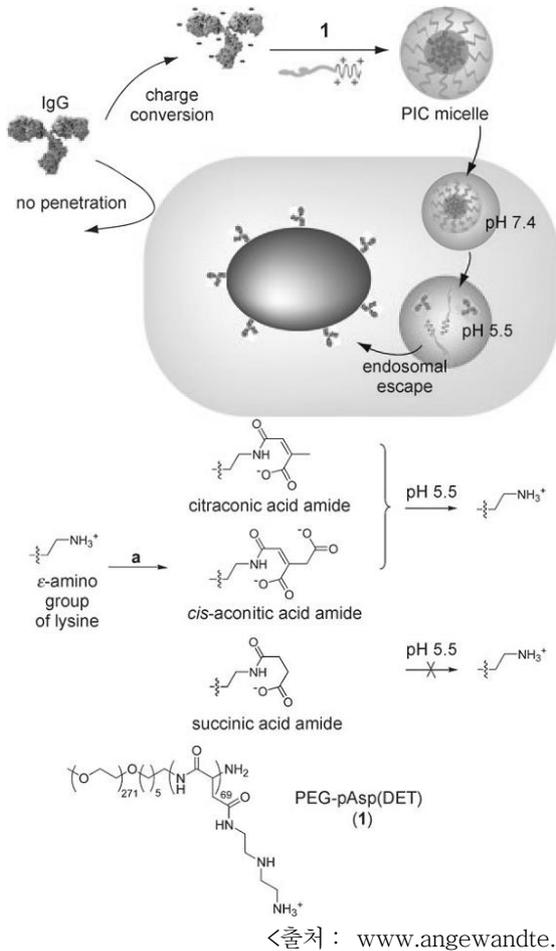


어려운 150 kD의 분자량을 가진 면역글로블린 항체 G(IgG) 분자를 쉽게 전달할 수 있다.



### MIT 연구진 폴리에틸렌을 열전도물질로 변환

긴 사슬모양의 분자들로 이뤄진 고분자는 열과 전기를 모두 차단하는 훌륭한 절연체다. 하지만 MIT Gang Chen 교수가 가장 많이 사용되는 고분자인 폴리에틸렌(polyethylene)을 전기절연체로 그대로 두면서 금속처럼 열은 잘 전달하는 물질로 변환시키는데 성공했다. 이 연구성과는 3월 7일자 Nature Materials지에 발표되었다. 이 새로운 발견은 모든 방향으로 똑같이 열을 전달하는 금속과는 달리 고분자가 한가지 방향으로만 아주 효율적으로 열을 전달하게 한다. 이는 컴퓨터 프로세서 칩과 같은 물질로부터 열을 끌어오는데 유용하게 쓰일 수 있다.

이 변환에서 중요한 점은 모든 고분자 분자들을 평소처럼 무작위로 배열되게 하는 것이 아니라 같은 방식으로 정렬할 수 있다는 점이다. 연구팀은 수용액에서 폴리에틸렌 섬유를 뽑아냄으로써 이 일을 해냈다. 원자힘 현미경의 외팔보(cantilever)를 이용한 개가이다. 이 섬유는 각각의 섬유방향을 따라 일반적인 폴리에틸렌보다 300배 더 열을 잘 전달한다고 연구팀의 수장인 Gang Chen 교수는 설명했다. 이 높은 열전도성은 이러한 섬유들을 금속이 쓰이는 여러 응용점들에서 열을 퍼뜨리는데 쓰일 수 있다. 예를 들면 태양열로 가열된 뜨거운 물 집적기나 열교환기, 전자기기를 말이다.

Chen 교수는 또한 탄소나노튜브처럼 다른 물질에 얹을 수 있는 향상된 열전도성을 가진 고분자를 개발하려는 시도들이 많다고 소개했

다. 하지만, 이들은 다른 두 물질간의 접촉면이 열에 저항하는 성질이 있기 때문에 전도성을 조금만 올리는데 그쳤다. “이 경계면은 실제로 열을 방출하기 때문에 많은 전도성의 향상을 가져올 수는 없다. 하지만, 이번에 개발된 방법을 쓰면 이 전도성이 많이 높아져서 철이나 백금 등의 모든 순수금속의 절반정도보다 더 뛰어나다”라고 Chen 교수는 설명했다.

이번 논문의 주저자인 Sheng Shen 대학원생은 새로운 섬유를 생산하면서 이 고분자 분자들이 모두 정렬되는 과정은 두 단계라고 설명했다. 즉, 한번 가열하고 잠시 후 다시 가열하는 것이다. 지금까지 연구팀은 실험실에서만 각각의 섬유를 생산했다. 하지만, 곧 큰 규모에서도 생산이 가능하게 될 것이라고 Chen 교수는 말했다. 인텔사의 엔지니어인 Ravi Prasher는 “Chen 교수는 이번 연구성과를 비롯해 항상 혁신적인 것을 만들어 낸다. 이는 많은 전자공학에서 응용될 수 있는 중대한 진전이다. 이제 남은 과제는 이들 섬유들의 생산을 얼마나 많이 할 수 있는가, 어떻게 하면 손쉽게 이들 섬유들을 실생활에 적용할 수 있도록 붙일 수 있는가 하는 점들이다.”라고 말했다.

<Nature Materials, 7 March, 2010>

### 모양을 바꾸는 중합체들

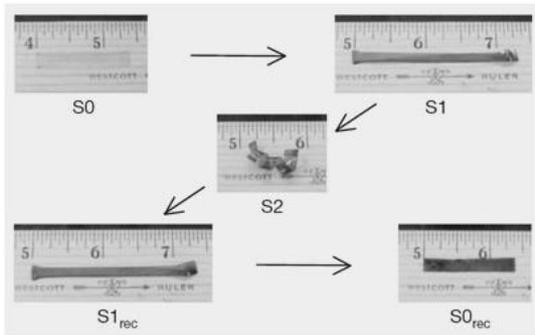
미국 연구자들이 이른바 형상 기억 중합체(shape memory polymer)-일시적인 모양을 취하고 나서 외부의 자극에 반응하여 그것의 영구적인 모양으로 되돌아갈 수 있는 물질-가 어떻게 광범위한 다른 모양들을 ‘기억하는’ 독특한 능력을 가지며, 미세하게 조절된 온도에 반응하여 즉각적으로 모양을 바꿀 수 있는지 보였다(T Xie, Nature, 2010, DOI: 10.1038/nature08863).

그 연구는 주어진 조건에 따라 다양한 모양을 취할 수 있는 새로운 지식형 중합체들을 개발하는데 가능성을 열어준다. 형상 기억 중합체들은 특정한 일시적인 구조를 가지지만, 열이 가해졌을 때 다른 영구적인 모양으로 돌아갈 수 있도록 프로그램 될 수 있다. 이렇게 하기 위해서 일시적인 모양은 그 중합체의 상전이(phase transition) 내에서 만들어진다-예를 들어 유리의 전이는 열을 가하면 중합체의 분자들이 ‘언(frozen)’ 유리 상태에서 보다 움직임이 있는 ‘고무같은(rubbery)’ 상태로 변한다. 대부분의 형상기억 중합체들은 오직 하나의 전이상태를 가지기 때문에 그들의 기억에 오직 하나의 임시 모양을 가질 수 있다. 그러나 미시간에 있는 제너럴모터스 연구개발센터(General Motors Research and Development Center in Michigan)의 Tao Xie는 몇몇 중합체들이 단 하나의 전이 상태(transition state)를 가짐에도 불구하고 최소한 세 가지, 또는 그 이상으로 일시적인 모양들을 취하도록 프로그램 될 수 있다는 것을 보여주었다.

Xie는 상업적으로 이용 가능한 중합체 나피온(Nafion)-연료 전지에서 막으로 사용되는 퍼플루오로술폰산 이오노머(perfluorosulfonic acid ionomer)의 형상 기억을 조사했다. 나피온은 55도에서 130도에 이르는 넓은 범위의 유리 전이 온도를 가졌다. 그 중합체의 가닥을 그것의 유리 전이 온도 이상으로 가열하고 잡아 늘림으로써 그것은 영구적인 모양을 유지할 수 있다. 그 다음에 그것을 예를 들어 90도로 냉각시키고, 굽히는 것과 같은 다른 힘을 가하면 그것에 일시적인 모양을 가지게 할 수 있다고 Xie는 말했다. 그것을 60도까지 더 냉각시키고 또 다른 힘을 가하면, 또 하나의 (일시적인) 모양을 줄 수 있고 그것을 20도 까지 냉각시켜서 세 번째 모양을 프로그램할 수 있다고 Xie는 말했다. 이 과정이 그 물질을 특정 온도들과 관련된 다른 모양들

을 가지도록 ‘프로그램(program)’하는 것으로 작용한다고 Xie는 설명했다. 그 다음에 할 일은 오직 그것을 60도까지 가열하는 것이며, 그것은 그 온도에서 고정된 모양을 취할 것이며, 90도에서 또 다른 모양을 취하고, 140도에서 그 영구적인 모양을 회복할 것이라고 Xie는 말했다.

그 폭넓은 전이 온도 범위 때문에 많은 뚜렷하게 구별되는 모양들을 그 중합체에 프로그램 해 넣을 수 있다. 그리고 이 범위 내에서 어떤 온도라도 선택할 수 있어 그 시스템이 매우 조절이 가능하다고 Xie는 말했다. 그러나 나피온 자체는 대량 생산을 위해서는 좋은 후보자가 아니다. 폭넓은 전이온도 범위를 가진 보다 처리하기 쉬운 중합체들을 현재 찾고 있는 중이다. 독일의 테토우에 소재하는 GKSS연구소(GKSS Research Centre in Teltow)에 있는 형상 기억 중합체 전문가인 Andress Lenlein은 나피온의 ‘호의적이고 다양한’ 형상-기억 성질들을 찾은 Xie의 발견이 놀랍다고 말했다.



**그림.** 나피온은 기억적으로 몇 가지의 모양들을 취할 수 있다. S0(영구적인 모양), S1(첫번째 일시적인 모양), S2(두번째 일시적인 모양): S1rec(회복된 첫번째 일시적인 모양), S0rec(회복된 영구적인 모양).

### 뼈와 같이 단단한 바이오재료

외과수술에 사용되는 나사들은 종종 티타늄으로 만들어진다. 이들은 어느 정도 지나 제거되고 새로운 다른 나사로 대체된다. 바이오재료로 나사를 만들면 이러한 작업이 불필요하다. 바이오재료는 뼈 성장을 촉진하고 생분해된다. 축구선수, 스키선수, 테니스 선수들은 모두 무릎 십자인대 파손에 대해 염려를 많이 하며 부상도 많이 당한다. 만약 무릎 십자인대가 손상되면 환자들은 일반적으로 결핵부위의 안정성이 회복할 수 있도록 외과수술을 받게 된다. 외과 수술에서 찢어진 인대는 다리의 힘줄 조각으로 대체되며 이 힘줄은 간섭나사를 사용하여 뼈에 고정시킨다. 문제는 나사가 티타늄으로 만들어진다는 점에 있는데 일정시간이 지나면 티타늄 나사를 제거하기 위한 또 다른 수술을 받아야 하기 때문이다.

브레멘에 있는 프라운호퍼 연구원의 제조기술 및 응용재료연구부의 연구원들은 무릎 십자인대 및 다른 뼈에 손상을 입은 환자들의 고통을 줄여주기 위해 일정시간이 지나면 생분해되고 인체에 적합성을 가진 나사를 바이오재료로 제조하였다. 연구원들은 바이오재료를 수정하고 특별한 사출성형 공정을 사용하여 튼튼하고 인체에 적합하며, 인체에 흡수될 수 있는 나사를 제조하였다고 연구원의 바이오재료 개발부의 책임자인 Philipp Imgrund 박사는 말한다.

바이오재료의 조성에 따라서 바이오재료는 24개월 내에 생분해된다. 폴리락티산으로 제조된 생분해 나사들은 이미 의학분야에 사용되고 있으나 생분해될 때 뼈에 구멍을 남기는 단점을 가지고 있다. 따

라서, 연구원들은 재료의 특성을 향상시켜, 폴리락티산과 히드록시아파타이트(hydroxylapatite)로 제조된 사출성형이 가능한 복합재료를 개발하였다. 히드록시아파타이트는 뼈의 주된 구성물인 세라믹이다. 이 복합재료는 히드록시아파타이트의 함량이 보다 많으며 임플란트 내로 뼈의 성장을 촉진한다고 Imgrund는 말한다.

연구원의 기술자들은 기존 사출성형 방법을 사용하여 제분과 같은 재료로 만드는 후공정이 필요 없는, 정확하게 제조될 수 있는 바이오재료로부터 날알 모양의 형상을 개발하였다. 복잡한 형상은 망상 공정 내에서 이루어졌으며 강한 나사를 제조할 수 있었다. 이 프로토타입은 실제 뼈와 매우 유사한 특성을 나타내었다. 압축강도는 실제 뼈가 입방 밀리미터당 130~180 뉴턴인데 이 복합재료의 압축강도는 130뉴턴 이상으로 나타났다. 더구나, 사출성형공정은 우수한 부가적인 특성을 나타내었다. 일반적으로 분말 사출 성형된 부품은 섭씨 1400° 이상의 온도에서 압축하여야 하는데 이 복합재료는 단지 섭씨 140°에서 제조될 수 있다고 Imgrund는 말한다. 앞으로 기술자들은 에너지절약 공정을 사용하여 다른 바이오 임플란트를 개발할 계획을 가지고 있다.



**그림.** 외과의사들은 무릎 십자인대를 단단히 조이기 위해 간섭나사를 사용하고 있다. 왼쪽부터 폴리락티산, 히드록시아파타이트 및 스텐레스 스틸로 만들어진 나사. <출처: <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2010/03/bone-hard-bimaterial.jsp>>

### 생분해되고 생체적합한 새로운 고분자

IBM 및 스탠포드 대학의 과학자들은 생분해될 수 있고 생체적합한 새로운 고분자의 개발에 대한 내용을 미국화학학회 잡지인 *Macromolecules*에 게재하였다. 이 연구결과는 여러 해 동안의 연구에 의해 얻어졌으며 앞으로 일반적으로 사용되는 폴리테레프탈레이트(PET) 병 및 식물 기반 플라스틱의 재활용 및 재사용 가능성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 잠재력을 가진 새로운 리사이클 공정도 개발해낼 수 있게 해준다. 3월 15일에 발표된 내용은 생분해 플라스틱, 플라스틱 리사이클, 건강 및 마이크로 전자를 포함한 산업체 전반에 걸친 지속가능성을 함축하고 있다.

IBM과 스탠포드 과학자들은 녹색 고분자화학에 유기촉매를 응용하는데 있어 선구적인 역할을 하고 있다. 녹색 고분자화학은 최근 빠르게 발전하고 있는 분야이다. 과학자들은 유기촉매를 사용하여 잘 정의되고, 생분해되는 분자들은 환경친화적인 재생가능한 자원으로 만들 수 있다는 것을 발견하였다. “우리는 지속가능하고 친환경적인 미래를 만들기 위해 재료과학에서의 우리의 전문성과 기술을 응용하는 새로운 방법들을 시도하고 있다. 개발된 유기촉매의 새로운 계열은 그린화학에 보다 다양하게 적용될 수 있으며 생분해성 플라스틱을 제