 소프트웨어에 결합되어 있습니다. 데이터의 표시 및 조작이 상당히 간단해졌습니다. 시퀀스의 프로그래밍 덕분에 측정 작업을 자동으로 수행할 수 있게 되었습니다. 질량 척도를 설정하거나 감도를 결정하는 것과 같은 서비스 작업의 경우 자동 루틴으로 작업이 진행됩니다. 또한 많은 제조업체에서 통합된 매트릭스 계산을 통해 정량 분석을 실행할 수 있습니다.

최근 30년에 걸쳐 QMS는 점점 더 소형화되고 내구성이 높아졌으며 용도가 광범위해지고 디지털화되었습니다. 분석기의 응용 분야가 계속 확장되었습니다.



그림 1: 1980년대에 사용된 QMS 420 제어 유닛



그림 2: 초기의 소형 QMS 중 하나인 파이버 베콤 Prisma의 예



그림 3: 파이퍼 베콤 PrismaPro 소형 QMS의 현재 버전에 대한 인터페이스

현재 장치

요즘에는 소형 QMS가 시장에서 주류를 이룹니다. 매우 까다로운 응용 분야에서만 랙 전자 장치가 장착된 QMS가 여전히 사용되고 있을 뿐입니다. 고품질 감지기 덕분에 이 분석기들은 장기적으로 안정성이 높아졌습니다. 게다가 작동 중에도 분석기를 보다 쉽게 베이크 아웃할 수 있으며, 입자 가속기 또는 핵융합 실험에서 요구되는 바와 같이 이온화 방사선이 발생하거나 자기장이 강한 환경에서도 사용할 수 있습니다.

여러 해에 걸쳐 소형 장치의 기술 데이터가 상당 수준 개선되었습니다. 오늘날 이러한 소형 시스템(로드 직경 6 mm, 로드 길이 125 mm)의 경우에도 10^{-15} hPa의 범위까지 감지할 수 있습니다. 측정 속도도 1ms/u까지 높일 수 있으나, 대신 감지 한계가 제약받습니다. 최대 30 W에서 전력 소비가 매우 낮습니다.

질량 분석기의 이온 소스는 열음극 게이지의 디자인과 매우 유사합니다. 따라서 다양한 QMS가 통합된 총압력 측정의 이점을 제공합니다. 이로써 출력 구멍을 통과하는 대신 이온 소스로부터 로드 시스템으로 이동 시 출력 구멍에 부딪치는 이온의 방전 전류가 사용됩니다. 이로 인해 외부 게이지 또는 추가적인 이중화를 사용하지 않고도 의도하지 않은 압력 상승으로부터 시스템을 보호할 수 있습니다. 현대적인 소형 장치에서는 여러 가지 인터페이스를 사용합니다. 그림 3은 한 가지 예입니다.

그림 3에 표시된 장치는 D-Sub 커넥터 (EXT I/O 및 AUX I/O) 덕분에 다양한 아날로그 및 디지털 입출력을 제공합니다. 예를 들어, 디지털 입력을 통해 이전에 생성된 측정 레시피를 선택하여 시작할 수 있습니다. 디지털 출력은 방출 상태 또는 오류 메시지와 같은 QMS 상태에 대한 정보를 호스트 컴퓨터에 제공하는 한편 밸브를 전환할 수도 있습니다. 아날로그 입력을 통해 온도 또는 기체 흐름과 같은 외부 신호를 읽을 수 있습니다. 아날로그 출력은 측정값, 예를 들어 이온 전류 또는 농도를 호스트 컴퓨터로 전송합니다. 이밖에 필라멘트 보호 또는 보정 작업을 위해 외부 총압력 게이지를 직접 연결할 수 있습니다. PC와의 통신은 이더넷 인터페이스를 통해 이루어집니다. 미니 USB 플러그를 사용하면 서비스 목적으로 장치와 통신할 수 있습니다[5]. QMS는 소프트웨어와의 통신 외에 산업 환경에서 PLC와 직접 통신할 수도 있습니다. 일부 제공업체에서는 LabVIEW™* 드라이버도 제공합니다. 이 드라이버들은 주로 대학 환경에서 실험을 위한 설정에 사용됩니다.

현재 QMS 모델의 경우 소형 시스템에서도 10^{-15} hPa의 범위까지 감지할 수 있습니다.

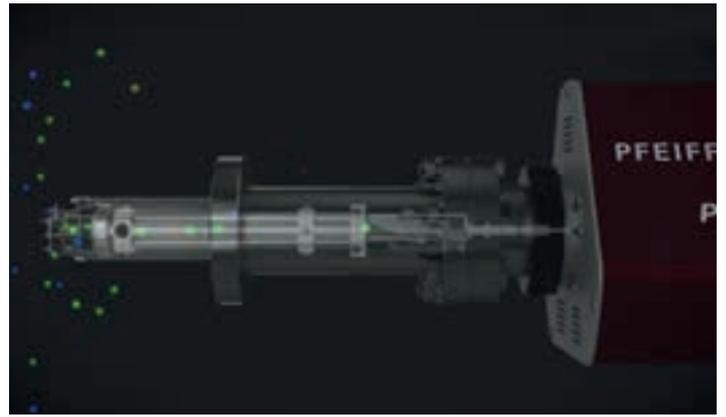


그림 4: 파이퍼 베콤 PrismaPro 소형 QMS의 내부

전망 및 트렌드

잠재적인 응용 분야가 점점 확장되면서 변화하는 시장 요구는 물론 디지털화가 계속해서 질량 분석기에 새로운 과제를 제시합니다. 따라서 질량 분석기는 계속해서 최적화되면서 변화하는 조건에 맞춰 적응시켜야 합니다. 현재 추세로 볼 때, QMS 기술의 지속적인 발전을 위한 두 가지 주요 트렌드가 향후 몇 년 내에 등장할 것으로 보입니다.

첫 번째 트렌드로서 다음과 같이 운영 소프트웨어의 지속적인 개발이 예상됩니다: 사용자는 QMS의 세부사항이나 이론을 다루지 않고도 사용하기 쉬운 인터페이스를 원합니다. 업계 또는 대학 환경에서 사용자가 장치 및 이의 작동에 익숙해지는 데 걸리는 시간이 점점 더 짧아지고 있습니다. 이러한 이유 때문에 이온 소스 매개 변수와 같이 더 세부적인 설정은 경험이 많은 사용자만 처리할 수 있게 되었습니다. 일부 제조업체에서는 PC 프로그램을 대신하여 브라우저 기반의 사용자 인터페이스(소위 웹 사용자 인터페이스, 약어로 웹 UI, 그림 4 참조)를 제공합니다. QMS에서 웹 서버를 실행하는 경우 브라우저에 IP 주소를 입력하면 연결이 이루어집니다. 대부분의 웹 UI는 아직 다음과 같이 제한적인 기능만 제공합니다: 종종 특정한 측정 모드만 사용할 수 있거나 측정 결과를 내보낼 수 없습니다[6]. 웹 UI의 기능을 최적화하는 일은 향후 개발을 위해 가장 중요한 출발점 중 하나입니다. 웹 UI는 PC의 운영 체제와 독립적으로 작동합니다. 게다가 PC에 별도의 소프트웨어를 설치하지 않아도 됩니다. 또한 모바일 장치를 사용하여 QMS를 제어할 수 있습니다.



그림 5: 파이퍼 베콤의 PrismaPro 소형 QMS



그림 6: 스마트폰에서 사용되는 QMS의 웹 UI

두 번째 트렌드로서 QMS, 그 중에서도 특히 분석기가 지속적으로 소형화될 것으로 보입니다. 상대적으로 소형 로드 시스템(예: 12 mm의 길이)은 이미 시장에서 자리를 잡았는데, 이는 고압 응용 분야에서도 대량으로 사용됩니다. 소형화된 치수 덕분에 추가적인 압력 감소 없이, 그리고 약 E-2 hPa의 압력 범위까지 공정 모니터링을 위한 자체 펌핑 시스템 없이도 이러한 QMS를 그대로 사용할 수 있습니다. 그러나 이와 함께 감도가 줄어드는데, 치수가 10분의 1로 작아지면 감도가 100분의 1로 줄어듭니다[7].

이미 MEMS(microelectromechanical systems) 기술의 도움으로 생산된 매우 작은 QMS의 프로토타입이 몇 가지 있습니다[8]. 그러나 이들은 아직 출시되지 않았습니다. 이 분석기들의 커다란 단점은 입자에 민감하다는 점입니다. 이밖에 이들은 기존에 제조된 QMS와 경쟁하기 위해 대량으로 생산해야 합니다. MEMS 기반의 QMS가 이러한 조건을 딛고 시장을 석권할지는 의문입니다.

다양한 응용 분야를 커버하는 광범위한 포트폴리오

파이퍼 베콤의 제품 포트폴리오에는 질량 분석기에서 복잡한 분석 시스템에 이르기까지 다양한 진공 공정에서 기체를 확인하는 데 사용되는 광범위한 분석기들이 포함되어 있습니다. 대부분의 솔루션에서 기본 제품은 당사의 질량 분석기 Prisma Pro입니다. Prisma는 감도가 높고 소형의 모듈식 디자인을 채택했으며 소프트웨어가 사용자 친화적인 범용 질량 분석기입니다. 이 분석기는 리크 감지, 반도체 산업, 유리 코팅, 금속 공학은 물론 수많은 연구개발 분야에서 사용하기에 적합합니다. 게다가 파이퍼 베콤은 고급 질량 분석기뿐만 아니라 고진공 및 초고진공용 분석 시스템도 제공합니다.

참고 문헌

- [1] W. Paul und H. Steinwedel, Zeitschrift für Naturforschung, 8a, S. 448 ff., 1953
- [2] BALZERS Aktiengesellschaft, Betriebsanweisung Quadrupol Massenspektrometer Steuergerät QMS 420, BK 800 120 BD, 2. Ausgabe: 7.1986
- [3] Pfeiffer Vacuum GmbH, Betriebsanleitung Quadstar 32-bit, vpb68d1, März 2002
- [4] Pfeiffer Vacuum GmbH, Massenspektrometer Katalog, PK 0085 PD, Juni 2005
- [5] Pfeiffer Vacuum GmbH, Broschüre PrismaPro, PK 0115 PDE, November 2017
- [6] Pfeiffer Vacuum GmbH, Betriebsanleitung Web UI, BG 6002 BDE, November 2017
- [7] K. Jousten (Hrsg.), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 11. Auflage, S. 679 ff., 2012
- [8] S. Wright et al., Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 19, No. 2, S. 325 ff., April 2010

*LabVIEW는 National Instruments Corporation의 상표입니다

所有数据若有变更, 恕不另行通知。PI0469PKO (October 2019/0)