



# 디스플레이 재료를 이용한 바이오 칩 기술 경향



이문권 수석연구원 (세미원)



## 1. 서론

화학센서 (Chemosensor)는 최근 화학의 새로운 한 분야가 되었다 해도 과언이 아닐 것이다. 일반적으로 센서는 사람의 감각 중의 하나를 이용하여 에너지나 물질의 존재를 알려줄 수 있는 장치로 정의된다. 가정의 화재경보기가 그 한 예가 될 수 있을 것이며 군대에서는 레이더 혹은 레이저와 같은 장치를 들 수 있다. 화학센서는 위의 예들과는 어느 정도 차별화 될 수 있다. 예를 들어 페놀프탈레인의 경우 수소이온의 농도를 감지할 수 있는 센서 장치라 할 수 있으며 화학센서의 한 예가 될 수 있다. 굳이 정의를 하자면 Chemosensor란 어떤 물질이나 에너지의 존재를 감지할 수 있는 무생물적 화합물로 설명될 수 있다.

이와 마찬가지로 설명하자면 Biosensor는 어떤 물질이나 에너지의 존재를 감지할 수 있는 생물학적 물질로 정의될 수 있지만 최근 Biosensor는 이보다 더 넓은 의미로 사용되어 실제 Chemosensor와의 구분이 쉽지 않은 경우가 종종 있다. 화학센서가 완성되기까지는 화학, 물리, 생명과학, 전자·전기 그리고 최근에는 나노과학에 이르는 다양한 전공이 필요하며 분석하고자 하는 물질 혹은 에너지를 감지하는 방법에도 형광, 색변화, 전기화학적 분석방법 등이 이용되고 있다. 여러 분석 방법

중에서 형광을 이용하는 방법은  $10^{-9}$  M 농도에서도 신호를 관찰할 수 있는 아주 뛰어난 감도, 비교적 간단한 측정 방법 등의 장점을 가지고 있다.

최근 초 분자화학 (Supramolecular chemistry)에 대한 이해와 연구는 선택적으로 이온, 혹은 여러 가지 다른 종류의 Analyte들과 결합할 수 있는 Host의 설계에 중요한 정보를 제공해 왔으며 최근 이러한 초분자 화합물을 형광물질에 연결시킴으로써 특정 Analyte와의 선택적 결합을 형광변화를 이용하여 보다 손쉽게 관찰할 수 있는 형광 화학센서 (Fluorescent chemosensor)의 개발에 대한 연구에 큰 도움을 주고 있다. 또한, 형광화학센서 연구는 최근 세포 내 신호전달 체계에 대한 연구와 관련되어 셀 내에서의 이미징화, 그리고 환경적으로 중요한 이온 및 중성 유기 분자의 검출의 필요성으로 많은 관심이 집중되고 있는 분야이다.

형광센서는 일반적으로 아래와 같은 세 가지 형태로 구분될 수 있다. 가장 보편적으로 이용되고 있는 방법으로 분석하고자 하는 이온 혹은 물질이 센서의 인식부분과 결합을 하게 되면 신호를 나타내는 부분에서 형광변화를 보임으로써 분석하고자 하는 물질의 존재 혹은 농도를 알아낼 수 있는 방법이다. 먼저 수용체가 지시약 (Indicator)과 결합을 하고 다시 수용체가 분석하고자 하는 물질과 결합을 하면

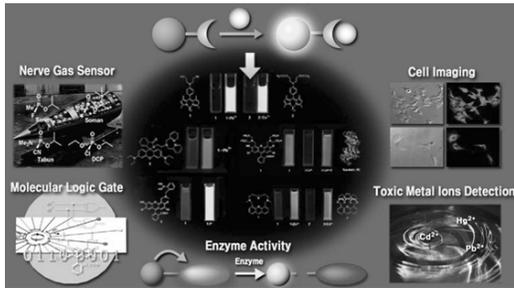


그림 1. 형광센서의 일반적인 응용 예.

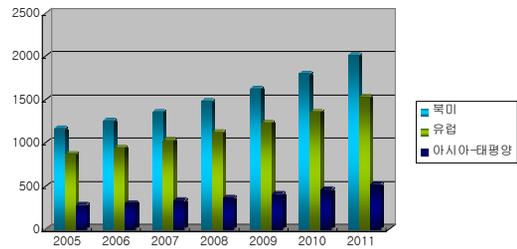
지시약이 결합자리를 떠나면서 형광 혹은 색변화를 나타내는 경우와, 화학센서라기보다는 화학정량계 (Chemodosimeter)라는 표현이 적당하며, 이 경우는 분석하고자하는 물질과 결합을 하게 되면 다른 화학적 반응을 통해 형광변화 혹은 색변화를 나타내는 예이다. 최근 많은 연구가 진행 중인 형광화학센서는 그림 1과 같이 세포내 이미징, 환경유독물질검출, 신경독가스검출, 효소반응속도측정 그리고 분자 연산 (Molecular logic gate) 등에 응용되고 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 세계 시장 동향

바이오센서를 포함한 바이오칩 시장은 매년 개발되는 새로운 기술로 인해 지속적인 성장을 거듭하고 있으며, 기술적, 경제적인 투자 등 많은 지원을 받고 있다. 아직까지는 미국, 일본, 및 유럽이 전 세계 시장의 80% 이상을 차지하고 있으며, 체계적이고 지속적인 지원과 재료 및 소자 기술 개발 등으로 많은 노하우와 기술이 축적되고 있다. 미국의 홈케어 (Homecare)를 포함한 바이오 칩 시장은 현재 약 72억 달러에 이르며 2001년부터 시작하여 2006년까지 매년 6.7%의 성장률을 보여주고 있고, 이러한 추세라면 2011년경에는 101억 달러 규모로 성장할 것으로 예상된다. 전체 시장의 26.2%를 차지하는 진

표 1. 국가별 바이오센서 세계 시장 규모 (Frost and Sullivan, 2005).



단기기 부분이 전체 판매에서 가장 큰 부분을 차지하고, 뒤를 이어 기타 의료 기기들이 18.7%, Infusion products 17.5%, 신장 투석기기 8.6%, 호흡기 관련 치료 기기 6.7%, 가정용 세동제거기 (Home defibrillators)가 0.2%를 차지하고 있다.

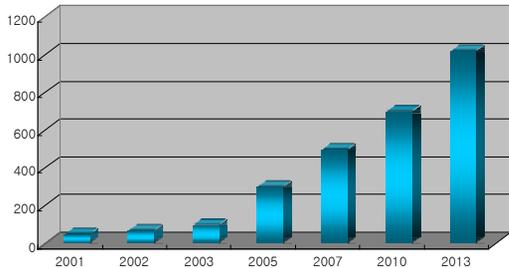
바이오칩의 세계 시장은 2011년 약 54억 달러규모에서 2012년에 약 61억 달러, 2013년에 약 69억 달러, 2014년에 약 76억 달러, 2015년에는 약 86억 달러로 크게 증가할 것으로 전망되고 있다. 표 1에서와 같이 바이오칩 세계 지역별 시장은 북미, 유럽, 아시아 순으로 규모가 크며 차지하는 비중 또한 절대적인 것을 알 수 있다.

### 2.2 국내 시장 동향

국내 바이오칩 기업들이 주로 관심을 가지고 있는 분야는 90% 이상이 의료용 바이오센서로, 식품 분석용, 환경용과 연구용 및 그 밖에 다른 분야의 바이오센서에 대한 관심은 상대적으로 낮은 편이지만 소비자들의 건강과 웰빙 (Well-being)에 대한 관심이 고조되고 있으므로 혈당 바이오센서뿐만 아니라 젖산, 콜레스테롤과 같은 생체 물질, 환경오염 물질에 대한 바이오센서의 수요가 증대될 것으로 예상된다. 국내 바이오칩의 시장 규모는 2001년에 약 50억 원, 2003년에는 약 100억 원 정도의 시장이 형성된 것으로 알려짐. 국내 시장 성장률이 향후 세계 시장의 연평균 성장률과 비슷하다고 할 때 표 2에서와



표 2. 바이오센서의 국내 시장규모 및 전망 (한국과학기술정보연구원).



같이 2013년에는 약 1000억 원이 넘을 것으로 예상된다. 이러한 수치는 세계 시장의 연평균 성장률로부터 추정된 것으로 국내 시장이 아직 초기 단계에 있는 것과 국내 나노 기술 연구 등의 활성화를 통해 연구용 바이오센서의 수요가 증가할 것을 고려해보면 국내 시장의 성장률이 세계 시장 성장률 보다 높을 수도 있을 것으로 예상된다.

### 2.3 산업적 동향

광학적인 측정 방법을 이용하여 다양한 생화학물질들의 상호 반응을 검출하는 방법은 생화학 실험실 등에서 현재 널리 이용되고 있으며, 주로 Optical dye를 이용한 광학적인 측정방법은 감도가 매우 좋고 감지 선택성이 우수한 장점을 가진다. 일반적으로 형광물질, 인광물질, 발색물질, 방사선물질 등의 발광물질을 인식물질에 표지하여 인식물질과 분석물질과의 반응 유무를 표지된 발광물질의 광신호를 감지하여 검출해내는 기술을 표지식 바이오 포토닉 센서 기술이라고 부르고, 현재 이를 상용화하여 대부분의 생명 과학 연구와 제약의 선별이나 검사에 형광이나 발색이 가능한 화학적 표시자를 공통적으로 부착하여 사용하고 있다. 한편 이와 관련한 연구개발에 있어 방대한 양의 데이터를 빠르고 효율적으로 만들고 처리할 수 있는 작업이 필요하게 되고, 이러한 필요를 충족시킬 기술로 수천 혹은 수만 개의 생물체

이터를 한꺼번에 만들거나 실험실에서 사용되는 여러 분석 과정을 하나의 칩에 집적한 바이오칩 (Biochip) 기술이 대두되고 있다.

### 2.4 환경적/정책적 특성

인류의 산업 활동 및 화석 연료 사용량의 증가로 야기된 환경오염의 문제를 예측하고 개선하기 위해 생명체를 이용한 바이오 모니터링 시스템이 다양하게 적용되고 있다. 환경호르몬, 폐수의 BOD, 중금속, 농약 등과 같은 환경관련 물질을 검출하며, 각종 환경호르몬의 감지를 위한 센서의 개발의 비중이 점차적으로 증가되고 있으며, 기존의 생물/의학 분야에 주로 한정되어 있는 바이오칩/센서 기술을 환경 분야에 적용하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 따라서 이러한 경향에 맞추어 국내 관련 기업들의 경우 적극적인 바이오칩 관련 역량을 확보하여 빠르게 변화하는 기술 환경에 대처해야 할 것으로 보인다.

바이오칩 기술은 반도체, 전자, 정보, 나노, 생명공학 등의 다양한 분야들이 융합된 융합기술로서 그 성장 가능성이 무궁무진하며 관련 기술들의 혁신이 지속적으로 이루어지고 있는 초기 성장 단계의 산업이다. 국내에서는 연구개발용, 임상진단용 바이오칩이 일부 개발되어 시판되고 있으나 아직도 본격적인 상업화는 더 많은 시간이 요구되는 실정이며, 세계와 비교하여 매우 열악한 환경과 수준에 머물러 있는 국내의 바이오칩 산업 분야의 어려움을 극복하고 향후 관련 분야에서 선도국들 대열에 진입하기 위한 노력이 필요하다. 따라서 대학과 연구소들을 중심으로 한 전문 인력의 양성이 시급하고 아울러 관련 재외 한국인 또는 외국 전문가의 영입이나 그들과의 적극적인 교류를 추진하는 노력 필요하며 R&D 투자의 후발성과 낙후성을 극복하기 위해서는, 바이오칩 분야의 특성상 전문성과 능력별로 선별된 상위 그룹 연구자들에 대한 집중적이고 전폭적인

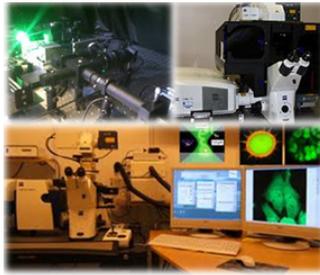


지원 및 육성이 필요하다. 바이오칩 분야의 특성상 참여와 협력이 필수적이므로 산학연의 공조가 가능한 Public-Private Partnership 개념의 지원 체제가 바람직하며 정부와 기업의 지원 및 투자 효과가 단기적으로 극대화되어 나타나지 위해서는 선별적이고 집중적인 지원 전략이 필수적이며 국내 관련 기관들은 자체 기술개발이나 라이선스 등을 통해 조기 원천기술 확보노력이 필요하다고 할 것이다.

### 2.5 바이오칩 연구개발 특성

기존의 관련 특허들을 분석한 결과, 기존 특허는 단백질을 검출하는 센서분야에 치중되어 있다. 특히 학교나 연구소의 나노형광체 합성 기술과 관련 제조업체의 바이오칩 제작기술을 접합하여 화학적 유해물질 등을 검출하는 나노형광바이오센서를 개발하는 방향으로 연구가 추진되고 있다. 또한, 학계에 보고된 논문들을 검색한 결과, 기존 논문은 DNA를 이용한 의료진단 분야에 치중되어 있는 것으로 판단할 때, 실제 기업들의 매출과 직결될 수 있는, 환경/식품 시료에 대한 위해 물질 분석 기술 개발 방향으로 연구개발이 추진되는 것으로 판단된다.

농약이나 항생제 또는 다이옥신 같은 유해물질들을 분석하는 가장 일반적인 방법은 GC/MS와 LC/MS를 이용하는 방법이다. 이 방법은 좋은 검출한계를 가진 장점이 있지만, 복잡한 시료 전처리 절차와 긴 분석시간, 비싼 분석비용 그리고 현장에서 분석할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이런 단점들을 극복하기 위해서 나노형광바이오칩을 이용한 휴대용 검사 장비를 제작할 수 있는 기



<기존의 대형 형광센서 시스템>



<이동형 형광센서 시스템>

그림 2. 기존 대형 형광센서 시스템과 이동형 형광바이오 센서의 예.

초 기술이 개발되고 있다. 국내 및 국외시장 분석결과 농약이나 항생제 또는 다이옥신 같은 유해물질들은 ELISA kit 제품 등의 생산 및 판매가 이루어지고 있으나, ELISA kit의 경우 비슷한 구조를 가진 화합물이나 비슷한 흡수 파장을 가진 화합물의 간섭으로 인해 정량분석이 어려우므로, 고감도 분석이 가능한 나노형광프로브를 이용한 형광센서로 유해 물질을 현장에서 즉시 검출실험을 할 수 있는 나노형광바이오센서 제품 등을 제작할 수 있는 기반 기술을 개발하고 있다.

### 2.6 연구개발 및 사업화 경향

의학 산업을 포함한 생명산업의 지대한 발전과 더불어 현재 생명분야를 포함한 다양한 학계 및 산업 기반에서 가장 주목받고 있고 발전을 거듭하고 있는 분야 중 하나인 바이오칩은 유기물인 생물체의 특정한 기능을 가지고 있는 효소, 단백질, 항체, DNA, 미생물, 동식물 세포/기관, 신경세포와 같은 생체 물질을 Silicon, Glass, Polymer로 구성된 Manifold에 조합시킴으로써, 사용 목적에 맞게 재설계된 디바이스로서, 1970년대에 생물조직체가 가지고 있는 새로운 기능, 즉, 다중처리 기능, 무한대의 기억기능, 자기 조립 기능을 응용하기 위하여 시작되었으며, 생체 물질의 특이 반응을 이용한 질병진단 및 생물물질 분석 및 측정에 많은 발전을 보이고

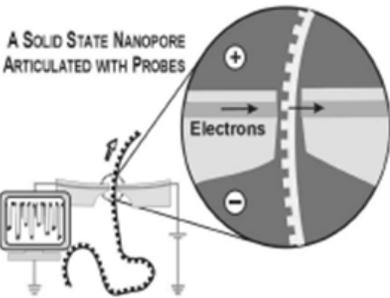
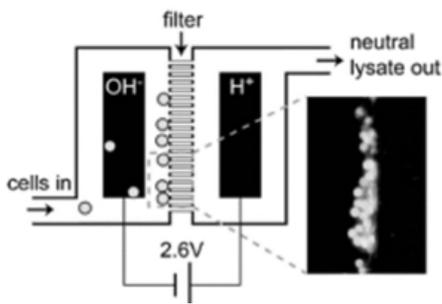


그림 3. Lab on a chip의 응용 예.

있다.

최근 들어 바이오칩은 빠르고 저렴하면서도 정확하게 질병을 진단하는 분석 시스템뿐만 아니라, 바이오신약을 개발하고 맞춤형 치료를 위한 대용량 고속 분석 분야에까지 점차로 응용 영역이 넓어지고 있으며 이러한 혁신적인 진단 및 분석 시스템은 다양한 학제 간 협력과 새로운 원리개발에 힘입어 빠른 속도로 발전하고 있기 때문에, 바이오칩 초기에 연구되었던 DNA칩뿐만 아니라, 단백질칩, 세포칩 등 다양한 Chip을 개발하고 응용되어 진다. 예를 들면, 패혈증이나, 성병 또는 간염 등 박테리아나 바이러스 감염 등의 유무를 검사하기 위해서는 DNA/RNA 칩이 주로 사용되어 지고, 단백질 Biomarker가 존재하는 암을 포함한 중앙관련 질환이나 심장질환 질병은 DNA 칩을 이용하기도 하나, 단백질 칩을 주로 이용한다.

최근에 특정한 질병에 관련하여 맞춤형 치료를 위한 치료제 개발에는 자신의 세포를 이용한 세포칩을 이용한다. 이러한 다

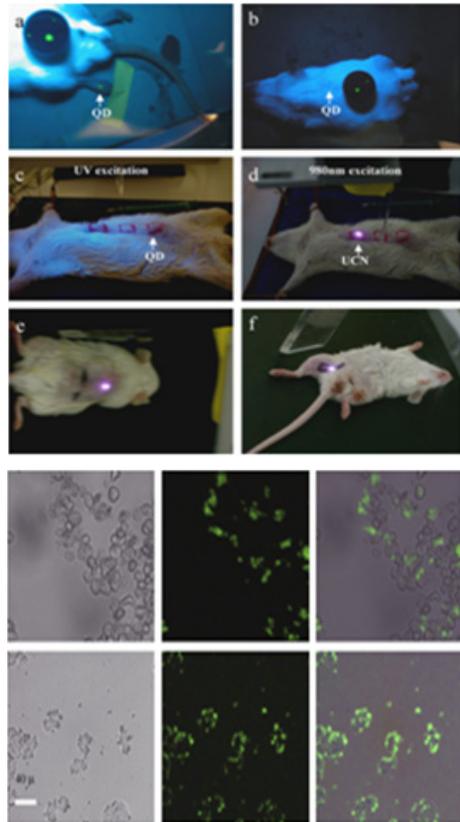


그림 4. Upconversion 형광체를 이용한 Bioimaging의 응용 예.

양한 바이오칩 분야에서 최근에 중요성이 부각되는 분야는 다시료 동시측정이 가능한 Microarray 분야, 극저농도 측정을 위한 Nano기술을 이용한 Nano sensor 분야, 측정 및 분석이 전공정으로 이루어지는 Lab on a chip 분야이다. Lab on a chip은 바이오칩을 이용하여 임상실험 등에서 사용되기 위해서 피, 소변, 침과 같은 최초의 시료에서 측정 신호를 얻을 때까지의 필요한 전 공정을 완전 자동화하여 사용하기 편리하게 한 바이오칩으로써 이를 위해서는 단위 칩상에 시료 분석에 필요한 모든 구성요소가 포함되어야 하고, 각각의 구성요소는 마이크로 플루이딕 도관을 통해 연결되어 있어야 한다. 이를 위한 연구 결과 및 상업적인 성과물은 생





물체 분석에서 적은 양의 시료 (<1 uL)를 사용하고, 분석 시 사용되는 시약의 양 또한 감소시켜 한 시료당 요구되는 분석 Cost를 낮출 수 있게 하고 있다.

또한, 생체를 고해상도로 살아있는 상태에서 분자수준의 구조적인 변화와 함께 기능적인 변화를 관찰을 할 수 있는 바이오 의료영상 기술의 개발 및 적용은 미래의료기술의 핵심적인 분야로 인식되고 있다. 질병의 진단 및 치료가 동시에 가능한 나노바이오 연구들이 임상에 적용되기 위해서는 세포와 분자를 표적하여 효율적으로 표지 (Labeling, Imaging) 하기 위한 다양한 나노입자의 개발이 필수적이다. 이를 위해, 기존의 의료 진단용 형광물질이 X선이나 자외선을 이용하여 인체에 장기간 조사하였을 경우 DNA 파괴 혹은 세포괴사와 같은 문제가 발생하게 되는데 반해, 의료 진단용 Upconversion (UC) 형광체의 경우, 기존의 진단물질과는 달리 낮은 에너지의 근적외선 빛을 이용하기 때문에, 자외선이나 X-선을 조사하였을 때 발생하는 문제들을 미연에 방지 할 수 있는 장점이 있다.

이러한 UC 형광체의 모체로써 가장 높은 효율을 가지고 있다고 보고되고 있는 NaYF4와 같은 물질의 경우 공기 중 혹은 생체 내에서 반응 부산물로써 HF가 생성되어 인체에 유해한 영향을 끼칠 수 있으며, 할로젠족 원소의 특성상 물리/화학적으로 불안정하다. 따라서 이를 대체하기 위하여 상온에서 화학적으로 안정한 금속산화물들을 이용한 새로운 UC 형광체의 합성과 효율향상에 대한 연구가 절실히 요구된다. 따라서 UC 형광체의 독특한 물리화학적 특성을 이용하여 나노형광바이오칩 산업발전에 기여할 수 있는 디바이스 개발에 대한 연구가 진행되고 있다. 따라서 나노사이즈의 새로운 산화물계 UC 형광체를 공업적으로 대량 합성하고, 합성공정 최적화를 통하여 그 효율을 기존의 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Er/Yb 대비 동등 이상으로 향상시키며, 이를 형

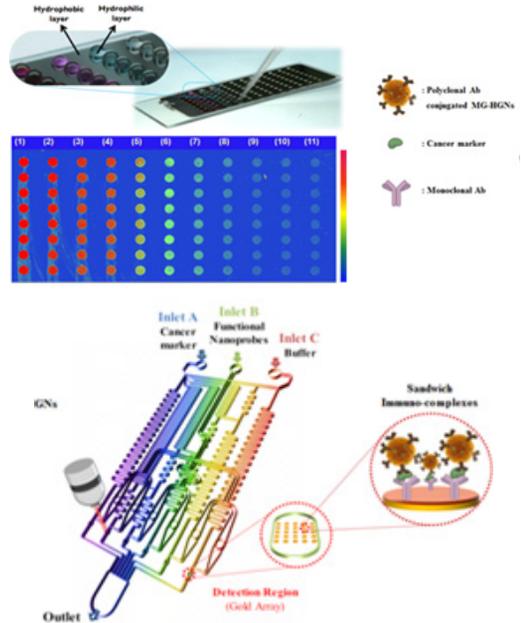


그림 5. 고정밀 신속 다중 농도 검출용 Micro well chip과 Gradient chip의 예.

광바이오칩에 적용하기 위한 실질적인 연구 개발이 필요하다고 판단된다.

또한, 식품, 농축수산물 등에 포함된 유해 물질의 다중 고감도 검출을 위한 형광 나노입자 및 나노형광프로브 제작기술개발이 필요하다. 즉, Down-conversion (DC) 및 Upconversion (UC) 형광 고감도 나노입자 제어 기술을 개발하여 기질과 나노형광입자가 융합된 나노형광바이오 프로브 제작 기술을 개발하고, 환경오염물질, 농약, 항생제, 성장촉진호르몬, 기타 발암물질 등 검출 대상물질에 고감도 및 고재현성을 갖는 나노형광바이오 프로브 제작기술 개발이 진행 중이다. 식품 내 발암물질의 신속 다중 검출을 위한 바이오칩 제작기술 개발을 위하여 고감도/다중분석을 위한 신개념 Micro well chip 제작기술 및 다중 농도 검출을 위한 고정밀의 Lab on a Chip (Gradient chip) 제작을 위한 정밀기술 개발과 유해물질 등의 다중 검출 및 자동화를 위한 미세유체칩 제

어 기술개발이 현업에서 활발히 진행되고 있다.

### 3. 결론 및 전망

바이오나노센서 기술과 휴대용 광센싱 시스템이 통합된 유해물질 검출시스템은 바이오, 나노, 정보, 환경, 식품 기술이 융복합된 IT/BT 융합 기술로써 추후 관련된 기업들의 새로운 투자처가 될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 식품 등의 유해물질 신속 다중 검출을 위해서 개발된 요소기술의 효율적인 융합을 통하여 휴대용 통합 검출시스템으로 개발될 수 있을 것으로 사료되며, 추가적인 연구를 통하여 개발될 Micro ELISA 키트 및 Microfluidic chip 등의 개별 기술은 독자적으로 사업화가 가능하며, 다양한 생체/환경 물질분석기술에 적용할 수 있을 것으로 본다. 최종적으로는 검출 대상 물질에 따라 적합한 분석법 선정을 통하여 검출대상에 고특이성과 고감도를 갖는 현장적용 가능한 휴대용 검사장비 시스템으로 개발될 것으로 보인다. 이러한 휴대용 광센싱 시스템 등의 기술은 선진국에서도 식품 내 유해물질 현장검출에는 아직 범용적으로 이용되지 않고 있는 실정이기 때문에, 개발이 성공적으로 이루어진다면 현장검출 분야를 선점할 수 있을 것으로 기대되며, 새로운 해외시장을 개척할 수 있을 것으로 기대 된다.

### 참고 문헌

[1] Gryniewicz, G.; Ponie, M.; Tsien, R. Y. *J. Biol. Chem.* 1985, 260, 3440.  
 [2] Federal Register (1989) Drinking water, national primary drinking water regulations; total coliform; total coliforms (including fecal coliforms and *E.coli*); final rules. Fed. Reg. 54. 27544-

27568.  
 [3] Walkup, G. K.; Burdette, S. C.; Lippard, S. J.; Tsien, R. Y. *J. Am. Chem. Soc.* 2000, 122, 5644.  
 [4] APHA, AWWA, and WPCF (1992) Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed. (Greeberg, A.E., Clesceri, L.S., and Eaton, A.D., Eds.), Am. Public health Assoc., Washington, DC.  
 [5] Minta, A.; Tsien, R. Y. *J. Biol. Chem.* 1989, 264, 19449.  
 [6] R. Bordner, J. Winter, and P. Scarpino (Eds). *Microbial methods for monitoring the environment: Water and wastes*, EPA-600/8-78-017, Environmental Monitoring and Support laboratory, US Environ, Protect. Agency, Cincinnati, OH.  
 [7] Masilamani, D.; Lucas, M. in *Fluorescent Chemosensors for Ion and Molecule Recognition*, Czarnik, A. W. Ed.; American Chemical Society, Washington DC, 1993, p162.  
 [8] Vance, D. H.; Czarnik, A. W. *J. Am. Chem. Soc.* 1994, 116, 9397.  
 [9] S. Edberg, M. J. Allen, D. B. Smith, and National Collaborative Study, *Appl. Environ. Microbiol.* 54, 1595-1601, 1988.  
 [10] Anzenbacher, P. A.; Jursikova, K.; Sessler, J. L. *J. Am. Chem. Soc.* 2000, 122, 9350.  
 [11] Ojida, A.; Mito-oka, Y.; Inoue, M.; Hamachi, I. *J. Am. Chem. Soc.* 2002, 124, 6256.  
 [12] Junhong Min and Antje Baeumner, *Analytical biochemistry*, 303, 186-193, 2002.  
 [13] Schneider, S. E.; O'Neil S. N.; Anslyn, E. V. *J. Am. Chem. Soc.* 2000, 122, 542.  
 [14] Kim, S. K. Singh, N. J. Kim, S. J. Kim, H. G. Kim, J. K. Lee, J. W. Kim, K. S. Yoon, *J. Org. Lett.* 2003, 5, 2083.  
 [15] R. C. Boom, J. A. Sol, M. M. Salimans, C. L. Janson, P. M. E. Wertheim-van Dillen, and J. Van Der Noordaa, *Journal of Clinical Microbiology*, 28, 495-503, 1990.  
 [16] Nathaniel C. Cady, Scott Stelick, and Carl A. Batt, *Biosensors and Bioelectronics*, 19, 59-66, 2003.  
 [17] Malgorzata A witet, Shawn D. Llopis,





Abigail Wheatley, Robin L. McCarley, and Steven A. Soper, Nucleic acids research, 34(10), e74-e79, 2006.

[18] Yoon, J.; Czarnik, A. W. J. Am. Chem. Soc. 1992, 114, 5847.

[19] James, T. D.; Sandanayake, K. R. A. S.; Shinkai, S. Angew. Chem., Int. Ed. 1994, 33, 2207.

[20] Zhang, S.-W.; Swager, T. M. J. Am. Chem. Soc. 2003, 125, 3420.

### 저자약력



성명 : 이문권

◆ 학력

• 2002년  
한양대학교 공과대학  
화학과 공학사

• 2004년  
한양대학교 대학원  
화학과 공학석사

• 2012년  
한양대학교 대학원  
바이오나노공학과 공학박사

◆ 경력

• 2004년 - 2008년 마이크로바이오칩센터 연구원

• 2011년 - 현재 세미원 수석연구원

