

고분자와 그래핀의 만남

최근 노스웨스턴대(Northwestern University)와 프린스턴대(Princeton University) 연구진은 특이한 열 및 기계적 성질로 인해 항공기에서 태양전지에 이르는 거의 모든 곳에 이용될 수 있는 새로운 고분자(polymer)를 개발하였다. 이번에 개발된 고분자는 변형된 박편 형태의 그래핀(graphene) 시트가 혼합된 복합체로서 심지어 전기도 통하는데, 열 안정성과 광 투명성이 우수한 전도성 고분자로 활용될 것으로 기대되고 있다. 이에 대한 연구 결과는 5월 11일자 Nature Nanotechnology에 보고되었다.

몇 해전 맥코믹 공학대(McCormick School of Engineering)의 연구진은 프린스턴의 연구자들과 팀을 결성하였었는데, 맥코믹 연구진은 고분자 나노복합체(nanocomposites)에 대한 식견을 갖고 있었고, 프린스턴 연구진은 흑연 시트를 얇은 단층으로 표면이 변형된 그래핀 시트로 박편화하는 방법을 개발하였다. 사실 이전에 고분자에 흑연을 사용할 경우 흑연을 박편화하지 못했기 때문에 향상된 성질을 얻을 수 없었다. 이는 흑연이 낮은 표면적에선 딱딱하다는 것을 의미하며, 따라서 고분자 성질에 거의 영향을 미치지 못했었다.

그러나 소량의 박편화된 그래핀 시트 0.05%가 고분자에 첨가하면 그래핀은 고분자의 열 안정 온도(thermal stability temperature)를 30도 정도 변화시키게 된다. 심지어 0.01%의 그래핀 시트를 첨가하면 고분자의 뻣뻣함은 33% 증가한다. 소량의 그래핀이 첨가된 후 열 안정성과 뻣뻣함의 변화는 그래핀이 나노입자 표면에서 방사된 고분자 영역을 변화시킨다는 것을 의미한다.

또한 그래핀에 기초한 고분자 나노복합체는 단일벽 나노튜브로 변형된 고분자와 동일한 열 및 기계적 성질을 갖지만, 그래핀을 이용할 경우 제조가 보다 간단하고 저렴하다. 그래핀 시트는 습기와 가스가 재료에 침투하는 것을 방지할 뿐 아니라 열 안정 온도를 변화시키고 기계적 성질을 향상시켜, 항공기에서 스포츠 용품, 태양 전지에 이르는 거의 모든 분야에 이용될 수 있는 내구성 고분자로 자리매김할 수 있다. 이후 연구진은 고분자의 전기전도성을 연구하고, 열기계적 안정성을 갖는 투명한 광학 전도성 고분자를 제조할 계획이다.

(Nature Nanotechnology, May, 2008)

ZnO 나노와이어를 빠른 속도로 대량 생산 가능하도록 하는 합성 방법 개발

ZnO 나노와이어는 다양한 분야에서의 응용 가능성이 확인되면서 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 넓은 밴드갭과 더불어 높은 엑시톤 결합에너지와 가지는, 단파장 영역에서의 광전자 소자로서의 응용 연구가 많이 이루어지고 있다. ZnO 나노와이어의 응용 분야로는 FET소자, SET소자, SAW소자, 자외선발광소자, 태양전지, 압전소자, 센서, 광도파로, UV센서, 광스위치, 스핀소자 등을 들 수 있다.

나노수준의 기술이 점차 발전하면서 ZnO를 포함한 반도체성 나노와이어를 이용한 전자 소자의 개발에 더욱 많은 관심을 가지게 되었다. 하지만 산업체에 응용되기 위해서는 더욱 효율적이고 대량 생

산이 가능한 신뢰성 있는 제조 방법이 절실하다. 나노와이어는 전기적 연결체뿐만이 아니라 메모리 소자, 가스 센서, 바이오 센서 등으로 응용 가능한 트랜지스터로도 사용이 가능하다. 하지만 나노와이어는 크기가 작아서 소자의 제조에 많은 어려움이 있다.

현재 일반적인 방법은 나노와이어를 기판 위에 성장시킨 후에 분리시켜서 액체에 혼합시킨 후에 원하는 기판 위에 다시 분산시켜서 소자를 만드는 것이다. 하지만 이런 공정에서는 액체가 건조된 후에 원하지 않는 부산물들이 기판위에 남아 있는 문제점이 있고, 공정상에 많은 어려움이 있어서 대량 생산에는 적합하지 못한 단점이 있었다.

이와 관련하여 기존의 반도체 공정 기술을 이용하여 사파이어 기판 위에 정밀하게 좁은 면적에 금을 증착하여 나노와이어의 핵성장 장소를 만들어서 방향성과 위치를 제어하는 기술이 소개되기도 하였다. 이는 600 나노와이어 이상의 트랜지스터를 만들어서 대량 생산의 가능성을 보여주었다. 이는 산업체에서 적용 가능한 수준으로 향후 나노 전자 소자의 현실화를 더욱 가속화시키는 방법 중 하나로 관심을 받고 있다.

최근에는 ZnO 나노와이어의 집적도를 향상시키면서 빠른 성장을 가능하게 하는 새로운 연구가 발표되어 이를 소개하고자 한다. "Rapid synthesis of aligned zinc oxide nanowires"라는 제목으로 영국의 연구팀에 의해 최근 Nanotechnology 학술지에 발표된 연구 논문에서 이를 다루고 있다. 바로 마이크로웨이브 heating을 통하여 빠른 시간에 정렬된 ZnO 나노와이어를 다양한 기판에 성장시킬 수 있는 방법에 대한 것으로, 열수(hydrothermal) 방법을 이용한 것이다. 본 연구팀이 합성한 연구결과로 Si 기판, glass, PET 기판 등에서 ZnO 나노와이어를 성장시킬 수 있었다.

앞서 언급한 것처럼, FET소자, SET소자, SAW소자, 자외선발광소자, 태양전지, 압전소자, 센서, 광도파로, UV센서, 광스위치, 스핀소자 등으로의 다양한 응용이 가능한 ZnO 나노와이어를 빠른 시간에 대용량으로 합성할 수 있는 방법을 개발하였다는 것은 매우 큰 의미가 있다. 나노와이어나 나노튜브 등의 나노기술이 전기적 특성은 월등하지만, 대용량 제작이 어려워져 산업화 하기에 어려움이 있다는 점을 생각하면 이 연구의 가치가 높다는 점을 더욱 잘 이해할 수 있을 것이다. 이 방법을 통하여 ZnO 나노와이어 뿐만 아니라 다양한 나노와이어에 대한 합성도 빠른 시간에 대용량으로 제작 가능하도록 발전되어서 나노와이어를 이용한 전자소자들을 하루 빨리 만나볼 수 있기를 기대해 본다.

(Nanotechnology, May, 2008)

맨체스터대학, 그래핀 기재의 투명 전도성 전극을 갖는 액정 장치 제작

맨체스터 대학의 연구자들이 그래핀(graphene)으로 만든 전극이 포함된 미소 액정 장치를 개발했다. 이는 장차 이 기술에 기반한 컴퓨터와 TV 디스플레이를 제조할 수 있는 매우 고무적인 전망을 낳고 있다.

물리천문학부의 Kostya Novoselov 박사 연구팀은 전기광학소자의 투명전도성 코팅제로서 그래핀의 사용에 대해 보고하고 있으

며, 그래핀의 높은 투명도와 낮은 저항률로 인해 그래핀이 액정 소자의 전극으로 이상적임을 보여주고 있다.

그래핀은 2004년에 맨체스터 대학 물리천문학부의 Andre Geim 교수와 Kostya Novoselov 박사에 의해 발견되었다. 그래핀은 탄소 원자로 구성된 원자 하나 두께의 매우 얇은 막으로 답장 철망 모양과 흡사하며, 물리 및 재료과학 분야에서 순식간에 핫 이슈가 되었다.

Geim 교수는 투명 전도성 막은 컴퓨터, TV 및 모바일 폰에 공통된 액정 디스플레이를 비롯한 많은 장치들에 있어 필수적인 부품이라며, “근원적인 기술은 인듐(indium) 기재의 금속 산화물 박막을 사용하고 있지만, 인듐은 점점 비싼 재료가 되어가고 있으며, 10년 이내 공급이 고갈될 것으로 보인다. 이제 과학자들에게 새로운 유형의 전도성 투명 박막을 찾아내는 시급한 일이 하나 생겼다.”라고 말한다. 맨체스터 연구팀은 현재 풍부한 천연자원인 흑연 덩어리를 그래핀으로 용해하고 이 현탁액을 유리 표면 위에 도포함으로써 고투명, 고전도성 초박막을 값싸게 제조할 수 있음을 실증해 보였다.

최종적으로 얻어진 그래핀 기재의 필름은 LCD로 사용될 수 있다. 이를 증명해보이기 위해 연구팀은 그래핀 전극을 포함하는 최초의 액정 장치를 제작하였다.

Novoselov 박사는 이 기술이 양산 단계에 이르기까지는 단지 몇 가지 단계만을 남겨두고 있다며, 그래핀 기재의 LCD 제품이 수년 내 곧 시판될 것이라고 말한다.

독일 막스플랑크 고분자 연구소(Max Planck Institute for Polymer Research)의 한 연구팀이 최근 태양전지용 투명전극의 제조를 위해 그래핀 기재의 박막 사용에 대해 Nano Letters에 보고했다(X. Wang, L. Zhi, K. Mullen, *Nano Lett.*, **8**, 323 (2008)). 독일 연구팀은 그래핀 박막을 얻기 위해 여러 가지 추가 단계가 필요한 다른 기술을 사용했다.

이에 비해 맨체스터 연구팀이 개발한 박막은 제조 방법이 훨씬 용이하며, LCD뿐 아니라 태양전지에도 사용할 수 있다고 한다.

(*Nano Letters*, April, 2008)

유기박막을 이용한 관엽식물 형태의 태양전지 모듈

청정에너지로 알려진 태양에너지의 이용은 지구온난화를 방지하기 위해서 중요하지만, 현재 보급되고 있는 실리콘계 태양전지의 발전 비용은 아직까지 높은 실정이기 때문에 비용을 낮추는 것이 과제로 남아 있다. 이것을 해결하기 위해 제조 공정을 개선하여 대폭적인 비용절감이 기대되는 것 중 하나가 바로 유기박막 태양전지이다. 지금까지 유기박막 태양전지에 관한 연구는 오랫동안 진행되어 왔지만, 최근에 와서 축구공 형태의 분자구조를 가진 풀러렌(fullerene)이 우수한 n형 반도체 특성을 나타내는 것으로 밝혀졌다.

일본 산업종합연구소는 태양전지의 발전 비용을 기존 전력과 같은 정도로 저감시키기 위한 획기적인 재료 및 디바이스를 개발하고 있다. 또한 유기박막 태양전지의 디바이스 구조를 최적화하여 고효율화를 목표로 하고 있으며, 유기박막 태양전지의 기본 구조인 p-n접합의 사이에 공증착(共蒸着)으로 형성된 벌크 이종층(bulk hetero layer)을 도입하여 프탈로시아닌(Phthalocyanine)-풀러렌(fullerene)계로 세계 최고 수준의 변환 효율을 달성하였다.

이번 연구에서는 산업종합연구소가 디바이스 구조를 담당하고 토

키(Tokki)사가 제조장치의 코어기술 개발 및 모듈 제작을 담당하였으며 미쯔비시상사(Mitsubishi corporation)가 연구 개발에 관한 투자와 마케팅을 담당하였다.

유기박막 태양전지가 가진 선명한 녹색의 색채를 살려 관엽식물을 이미지로 한 나뭇잎 형태의 유기박막 태양전지 모듈을 제작하였다. 나뭇잎 1장은 약 7.5 cm²의 태양전지 셀 8개가 직렬로 구성되어 있으며 약 60 cm²의 면적을 가진 태양전지 모듈이다. 이 모듈을 아주 얇은 보호막으로 보호하여 노화의 원인이 되는 수분, 산소의 침투를 막음으로써 내구성을 향상시켰다. 플라스틱 기판, 나노 크기의 프탈로시아닌층과 풀러렌층을 쌓아 올린 유기박막 태양전지 및 보호막을 이용하여 유연하고 화려하며 가벼운 태양전지 모듈을 구성하였다.

(출처:AIST, http://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/nr20080521/nr20080521.html)



그림. 관엽식물을 이미지로 한 나뭇잎 형태의 모듈.

태양전지의 성능 향상을 위한 새로운 음극 코팅 기술

최근 노스웨스턴대(Northwestern University) 연구진은 태양 에너지 변환 효율성을 향상시킬 수 있는 새로운 음극 코팅(anode coating) 기술을 개발하였다.

과거 가장 성공적인 플라스틱 광전압 전지(plastic photovoltaic cell)는 “벌크-비균질접합” 전지이다. 이러한 전지는 투명 전도성 전극(주석이 도핑된 인듐 산화물(tin-doped indium oxide) 음극)과 알루미늄과 같은 금속(양극) 사이에 샌드위치된 반도체 고분자(전자 주개(electron donor))와 풀러렌(fullerene), 전자 받게(electron acceptor)로 혼합물로 구성된다.

빛은 투명 전도성 전극을 통해 유입되어 광흡수 고분자 층을 때리면, 양극과 음극으로 분리되어 이동하는 전자 및 홀 쌍(electrons, holes)의 형성에 의해 전기가 흐르게 된다. 움직이는 전하는 태양 전지로 생성된 광전류(photocurrent)이며, 두 전극에 의해 모아지게 되는데, 이러한 사실을 미루어 볼 때 전하 각각은 고분자-풀러렌 활성 층과 전하 수송 전극 사이의 계면을 쉽게 넘나드는 것으로 생각할 수 있다.

노스웨스턴 연구진은 매우 얇고(5~10 nm) 매끈한 산화 니켈 층으로 음극을 코팅하기 위해 레이저 증착 기술(laser deposition technique)을 이용하였다. 본 재료는 빛을 받은 전지에서 홀을 추출하기 위한 우수한 전도체이지만, 방향을 잘못 잡은 전자가 음극으로 이동

하는 것도 방지하는 효과적인 저지체이다. 이러한 역할은 에너지 변환 효율과 관련된다.

음극 코팅의 기존 방식과 달리 이번에 개발된 산화 니켈 코팅은 저렴하고, 전기적으로 균일성과 항부식성을 가지고 있다. 벌크 비균질 접합 전지의 경우 노스웨스턴 연구진은 약 40%의 전압 증가 그리고 3~4%의 에너지 변환 효율을 5.2~5.6%로 끌어 올렸다. 하지만, 지난해 개발된 덴덤형 태양 전지의 경우 6.5%라는 효율성이 제시된 것과 비교할 때 추가적인 발전이 필요하다. 사실, 상업적 관점에서 중요한 기술로 고려되기 위해선 태양 전지는 약 8%의 효율로 태양 에너지를 전기로 변환할 수 있어야만 한다. 현재 연구진은 증가된 홀 추출 및 전자 차폐 효율성을 위해 음극 코팅 기술의 조절과 플렉서블 기판(flexible substrate)을 이용한 대량 생산 가능성을 연구 중에 있다.

(*Proceedings of the National Academy of Sciences*, February, 2008)

연료전지 전극 제조를 위한 분사형 적층법

최근 연료전지용 다층 전극을 제조하는데 있어 보다 신속한 방법이 개발되었다. 독일 담스타드대(Darmstadt University, Germany) 마크 미첼(Marc Michel) 연구진은 양성자 교환 멤브레인 연료 전지(proton exchange membrane(PEM) fuel cells)용 전극을 조립하기 위해 분사형 단계별 적층법(sprayed layer-by-layer method)을 이용하였다. PEM 연료전지는 백금 촉매를 이용하여 양극에서 수소를 양성자와 전자로 분리한다. 분리된 양성자는 다 전해질 멤브레인(polyelectrolyte membrane)을 통해 음극으로 이동하며, 그곳에서 양성자는 산소와 결합하여 물을 형성하게 된다. 우수한 성능을 발휘하기 위해선 다 전해질이 양성자는 통과시키지만, 전자는 통과시키지 말아야 하며, 촉매 구조에서는 수소와 양성자가 쉽게 확산될 수 있어야 한다.

과학자들은 전지 구성 성분을 층으로 구성함으로써 이러한 목적을 달성하고 있는데, 전통적인 방법으로 가장 많이 사용되고 있는 것은 반대 전하를 갖는 다 전해질 용액에 다 전해질 멤브레인인 나피온(Nafion)을 반복적으로 담그는 것이다. 반면 이번에 미첼 연구진이 개발한 방법은 나피온에 용액을 순차적으로 분사하는 것으로서 성능 향상이 가능할 것으로 예상되고 있다. 미첼 연구진은 양의 전하를 갖는 용액으로서 백금 촉매와 전도성 고분자인 폴리아닐린(polyaniline)의 혼합물을, 음극 용액으로서 나피온을 이용하였다. 폴리아닐린의 우수한 전도성 및 섬유 구조는 연료 전지를 통한 전하와 이온 운송을 향상시킨다는 것이 확인되었다. 참고로 나피온은 나노 수준의 실린더 형태를 갖는 물 채널이 밀집된 망상구조를 이룬 물질로서, 물이 충전된 튜브에 대한 친수성(hydrophilic)의 견고한 실린더를 형성하기 위해 소수성(hydrophobic) 골격 구조가 덩어리를 이루고 있다.

분사 기술은 신속한 프로세스이며, 제조된 필름의 품질에 영향을 미치지 않는다. 20층을 구성할 경우 분사법은 5분 이내에 완료되지만, 기존의 적층 담금법으로는 2시간 30분 정도가 소요된다. 또한 분사법에서 사용되는 백금의 양은 연료전지에 사용되던 기존의 탄소 지지형 백금 촉매(carbon-supported platinum catalysts)에서 사용되던 것의 절반 정도로서 전지의 가격 인하를 유도할 수 있다. 감소된 비용 및 제조시간을 고려하면 분사 기술이 산업계에 분명 이익이 되지만, 우선 보다 많은 연구가 진행되어야 할 것이다. 현재 연구진

은 폴리아닐린이 연료전지의 우수한 후보 물질인지를 확인하기 위한 장기 안정성 검사를 수행 중에 있다.

(*Physical Chemistry Chemical Physics*, May, 2008)

Block Copolymer(공중합체)를 이용하여 다양한 나노구조 제작

나노 기술과 관련하여 주목받고 있는 물질 중 하나가 두 개 이상의 화학적으로 다른 결합을 가진 중합체를 결합시킨 블록공중합체(block copolymers)이다. 이는 플라스틱, 신발의 고무창과 컴퓨터의 메모리 스틱 등에도 응용이 되고 있다. 블록공중합체는 아주 긴 분자 고리를 가지고 있어서 화학적으로 성질이 특이하다. 특히 한 쪽은 친수성 성질을 가지고 다른 한 쪽은 소수성 성질을 가지기도 한다.

블록공중합체(서로 다른 두 종류 이상의 고분자 사슬이 화학결합을 통해 강제로 연결되어 있는 독특한 형태의 고분자)는 과거에는 주로 고분자복합체 제작을 위한 원료 등으로 이용되어 왔으나, 최근에는 이들이 형성하는 다양한 나노구조들을 이용, 수~수 십 나노미터 수준의 반도체 선폭을 구현하는데 활용하려는 연구들이 많은 관심을 모으고 있다.

얇은 막 형태의 블록공중합체 내에 스스로 형성되는 수 십 나노미터 수준의 구(sphere), 원통(cylinder) 또는 층상(lamellae) 형태의 구조들을 이용하면, 현재 산업계에서 이용되고 있는 반도체 제작법으로는 구현하기 힘든 수 십 나노미터 크기의 미세한 점이나 선 형태의 구조들을 매우 쉽게 만들어 낼 수 있기 때문이다. 실제로 일본의 도시바나 미국의 IBM 등의 굴지의 기업들이 블록공중합체를 반도체 공정에 도입하여 테라비트(기가 비트의 백 만 배, 1조 비트)급의 초고밀도 하드디스크 등을 제작하기 위한 연구들을 진행해 오고 있다.

공중합체 나노복합재료는 기본적인 고분자의 개념이 크게 확장되어 발전한 것이다. 매트릭스의 용도로 단일중합체보다 블록공중합체를 선호하는 것은 나노물질에 공간적 분배를 조절할 수 있으므로, 이 특징을 잘 이용하면 더욱 세련되고 재봉사가 짠 듯한 복합재료의 물성을 얻을 수 있기 때문이다.

이와 관련하여 최근 University of Massachusetts의 연구팀이 블록공중합체를 이용하여 나노링(nanoring) 구조에서부터 나노입자(nanodot)에 이르기까지 다양한 나노구조 패터닝을 성공하였다.

마이크로 단위로 서로 분리된 블록공중합체(BCPs)는 나노입자의 공간적 분포를 조절하는데 있어서 탁월한 능력을 지니고 있다. 따라서 이를 이용하면 기계적 강도, 전도성, 투과성, 촉매 반응성, 광학적 특성 및 자기적 특성을 잘 조절할 수 있다. 이러한 방향성과 수평방향 위치 조절 능력이 앞서 언급했듯이 블록공중합체를 나노구조 물질 제작을 위해 사용되도록 하는 큰 특징 중 하나이다.

최근 나노레터 학술지에 "From nanorings to nanodots by patterning with block copolymers"라는 제목으로 발표한 이번 논문에서는 실린더 모양의 나노패턴 구조를 형성하고 있는 블록공중합체에 금의 증착 조건(증착두께 및 증착 angle)을 변화시켜 주므로써 홀(holes) 구조, 링 구조 및 dot 구조 등의 세 가지 다른 종류의 금 나노패턴을 생성하였다. 또한 제작된 나노패턴을 다른 기판으로 성공적으로 옮길 수 있다는 것을 보고하였다.

나노기술에 있어서 가장 큰 이슈 중 하나는 이를 어떻게 제어할 것인가 하는 점이다. 단일 소자의 측면에서는 이미 그 우수성이 기존

의 평균 구조나 필름을 이용한 소자보다 월등하다는 것이 밝혀졌지만 정말 이용가능한 산업적 생산품이 나오기 위해서는 이를 대량 생산할 수 있어야 하고 그러기 위해서는 구조를 안정적으로 제어하는 것이 매우 중요하기 때문이다. 그러한 측면에서 이번 연구의 결과는 매우 중요한 것으로 보이며, 실제 많은 기업과 연구팀이 시도하는 나노구조의 대량 생산을 위한 방법 중 하나로 크게 주목을 받을 것으로 보인다.

(*Nano Letters*, April, 2008)

pH와 온도에 따라 감응하는 청정 겔

최근 캘리포니아 버클리대(University of California, Berkeley) 연구진은 합성 고분자와 단백질로 구성된 하이브리드 재료(hybrid materials)의 제조를 위한 새로운 방법을 보고하였는데, 개발된 재료는 플라스틱의 벌크 및 공정 성질과 더불어 단백질의 특별한 생물학적 기능이 융합되어 있다.

고분자-단백질 하이브리드 재료는 센서, 나노기계 부품, 혹은 대부분의 항암제들이 불용성이기 때문에 인체의 수화 환경에 약물을 운송하는 약물 전달 시스템(drug-delivery systems)의 제조에 이용될 수 있다. 최근 아아론 에서-칸과 매튜 프랑시스(Aaron P. Esser-Kahn and Matthew B. Francis) 연구진은 pH와 온도 변화에 감응해 녹색 형광(green-fluorescing)을 발하는 생분해성 겔(biodegradable gel)을 성공적으로 합성할 수 있었다. 하이브리드 재료를 제조하기 위한 이전의 공정방식들은 단백질 결사슬(protein side-chains)에는 사용될 수 없는 특별한 커플링 기술(coupling techniques)을 이용하였다. 반면 이번에 개발된 방법은 원리상으로 어떠한 단백질에도 적용될 수 있기 때문에 광범위하게 응용될 수 있다. 과거 자연의 끈끈이주걱 식물을 모방하여 가느다란 실리콘 나노기둥에 유연한 히드로겔(hydrogel) 층으로 도포함으로써 습도 변화에 따라 구부러지거나 펴지는 작은 하이브리드 재료가 개발되었다.

커플링은 단백질 사슬의 모든 말단에서 발생하는데, 이는 하나의 아미노산(amino acid)과 하나의 카르복시산(carboxylic acid)을 갖는 모든 단백질에서 동일하다. 초기 사슬의 두 말단을 활성화시키기 위해 두 말단 모두가 병렬적이지만, 상호 독립적인 반응이 진행된다. 이후 고분자에 특별한 화학 “결합부(anchor points)”가 부착된다. 따라서 단백질은 개개 단백질을 3차원 네트워크로 교차 결합시켜, 히드로겔을 형성하게 된다. 히드로겔은 고분자 네트워크에 물이 담지되어 구성되는 젤라틴과 같은 고체이다. 히드로겔의 알려진 예는 소프트 콘택트 렌즈이다.

프랑시스와 에서-칸 연구진은 고분자 사슬이 교차 결합되었을 때 녹색 형광을 발하는 단백질을 채택하였다. 단백질은 고분자에 부착되었을지라도 보통의 폴딩 패턴을 유지하기 때문에, 형광 또한 유지된다. 다시 말해 겔 전체가 녹색 형광을 띤다.

한편 하이브리드 재료는 특별한 특성을 갖는데, 고분자 사슬의 교차 결합이 단백질을 통해 배타적으로 진행된다는 것이다. 단백질을 분해하는 효소인 프로테아제(proteases)에 의해 단백질이 파괴되기 때문에 이러한 겔은 생분해성을 갖는다. 단백질의 녹색 형광은 pH에 의존한다. 또한 겔은 pH 변화에 반응한다. 형광은 염기성 환경에서만 발생하며, 약산성 환경에서 겔은 더 이상 형광을 내지 않는다. 또한 온도를 증가시키면 겔에서 감응이 나타나는데, 단백질은 섭씨 70도에서 변성되기 때문에 형광이 사라지고 겔은 줄어들게 된다.

(*Angewandte Chemie International Edition*, April, 2008)

본 기술 뉴스는 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 글로벌동향브리핑(GTB) 및 나노위클리(Nano Weekly)에서 발췌, 정리하였습니다.

<한국과학기술연구원 김경곤, e-mail: kimkk@kist.re.kr>