

## ThermoScientific™ Prima PRO, 공정질량분석기의 신속한 실시간 분석을 통한 석유화학(EMACT) 및 유기화학 (MON) 플레어 가스 규정 준수

### 플레어스택(Flare Stack) 중 폐가스 발열량 분석

저자: Daniel Merriman, Thermo Fisher Scientific, United Kingdom

#### 키워드

- 저위발열량 (Lower Heating Value, LHV)
- 순발열량 (Net Heating Value, NHV)
- 고위발열량 (Higher Heating Value, HHV / Gross Heating Value, GHV)
- 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)
- EPA Refinery Sector Rule (RSR) 40 CFR 63
- National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAP)
- Generic Maximum Achievable Control Technology Standards for Ethylene Production (EMACT)
- Miscellaneous Organic Chemical Manufacturing (MON)
- 총황 (Total sulfur)

#### 서론

점점 더 많은 국가 및 지방 정부 기관들이 대기 중으로 방출되는 오염의 양을 감소시키기 위해 공장 스택과 플레어에서 발생하는 다양한 배출물을 모니터링하도록 요구하고 있습니다.

처음에는 정유공장 플레어에 집중되었으나 최근에는 석유화학공장 플레어가 유해한 대기오염물질의 잠재적 공급원으로 주목을 받고 있습니다.

#### 석유화학

2020년 3월, EPA는 대기오염물질의 국제 배출 기준(NESHAP)을 포함한 몇 가지 위험 및 기술검토(RTR) 규칙, 에틸렌 생산을 위한 달성 가능한 최대 제어 기술 표준(EMACT)에 서명하였습니다.

EPA는 기존 요구사항이 에틸렌 생산과정에서 발생하는 플레어 가스(이하 에틸렌 플레어 가스)를 98%이상으로 연소시키기에 적합하지 않음을 결론지었습니다. 그 결과 에틸렌 플레어 가스도 정유사와 동일한 조건으로



지속으로 모니터링되어야 합니다.

기존 에틸렌 제조사는 최종규정이 고시 후 3년안에, 2019년 10월 9일 이후 새로운 제조사는 최초 시운전 또는 최종 규정의 고시일 중 최근 날짜에 맞춰 새로운 규정을 준수하여야 합니다.

#### 유기 화학 제조사

2020년 5월에 EPA는 MON이라고 불리는 '2003년 기타 유기 화학 제조의 국제 오염물질 배출 표준(NESHAP)'의 개정을 완료하였습니다.

이 표준에는 에틸렌 플레어 가스와 올레핀 및 폴리올레핀 생산과정에서 발생하는 플레어 가스를 감시하는 새로운 요구사항이 포함되었습니다.

**ThermoFisher**  
SCIENTIFIC

또한 하위 외부 시설은 기존 플레어 표준을 대신하여 새로운 표준을 적용할 수 있도록 허용하고 있습니다.

EPA는 이번 개정안으로 에틸렌산화물 배출량을 연간 최대 0.76톤을 감소시키면서 더불어 매년 107톤씩 유해대기오염물질(HAP) 배출량을 감소시킬 것으로 기대하고 있습니다.

또한 EPA는 플레어로부터 배출되는 HAP의 양이 연간 최대 260톤 감소될 것으로 추정하고 있습니다.

## 정유사

상기 언급된 개정안은 2018년 11월 미국 환경보호청(EPA)이 플레어에 영향을 미치는 정유소 섹터 규칙(RSR) 40 CFR Part 63에 대한 수정안을 기초로 하고 있다. 정유사는 new §63.670 'Requirements for Flare Control Devices'를 2019년 1월 30일까지 완료하여야 했습니다.

이 새로운 요건은 다섯 가지 플레어 작동 범위—연소 구역 순발열량 (NHVCZ), 희석 순발열량 (NHVdil), 플레어 팁 유출 속도, 파일럿 플레임의 존재, 가시성 배출가스—를 정의하며 15분 블록 시간을 기준으로 연소 구역 순발열량 (NHVCZ) 최소 범위를 270 BTU/scf로 지정하고 있다.

NHVCZ는 배출가스 순발열량(NHVG)을 측정하여 계산할 수 있으며 배출가스의 성분 분석과 이를 통한 발열량 분석을 규정 준수의 필수 요소로 삼고 있습니다.

연소 구역 순발열량 (NHVCZ)이 270 BTU/scf 보다 낮으면 프로판이나 천연가스 같은 추가 연료가스를 추가해야 한다. 그러면 추가로 생성되는 배출가스 생성을 막기 위해 스팀을 플레어에 추가해야 할 수도 있습니다.

## 온라인 질량 분석법을 이용한 플레어 폐 가스 측정

배출가스의 성분 분석은 플랜트 공정에 발생된 문제의 원인을 찾는 데 도움을 줄 수 있습니다. 배출가스는 보통 무기류와 유기류가 복합적으로 혼합돼 있고 공정 조건이 바뀌면, 성분과 농도가 시간에 따라 크게 달라 집니다.

대다수 규정들이 총발열량, 총황, 총탄화수소 값만을 요구하고 있지만, 배출가스 성분의 농도를 측정한다면 문제가 되는 배출가스의 출처를 파악하여 플랜트 특정 부분의 문제를 찾아내는데 도움이 될 것입니다. 그리고 플레어의 발열량은 급방 변할 수 있기 때문에 분석 속도가 무엇보다 중요합니다. 분 단위의 측정 시간은 플레어스택 배출가스 제한 규정에 적합하지 못할 가능성이 높습니다.

온라인 질량분석법은 정밀하고 빠른 다중 성분 분석이어서 플레어 폐 가스를 측정하는데 적합합니다.

표 1은 수소, 질소, 그리고 C<sub>6</sub>까지의 탄화수소를 포함한 플레어 폐 가스 성분의 예를 보여주고 있습니다. 이 19개 구성성분에 대한 분석은 단 30초 내로 이루어지기 때문에 플레어 스택 간 거리에 따라 한 대의 질량분석기로 두 개 이상의 플레어 배출 가스를 분석 할 수 있습니다.

또한 한 대의 질량분석기로 공정제어에 필요한 샘플 분석과 플레어 폐 가스를 같이 분석할 수 있습니다. 샘플의 구성과 농도가 크게 다르더라도 분석이 가능합니다.

| Component                         | Molecular Weight | Flare Gas Typical Composition %mol |
|-----------------------------------|------------------|------------------------------------|
| Hydrogen                          | 2                | 0-40                               |
| Methane                           | 16               | 15-95                              |
| Water                             | 18               | 0-8                                |
| Carbon Monoxide                   | 28               | 0-1                                |
| Nitrogen                          | 28               | 0-40                               |
| Ethylene                          | 28               | 0-12                               |
| Ethane                            | 30               | 2-15                               |
| Oxygen                            | 32               | 0-5                                |
| Hydrogen Sulfide                  | 34               | 0-10                               |
| Propylene                         | 42               | 0-20                               |
| Carbon Dioxide                    | 44               | 0-10                               |
| Propane                           | 44               | 0-5                                |
| 1-3, Butadiene                    | 54               | 0-0.2                              |
| Butenes                           | 56               | 0-15                               |
| i-Butane                          | 58               | 0-10                               |
| n-Butane                          | 58               | 0-5                                |
| C <sub>5</sub> and C <sub>6</sub> | 70+              | 0-15                               |
| Carbonyl Sulfide                  | 60               | 0-10ppm                            |
| Carbon Disulfide                  | 76               | 0-1ppm                             |

표 1 일반적인 폐 가스 성분 조성비

## Prima PRO 공정 질량 분석기의 장점

Prima PRO의 핵심은 마그네틱 섹터 분석기라는 점입니다.(그림 1). 이것은 다른 질량분석기에 비해 타의 추종을 불허하는 정밀도와 정확성을 제공합니다.

Thermo Fisher Scientific은 4중극자와 마그네틱 섹터 질량분석기를 제조합니다.

30년 이상의 산업 경험상 마그네틱 섹터 기반 분석기는 산업 온라인 가스 분석에서 최고의 성능을 자랑합니다. 마그네틱 섹터 분석기의 핵심 장점으로 향상된 정밀도와 정확성, 긴 교정 주기, 오염에 대한 저항성을 들 수 있습니다.

일반적으로 분석 gas와 혼합 복잡성에 따라 4중극자 분석기보다 분석 정밀도가 2배에서 10배 정도 더 뛰어납니다.

중립가스 원자와 분자가 Prima PRO 이온 소스에서 제일 먼저 양전하 이온으로 변환됩니다. 이것은 고감도, 최소 배경 간섭, 최대 오염 저항에 좋은 밀폐형 구조입니다. 높은 에너지 (1000 eV)를 사용하므로 내부 진공 구성품을 오염시킬 수 있는 gas와 증기에도 매우 안정된 성능을 발휘합니다.

Prima PRO는 높은 퍼센트 수준의 유기화합물 농도를 드리프트나 오염 없이 측정하는데 입증된 실적을 가지고 있습니다.

그런 다음 이온은 플라이트 튜브를 통해 가속화되어 이동하고, 다양한 세기의 자기장에서 전하에 대한 질량 비율로 분리됩니다.

마그네틱 섹터 질량분석기는 검출기 위치에서 집중된 이온 빔을 생성하며 피크의 모양이 평평하여 일정한 질량 범위에서 균일한 측정이 가능합니다. 또한 피크의 높이와 검출기에 도달하는 이온의 수가 정비례하기 때문에 성분의 농도 측정이 가능합니다. 그리고 평평한 피크의 어느 곳을 측정하더라도 높은 정밀성을 가진 분석의 결과가 관찰될 것입니다.

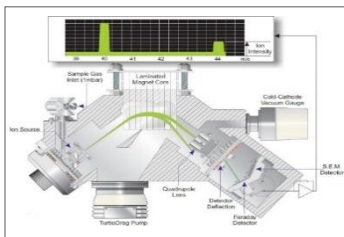


그림 1 Prima PRO의 마그네틱 섹터 분석기

Prima PRO는 넓고 다양한 범위의 샘플을 측정할 수 있으므로 다양한 성분이 혼합된 플레어 가스를 측정하는데 적합합니다.

Prima PRO는 외부 시험기관인 EfecTech UK에서 테스트를 진행하였습니다. 이 회사는 가스 품질, 유량, 총에너지 등 계량에 관해 공인된 캘리브레이션 서비스 및 시험 서비스를 에너지 전력 산업에 제공하는 독립적인 전문 기업으로, 국제 공인 ISO/IEC 17025:2005 표준 인증을 받았습니다; 이것은 샘플링 등을 포함해 시험이나 교정 수행 능력에 필요한 일반 조건들을 규정하고 있습니다.

## 빠른 멀티스트림 샘플링

한 대의 질량분석기로 여러 스트림의 플레어 샘플을 측정하는 경우, 또는 한 대의 질량분석기로 공정제어에 필요한 샘플 분석과 플레어 배출 가스를 같이 분석할 경우, 멀티 스트림을 빠르고 확실하게 전환할 수 있는 시스템이 있어야 합니다. 기존 솔레노이드 밸브나 매니폴드를 이용한 멀티 스트림 전환 시스템은 데드볼륨(Dead volume)이 많아 샘플의 신뢰성이 낮고 로터리 밸브는 내구성이 낮습니다.

이 문제점을 해결하기 위해 Thermo Fisher Scientific는 멀티 스트림을 전환할 수 있는 전용 Rapid Multistream Sampler (RMS)를 개발했습니다. 빠른 샘플링 속도와 신뢰성을 제공하며 32개 스트림 측정이 가능한 RMS 및 옵션으로 64개 스트림 측정이 가능한 RMS를 선택할 수 있습니다. 스트림 전환 시간은 공정 제어 목적에 따라 달라지며 사용자가 직접 시간을 구성할 수 있습니다. 또한 RMS는 원하는 스트림에 대해 디지털 방식을 이용한 샘플 유량을 기록할 수도 있습니다. 이를 이용하여 샘플 유량이 낮아 졌을 경우 알람을 통해 알 수 있으며 샘플링 시스템의 필터의 막힘을 확인할 수 있습니다.

RMS는 샘플 종류에 따라 120 °C까지 가열될 수 있으며, 스트림 전환은 신뢰할 수 있는 소프트웨어 제어를 통해 이루어지며 온도와 위치 제어 신호는 Prima PRO의 내부 네트워크를 통해 전달됩니다.

RMS는 유지 관리 기간까지 1000만 회 작동이 입증되었으며, 3년 보증을 제공하고 있습니다. 다른 어떤 멀티스트림 샘플링도 이와 같은 수준의 확실한 신뢰성을 제공하지 못합니다.

Prima PRO를 이용한 연료의 물성 지표 분석

다음의 물성 지표 분석을 기본으로 제공합니다.

저위발열량은 수소에 대해 이론상의 값인 274 BTU/scf 대신에 EPA 40 CFR Parts 60과 63의 권고대로 1212 BTU/scf의 값을 이용해 계산합니다. 이것이 플레어 성능을 더 잘 보여줍니다. (예: 최소한 작동 범위 270 BTU/scf 을 충족). 넓고 다양한 범위에서 수소의 정밀 분석이 무엇보다 중요한 이유는 높은 연소 가능성 때문입니다.;

|                                         |                                                                        |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Lower Heating Value (LHV)               | Also known as Net Heating Value or Lower Calorific Value               |
| Higher Heating Value (HHV)              | Also known as Gross Heating Value or Higher Calorific Value            |
| Compressibility                         |                                                                        |
| Actual Lower Heating Value              | $\frac{\text{Ideal Lower Heating Value}}{\text{Compressibility}}$      |
| Density                                 |                                                                        |
| Specific Gravity                        |                                                                        |
| Lower Wobbe Index                       | $\frac{\text{Lower Heating Value}}{\sqrt{(\text{Specific Gravity})}}$  |
| Higher Wobbe Index                      | $\frac{\text{Higher Heating Value}}{\sqrt{(\text{Specific Gravity})}}$ |
| Air Requirement                         |                                                                        |
| Combustion Air Requirement Index (CARI) | $\frac{\text{Air Requirement}}{\sqrt{(\text{Specific Gravity})}}$      |

Prima PRO의 마그네틱 섹터 분석기는 수소 분석에 이상적입니다. 대다수 4중극자 분석기에서 광 분자 분석을 어렵게 만드는 ‘제로 블라스트 (zero blast)’를 겪지 않기 때문입니다. HHV는 연소 산물에서 물의 잠복 증발열을 고려한다는 점에서 LHV와 다릅니다.

Prima PRO를 이용한 측정의 정밀도는 상대적으로 0.1% 더 뛰어납니다.

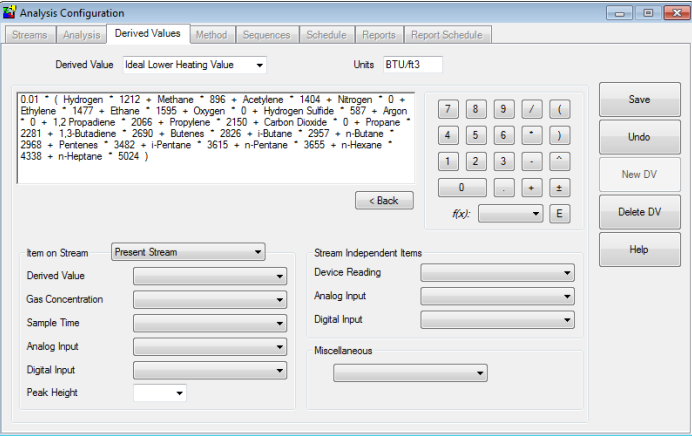


그림 2 이론상 저위발열량에 대한 GasWorks® 도출 값

그림 2은 개별 구성성분의 이론상 LHV를 기반으로, 플레어 가스 스트림의 이론상 LHV를 GasWorks® 도출 값으로 계산하는 방법을 보여주고 있습니다.

분석 시간은 안정 시간까지 포함해 보통 30초 이하입니다. 측정되고 나면 데이터가 여러 가지 방식 중 하나 이상의 방식을 통해 플랜트의 호스트 컴퓨터로 전달됩니다. 예: 4-20 mA 또는 0-10V의 아날로그 출력, Modbus, Profibus, OPC 등

분석 설정

Thermo Scientific GasWorks 소프트웨어는 횡수 무제한의 분석 방식을 지원하여 스트림 당 기준으로 분석을 최적화할 수 있게 하였습니다. 프로세스 제어 요건에 따라, 정밀도 설정에 맞춰 가장 효율적인 피크 측정과 가장 적절한 속도를 각각의 가스 스트림마다 선택할 수 있습니다. 서로 다른 분석 방식들의 예가 그림 4와 5에 나와 있습니다.

그림 4는 플레어 가스 스트림 분석 방식의 예이고, 그림 5는 프로세스 스트림의 예입니다. 둘 다, 추가 프로세스 방식과 함께 싱글 Prima PRO 프로세스 MS에 사용되어 프로세스 스트림과 플레어 가스의 조합을 측정합니다.

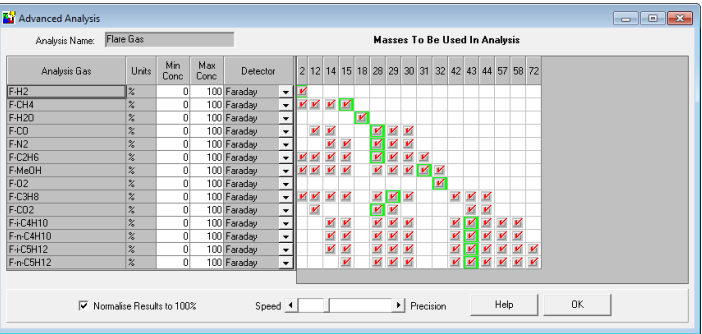


그림 3 플레어 스트림 방식의 예

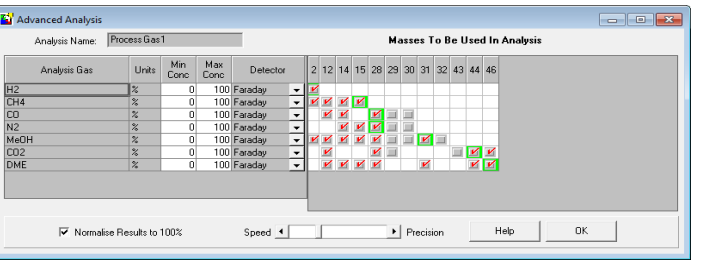


그림 4 프로세스 스트림 방식의 예

이 두 가지 방식은 MS 분열 패턴에서 스펙트럼 중첩 정도를 명확히 보여주고 있습니다. 관심을 가진 실제 구성성분들에서 이러한 분열 패턴을 측정하는 것이 특히 중요합니다—대용 화합물을 사용해 캘리브레이션

프로세스를 간소화할 수 있지만, 필연적으로  
정밀도는 떨어지게 될 것이기 때문입니다.

플레어 폐가스 테스트 데이터

Prima PRO는 플레어 가스 적용의 성능을 검증하기  
위해 무기화합물과 C1 부터 C6까지 탄화수소를  
포함한 21개 성분을 담고 있는 가스 실린더에 대한  
공장 시험을 받았습니다.

이 시험은 18시간 동안 실시되었고 21 개 성분 모두에  
대해 측정된 표준편차는 적시된 8 시간  
동안의 표준편차보다 낮았습니다.  
성분 데이터와 더불어, Prima PRO는 해당 스트림에 대해  
압축률과 이론상 저위 발열량 및 실제 저위 발열량을  
계산했습니다. 그림 6은 18시간 시험에서의 이 세 가지  
파라미터들을 보여주고 있습니다; 성분 농도처럼, 측정된  
LHV 18시간 표준편차는 적시된 8시간 표준편차를 상위  
하고 있습니다.

| Component        | Concentration %mol | Prima PRO Specification for Standard Deviation %mol (8 hours) | FAT test Ave %mol (8 hours) | FAT Test Actual Standard Deviation %mol (8 hours) |
|------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| Hydrogen         | 10                 | ≤0.02                                                         | 9.8835                      | 0.0077                                            |
| Methane          | 64.53              | ≤0.05                                                         | 64.6662                     | 0.0125                                            |
| Carbon Monoxide  | 5                  | ≤0.05                                                         | 5.0829                      | 0.0264                                            |
| Nitrogen         | 10                 | ≤0.05                                                         | 9.8557                      | 0.0469                                            |
| Ethylene         | 2                  | ≤0.02                                                         | 1.9867                      | 0.0010                                            |
| Ethane           | 2                  | ≤0.02                                                         | 2.0367                      | 0.0012                                            |
| Oxygen           | 1                  | ≤0.001                                                        | 0.9941                      | 0.0006                                            |
| Hydrogen Sulfide | 0.05               | ≤0.0005                                                       | 0.0484                      | 0.0003                                            |
| Propylene        | 1                  | ≤0.001                                                        | 0.9961                      | 0.0011                                            |
| Carbon Dioxide   | 1                  | ≤0.001                                                        | 0.9597                      | 0.0007                                            |
| Propane          | 1                  | ≤0.001                                                        | 1.0910                      | 0.0007                                            |
| 1,3 Butadiene    | 0.1                | ≤0.005                                                        | 0.0992                      | 0.0003                                            |
| Butenes          | 0.5                | ≤0.005                                                        | 0.5023                      | 0.0005                                            |
| i-Butane         | 0.5                | ≤0.005                                                        | 0.4892                      | 0.0011                                            |
| n-Butane         | 0.5                | ≤0.005                                                        | 0.5059                      | 0.0026                                            |
| Carbonyl Sulfide | 100 ppm            | ≤1 ppm                                                        | 100.5319                    | 0.4470                                            |
| Pentenes         | 0.1                | ≤0.005                                                        | 0.0992                      | 0.0004                                            |
| i-Pentane        | 0.3                | ≤0.005                                                        | 0.3083                      | 0.0012                                            |
| n-Pentane        | 0.3                | ≤0.005                                                        | 0.2792                      | 0.0042                                            |
| Carbon Disulfide | 100 ppm            | ≤1 ppm                                                        | 100.4589                    | 0.2733                                            |
| n-Hexane         | 0.1                | ≤0.005                                                        | 0.0957                      | 0.0010                                            |
| NHV (BTU/scf)    |                    | ≤0.1 % relative                                               | 899.5394                    | 0.07%                                             |

표 2 18시간 동안 분석된 21개의 무기 및 탄화수소 화합물을 함유한 가스 실린더에 대한 공장 시험

그림 5a - 5d는 시험 8시간 동안의 주요 구성품, 부 구성품, 황 구성품 및 NHV에 대한 추세 데이터를 보여줍니다.

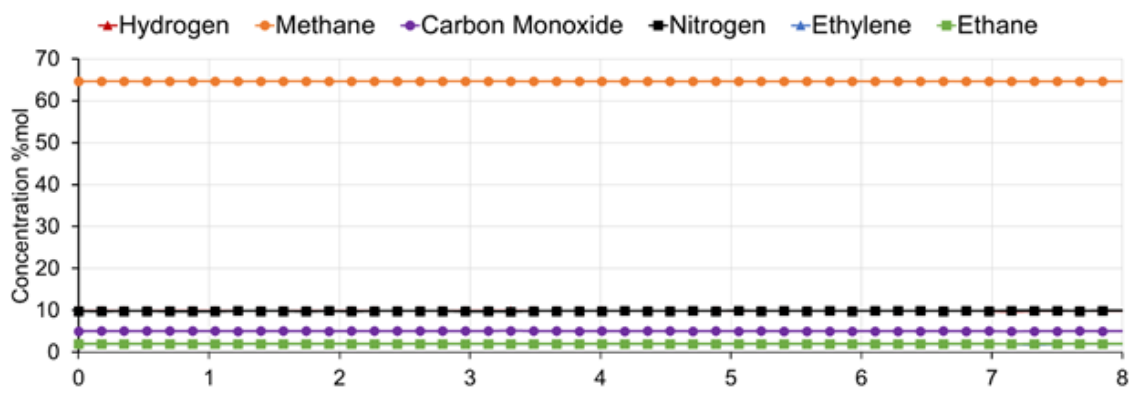


그림 5a 8시간 동안 분석된 21개의 무기 및 탄화수소 화합물을 포함한 가스 실린더에 대한 공장 시험 중 얻은 주요 성분 농도

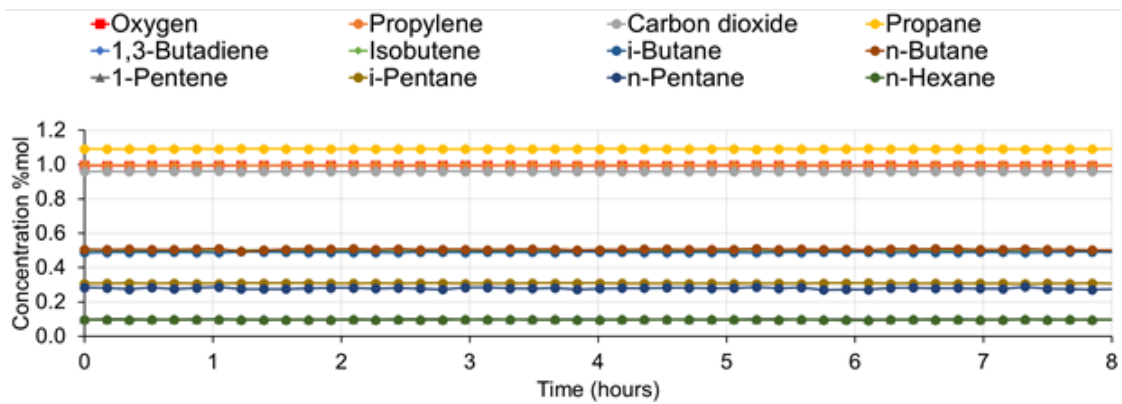


그림 5b 8시간 동안 분석된 21개의 무기 및 탄화수소 화합물을 포함한 가스 실린더에 대한 공장 시험 중 얻은 주요 성분 농도

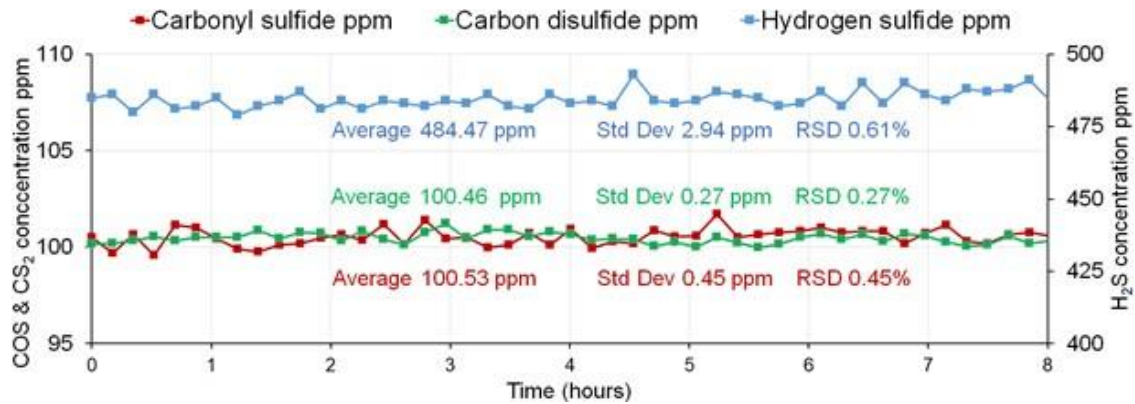


그림 5c 무기 및 탄화수소 화합물 21개를 포함한 가스 실린더에 대한 공장 시험 중 8시간 동안 분석된 황 성분 농도

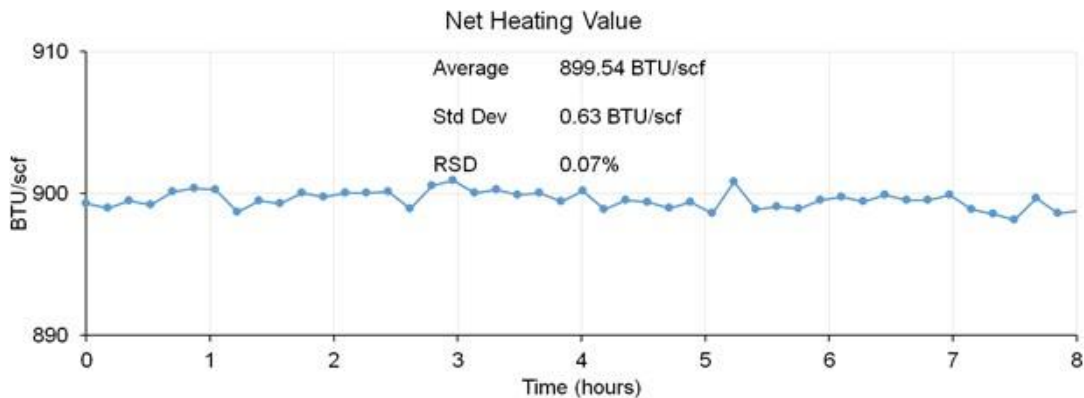


그림 5d NHV, 8시간 동안 분석된 21개의 무기 및 탄화수소 화합물을 포함하는 가스 실린더에 대한 공장 시험 중 획득

총 황의 분석

일반적으로 각 환경청은 황화수소(H<sub>2</sub>S)와 총 환원 황 (Total Reduced Sulfur, TRS)에 관심을 두고 있습니다. 그러나 무엇이 TRS를 구성하는지에 대해서는 의견차가 약간 있습니다. 어떤 경우에는 황화카르보닐 (COS)과 이황화탄소 (CS<sub>2</sub>)을 함께 넣어 H<sub>2</sub>S 로 정의하기도 합니다. 또한 환원 형태의 황 성분, 가장 흔하게는 H<sub>2</sub>S, 메테인싸이올 (메틸 머캡탄, CH<sub>3</sub>SH), 디메틸 설퍼이드 (DMS, (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S), 디메틸 디설퍼이드 (DMDS, CH<sub>3</sub>S<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>) 등을 담고 있는 화합물의 혼합이라 정의할 수도 있습니다.

질량 분석기는 ppm 레벨까지 다양한 황 화합물들을 측정할 수 있습니다; 전형적인 성능 수치가 표 3에 나와 있습니다. 분석 시간은 스트림 전환 시간을 포함해 30초 미만이며 표준편차는 8시간 동안 측정됩니다.

| Component          | Typical Composition %mol | Precision of analysis by Prima PRO (single standard deviation) ≤ |
|--------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Hydrogen Sulfide   | 3 ppm                    | 0.5 ppm                                                          |
| Methyl Mercaptan   | 10 ppm                   | 0.5 ppm                                                          |
| Ethyl Mercaptan    | 10 ppm                   | 0.5 ppm                                                          |
| n-Propyl Mercaptan | 10 ppm                   | 0.5 ppm                                                          |
| n-Butyl Mercaptan  | 10 ppm                   | 0.5 ppm                                                          |

표 3 황 화합물의 대표적인 Prima PRO 성능 규격

유황 중 분석 시 Prima PRO의 우수한 선형성을 입증하기 위해 3개의 실린더를 사용하여 한 번의 농도로 황화수소, 카보닐황화수소, 이황화탄소를 교정한 후 3개의 유황종이 포함된 일련의 실린더를 분석하는 데 사용하였습니다.

- H<sub>2</sub>S는 0.0506%로 보정되었고, MS는 H<sub>2</sub>S 농도를 0%에서 89.88%로 분석하였습니다.
- COS는 0.16%로 보정되었고, MS는 COS 농도를 0% ~ 0.26%로 분석하였습니다.
- CS<sub>2</sub>는 0.198%로 보정되었고, MS는 0% ~ 0.198%의 COS 농도를 분석하였습니다.

표 4는 빨간색으로 표시된 교정가스를 가지고 우수한 선형성을 보여줍니다. 그림 6은 세가지 유황 종에 대한 우수한 선형성을 보여줍니다.

Prima PRO가 미량 수준(이 경우 0.05%)에서 황화수소에 대해 안전하게 보정될 수 있지만 최대 100% 농도를 측정할 수 있음을 보여줍니다.

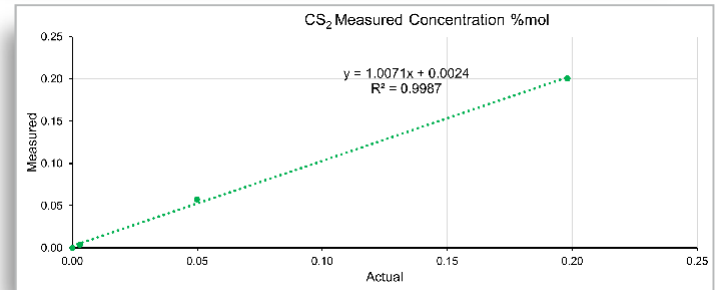
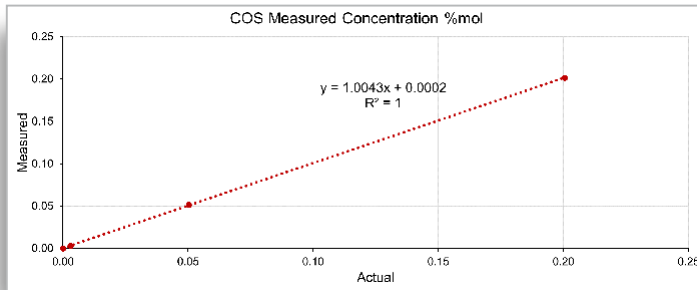
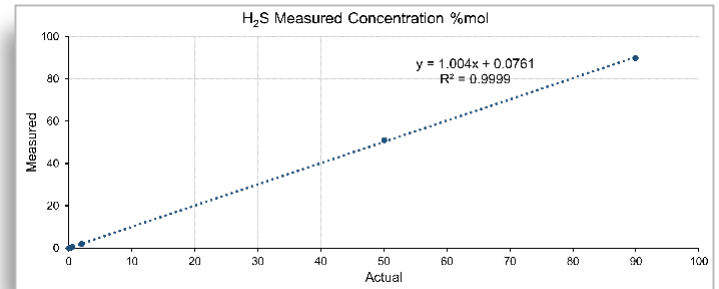
| H <sub>2</sub> S Actual Concentration %mol | H <sub>2</sub> S Measured Concentration %mol | COS Actual Concentration %mol | COS Measured Concentration %mol | CS <sub>2</sub> Actual Concentration %mol | CS <sub>2</sub> Measured Concentration %mol |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0                                          | 0.0001                                       | 0                             | 0                               | 0                                         | 0.0002                                      |
| 0.003                                      | 0.0028                                       | 0.003                         | 0.0029                          | 0.003                                     | 0.0039                                      |
| 0.0506                                     | 0.0503                                       | 0.0502                        | 0.0513                          | 0.0498                                    | 0.0576                                      |
| 0.2505                                     | 0.261                                        | 0.2006                        | 0.2015                          | 0.198                                     | 0.2006                                      |
| 0.4997                                     | 0.526                                        |                               |                                 |                                           |                                             |
| 2                                          | 2.08                                         |                               |                                 |                                           |                                             |
| 50.03                                      | 51.1                                         |                               |                                 |                                           |                                             |
| 89.88                                      | 89.88                                        |                               |                                 |                                           |                                             |

표 4 황 성분 측정에 대한 선형성

GasWorks 소프트웨어는 도출 값 기능을 이용해 개별 성분 농도들을 합함으로써 총황의 수치를 산출할 수 있습니다. 그러나 총황 값은 MS가 분석한 황 화합물의 총합을 말하며 미지의 화합물은 보고되지 않습니다.

예상되지 못한 황까지 포함하여 정확한 총 황 값을 구하려면, Thermo Scientific™ SOLA iQ™ Flare System을 추천합니다. 이 시스템을 통해 플레어 가스 스트림에서 총황에 대해 연속적이고 정밀한 측정을 할 수 있습니다. SOLA iQ Flare는 PUVF (pulsed ultra-violet fluorescence) 분광분석법을 이용해 총 황을 측정합니다. 유기적으로 결합된 모든 황은 샘플 연소를 통해 먼저 이산화황 (SO<sub>2</sub>)으로 전환됩니다. 특정 파장에서 자외선광을 이용해 SO<sub>2</sub>에 빛을 투사하면 여기된 형태의 SO<sub>2</sub>가 형성합니다. 여기된 SO<sub>2</sub>는 광 방출이나 형광 방출을 통해 기저 상태로 완화됩니다. 방출되는 광의 강도는 SO<sub>2</sub> 농도와 플레어 굴뚝의 총 황 농도에 정비례합니다.

그림 6 hydrogen sulfide, carbonyl sulfide and carbon disulfide에 대한 선형성



## 요약

Prima PRO Process MS는 플레어 가스 성분을 실시간으로 빠르고 정확하게 분석할 수 있습니다. 마그네틱 섹터 질량분석기의 장점과 GasWorks 소프트웨어의 다양한 편의성이 합쳐져 하나의 Prima PRO 로도 플레어 가스 스트림 뿐만 아니라 복수의 프로세스 스트림까지 감시할 수 있다. 따라서 플레어 가스 스트림의 상세한 구성 데이터와 여러 가지 프로세스 스트림들의 구성 데이터를 비교하면 근본적인 문제 원인 분석이 훨씬 쉬워집니다.

전체 구성 분석과 더불어, Prima PRO는 LHV, HHV, 밀도, 비중, Wobbe Index, 화학량적 공기 요건, CARI 등, 정밀한 연료 가스 속성들도 분석할 수 있습니다. 이것은 폐가스를 완전 연소시켜 타지 않은 오염원이 플레어에서 방출되지 않게 하여 줍니다.

## Reference

1. EPA 40 CFR § 63.670 – Requirements for Flare Control Devices, US Government Publishing Offices
2. Continuous flare stack emission monitoring: Thermo Scientific SOLA iQ Flare Analyzer, Thermo Fisher Scientific Application Note, 2020
3. Advancing Process Control and Efficiency During Ethylene Production Using the Thermo Scientific Prima PRO Process Mass Spectrometer, Thermo Fisher Scientific Application Note, 2014
4. Thermo Scientific™ Prima PRO Process Mass Spectrometer: Improving ethylene oxide process control, Thermo Fisher Scientific Application Note, 2017

### USA

27 Forge Parkway  
Franklin, MA 02038  
Ph: (800) 437-7979  
Fax: (713) 272-2273  
orders.process.us@thermofisher.com

### India

C/327, TTC Industrial Area  
MIDC Pawane  
New Mumbai 400 705, India  
Ph: +91 22 41578800  
india@thermofisher.com

### China

+Units 702-715, 7th Floor  
Tower West, Yonghe  
Beijing, China 100007  
Ph: +86 1084193588  
info.eid.china@thermofisher.com

### Europe

Ion Path, Road Three,  
Winsford, Cheshire CW73GA UK  
Ph: +44 1606 548700  
Fax: +44 1606 548711  
sales.epm.uk@thermofisher.com

Find out more at [thermofisher.com/flaregases](https://thermofisher.com/flaregases)

**ThermoFisher**  
SCIENTIFIC