

세계 최고 수준의 에너지 변환 효율을 달성한 유기 박막 태양전지

일본 독립행정법인 산업기술종합연구소 광기술 연구부문에서는 유기 반도체를 이용하는 유기 박막 태양전지에 있어서 p-n 접합계면에 유기 반도체가 분자 레벨로 3차원적인 p-n 접합을 형성하는 나노 구조층을 신규로 도입함으로써 AM1.5G의 유사 태양광의 조건하에서 세계 최고 수준의 에너지 변환 효율인 4%를 달성하였다. 저비용의 플렉서블 태양전지로서 실용화가 기대되고 있는 유기 박막 태양전지는 현재 보급되어 있는 실리콘 태양전지와 같이 반도체로서의 기능에 근거한 고체형 태양전지로서 30년 이상의 긴 연구 개발 역사가 있지만 실용화를 위해서는 에너지 변환 효율의 고효율화가 최대의 과제였다. 고체형 태양전지는 유기, 무기 반도체를 불문하고 p-n 접합의 광전력 효과를 원리로 하고 있다. 지금까지 유기 박막 태양전지에서는 유기 반도체로 형성되는 p-n 접합의 광전 변환층의 두께가 수나노 미터 정도 밖에 되지 않았기 때문에 기존의 단순 적층형 태양전지에서는 광의 이용 효율이 낮고 큰 광전류를 낼 수 없었다. 이 때문에 유기 박막 태양전지의 에너지 변환 효율을 향상시키기 위해서는 광전 변환층의 확대에 의한 광의 이용 효율 개선이 중요한 문제였다. 이번에 산업기술 종합연구소에서는 유기 반도체가 분자 레벨로 3차원적인 p-n 접합을 형성하는 나노 구조층(i층)을 p-n 접합계면에 새롭게 도입함으로써 분자 레벨에서의 p-n 접합형성을 가능하게 하는 나노 p-n 접합이 다수 형성되어 광전 변환층을 확대함으로써 빛의 이용 효율이 개선할 수 있다는 것을 알아냈다. 이 연구에서는 n형 유기 반도체로서 풀러렌(C60), p형 유기 반도체로서 아연 포르피리나인(ZnPc)을 이용해 ZnPc와 C60로 형성된 p-n 접합계면에 ZnPc와 C60를 혼합한 나노 구조층(ZnPc : C60=i층)을 도입해 p-i-n 접합형 유기 박막 태양전지를 제작하였으며 유기 반도체층의 전체 막 두께가 50 nm(p층:5 nm, i층:15 nm, n층:30 nm)로 얇은 상태에서도 높은 에너지 변환 효율을 가진 태양전지 특성을 얻을 수 있다는 것을 밝혀낸 것으로 단위 막두께당으로 환산하면 무기 재료를 포함한 전체 태양전지 중에서도 최고의 값이다.

(Nikkei, January 27, 2005)

전도성 고분자와 탄소 나노튜브로 만들어진 인공 근육

미국 텍사스 대학교(University of Texas at Dallas, UTD)에 있는 나노테크 연구소(NanoTech Institute)의 연구진은 화학 에너지를 기계 에너지로 변환할 수 있는 인공 근육을 개발함으로써 75만 불의 상금을 수여 받았다. 그 동안 UTD 나노테크 연구소의 연구진은 전기에 의해 파워를 형성하는 인공 근육을 연구하여 왔는데 이번 연구를 통해 화학적으로 에너지를 생성하여 자연의 것보다 힘, 응축, 스피드를 앞서는 인공 근육의 제조가 가능할 것으로 보인다. 전도성 고분자와 탄소 나노튜브에 기초한 전기적으로 파워를 형성하는 인공 근육은 프로그램 주도자인 UTD 나노테크 연구소의 장이자 화학과 교수인 Ray H. Baughman과 Robert A. Welch 교수에 의해 최초 증명되었으며 UTD의 Science and Technology의 학과장이자 전도성 고분자의 공동 발견으로 인해 노벨 상을 수여한 Alan MacDiarmid와 James Von Her 박사는 전도성 고분자 인공 근육 개발에 선구적인 역할을 하였다. 그 동안 연구되었던 탄소 나노튜브 근육은 수백 배의 힘과 두 배 이상 빠르게 늘어나 자연의 근육 성능을 앞설 수 있는 반면에 응축은 자연의 것에 10분의 1 수준이었으며 전도성 고분자 근육은 자연의 것과 유사한 응축을 제공하지만 내구성이나 높은 에너지 효율을 갖지 못하였다. 이번 연구는 이와 같은 문제를 해결하여 전기적으로 동력을 형성하는 것에서 화학적으로 에너지를 형성하는 인공 근육을 개발하는 것이었다. 제안된 연료 공급형 인공 근육은 연료 전지이자, 초전도체 그리고 기계적 작동기이다. 따라서 동일한 요소는 높은 에너지 밀도의 연료를 전기 에너지로 변환하여 이를 저장한 후 기계적 일을 수행하기 위해 이용된다. 연구의 응용 가능성은 물체를 움직이고 다룰 수 있는 팔다리같이 작동하는 인공 구조물이며 현재 이와 같은 목적을 달성하기는 소원하지만 본 연구를 통해 연료의 화학적 에너지를 기계 움직임으로 변환할 수 있는 원론적 장치가 실험적으로 증명되었다. 최초의 연료 전지 인공 근육은 UTD의 Von Howard Ebron, Zhiwei Yang, 그리고 자연과학대학(School of Natural Sciences and Mathematics)의 임시 학장인 John Ferraris에 의해 시연되었으며 현재 미국, 일본 및 스웨덴은 연구진의

결과를 상업화하려는데 노력하고 있다.

(*Physorg News*, January 5, 2005)

DNA와 덴드리머를 이용한 나노입자 약물전달 시스템

다양한 종류의 약물을 효과적으로 전달할 수 있는 나노입자 약물전달시스템(drug delivery system)을 신속하게 개발할 수 있는 새로운 접근방식이 미국 미시간대학(University of Michigan) 제임스 R. 베이커(James R. Baker Jr.) 교수 연구진에 의해 개발되었다. 학계 전문지인 “화학과 생물학(Chemistry and Biology)” 2005년 1월 21일자에 게재된 연구보고서에 따르면 베이커 교수 연구진은 서로 다른 기능성 물질을 담고 있는 2종의 덴드리머(Dendrimer)를 DNA 가닥으로 결합시키는 방법을 이용했다. 베이커 교수와 그의 대학원생인 최영선(Youngseon Choi)씨가 개발한 새로운 접근방식은 나노미터 스케일의 덴드리머를 이용하는 것으로 덴드리머와 DNA 가닥은 개별적으로 합성해서 혼합해 주기만 하면 자동적으로 서로 결합된다. 베이커 교수의 설명에 따르면 새로운 접근방식에 의해 만들어진 나노입자 복합체(nano-particle complexes)는 덴드리머에 어떠한 물질을 결합시키느냐에 따라 다양한 목적으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 어떤 세포에나 사용이 가능하다. 나노입자는 크기가 매우 작아서 암세포 속으로 쉽게 침투할 수 있다. 세포 내부로 침투해서 암세포를 죽이거나 위치추적기처럼 암세포의 위치를 알리는 신호를 발생시킬 수 있도록 설계된 나노입자는 꿈같은 일이 아닐 수 없다. 하지만 이러한 입자를 만들어 낸다는 것은 매우 어려운 일이다. 가능하다 하더라도 시간과 노력이 많이 필요한 작업이었다. 연구진이 사용한 나노입자는 별 모양의 합성 고분자 덴드리머이며 분자를 구성하는 가지 끝을 이용해서 다양한 형태의 분자를 수송할 수 있다. 하지만 합성과정이 길고 어려운 것이 문제이다. 최종적으로 새로운 분자를 덴드리머에 결합시키는데 1달 이상이 필요했다. 연구진은 새로운 아이디어를 검증하기 위해 암세포를 찾아낼 수 있는 동시에 그 모습을 보여줄 수 있는 형태의 나노입자 복합체를 설계했다. 연구진은 비전사 DNA(non-coding DNA) 가닥 양쪽에 폴레이트(folate)와 형광단백질이 결합된 덴드리머를 각각 결합시킨 나노입자 복합체를 만들었다. 암세포의 경우 세포 표면에 폴레이트 수용체(folate receptors)가 과잉발현 되어 있기 때문에 이러한 나노입자 복합체는 암세포 표면에 집중적으로 분포될

것이 분명하다. 그리고 이 나노입자가 가지고 있는 형광단백질은 암세포 조직의 모습을 명확하게 보여줄 것이다. 연구진의 예측이 정확하다면 나노입자 복합체를 주입한 후 형광단백질의 이동만 주시하고 있으면 암세포의 위치를 찾을 수 있게 된다. 세포 선별기와 3-D 현미경을 이용한 일련의 실험을 통해 연구진은 당초 예측과 일치하는 결과를 확인할 수 있었다. 자기조립에 의해 제작된 덴드리머 클러스터(나노입자 복합체)는 잘 만들어질 뿐만 아니라 설계에 따라 기능도 충실히 수행했다. 그 동안 나노입자를 이용하는 개념 자체는 매우 효과적이고 창의적임에 틀림없었다. 하지만 문제는 역시 이러한 역할을 할 수 있는 나노입자의 합성에 있었으며 5종의 세포를 표적으로 하는 각기 다른 약물을 결합된 나노입자들을 기존 접근방식으로 합성하고자 한다면 약 25단계의 합성과정을 거쳐야 하고 각 합성마다 최소 2~3 개월의 기간이 필요하다. 이렇게 할 경우 합성단계가 많아지면서 단계별 수율손실이 누적되면서 전체 수율이 급격하게 떨어지기 때문에 실효성이 희박해진다. 하지만 연구진의 이번 연구가 기존의 접근방식과 구별되는 점은 그 효율적인 접근 방식에 있다. 병렬합성을 통해 단일 기능성 덴드리머를 만들고 이를 DNA 가닥으로 결합시켜서 특정한 기능을 가진 나노입자를 조합해서 만들 수 있기 때문에 같은 시간에 보다 많은 실험이 가능하였다. 더 적은 합성단계를 거쳐, 더 많은 결과물을 만들어낸 것이다.

(*EurekAlert News*, January 21, 2005)

오렌지와 이산화탄소로 만들어진 플라스틱

미국 코넬 대학교(Cornell University) 연구진은 오렌지와 이산화 탄소로부터 플라스틱을 제조할 수 있는 매력적이고 친환경적인 방법을 개발하였다. *Journal of the American Chemical Society*지의 보고에서 코넬의 화학 및 화학 생물학 교수인 Geoffrey Coates와 대학원생 Chris Byrne와 Scott Allen은 오렌지의 리모넨(limonene) 산화물과 이산화 탄소를 이용하여 고분자를 만드는 방법을 소개하였다. 리모넨은 탄소 기반의 화합물로 300여종의 식물에서 생산되며 오렌지의 경우 껍질의 95%가 리모넨으로 구성되어 있다. 산업적으로 오렌지 껍질 오일은 감귤 향을 띠는 가정용 세제 같은 다양한 사용을 위해 추출되는데 Coates 연구팀은 리모넨 산화물이 형성되도록 오일을 산화시킨 후 이를 고분자의 구축 블록을 위

한 반응성 화합물로 사용하였다. 팀이 이용한 다른 구축 블록은 환경적으로 유해한 온실 가스인 이산화 탄소이다. 리모넨 산화물과 이산화 탄소를 결합시키기 위해 촉매를 이용함으로써 Coates 그룹은 폐기용 플라스틱 제품에 이용되는 폴리스티렌의 성격을 띠는 폴리리모넨 카보네이트(polylimonene carbonate)라 불리는 새로운 고분자를 합성하였다. 리모넨 산화물 혹은 이산화 탄소 자체로는 고분자를 형성할 수 없지만 둘이 합쳐지면 뛰어난 생생물이 형성되며 이렇게 합성된 새로운 고분자는 리모넨 산화물과 이산화 탄소의 반복된 성분으로 구성되어 있다. 현재 의복에 이용되는 폴리에스테르에서 식료품 포장 혹은 전자 장치에 이용되는 플라스틱에 이르기까지 거의 모든 플라스틱은 구축 블록으로 원유를 이용한다. 만약 원유를 이용하지 않는 대신에 풍부하고 재생가능하며 값싼 재료를 이용한다면 연구 필요성은 당위적이며 연구에서 가장 놀랄만한 점은 재생 소스로부터 뛰어난 성질을 갖는 플라스틱을 제조할 수 있다는 점이다. 또한 환경적으로 유해할 수도 있는 이산화 탄소를 대기에 방출하는 대신에 폴리리모넨 카보네이트 같은 플라스틱 생산을 위해 이용하므로 환경친화적인 면에서도 유리한 연구가 될 수 있다.

(Physorg News, January 17, 2005)

핸드폰에 내장된 광감성 고분자를 이용한 소형 스캐너

일본의 한 연구팀이 신용카드 보다 약간 더 큰 유연한 플라스틱으로 만든 이미지 스캐너를 개발했다. 이 장치는 지난해 말 샌프란시스코에서 열린 전자공학 컨퍼런스의 '플렉서블 유기 전자공학 분야'에 소개되었는데 아이디어는 핸드폰에 스캐너 기능을 넣고자 하는 생각에서 출발하였다. 그 장치는 유연하기 때문에 펼쳐진 책이나 포도주 병의 라벨과 같이 굴곡진 표면도 복사할 수 있는데 이는 기본 골격을 이루는 전도성 플라스틱의 특성에 기인한다. 전도성 플라스틱은 현재 광발광 특성을 가지는 경우 이미 유연한 유기 EL 디스플레이 등에 사용되고 있으며 스캐너에 이용하기 위해서는 광발광 특성 대신 광감성 특성을 나타내는 물질을 사용하면 된다. 일본 동경 대학의 전기공학자 다카오 소메야(Takao Someya)팀에 의해서 개발된 그 새로운 장치는 고분자 매트릭스로 만들어진다. 고분자 매트릭스는 플라스틱 트랜지스터 격자 하부에 700 μm 로 침적된 수천개의 광감성 플라스틱 광 다이오드로 구성된다. 각각의 광 다이오드는 입력된 빛

에 대응하는 전류를 만든다. 그리고 다이오드에 붙어 있는 트랜지스터는 그것을 전하로 저장하며 저장된 전하는 핸드폰의 메모리에서 읽혀지고 이미지로 전환된다. 플라스틱이 투명하기 때문에 스캔하려는 물체에 닿는 대기중의 빛은 통과된다. 또한 다이오드의 상부에 트랜지스터가 놓이기 때문에 그것들이 대기중의 빛을 막을 수 있으며 단지 밝은 부분에서 반사하는 빛만이 광 다이오드에 영향을 줄 수 있다. 그러면 그 레이 스케일 광강도에 비례한 전류가 발생한다. 그 결과 얻어진 전하는 트랜지스터의 어레이(array)에 저장되고 영상을 만들기 위해 읽혀진다. 개발자는 그 스캐너가 아직 사무용 스캐너처럼 전체를 굽어 내려가며 읽지는 못하지만 포도주 병에 있는 모든 글자를 영상화하기에 충분한 해상도를 가질 수 있을 것이라고 말한다. 현재 원형제품의 해상도는 36 dpi이지만 250 dpi까지는 쉽게 달성될 수가 있다. 소매야는 앞으로 A4 용지까지 스캔할 수 있는 제품이 3년 안에 나올 것이며 지갑에 넣고 다닐 수 있는 7 cm^2 크기의 스캐너는 약 10달러 정도가 될 것으로 예상하였다. 또한 앞으로 핸드폰에서 데이터를 입출력할 수 있는 칩을 개발할 경우 스캔한 영상은 USB 저장 장치처럼 컴퓨터에서 다시 볼 수 있게 되며 적/녹/청색의 광감도 셀 어레이를 사용하면 컬러 스캐너도 구현할 수 있게 된다.

(NewScientists News, December 23, 2004)

세계 최고의 열전도성을 가지는 열가소성 플라스틱 개발

일본 Toray사는 기존 플라스틱의 100배 이상인 세계 최고의 열전도율을 가지는 열가소성 플라스틱의 개발에 성공했다. 이 고열전도 열가소성 플라스틱은 열전도율이 높아 열을 축적하지 않고 확산, 방출할 수 있기 때문에 기존의 플라스틱으로는 채용되지 않았던 다양한 제품 분야에 전개가 전망된다. 이 플라스틱은 알루미늄 등의 금속이나 세라믹스에 비해 경량, 정숙성, 저비용, 복잡한 형상의 제품을 높은 효율로 성형하는 것이 가능하고, 그 특징을 살려 OA나 AV 기기에서의 광디스크 광픽업 부품이나 기기 내부의 케이스류 등 금속을 대체하는 용도로 응용을 기대할 수 있다. 또한, 높은 치수 안정성에 의해 광섬유 접속 부품 등 세라믹스 대체 제품으로도 유망하다. 전기, 전자기기나 자동차 등의 부품 재료 용도를 중심으로 1년 이내의 제품화를 목표로 시험 생산체제를 정비해 샘플 공시 및 시장 평가를 개시했다. 이번 개발한 소

재는 독자적인 분자 설계에 의해 열가소성 플라스틱과 필러(혼합, 충전하는 무기 입자) 간의 분자간 상호작용을 높여 필러간에 고효율 접촉을 실현함으로써 열전도율을 대폭으로 향상(25 W/mK 이상)시키는 것에 성공한 유기, 무기 하이브리드첨단 재료이다. 기존의 열전도 열가소성 플라스틱에서는 열전도성을 높이려는 목적으로 필러를 다량 혼합하는 방법이 주류였지만, 플라스틱의 유동성이 큰폭으로 떨어져, 복잡한 정밀 성형품을 생산성 높은 사출 성형법으로 제조하는 것이 곤란했다. 그러나, 본 소재는 분자간 상호작용을 높여 성형 가공시의 유동성도 현격히 향상, 복잡한 형상의 정밀 성형품에서도 용이하게 성형하는 것이 가능하다. 또한 필러 충전 구조의 치밀함에 의해 열전도성뿐만 아니라 기존의 플라스틱에서는 불가능했던 세라믹스와 동등한 수준의 치수 안정성도 실현되었다(8 ppm/°C). 현재, 플라스틱은 경량 전기, 전자 부품 분야에서도 폭넓게 사용되고 있다. 일반적

으로 플라스틱은 열전도율이 약 0.1~0.3 W/mK로 낮고, 단열, 절연 재료로서는 우수하지만, 최근 전기, 전자 부품의 소형, 고집적화가 진행됨에 따라 기기 내부에서 발생한 열이 플라스틱 부품에 축적되어 외부에 방열할 수 없기 때문에 제품 설계에 제약이 생기는 경우가 생기곤 했다. 따라서 열전도율 향상에 관한 연구개발이 활발히 진행되었는데 지금까지는 일반 일반 플라스틱의 10~25배(2~5 W/mK) 정도의 개선이 한계였다. Toray사는 향후 본 소재를 가전, OA 기기 분야 및 자동차 분야 등 고방열성이나 경량화, 에너지 절약이 기대되는 분야에 본격 응용을 진행할 계획이다. 또한 이러한 하이브리드 기술을 응용해 다양한 필러의 다량 첨가에 의한 고기능 플라스틱의 창출에 매진할 계획이다.

(Nikkei, December 17, 2004)

<한국과학기술연구원 이수형>