

# 양자 센싱과 microfluidics 결합, 새로운 화학 탐지 시스템 발표

(2024.12.18., 양자정보연구지원센터)

- 고감도 화학 탐지 시스템 개발, 양자 센싱과 마이크로유체학의 융합
  - 고감도 화학 탐지 시스템 개발(연구 배경)
    - 양자 센싱과 드롭릿 마이크로유체학(droplet microfluidics)을 결합하여 고감도 화학 탐지 시스템을 개발
    - 나노 다이아몬드 기반 양자 센싱 기술과 미세 액체 방울을 활용한 마이크로유체학을 통합, 높은 안정성과 낮은 잡음으로 화학 물질을 탐지
    - 생명공학, 환경 모니터링 등 다양한 분야에서 잠재력 보유(*Science Advances* 발표)
  - 나노다이아몬드와 NV 센터(기술적 특징)
    - NV 센터: 다이아몬드 내부의 질소-공극 결합으로, 자기적 특성 변화에 민감
    - 나노다이아몬드 사용: 비용 효율적이며 액체 환경에서 분석 물질과 상호작용 가능, 생체에 무해하고 특정 응용을 위한 맞춤 설계 가능
  - 드롭릿 마이크로유체학(droplet microfluidics)
    - 미세 채널 내에서 피코리터( $10^{-12}$ L) 크기의 액체 방울을 조작해 나노다이아몬드를 캡슐화
    - 액체 방울은 녹색 레이저와 마이크로파 필드에 노출되며, NV 센터가 분석 물질 존재에 따라 적색 형광 방출
    - 방출된 광 신호를 ODRM(optically detected magnetic resonance, 광학 검출 자기 공명) 기술로 분석하여 화학 상태를 탐지
  - 주요 성과 및 응용 사례
    - (성능) 가돌리늄( $Gd^{3+}$ ) 이온: 100나노몰(nM) 수준까지 탐지
    - TEMPOL(활성 산소 탐지용 화합물):  $2(\mu M)$  이하 농도에서 탐지

- 응용 분야
  - (진단) 혈액 등 체액에서 증폭 과정 없이 바이오마커 탐지 가능
  - (생명공학) 세포 대사 실시간 모니터링 및 바이오파이브릭 내 화학 반응 제어
  - (환경 모니터링) 오염 물질 및 유해 물질 현장 탐지
  - (단일 세포 분석) 단일 세포 대사 및 약물 반응 연구, 질병 분석 가능
- 유세포 분석과 통합 가능성
  - 유세포 분석(flow cytometry)과 결합하여 세포 단위 화학 탐지가 가능한 ‘양자 강화(quantum-enhanced)’ 기술 구현 가능
- 한계 및 향후 연구 방향
  - (한계) 현재 시스템은 특정 분석 물질(가돌리늄, TEMPOL)에 국한
  - 실제 환경에서의 성능 검증 필요
  - (향후 연구 방향) 액체 방울 내 나노 다이아몬드 추적 기술 개발
  - 시간당 수백만 개의 액체 방울을 분석할 수 있는 고처리량 시스템 구축
  - 소형화 및 휴대용 장치로의 개발
  - 탐지 가능한 화학 물질의 범위를 확대하여 다양한 실제 응용 가능성 검토
- 본 연구는 양자 센싱과 마이크로유체학을 결합하여 기존 화학 탐지 시스템의 한계를 극복
  - 고정밀, 저비용, 확장 가능한 화학 탐지 플랫폼을 제시하며, 생명공학, 진단, 환경 모니터링 등 여러 분야에서 활용 가능
  - UC 버클리과 로렌스 버클리 국립연구소를 비롯한 다수의 연구기관 및 기업이 협력하여 연구 수행

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2024/12/17/researchers-drop-new-chemical-detection-system-that-unites-quantum-sensing-with-microfluidics/>