

산학연 연구실 소개

고려대학교 프론티어 계면공학 연구실 (Frontier Interfaces Group, Korea University)

주소: 서울특별시 성북구 안암로 145 고려대학교 (우: 02841)

전화: 02-3290-3301 (사무실), 02-3290-3729/3793/4584 (연구실)

E-mail: ahn@korea.ac.kr, Homepage: http://ahngroup.korea.ac.kr



연구책임자 | 안동준 교수

고려대학교
KU-KIST융합대학원/
공과대학 화공생명공학과

1. 연구실 소개

고려대학교 공과대학 화공생명공학과와 KU-KIST융합대학원의 프론티어 계면공학 연구실(교수: 안동준)은 1995년에 설립되었다. 지난 20여 년간 다학제적인 접근 방법을 통하여 π -분자와 생체소재(DNA, 단백질, 리피드 등)를 결합한 나노바이오융합물질 합성 연구, 바이오품질의 특이인식에 따른 광전 특성변화 해석을 통한 바이오·식품·포렌식 센서 연구, 그리고 물과 얼음 계면의 상호작용 조절을 통해 식품과 의료분야의 결빙과 해빙을 제어하는 연구를 수행하고 있으며, 자기조립 인공생체막과 기능성 π -유기구조체에 대하여 계산과학을 활용한 구조/기능 예측연구 등을 수행하고 있다(그림 1). *Science*, *Nature Communications*, *Journal of the American Chemical Society*, *Advanced Materials*, *Accounts of Chemical Research*, *Macromolecules* 등 다양한 분야의 권위 있는 국제학술지에 다수의 논문을 게재하고 있으며, 주요 외국 특허(미국, 유럽, 일본)를 포함한 지적재산권의 확보와 이들의 기술이전 및 상용화에도 노력을 경주하고 있다. 한국고분자학회뿐만 아니라 국내외 저명한 학회에서 활발히 연구발표 및 교류 그리고 공동연구를 통해 연구성과의 확산을 활발히 노력하며 과학기술의 발전에 노력하고 있다.

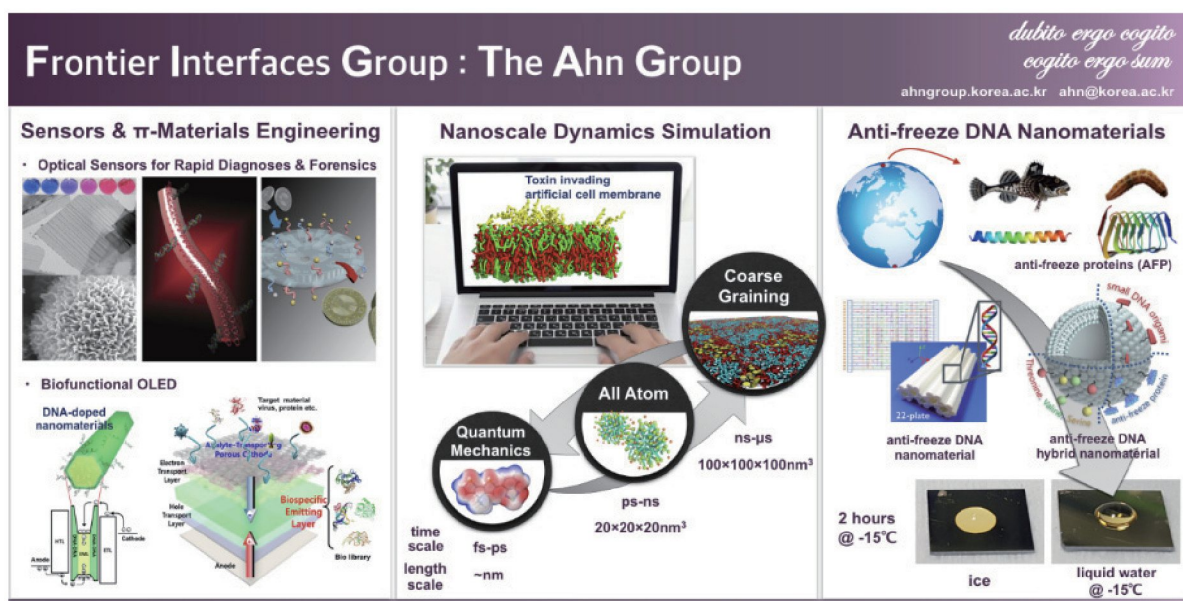


그림 1. 고려대학교 프론티어 계면공학 연구실의 핵심연구분야 개요.

2. 연구 분야 및 내용

2.1 “Turn-on” π -유기분자 및 생체분자의 나노바이오응합 물질 합성

2.1.1 폴리다이아세틸렌 및 폴리티오펜 기반 센서구조체

π -유기분자가 갖는 광학/전기적 특성과 외부자극에 따른 높은 신호감도 및 빠른 응답성으로 이를 활용한 나노센서의 연구가 활발히 진행되고 있다. 유기 분자가 갖는 특성인 손쉬운 기능기 변환을 통해 특정 타겟에 대한 라이브리리를 구축하는데 용이하며 단일분자에 비해 구조체로 형성되었을 경우 형광신호 증폭으로 인해 특이성이 향상되는 장점을 가지고 있다. 또한 Turn-on 광신호 유발 π -유기분자의 경우 Turn-off 물질에 비해 비특이적 인식이 적어 특이성이 높은 타겟인식 센서로 활용될 수 있다.

Turn-on 광신호 기반 π -유기분자 중 대표적 물질인 폴리다이아세틸렌(polydiacetylene)은 고분자의 제조방법, 분자 구조 및 산출 신호의 면에서 특이성을 가진다. 폴리다이아세

틸렌은 자기조립된 다이아세틸렌(diacetylene) 단량체의 광중합에 의해 만들어지며 다이아세틸렌 단량체들이 조직적으로 배열되고, 분자 간의 거리가 충분히 가까울 경우 254 nm의 자외선 노광에 의해 고분자중합이 일어나 고분자 Backbone에 이중 결합과 삼중 결합이 교대로 존재하는 폴리다이아세틸렌이 합성된다. 이 때 중합과정에서 화학적 개시제나 촉매가 요구되지 않기 때문에 불순물에 오염되지 않아 합성 후 추가적인 정제의 과정을 필요로 하지 않는다. 폴리다이아세틸렌이 센서 소재로 많이 연구되고 있는 주된 이유 중의 하나는 외부자극에 의해 청색에서 적색으로 변하기 때문이다. 폴리다이아세틸렌 나노입자를 수용액 상에서 합성하면 용액의 색은 청색을 띄며 약 640 nm에서 최대흡수 파장을 지닌다. 폴리다이아세틸렌 용액은 열적, 화학적, 전기적 자극 등의 변화를 인식하여 약 550 nm에서 최대 흡수 파장을 지니는 적색으로 바뀌게 된다. 수용액 상에서의 쉬운 합성특성과 청색에서 적색으로의 색전이 현상은 무표지센서 소재로서 폴리다이아세틸렌의 큰 장점이라 할 수 있다.

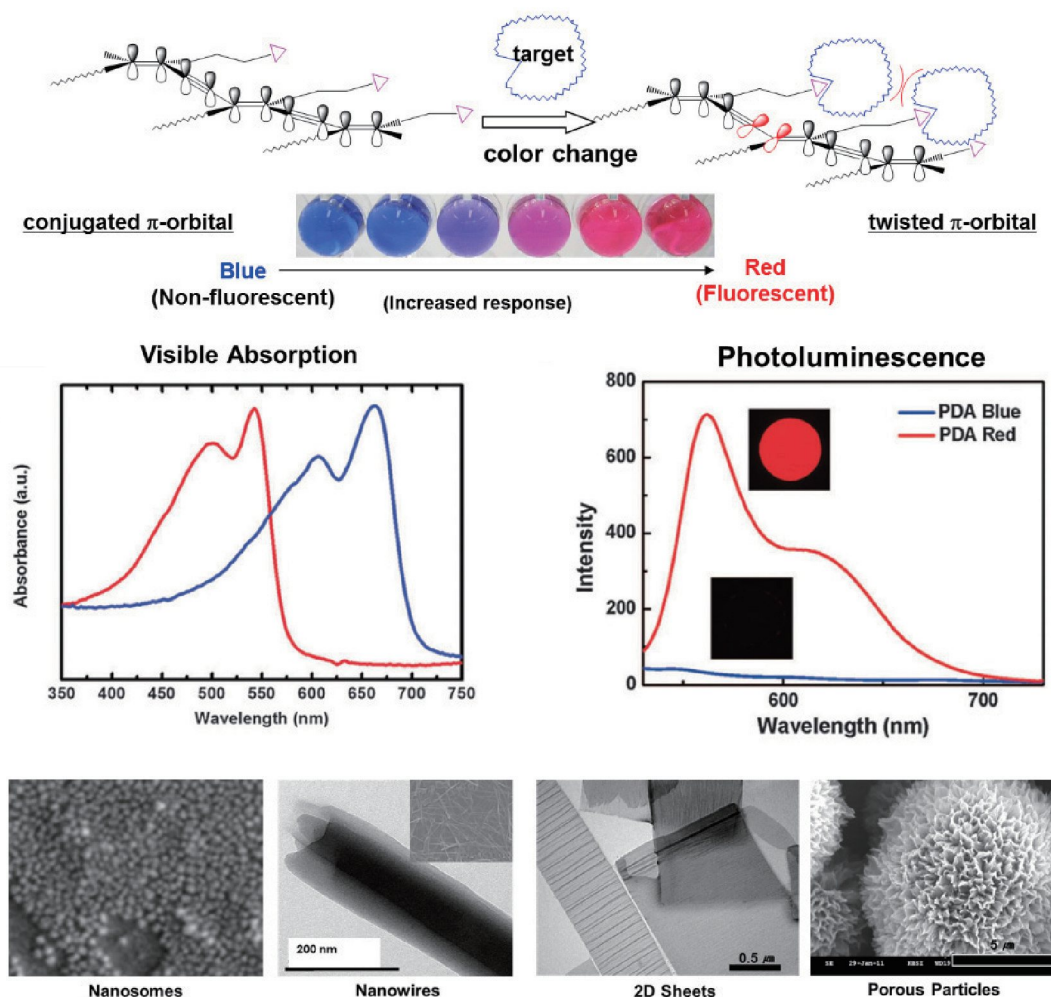


그림 2. 폴리다이아세틸렌 π -고분자의 광학적 특성 및 구조 제어 기술.

본 연구실에서는 합성공정에서 nucleation 및 growth에 영향을 주는 온도, 농도, 외부장 및 용액 조절 등을 통해 액상 결정화를 제어하여 다양한 형태, 크기의 다이아세틸렌 기반 소재합성이 가능하였다. 비표면적과 크기제어를 통해 타겟 인식속도향상에 이용될 수 있는 장점을 가지고 있다(그림 2). 이러한 다양한 소재를 화학/바이오 타겟물질의 검지에 이용한 연구가 활발히 진행되었다.

또 다른 Turn-on 광신호 기반 π -유기분자인 폴리티오펜(polythiophene) 발광입자를 합성하고 생체분자인 앵타머/DNA를 리간드로 활용하여 바이오물질 검지를 한 연구도 진행되었다. 입자 표면에 고정된 앵타머 혹은 DNA와 특이적 상보결합을 하는 타겟 DNA/단백질을 처리하여 변화를 관찰하였다. 그 결과 프로브-타겟물질간 특이적인 결합은 발광입자의 상변화를 유발시키고 결정성을 강화시켜 라만 시그널과 형광 시그널 증폭이 관찰되었다. 이는 타겟물질에 비례적으로 반응하였으며, pM 수준의 저농도 검지도 가능하여 다양한 π -유기분자의 상변화를 이용한 바이오물질 검지의 새로운 길을 보여주었다.

2.1.2 바이오인식기능 유기반도체소재

유기발광다이오드(이하 OLED)는 1963년 안트라센 물질을 시작으로 저분자 및 전도성 고분자 소재를 활용하여 핵심 기술인 고효율 전장발광(Electroluminescence) 특성을 지닌 유기물질의 개발로 휴대전화나 태블릿 PC, TV 등 디스플레이에 주로 사용되고 있으며 IT산업은 더욱 성장하고 있다. 하지만, OLED용 물질을 바이오기능의 분석 및 응용에 적용한 사례는 전무하다. 생체분자 간 상호작용을 기반으로 OLED 기술을 바이오테크놀로지와 융합시킨 시도를 본 연

구실에서 실현하였다. 바이오 생체분자는 생화학 특이작용 인식이 가능한 고유의 특성이 있으며, 이에 대한 매우 방대한 자료가 구축되어 있다. 생체분자인 단일가닥 핵산(DNA, RNA, PNA)을 유도체로 사용하여 OLED 분자를 결정화시켰으며, 마이크로 단위의 작은 크기로 구현해냈다. 이 복합체(이하 바이오-LED 입자)는 이에 상응하는 단일가닥 타겟 핵산물질과의 특이인식 시 발광 효율이 증가하며, 비 특이적 작용의 경우에는 발광효율이 변화하지 않는다. OLED 분자는 입자 내에 고르게 분포하는 반면, 프로브핵산은 모래시계 모양, 타겟핵산은 걸 표면에만 분포한다. 또한 입자의 나노 두께 겹겹질에서 형성되는 DNA-DNA 특이인식이 에너지 소실감소를 일으켜 발광효과가 증폭되는 것을 확인하였다(그림 3). 본 연구에서는 자체발광 특성을 지닌 OLED 소재와 바이오 결합기능이 가능한 생체분자를 융합시키는 새로운 기작을 세계 최초로 보고하였으며, 이를 이용할 경우 바이오산업 분야와 디스플레이 소재산업 분야로의 새로운 융합기술로 자리잡을 것으로 생각된다.

2.1.3 π -유기소재의 안정성 향상 계면기술

π -유기소재의 안정성을 향상시키기 위해 소재표면에 나노실리카 기반 안정화 층을 적용함으로써 소재의 구조 및 기능의 안정성을 6개월 이상으로 크게 향상시킬 수 있었다. 계면설계를 통해 적층된 실리카층은 다공성 구조로 되어 있어 선택적 투과기능뿐만 아니라 내부 π -유기소재의 광학적/구조적 특성뿐 아니라 센싱성능도 유지할 수 있음을 확인하였다. 금속입자표면에 둘러쌓인 실리카를 템플레이트로 활용하여 다양한 성분의 금속입자 제조가 가능하며, 실리카층 내부의 금속 크기 및 형태에 따라 product 입자형태 제어가 가

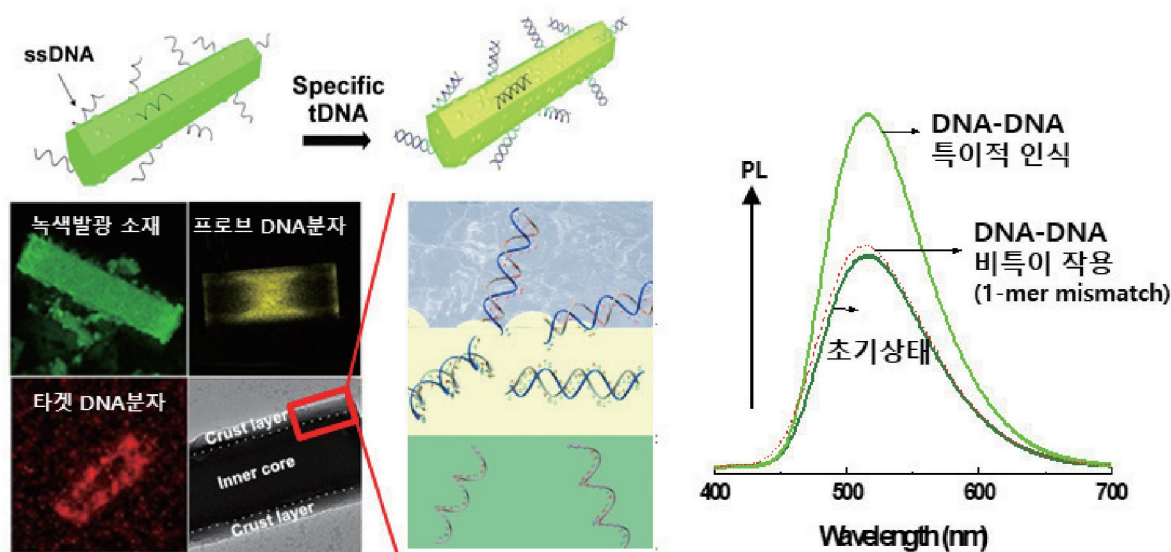


그림 3. 바이오인식기능 유기반도체소재 특성 및 특이인식에 따른 발광특성.

능하였다. 본 연구를 통해 개발된 새로운 계면합성기술은 다양한 다중 조성의 나노구조체 합성과 더불어 소재의 안정성 향상 연구에 응용되어 산업적 적용에 한걸음 다가선 진보라 생각된다.

2.2 물과 얼음의 계면특성 증강을 통한 결빙제어연구

생물, 식품, 의학분야에서 시료 및 식품을 저온으로 보존하려는 목적은 시료 고유의 성질을 지속적으로 유지하기 위한 저장 기능 그리고 보관과 분석에 용이하도록 시료의 성상을 변화시키기 위한 가공 기능을 포괄한다. 시료 및 식품을 상온에서 방치했을 때 발생하는 물리적, 화학적, 생화학적 또는 미생물적 변화는 품질을 저하시키는데, 생산에서 분석, 소비 등 활용 전 과정에서 상태 변화가 일어나지 않고 그 특성을 유지하기 위해 여러 가지 방법들이 적용되고 있다. 현재 생체시료의 냉동보관을 위해서 급속냉각 또는 화학적 보존제(DMSO, 글리세롤, 에틸렌글리콜 등)를 사용하지만, 이 방법으로도 생체시료의 회수율이 적게는 20%에서 많게는 50%에 불과하다. 현재 보고되어 있는 결빙방지단백질 보존제인 AFP(anti-freezing protein)는 극지대 식물, 곤충, 효모, 생선 등에서 추출된 천연 보존제이며 단백질이 얼음표면에 붙어 결정형성을 방해함으로써 보존효과를 높이는 것으로 알려져 있다. 하지만 단백질 소재의 불안정성, 높은 단가 및 대량생산공정의 미확보 등의 한계점을 가진다. 이러한 한계점을 극복하고자 물/얼음 계면의 증강제어를 통해 결빙제어 소재개발을 연구하고 있다. 결빙제어 소재기술의 예로 결빙방지단백질 표면모사 단분자막이 자기조립된 기판위에 물을 떨어트려 결빙제어능을 확인하였다. -15 °C에서 냉동보관 한 후, 육안으로 보이는 얼음과 물방울의 투명도 및 반사도의 차이, blowing에 물방울이 흘러내리는 현상을 통해 표면개질하지 않은 금코팅 기판 위 물방울은 결빙됨을 보였으나, 단분자막으로 표면 개질된 금코팅 기판 위 물방울은 결빙되지 않음을 확인하였다.

소재설계 및 합성 기술, 전산모사 활용 최적설계 기술, 계면성능 미시 분석 및 평가기술, 저온보존 기술, 대량생산 기술 등의 연구들을 바탕으로 결빙제어 기능 보유 원천소재를 개발하고 있다. 미래소재디스커버리사업으로서 “물:얼음 증강계면 연구단”을 출범하여 화학공학, 물리학, 화학, 기계공학, 생명공학, 의학 등 각 분야의 저명한 연구진들과 함께 협동연구를 진행하고 있다. 궁극적으로 동결보존에 새로운 패러다임을 제시할 수 있는 원천기술을 확보하여 국가 동결

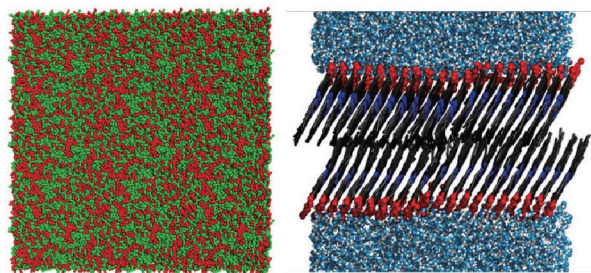


그림 4. 계산화학을 활용한 π -유기구조체의 분자구조 예측(예: 폴리다이아세틸렌 Bilayer의 분자동역학모델).

보존 관련 산업의 활성화 및 세계 선도, 삶의 질 향상 및 건강사회로의 발전을 촉진하는데 기여하는 국가적 미래소재로써 자리매김하고자 한다.

2.3 분자동역학을 활용한 구조 예측 연구

π -유기소재의 구조와 생체분자간의 상호작용 현상을 예측하고 해석하기 위해 계산화학을 활용하여 예측하는 연구도 활발히 진행되고 있다. π -유기분자의 분자구조, 비율, 이온화정도 등에 따라 마이셀, 실린더형 마이셀, 베시클 등 다차원 구조체를 제어할 수 있음을 확인하였으며, π - π stacking 정도 및 국소적 구조해석을 예측하였다(그림 4). 분자 거동 예측을 통해 모델링한 구조체 표면이 타겟물질검지를 가능하게 하는 메커니즘을 규명하는 노력을 경주하고 있으며, 실험분석의 한계를 계산화학으로 보완함으로써 새로운 소재 개발 방법론을 구축해 나가고 있다.

3. 맺음말

고려대학교 프론티어 계면공학 연구실은 안동준 교수와 학생들이 소통하고 토론하며 다양한 연구를 활발히 진행하고 있다. 60여 명의 석사/박사학위 졸업생 연구인력을 배출하였으며, 졸업생들은 인하대, 국민대, 중국연변대, 한국과 학기술연구원, 삼성전자, 삼성SDI, LG화학, LG디스플레이, 롯데케미칼 등의 대학과 연구소에서 R&D 활동을 지속하고 있다.

본 연구실의 자세한 연구내용 및 관련 연구논문들은 홈페이지(<http://ahngroup.korea.ac.kr>)를 참고하시기 바라며, 미래의 계면공학 프론티어를 함께 개척하고자 하는 박사과정 및 박사후 연구원 인재를 모집하오니 연락주시면 감사하겠습니다(ahn@korea.ac.kr).