

# 마이크로/나노 기술의 환경 및 안전 센서 응용

임시형

국민대학교 기계자동차공학부(shlim@kookmin.ac.kr)

최근 건축 기술의 발달로 인간의 주거 및 사무실 공간은 점차 고층화 되어 가고 있다. 또한, 교통체증 및 고 유가 등에 의해 버스, 지하철 등 대중교통 수단의 이용이 급속히 증가하고 있다. 따라서, 주거 및 사무실 공간, 대중 교통수단에서의 인간의 건강을 위협하는 인체 유해 물질에 대한 검출, 이에 대한 원인 제거, 공조 시스템에 의한 능동적인 대응 등이 절실히 요구된다. 한편, 지하 공간에 매설되어 있는 도시가스배관망 시설물 등은 타공사, 지진 등과 같은 안전 위협 요인들에 항상 노출되어 있는 상황이다. 이와 같은 도시가스 배관 시설물에서 유출되는 가스의 검출을 통한 배관시설물 폭발 예방 기술에 대한 필요성은 점차 증가하고 있다. 또한, 공항 및 항만에서 폭발물에 의한 대량 인명 살상에 대한 위협은 증가하고 있으며, 이에 대한 폭발물 검출 실시간 모니터링을 통한 안전 위협 관리에 대한 대책이 시급히 요구되고 있다.

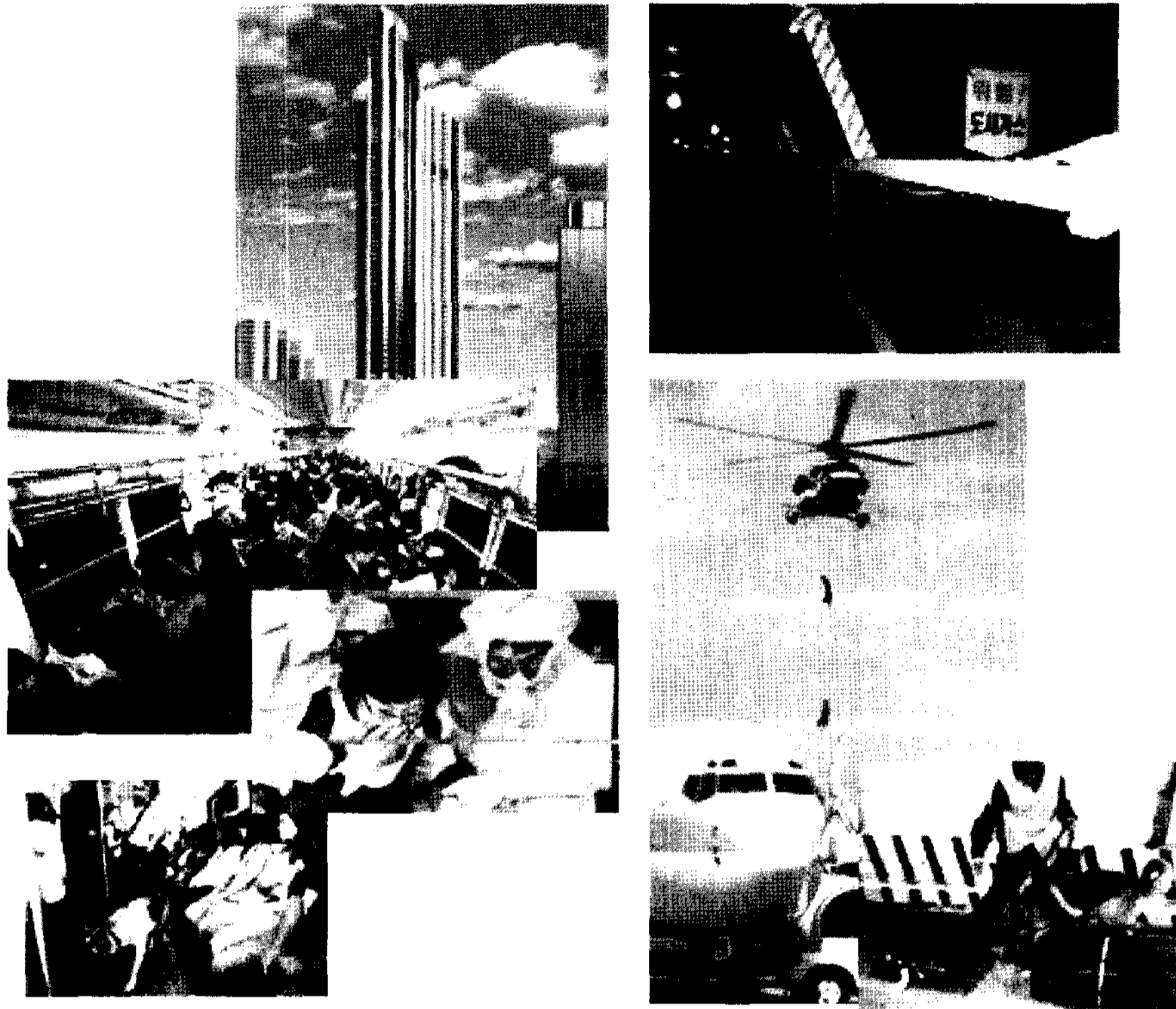
본 원고에서는 이러한 인체 유해 물질 및 안전 위협 물질에 대한 고감도 실시간 모니터링에 유용한 마이크로/나노 기술을 이용한 환경 및 안전 센서를 간략히 소개하고자 한다.

소자의 체적 대비 표면적 극대화를 통해 마이크로/나노 소자에서는 센서의 초고감도를 실현할 수 있다. MEMS/NEMS 화학센서는 환경 및 안전 모니터링 응용에서 물속의 납 성분, 톨루엔, 공기 중 박테리아, 곰팡이, 살충제, 수은 증기, 폭발물 등을 검출할 수 있으며, 소자의 형태 및 작동원리에 따라 크게 2

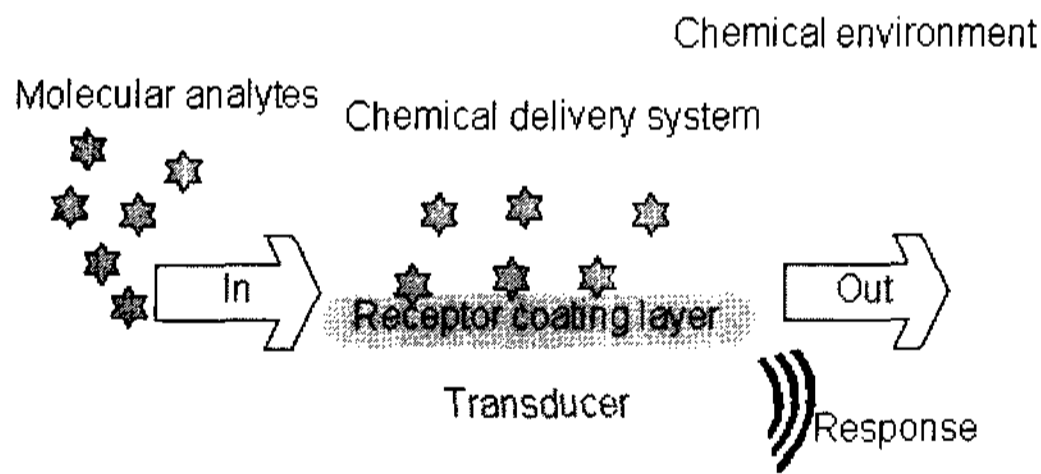
가지로 분류할 수 있다. 첫째, 소자 자체가 검출 대상 물질과 직접 접촉하여 화학 상호 작용에 의한 전기 신호 변화를 검출하는 구조를 가진 센서이다. 둘째, 마이크로/나노 소자 표면에 SAM 등의 화학 물질이 코팅되어 코팅물질과 검출 대상 물질의 분자 상호 작용이 소자의 전기적, 기계적 특성을 변화시켜 광학 및 전기적 신호변화를 검출하는 센서이다.

전자의 경우, 대표적인 방식으로는 화학저항(Chemoresistive) 및 정전용량(Capacitive) 방식이 있고, 화학 물질과 센싱 소자와의 상호 작용에 의한 전기 전도도 변화 및 정전 용량 변화를 검출한다. 화학저항 방식의 경우, 벌크형 금속산화물을 소자 재료로 사용하고, 수 백도 이상의 온도로 소자를 가열하여 인체 유해물질과 산화 환원 반응을 통한 전기 전도도 변화를 검출하게 된다. 최근 탄소나노튜브 등의 나노 소자와 검출 대상 가스와의 소자 표면에서의 반응에 의한 전기 유전을 변화에 의한 정전용량 변화를 검출함으로써, 기존의 전기전도도 변화에 의한 센싱 방법보다 고감도로 검출 대상물질을 검출할 수 있음이 보고되고 있다. 하지만, 이러한 방식의 센서들은 단원자나 이원자등의 비교적 간단한 검출 대상 물질(NOx, CO, NH<sub>3</sub> 등)에 대해 마이크로/나노 기술에 의한 초고감도의 실현은 가능하나, 검출 선택성이 소자 재료에 전적으로 의존하여 검출 선택성이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

후자의 경우, 임의의 마이크로/나노 소자 표면에 검출하고자 하는 대상 물질과 선택적인 화학 반응



[그림 1] 환경 및 안전 센서의 필요성

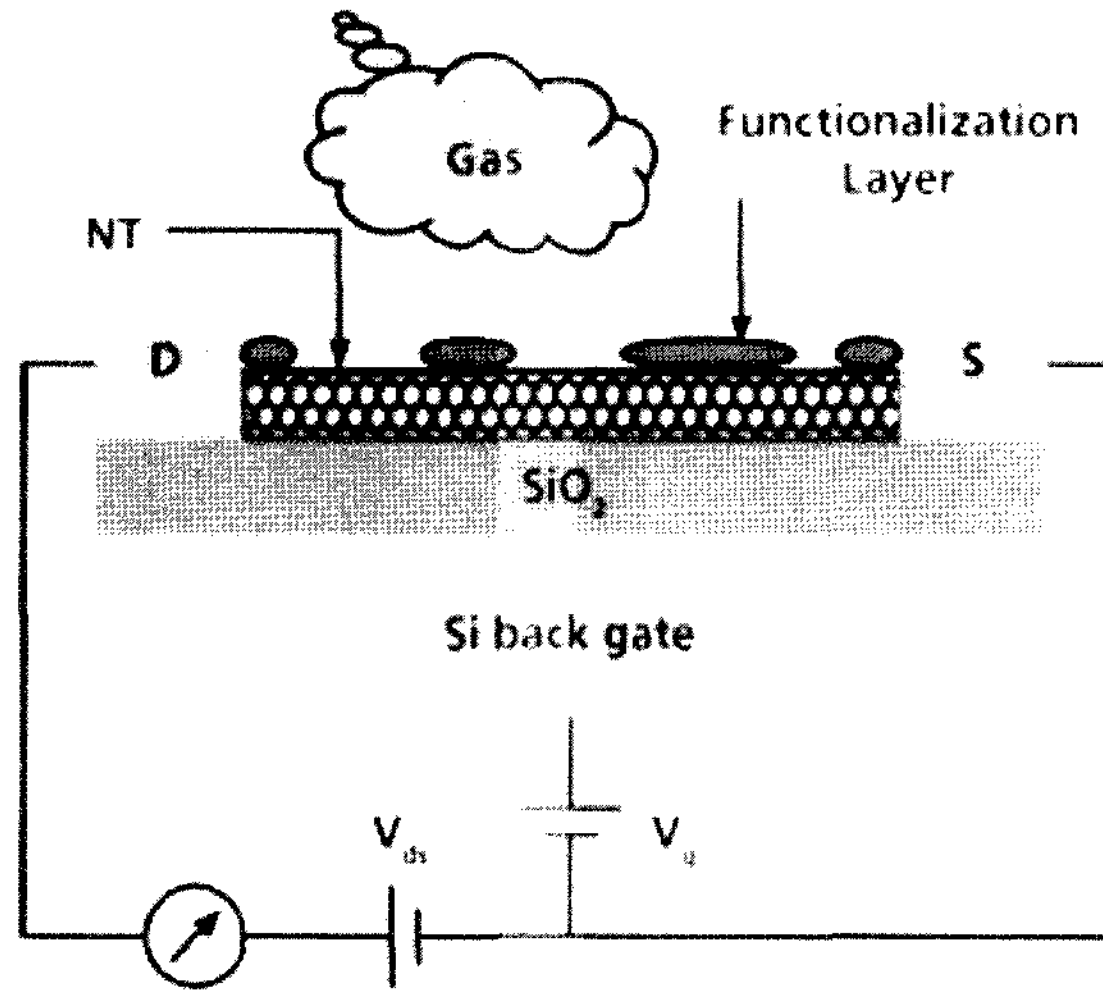
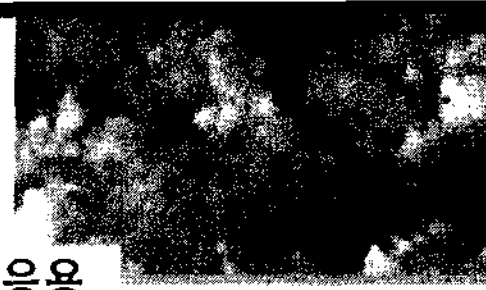


[그림 2] 리셉터 코팅층을 이용한 화학 센서의 구조

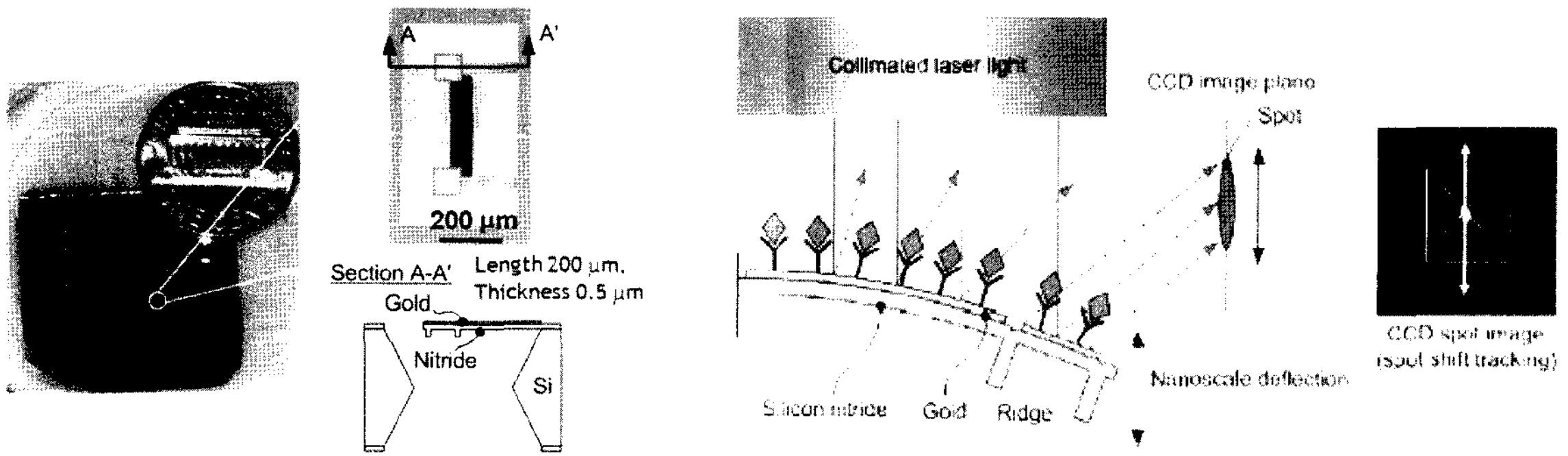
검출 물질을 SAM(Self Assembly Monolayer)등의 방법을 통해 코팅하여 검출대상물질과 코팅물질(Receptor Coating Layer)과의 분자상호작용을 전기적, 광학적으로 검출한다. 그림 2는 리셉터 코팅층을 이용한 화학 센서의 구조를 보여준다. 전자의 센싱 소자 재료 자체에 의존하는 가스 검출과는 달리 검출 대상 물질에 선택적인 코팅물질(Receptor

coating layer)만을 교체함으로써, 동일한 센싱 플랫폼으로 다양한 검출 대상물질을 검출해낼 수 있는 장점을 가지고 있다.

최근, 고감도 검출 플랫폼으로 탄소나노튜브(Carbon Nanotube), 마이크로 캔틸레버 소자등이 많이 사용되고 있다. 그림 3은 탄소나노튜브 FET(Field Effect Transistor) 소자와 전기신호 측정을 이용한 가스 센서 및 마이크로 캔틸레버 소자와 광측정을 이용한 센서의 구조를 보여주고 있다. 탄소나노튜브 FET 소자의 경우, 검출 대상 물질과 기능화된 층(Functionalized layer 또는 Receptor coating layer) 사이의 분자 상호 작용에 의하여 FET의 소스(Source :S) 와 드레인(Drain: D)사이의 전류가 변화하는 구조를 가지고 있다. 마이크로 캔틸레버 소자의 경우, 소자 표면의 코팅물질과 검출 대상물질과의 분자상호작용에 의한 표면 응력 변화에 의한 소자의 휨 또는 공진점 변화를 레이저, 위치민감검출기(Position

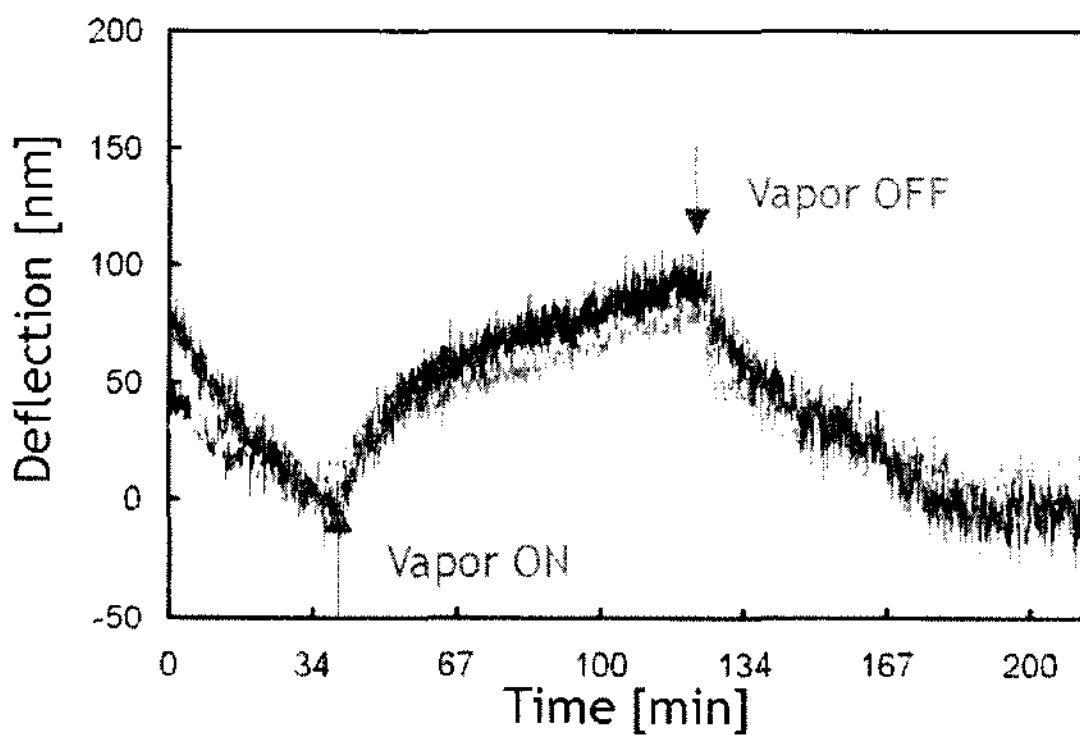


a) 탄소나노튜브 FET(Field Effect Transistor) 소자를 이용한 화학 가스 센싱



b) 마이크로 캔틸레버 소자 및 광측정을 통한 화학 가스 센싱

[그림 3]



[그림 4] 마이크로 캔틸레버 소자 및 광측정을 통한 50 ppb 톨루엔 검출

sensitive detector)를 통해 광학적으로 검출하거나, 캔틸레버 소자에 피에조 저항체를 형성하여 전기 저항변화를 전기적으로 검출한다. 특히, 마이크로 캔틸레버 소자를 이용한 경우, 벤젠, 톨루엔 등의 인체 유해물질 및 폭발물과 같은 안전 위험 물질을 ppb 급으로 검출하는 연구 결과가 보고되고 있고, 그림 4는 마이크로 캔틸레버 소자와 광측정을 통한 50 ppb의 극저농도 톨루엔 증기 검출 결과를 보여주고 있다. 캔틸레버 소자 위에 리셉터 코팅층은 카르복실 벤젠 싸이올(Carboxylic Benzene Thiol)이 사용되어졌다. 10 nm보다 작은 측정 노이즈를 가지고 50 ppb의 극저농도의 화학물질 검출이 가능함을 보여

주는 실험결과이다.

이러한, 마이크로/나노 기술을 이용한 인체 유해 및 위험 물질을 검출하기 위한 센서는 주변 간섭물질에 의한 센싱 영향을 최소화할 수 있는 선택성 향상, 샘플을 채취하여 고농도화하는 기술, 센싱 소자의 패키징, 화학센서 시스템의 기계-전기적 통합화 기술 등이 개발되어야 할 중요 과제로 부각되고 있다.

우리나라와 같은 대도시 집중 인구가 많은 경우 고

층 빌딩, 아파트 및 지하철 등에서의 인체 유해 물질의 실시간 모니터링과 이에 대응하기 위한 건물 공조 시스템의 능동 제어화분야는 앞으로 많은 관심과 연구가 필요하리라고 생각된다. 또한, 도시가스 배관 시설물, 공항 및 항만에서의 폭발 위험 물질 누설 및 테러에 대비한 실시간 안전 모니터링 시스템 구축과 관련된 국가적인 지원에 의한 연구가 반드시 필요하다고 생각된다. 