

## 전혀 어려움 없는 미세플라스틱 분석

신속하고 자동화된 워크플로를 통해 미세플라스틱 분석을  
크게 간소화하는 적외선 화학 이미징 시스템



저자

Darren Robey,  
Agilent Technologies, Inc.

### 개요

과학자들은 미세플라스틱이 생태계와 먹이 사슬 곳곳에 침투한다는 사실을 밝혀내면서 미세플라스틱이 환경에 미치는 영향 대한 관심이 빠르게 집중되고 있습니다. 연구자들과 분석법 개발 조직에서는 화학적 정체성, 크기, 모양 및 총 질량 측면에서 미세플라스틱의 특성을 가장 정확하게 규명할 수 있는 표준화된 분석 솔루션을 개발하기 위해 노력하고 있습니다.

QCL(Quantum Cascade Laser) 기술을 사용하는 적외선 화학 이미징의 새로운 접근 방식 덕분에, 빠르고 자동화된 워크플로를 통해 미세플라스틱 분석을 크게 간소화할 수 있게 되었습니다. 측정 과정이 간소화됨에 따라 기존 분석 기법보다 훨씬 짧은 시간에 미세플라스틱의 특성을 쉽게 규명할 수 있습니다.

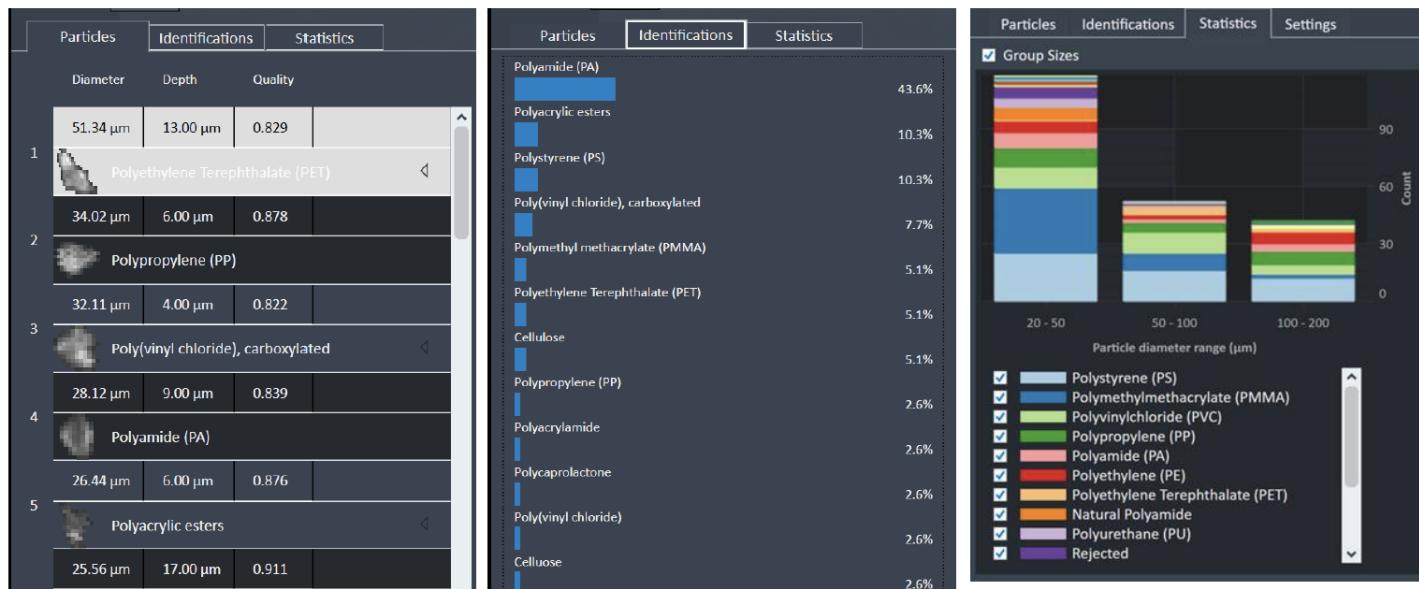
## 미세플라스틱 분석을 위한 분석 기법

분석용 미세플라스틱의 크기 범위는 10 $\mu\text{m}$ 보다 작거나 최대 300 $\mu\text{m}$ 까지 가능하며 입자가 작을수록 더욱 위험한 것으로 추정됩니다. 시각화 현미경 관찰법은 미세플라스틱 입자 검사에 유용하지만 환경에서 관찰되는 다양한 유형의 플라스틱을 모두 식별할 수는 없습니다. 이와 대조적으로 분광 기법은 플라스틱의 특정 화학적 정체성을 밝혀낼 수 있습니다. 적외선 분광법(FTIR)은 입자에 적외선을 비추어 흡수되는 파장을 확인하는 원리로 분석을 수행합니다. 푸리에 변환 적외선(FTIR) 분광법은 전통적인 플라스틱 분석 기법입니다. 작은 분석물질을 평가하기 위해 일반적으로 FTIR과 함께 현미경이 사용됩니다. 그러나, 크기가 큰 비간섭성 광원은 작은 미세입자에 초점을 맞추기 어렵고, 극히 작은 부분의 빛만 흡수할 수 있기 때문에 신호가 매우 약합니다. 따라서, 충분한 신호를 포착하기 위해서는 비교적 긴 시간에 걸쳐 데이터를 수집해야 합니다. Raman 분광법은 레이저 기반의 대안으로, 빛을 입자에 집중시킬 수 있습니다. 하지만 감응이 매우 약해 데이터 수집 속도가 극히 느립니다.

이제 Agilent 8700 Laser Direct Infrared(LDIR) 화학 이미징 시스템을 통해 적외선 레이저 기반 기술을 이용할 수 있습니다. 이 기기는 특히 밝은 QCL(Quantum Cascade Laser) 기술을 적용한 밝은 적외선 레이저 소스를 갖추고 있습니다. 또한 모든 레이저 출력력을 하나의 입자에 집중시킬 수 있어 단 1초 만에 강한 적외선 신호를 수집할 수 있습니다. 레이저는 중-적외선 구역에서 쉽게 조정할 수 있어 필요 시 특정 파장에서 맞춤형 데이터를 수집할 수 있습니다.

## Laser Direct Infrared(LDIR) 이미징 시스템

Agilent 8700 LDIR의 워크플로는 매우 간단합니다. 적외선 분광 기술이기 때문에 시료 전처리 분석법은 기존의 IR 실험과 거의 동일합니다. 깨끗한 시료가 전처리되면 IR 반사 슬라이드를 통해 기기로 도입됩니다. LDIR은 선택한 분석 구역에서 고속 IR 스캔을 수행하여(일반 구역의 경우 1분 이내) 선택한 시료 구역 내에 있는 모든 입자의 위치를 추적하고 해당 크기를 측정합니다. 그런 다음 기기가 개별 입자에 대한 스펙트럼을 자동으로 수집하여 소프트웨어에 내장된 표준 적외선 라이브러리와 실시간으로 비교합니다. 마지막으로 해당 구역의 모든 미세플라스틱 입자의 정체성, 크기 및 통계를 포함한 보고서가 생성됩니다.



3mm x 3mm; 39개 입자; 5분

그림 1. 보고된 결과 – 입자 분류 및 통계 분석

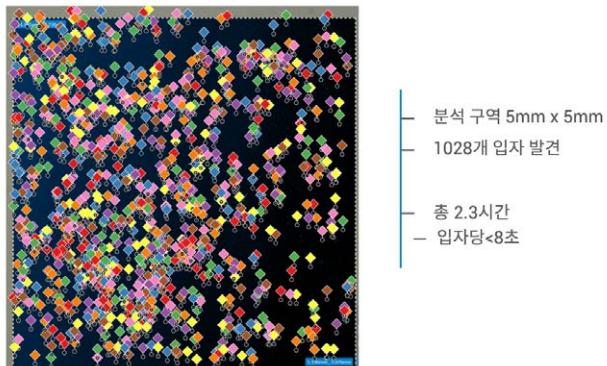


그림 2. 폐수 시료의 LDIR 분석

그림 1은 3mm x 3mm 구역에서 검출 및 식별된 39개의 입자에 대한 보고서를 보여줍니다. 실시간 데이터 분석을 포함한 전체 실험이 단 5분 만에 완료되었으며, 입자당 걸린 시간은 8초 미만입니다.

그림 2는 비료(인간이 미세플라스틱을 섭취할 수 있는 경로)로 사용되는 하수 슬러지를 전처리하고 슬라이드에 침전시킨 후의 분석 결과를 보여줍니다. 8700 LDIR은 입자당 약 8초의 속도로 5mm x 5mm 구역에서 1028개의 미세입자를 검출했습니다. 그림 2는 소프트웨어로 자동 생성된 입자 맵을 보여줍니다. 다양한 색상으로 서로 다른 플라스틱 종류를 표시합니다. 그림 1에 표시된 입자 맵과 보고서 유형 외에도 소프트웨어는 그림 3에 표시된 정보와 같이 개별 입자에 대한 데이터를 검사할 수 있습니다. 스펙트럼에서 실선은 측정된 데이터를 나타내고 점선은 라이브러리의 참조 스펙트럼을 나타냅니다. 또한, 필요한 경우 적외선 분광법으로 더 세부적인 분석을 수행하기 위해 기기는 개별 입자를 “확대”할 수 있습니다.

8700 LDIR은 개별 파장 이미지를 이용하여 특정 유형의 플라스틱 위치를 확인하기 위한 빠른 스크리닝에도 사용할 수 있습니다. 레이저를 특정된 플라스틱의 특정 파장에 맞게 조정하여 분석 속도를 크게 높일 수 있습니다. 예를 들어, 폴리스티렌(PS)은 쉽게 구분 가능한 1490~1508cm<sup>-1</sup>의 강한 대역을 가지고 있습니다. PS를 위해 특별히 스크리닝할 수 있도록 적절한 파장에서 레이저로 이미지를 수집할 수 있습니다. 단 2분 만에 5mm x 5mm 구역을 스크리닝할 수 있어 속도가 크게 향상됩니다. 이것이 바로 8700 LDIR 시스템에서 조정 가능한 레이저의 주요 장점입니다. 데이터 수집 속도 외에도 이런 표적화된 분석법은 수집의 특이성 덕분에 시료 전처리에 필요한 작업을 줄여줍니다.

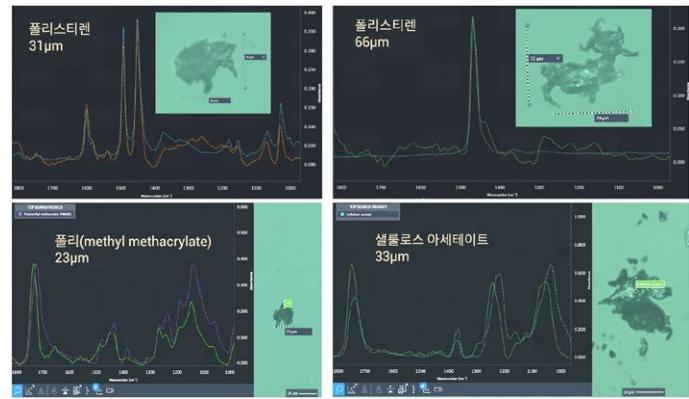


그림 3. 이 소프트웨어를 사용하면 개별 입자의 데이터를 시험할 수 있습니다.

## FTIR vs. LDIR

최첨단 FTIR 이미징은 어레이 검출기와 백열 광원을 사용합니다. 입자가 없는 픽셀을 포함하여 선택한 구역의 모든 부분을 측정할 수 있습니다. 관심 대상 구역을 모자이크로 분할한 다음, 각 세그먼트를 스캔하고 모든 데이터 조각을 전자적으로 연결하여 완전한 이미지를 생성합니다. 그림 4에 설명한 응용은 FTIR로 분석한 저수지로부터 여과한 퇴적물입니다. 10mm x 10mm 구역을 16 x 16 모자이크로 분할하고 5.5μm마다 스펙트럼을 수집했습니다. 3시간의 데이터 수집 후, 871개의 입자에 대해 420만 개의 스펙트럼을 생성했습니다. 33GB의 데이터 파일을 처리하는 데 8시간 걸리므로 전체 연구는 총 11시간이 소요됩니다.

LDIR을 사용한 유사한 실험에는 데이터 분석을 포함하여 약 2 시간이 걸렸습니다. LDIR 데이터 수집 전략과 QCL 레이저의 강한 신호가 효율성을 대폭 개선할 수 있습니다. 이 기기는 입자가 존재하는 데이터만 수집하고 입자당 하나의 스펙트럼을 신속하게 생성합니다. 따라서 LDIR은 FTIR과 동일한 신뢰성 있는 스펙트럼을 생성하지만 FTIR보다 더 현명한 수집 방법을 이용합니다.

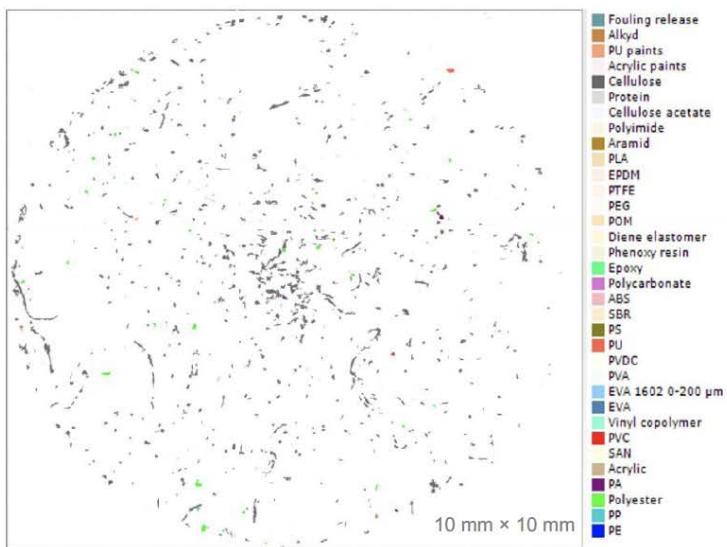


그림 4. LDIR은 최첨단 FTIR에 비해 어떻습니까?

## 결론

화학적 정체성, 크기 및 모양과 관련하여 미세플라스틱 입자를 정확하게 식별하고 정량하는 분야에 대한 관심이 높아지고 있습니다. Agilent 8700 LDIR은 미세플라스틱 분석을 가속화하여 입자당 수초 만에 실시간 결과를 제공하는 간소화된 접근 방식을 제공합니다. 복잡한 분석법 개발 없이 시료 성분의 상대 정량 수행이 가능하며, 통계 데이터가 자동으로 생성되므로 조성을 빠르게 평가할 수 있습니다. 높은 자동화 기능과 로딩 후 바로 분석이 수행되는 간소화된 분석법으로 전문가가 아니더라도 손쉽게 작동할 수 있고 최소한의 기기 상호작용만 필요합니다. 다른 기법에 비해, 표적화된 분석 전략은 넓은 시료 구역을 훨씬 더 빠르게 이미징할 수 있도록 지원합니다. 8700 LDIR 시스템에는 미세플라스틱 분석의 부담을 없애고 워크플로를 크게 현대화하는 혁신적인 기술이 담겨 있습니다.

— 이미징 FTIR은 어레이 검출기를 사용하여 많은 스펙트럼을 병렬로 수집

- 덴마크의 습한 저수지에서 여과시킨 퇴적물을 분석한 예<sup>1</sup>:
- 128 x 128 픽셀 어레이를 이용한 16 x 16 모자이크 검출
- 10 x 10mm<sup>2</sup>에 걸쳐 5.5 $\mu$ m마다 하나의 스펙트럼 수집
- 3시간 수집 + 8시간 데이터 처리(맞춤형 소프트웨어)
- 33GB의 데이터
- 420만개 스펙트럼
- ...단 871개 입자

## 자세한 정보

이 시스템에 대한 자세한 내용을 알아보시려면 [www.agilent.com/chem/8700-ldir](http://www.agilent.com/chem/8700-ldir)을 방문하십시오.

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

애질런트는 이 문서에 포함된 오류나 이 문서의 제공, 이행 또는 사용과 관련하여 발생한 부수적인 또는 결과적인 손해에 대해 책임을 지지 않습니다.

이 발행물의 정보, 설명 및 사양은 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2019  
2019년 12월 18일, 한국에서 인쇄  
5994-1584KO  
DE7419675926

한국애질런트테크놀로지스(주)  
대한민국 서울특별시 서초구 강남대로 369,  
A+ 에셋타워 9층, 06621  
전화: 82-80-004-5090 (고객지원센터)  
팩스: 82-2-3452-2451  
이메일: korea-inquiry\_lsca@agilent.com