

고분자 관련 연구원 소개

## 대한민국 고분자 재료 연구의 50년을 함께 한 한국과학기술연구원의 과거, 현재 그리고 미래

주소: (우: 02792) 서울시 성북구 화랑로 14길 5

전화: 02-958-5114, FAX: 02-958-5478

Homepage: <http://www.kist.re.kr>



이병권 원장  
한국과학기술연구원

한국과학기술연구원(Korea Institute of Science and Technology, KIST)은 1966년 우리나라 최초의 과학기술 연구소로 출범하여 현재에 이르기까지 대한민국의 국가 과학연구를 견인하며 국가 발전에 주요한 중심축 역할을 수행하였으며, 또한 많은 정부출연연구소들을 탄생시키며 한국 과학 기술의 모태이자 기준이 되어왔습니다.

2016년 설립 50주년을 맞이하는 KIST는 고령화 사회 및 에너지·식량·수자원 등 미래 변화에 대비하고, 융·복합 연구와 개방형 협력을 통해 사회문제를 해결하여 국민행복을 증대시키기 위해 힘쓰고 있습니다. 이를 위해 다양한 소재 분야에서의 신물질 개발 및 산업기술로의 응용화에 수월성을 다져온 지난 50년의 역사 중 고분자 재료 연구 분야는 가장 중추적으로 KIST의 연구역량 및 국가 기간산업의 중핵을 지탱해 왔습니다.

이에 본고에서는 KIST 고분자 연구의 지나온 발자취를 돌아보며, 건강하며 풍요로운 미래 사회 건설을 위한 KIST 고분자 재료 연구 분야에서의 지금과 미래를 위한 준비를 간단히 살펴보고자 합니다.

### 1. 고분자 연구조직의 설립 연혁

KIST 내에 고분자 연구실이 설립되었던 1969년 이후 시작된 KIST의 고분자 재료 연구는 범용제품의 대량생산을 통한 수출 및 고용창출을 통하여 개도국 시절의 국가경제에 이바지 해 온 바와 함께, 1970년대부터 시작된 중화학공업의 육성책에 따라 건설한 인프라 구축에 이바지하며 우리나라 고분자 산업의 한 축을 담당해왔습니다. 1975년 합성수지연구실에서 인쇄회로기판 및 bendable plastic straw의 국산화에 성공하여 각각의 기술을 금성사와 상경물산에 이전한 것을 시작으로, 연구인력의 확충 및 다양한 고분자 재료 개발에 대응하기 위하여 1985년 고분자 연구부로 확대 개편된 이후 아라미드필프, 리오셀인전, 이온교환수지, 감광성 수지, 고흡수성 수지 개발 등에서 국가적 주요 기술 확립 및 개발된 기술의 기업이전(코오롱, 삼양사 등)을 통한 기술 산업화 완성이란 목적을 남긴 바 있습니다. 특히 비디오테이프용 폴리에스터 필름은 KIST를 중심으로 한 순수국내기술로 개발돼 세계시장의 40%를 점유하는 쾌거를 달성했습니다. 1980년대 말 복합재료연구실이 고분자연구부 내에 새로이 설립되면서 고분자 수지 합성 연구실, 고분자 공정 연구실, 생체고분자 연구실, 고분자 기능재료연구실, 복합재료 연구실로 고분자 재료 연구 체계 구성이 완성된 이후 국가연구개발 핵심 전략에 대응하기 위한 수차례의 조직 개편을 거쳐 현재는 물질구조제어연구센터, 광전하이브리드연구센터, 생체재료연구단, 양자응용복합소재 연구센터, 탄소융합소재연구센터, 다

기능구조용 복합소재연구센터 등에서 40여 명의 박사급 선·책임연구원이 고분자 재료 관련 중점 과제책임자로 연구를 수행하고 있고, 10여 명의 석사급 연구원 그리고 약 160여 명의 박사 후 연구원 및 학연학생들이 함께 연구를 수행하고 있습니다.

## 2. 세부 분야별 고분자 연구활동

### 2.1 구조 및 전자재료 분야

오늘날 첨단 산업 분야부터 일상적 사회 환경에 이르기까지 다양한 현장에서 수많은 변화와 새로운 도전을 기존의 산업 선진국과 동시에 직면하고 있습니다. 이에, KIST의 재료 분야 연구원들은 이러한 변화와 도전에 적극적으로 대응하고자 기존 소재에서 이루지 못하였던, 소재의 복합기능화 및 지능화, 미래 산업의 쌀로서의 대량생산성 및 경제적 요소, 그리고 후속 세대를 위한 환경적 친화성을 두루 겸비한 신소재 개발을 연구 개발의 궁극적 비전으로 설정하였고, 이를 위해 고분자를 중심으로 세라믹, 그리고 금속 소재가 이상적으로 조합을 이루어 기존 재료들의 단순 조합으로는 이끌어낼 수 없는 한계성능의 극복이 가능한 신소재를 개발하고자 고분자 기반의 나노하이브리드소재 개발 연구가 추진되었습니다.

고분자 기반 나노하이브리드 분야에서 개발하고자 하는 고분자 복합체 혹은 고분자 하이브리드 소재는 나노기술을 기반으로 IT, BT 및 ET 기술과의 융합을 추구하는 첨단 연구 분야로 근간을 이루는 핵심 소재 기술들이 매우 다양하며, 이

들 기술들의 상호 교차 형태로 저미줄과 같은 networking을 통해 결합하고 있다는 점과, 하나의 핵심 기술이 다양한 응용 분야로의 적용을 통하여 광범위한 영향력을 미칠 수 있다는 점이 주요한 특징입니다.

특히 융복합화를 통한 한계성능의 극복 및 새로운 기능을 지니는 소재 개발을 위하여 고분자 기반에 유기-무기 소재를 나노스케일 영역의 수준에서 복합화한 하이브리드 소재에 연구인력의 역량을 집중하고 있다. 중점분야로는 디스플레이와 IT산업 및 미래형 에너지 분야 소재로서 응용을 위한 고성능 전기전도성/열전도성/이온전도성 소재와 기능성 코팅 소재, 그리고 경량 초고강도 구조용 소재 분야가 있으며, 요소기술로서 정밀 중합 기술, 이종 재료 사이의 계면 제어 기술과 친환경 소재 공정 기술에 대하여 연구를 수행하였습니다. 이러한 연구 활동을 기반으로 세부 분야별 전문성 확립을 위하여 기존 고분자 하이브리드 센터가 물질구조 제어 연구센터와 광전하이브리드연구센터로 확대 전개되었으며, 이와 아울러 탄소계 고분자 복합소재 개발을 주목적으로 KIST 전북분원이 설립되면서 양자융복합소재연구센터, 탄소융합소재연구센터, 다기능구조용 복합소재연구센터가 새로이 설립되어 현재에 이르고 있습니다. 이들 각 연구센터에서는 대체에너지의 개발, 고효율/고강도의 신소재 발굴 등 국내 외적 요구에 따라 나노카본 하이브리드 융합소재와 신기능 고분자하이브리드 소재를 기반으로 복합화(hybridization), 지능화(intelligent), 다기능화(multifunctional)된 나노기술(nanotechnology, NT) 개발에 총력을 기울이고 있습니다.

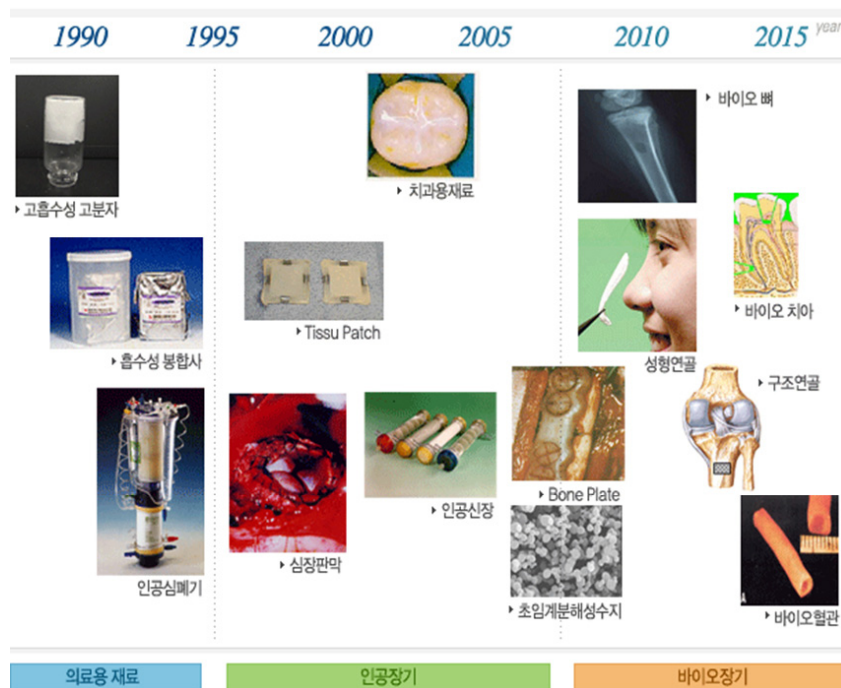


그림 1. KIST 생체재료 연구 분야의 성과.

기존의 복합재료가 유기 고분자, 세라믹 및 금속 등 3대 소재의 데이터베이스를 바탕으로 하여 서로 다른 이종 소재의 사이 계면의 친화성에 주목한 재료설계를 통하여 제조되는 need 대응형 일반재료라고 한다면, 하이브리드재료는 원자·분자 간의 상호작용력을 고려하여 신물질 상태를 만들어내는 새로운 물리화학적 기술(하이브리드화 기술)을 바탕으로 하는 seed 추진형 특수재료라 할 수 있습니다. 기존 복합재료의 경우 그 제반특성은 어느 정도 원재료의 성질을 반영하지만 이종 재료를 분자레벨에서 복합화한 하이브리드 재료의 경우 이질적인 소재를 미소한 척도 내에 공존시킴으로써 원재료에서 찾아볼 수 없는 성질이 발현되므로 전혀 다른 신규 재료로 생각하는 것이 타당합니다. 이러한 고분자 하이브리드 소재 기술은 매우 다양한 응용 분야를 가지고 있으며, 특히 IT, BT, ET 및 이들의 융합기술에서 괄목할만한 성장이 예상되는 21세기에는 이를 뒷받침할만한 핵심 부품소재의 확보가 중요하기며, 21세기 전기·전자정보, 신에너지 기술 및 바이오산업 발전에 필연적으로 요구되는 핵심 부품소재 기술로서 그 파급효과는 계량적인 계산을 할 수 없을 정도로 지대할 것으로 평가되고 있습니다.

## 2.2 고분자 기반 에너지 분야

오늘날 환경 및 자원 고갈 문제 대두로 사회적 안보차원에서 에너지 공급의 절대적 안정화 전략 수립과 현 에너지 문제를 극복할 수 있는 신재생에너지 사회로의 전환 모색이 필수적인 시점에 이르렀음은 주지의 사실로서, 막대한 사회간접 자본 투입 없이도 확보 가능한, 무한에너지 성격의 태양에너지 및 다양한 형태의 친환경 에너지 획득, 그리고 주변의 수많은 폐열에너지 활용이라는 국가적 현안의 해결이 요구되고 있습니다. 이에 광전하이브리드연구센터는 유/무기 하이브리드 태양전지 및 박막 태양전지(염료감응 태양전지, 폴리머 태양전지) 분야에서 고효율화, 대면적화 기술개발로 미래형 에너지 기술개발과 저가 태양전지의 상용화 기술개발에 주력하고 있으며, 다양한 차세대 소재개발과 기술이전

에 대한 노하우를 바탕으로 미래 국가경쟁력 확보를 위한 KIST 만의 독창적인 구조 및 물질 기반 신개념 고효율 태양전지 개발에도 많은 연구가 진행 중에 있습니다. 이와 아울러 열전소재와 고효율 에너지 소재 개발 분야로 연구를 추진하여 세계최고 수준의 유연열전소재 개발 등 주목할 만한 다수의 성과를 거둔 바 있습니다. 현재 20명의 박사급 선·책임연구원 4명의 석사급 연구원 그리고 약 40여 명의 박사 후 연구원 및 학연학생들과 함께 고분자 기반 에너지 관련 기술 개발에 매진하고 있습니다.

## 2.3 생체재료 분야

1998년 출범한 KIST 생체재료연구실은 아무 문제없이 인체 내 이식이 가능한 생체재료, 인공장기 및 바이오 인공장기의 미래를 연구하는 곳입니다. 연구실 초기부터 인공신장기, 인공심폐기의 개발과 함께 체내분해가 이뤄지는 수술용 봉합사 개발에 성공하여, 이 분야에서 세계적으로 인정받는 기술력을 확보하였으며, 이를 상업화하여 성공적인 결실을 맺은 바 있어 이러한 경험과 기술력을 바탕으로 우리나라의 21세기 산업고도화 및 동북아시아의 기술 거점으로 자리매김하는 목표로 연구개발에 매진하고 있습니다.

오늘날 생체와 친화성 있는 재료로 만들어지는 인공혈관을 비롯한 인공신장, 인공연골, 인공수정체, 인공 폐 및 인공 심장 등이 성공적으로 인체에 사용되고 있으며 점차 그 기능이 향상되고 있습니다. 최근에는 아무리 오랫동안 몸에 남아 있어도 문제를 일으키지 않는, 기능이 향상된 인공장기에 대한 사회적 요구에 부응하여, 살아있는 세포와 생체재료를 결합한 바이오 인공장기에 관한 연구가 활발히 진행되고 있습니다. 예를 들어 현재의 인공혈관은 인조섬유로 만들어지기 때문에 크기가 변하지 않아 자라나는 어린이에게는 사용이 어려우나 바이오인공혈관은 어린이의 성장에 맞추어 자라기 때문에 사용에 문제가 없으며 또한 영구적으로 사용할 수 있습니다. 현재 피부가 상품화되는 데 이어 혈관, 뼈 및 연골 등의 상품화가 활발히 진행되고 있습니다.

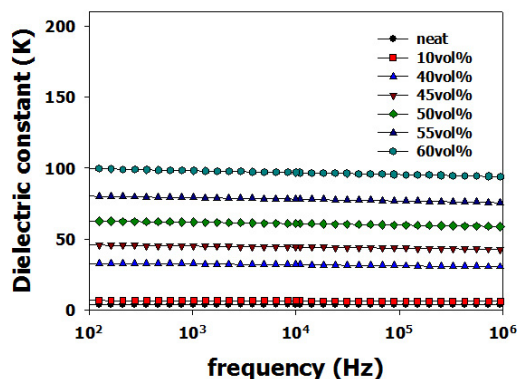
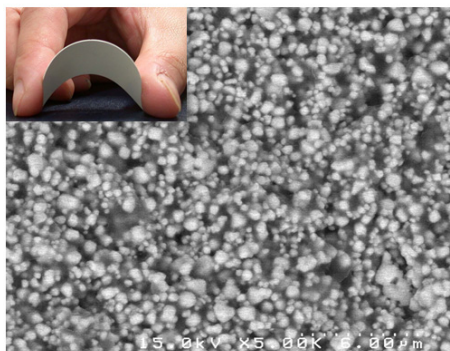


그림 2. 고유전성을 지닌 구부러지는 유전체.



### 3. 대표적 연구 추진 상황

KIST 내 고분자 관련 연구센터에서는 NT, IT, BT, ET 등 다양한 분야에서 요구되는 고분자 소재 및 응용 관련 연구개발을 추진하고 있으며 그 중에서 대표적인 중점 추진 분야는 다음과 같습니다.

#### 3.1 정밀 중합 기술

- 분자 레벨에서 고분자를 설계, 여러 가지 종류의 단량체를 다양한 리빙중합법을 통하여 정밀하게 합성함으로써, 최종 소재의 특성에 맞도록 고분자의 분자량, 화학적 조성, 물리적 특성, 삼차원 구조를 제어합니다.
- 정밀 중합 기술에 의하여 합성된 이온성 그룹을 포함하는 블록 공중합체를 합성하여 기능성 무기입자와의 하이브리드화를 통한 고내열성 및 고이온전도성의 고분자 하이브리드 막을 제조하고 연료전지 핵심소재로서의 적용성을 평가하고 있습니다.
- 또 다른 형태의 정밀 중합 기술에 의하여 고효율 태양전지용 소재 및 유기 반도체 개발에 주력하고 있습니다.

#### 3.2 차세대 디스플레이용 하이브리드 소재

- 자유롭게 구부릴 수 있는 flexible display의 핵심 기초소재인 plastic substrate가 flexible LCD, flexible OLED 등에 적용되기 위해서 필요한 기체차단(gas barrier) 특성의 향상을 위한 코팅 기술을 plasma polymerization, sputtering, organic coating 기법 등을 적용하여 개발하고 있습니다.
- 이외에 plastic substrate에 필요한 투명전도막(transparent conductive film) 코팅 재료로서 ITO를 대체할 수 있는 TCO(transparent conductive oxide) 및 유기 투명전도막 기술을 개발하고 있습니다.

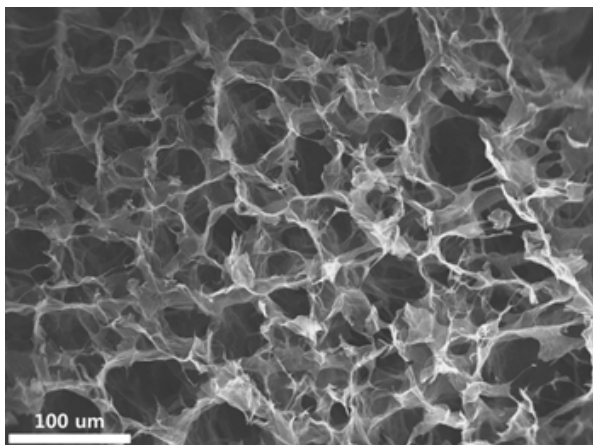


그림 3. 유연전극으로 활용되는 reduced graphene oxide 기반 flexible 3D superstructure.

- 이와 함께 기존과는 비교가 되지 않는 고수명, 고휘도 및 고색순도를 동시에 만족하는 다중 구조 양자점 핵심소재의 개발 및 양자점 디스플레이 소자로의 적용기술을 개발하고 있습니다.

#### 3.3 Low- $k$ /High- $k$ Dielectric Materials

- 반도체 소자의 고집적화에 따른 RC delay의 최소화를 위하여 새로운 개념의 분자구조 설계 및 고차구조 제어(원천기술)를 통한 반도체 공정에 적용성(기계적/열적/화학적 안정성)이 유연한 실용적인 초저유전 소재를 개발하고 있습니다.
- 아울러 passive 소자의 고밀도화 및 flexible electronics를 위한 유연성 embedded capacitor에 적용할 수 있는 휘어지는 고유전성 하이브리드 소재를 개발하고 이의 실용화 공정 개발에 매진하고 있습니다.

#### 3.4 나노카본 기반 고기능 고분자 하이브리드

- 성형 공정에 제한이 많은 기존의 탄소섬유 강화 고분자 복합재료와는 달리 삼차원적 성형이 용이하고 리싸이클링에 의한 물성 저하가 거의 없는 환경친화성과, 전기적 성질을 이용한 전자파 차폐성, 고열전도도로 인한 고방열성 등의 다기능성이 고강도 복합소재에 부가적으로 주어지는, 초고성능 나노카본 분산 고분자 하이브리드의 개발을 목표로 하고 있습니다.
- 가장 중요한 원천기술은 CNT, CNF(carbon nano-fiber), graphene 등의 나노카본 초미립자를 고분자 매트릭스 내에서 균등 혹은 특정한 패턴을 갖는 형태 등으로 다양하게 분산성을 제어하는 기술로서, 초미립자 직접 분산법으로 분류되는 CNT-고분자 하이브리드 제조 공정은 용융 혼합 및 *in-situ* 중합(중합충전)을 통하여 이루어지는데 나노 크기의 초미립자가 고분자 사슬과 거의 동일한 크기 영역에 있어 기존 컴파운딩 개념과는 다른 새로운 복합화 공정을 개발하고 있습니다.
- 또한 다양한 나노카본에 여러 가지 화학적 및 기계물리적 전처리/기능화를 가하여 계면특성의 제어를 위한 필수적인 DB 구축을 추진하고 있으며, 이를 바탕으로 매트릭스 내에서 특정 방향으로의 배향제어를 통한 복합체의 물성 극대화 노력에도 고분자 하이브리드 센터의 핵심 역량을 집중하고 있습니다.

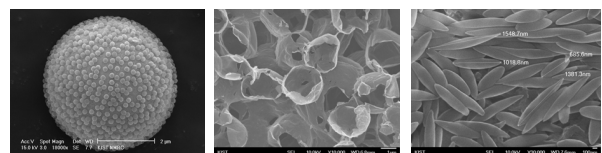


그림 4. 다양한 구조의 기능성 나노입자.



- 개발 중인 나노카본 기반 고분자 하이브리드의 응용분야로는 정전기 차폐용 하우스 재료, 연료전지용 복합분리판, 유기 태양전지용 전극 및 초고강도 구조재 등이 있습니다.

### 3.5 다중 구조/기능형 입자 소재

- 기본적으로는 핵으로 작용하는 유기 혹은 무기 입자 표면에 제 2의 성분을 결합시키는 방법으로, 현재 금속 및 금속산화물 또는 비산화물 세라믹스, 카본블랙, 자성재료 등이 관여하는 분야에서 나노입자를 제조하는 기술을 연구하고 있습니다.
- 고분자 매트릭스 내에 무기 나노입자를 분산시키는 방법은 현재 다음의 3 가지로 연구되고 있습니다.
  - 1) Direct mechanical mixing of nanoparticles with polymers.
  - 2) Formation of particles *via* polymerization of colloidal solutions.
  - 3) *in situ* generation of particles(polymer matrix or membranes as micro-reactor).
- 여러 가지 성분의 단순한 결합이 아닌 기능적 효율성 확보가 가능하도록 다양한 구조를 지닌 입자 혹은 중공 구조인 캡슐 간의 3차원 결합체를 도모하여 극미량으로도 추구하는 물성의 극대화를 꾀할 수 있는 소재 기술 개발에 주력하고 있습니다.

### 3.6 고분자 기반 태양전지(Polymer-Based Solar Cells)

- 유연 태양전지 구현을 위해서는 저온에서 초저가 대면적 용액공정이 가능한 고성능 전하수송체(정공 혹은 전자수송체) 소재개발이 중요하며,
- 이를 위해 새롭게 개발된 KIST 고유의 전도성 고분자는 저

온공정이 가능하고, 우수한 정공수송능력을 보이며, 기존 PEDOT:PSS 대비 높은 일함수를 갖고 있어 계면에서의 에너지 손실을 줄일 수 있고, 또한 중성의 성질은 태양전지 소자의 안정성에 영향을 주어 기존 대비 4배 이상의 태양전지 소자의 안정성 향상 기술을 확보하였습니다.

### 3.7 유연 열전소재(Flexible Thermoelectric Materials)

- 버려지는 폐열과의 온도차에서 전기에너지를 추출할 수 있는 열전소재의 유연화는 기존 열전재료가 구조적 한계로 인하여 다양한 응용전개가 불리하였던 점에 비하여 생산공정성, 무게 및 경박구조 소자로의 응용성 등의 면에서 새로운 가능성을 제시하고 있습니다.
- 취약하였던 유연 열전 소재의 고효율화 체제와 반복적 형태변형에 따른 물성저감 현상의 낮춤을 완성하였고 현재 장기안정성 기술 개발에 힘을 쏟고 있습니다.

## 4. 미래 전망

대한민국은 생산기술의 지속적인 발전을 통하여 현재 세계의 주요 디스플레이 생산국이 되었으며 TFT-LCD 및 PDP 분야 등에서는 세계적인 경쟁력을 가지고 있으나, 원천기술 및 기초소재의 50% 이상을 수입에 의존하고 있으므로 21세기에도 IT 분야의 선도국가로 존속하기 위해서는 NT 분야에서 새로운 소재 및 제품의 원천기술 개발을 통한 신소재 산업의 창출이 필수불가결합니다. 고분자 소재 기술의 성격상 기초분야의 기술개발이 중요하지만, 선진 열강에 비하여 산업화의 근간을 이루는 핵심 소재 기술에 대한 짧은 연구 개발 역사로 차선의 모든 요소기술을 확보하기보다는 경쟁력이 있는 분야를 선택하여 집중할 경우 21세기 소재 시장에서는 우리나라도 선진 열강들과 주도권 다툼에서 좋은 결실을 맺을 수 있을 것으로 기대되고 있습니다.

과학기술의 불모지였던 설립 초기부터 국가 산업화와 경제의 고도성장에 공헌한 KIST는 과학기술 인재 배출과 함께, 여러 출연 연구소와 민간연구소를 탄생시키는 등 국가 기술의 선도 기관으로서 그 역할을 충실히 수행해 왔습니다. 이제 KIST는 여기에 그치지 않고 그동안 축적된 연구역량을 기반으로 대학과 기업체가 수행하기 어려운 장기, 대형, 융·복합, 시스템형 연구 수행을 통해 국가적 과제를 해결하고, 나아가 인류사회에 공헌하는 세계 일류 연구기관으로 도약하고자 합니다. 이러한 시점에서 KIST의 한 축을 담당하고 있는 고분자 관련 연구센터들은 미래를 여는 신소재의 개발 및 개발 소재 기술의 산업화 비전을 가슴에 품고, 대한민국을 이끌고 세계를 영위해갈 것을 목표로 오늘도 연구 개발에 온 힘을 쏟고 있습니다.



그림 5. 우수한 광전효율의 구부러지는 염료감응 태양전지.