

## 천연가스 연소 터빈의 실시간 포름알데히드 모니터링

천연가스 연소 터빈에 사용되는 엔진은 국제 암연구소(IARC)를 비롯해 미국 보건복지부에서 인체 발암 물질로 지정한 포름알데히드의 발생원으로, 제반 규정에 의거 배출가스를 검사하는 기관에 의뢰하여 정기적인 검사를 받아야 하는 설비에 해당됩니다.

미국 환경보호국(EPA)이 고시한 고정식 연소 터빈 규정 (40 CFR Part 63 Subpart YYYYY)에서는 천연가스 연소 터빈의 포름알데히드 방출량을 91 ppbv 이하로 제한하고 있습니다 (산소 15% 기준). 이에, 대부분의 가스 터빈 제조사는 포름알데히드 배출을 최소화하기 위해 연소 '고온부(hot section)' 설계에 많은 노력을 기울이고 있으며, 실제로 터빈에서 배출되는 포름알데히드 농도 수준은 낮은 수준으로 알려져 있습니다 (약 0.1ppmv). 그럼에도 불구하고 가스 터빈에서 배출되는 배기가스의 절대적인 양 자체가 상당히 크기 때문에 오염물질 총 배출량 역시 인체 건강에 위험을 초래할 만큼 커질 우려가 있는 실정입니다.

### 배출가스 측정 및 당면 과제

배출원을 담당하는 전문 검사원의 경우, 천연가스 터빈에서 포름알데히드 배출량이 91ppbv 미만인지 실시간으로 확인할 수 있는 고정밀 분석 기술을 사용해야 합니다. 이런 고정밀 분석은 일부 EPA Method 320을 따르는 FTIR 가스 분석기도 가능하지만, 대부분의 FTIR 분석기는 그 정밀도가 낮아 포름알데히드 측정이 불가능한 경우가 많습니다. 대안으로 EPA Method 0011도 사용이 가능한데, 이를 위해서는 수집용 임핀저, 유도체화 시약인 [2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH)], 그리고 다소 정밀도가 떨어지고 실시간 측정도 어려운 UV-Vis 검출기 고압 액체 크로마토그래피(HPLC) 기술을 사용해야 합니다. 더불어, 효율적인 분석을 위해서는 ppb 검출 한계가 한 자릿수인 실시간 분석 솔루션이 반드시 필요합니다.

### 솔루션

광학 성능을 대폭 향상시켜주는 Thermo Scientific™ StarBoost™ 기술이 탑재된 Thermo Scientific™ MAX-iR™ FTIR 가스 분석기는 이런 문제를 해결할 수 있습니다. StarBoost는 FTIR 가스 분석기의 감도, 디텍터의 선형성과 측정 범위를 크게 향상시키는 획기적인 기술로, 포름알데히드와 같은 유해 대기 오염 물질(HAP)을 실시간으로 측정해 한 자릿수 ppbv 로 분석할 수 있습니다.

StarBoost 기술이 적용된 MAX-iR 분석기는 1,900 – 3,300cm<sup>-1</sup> 범위의 화합물을 측정할 수 있는 '롱패스' 광학 필터를 사용하는데, 이 필터 시스템은 탄화수소와 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄, 수분을 포함한 기타 산화물을 동시에 측정할 수 있습니다.

StarBoost 기술이 적용된 MAX-iR 분석기 외에도 스택 방출을 사용하여 분석기를 제로 교정하는 새로운 기술도 사용이 가능합니다. Thermo Scientific™ MAX-OXT 열 산화 모듈은 수분, 메탄, 이산화탄소 등 대기 간섭 물질의 농도를 줄이지 않고 샘플 매트릭스에서 타겟 분석 물질을 선택적으로 제거하기 때문에 실시간으로 회귀 분석에 추가할 간섭 스펙트럼을 수집해 적외선 잔차 및 포름알데히드 데이터 품질을 향상시킬 수 있습니다. 회귀 분석에 간섭 스펙트럼을 사용하지 않더라도 MAX-OXT 모듈은 데이터 검증을 위한 강력한 툴로 사용될 수 있습니다.

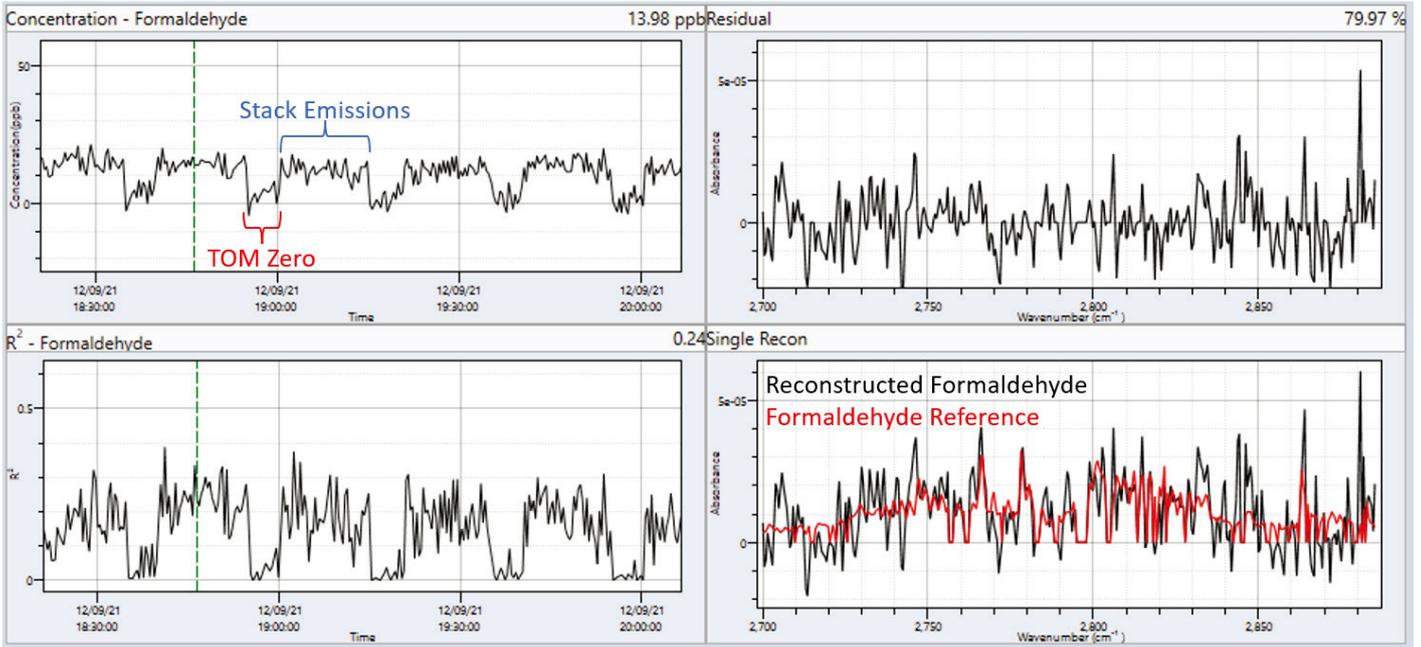


그림 1: 천연가스 연소 터빈용 엔진 인근에서 수집된 포름알데히드 측정값

### 실험 사례

포름알데히드 배출을 측정하는 StarBoost 기술이 적용된 MAX-iR 분석기의 능력을 검증하기 위해 천연가스 연소 터빈 인근에서 데이터를 수집하였습니다. 수집한 데이터는 MAX-OXT 모듈을 사용하여 주기적으로 제로 교정하였습니다. MAX-OXT 산화 가스 및 샘플 가스 사이를 전환할 때의 반응 시간은 샘플 유량 5LPM을 기준으로 15초 미만으로, 포름알데히드를 신속하게 검출할 수 있는 수준인 것이 확인되었습니다. 현장 검사 결과는 그림 1에 정리되어 있습니다.

왼쪽 상단 패널의 그래프는 데이터 수집 기간 동안의 포름알데히드 농도(ppb 단위)를 기록한 것입니다. 녹색 점선으로 표시된 샘플 스펙트럼의 경우, 포름알데히드 농도는 13.98ppb였습니다. 해당 실험에서는 MAX-OXT 모듈을 활용하여 농도 그래프에 표시된 대로 샘플에서 포름알데히드를 주기적으로 제거하고 간섭 스펙트럼을 수집하였습니다. 이러한 스펙트럼을 회귀 분석 행렬에 추가하면 포름알데히드 농도를 10ppb까지 쉽게 검증할 수 있습니다. 이 기술은 스펙트럼 간섭으로 인한 포름알데히드 측정의 편향을 최소화할 수 있어, 10ppb 수준의 화합물을 정확하게 측정하는 데 매우 중요합니다.

포름알데히드 측정 시, 표준편차는 1.37ppb 로, 따라서 실험 최소 검출 한계는 4.11ppb였습니다. 13.98ppb의 농도 포름알데히드는 회귀 복원 모델에서 확인할 수 있습니다.

### 결론

이번 실험은 StarBoost 기술이 적용된 MAX-iR 분석기가 가스 연소 터빈용 엔진에서 낮은 ppb 수준의 포름알데히드를 측정할 수 있다는 사실을 정확히 보여주는 실험이었습니다. 특히, StarBoost 기술과 함께 사용하면 샘플링과 데이터 측정이 간편해 EPA Method 0011에 비해 측정 효율성이 개선되는 효과를 누릴 수 있습니다. 과거에는 결과를 확인하는 데 몇 시간이나 걸렸지만, 이제는 단 몇 분이면 유의미한 결과를 얻을 수 있어, 시간과 비용을 크게 절약하고 검사 과정에서 발생하는 문제 또한 줄일 수 있습니다. 더불어, 성능이 개선된 분석기의 높은 정밀도 덕분에 검사원과 고객은 결과가 검사 중에 실제 샘플링된 포름알데히드 수준을 제대로 반영한 것임을 안심하고 신뢰할 수 있습니다.

더 자세한 정보는 [thermofisher.com/max-ir](https://thermofisher.com/max-ir) 에서 확인하세요

thermo scientific

Thermo Fisher Scientific 써모피셔사이언티픽코리아 주식회사

서울시 강남구 광평로 281 수서 오피스빌딩 10층, 06349 | 대표번호 : 1661-9555

연구 용도 전용. 진단 목적으로 사용 금지. 인증 현황 정보는 홈페이지([thermofisher.com/certifications](https://thermofisher.com/certifications))에서 확인하세요.

© 2023 Thermo Fisher Scientific Inc. 불허복제. 모든 상표는 별도 명시되어 있지 않는 한 Thermo Fisher Scientific과 그 자회사의 소유 자산입니다.

AN53607\_E 06/22M