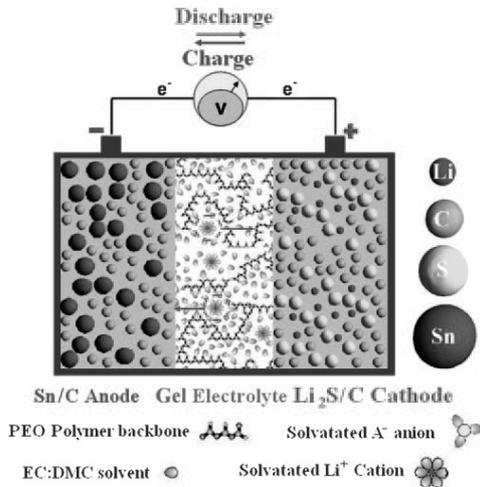


### 고성능 고분자 주석 황 리튬 이온 배터리

높은 이론 비에너지(specific energy)와 에너지 밀도의 리튬-황 배터리 화학(각각 2,500 Wh/kg and 2,800 Wh/L)의 이점을 이용하는 독특한 고분자 주석 황 리튬-이온 배터리가 로마 라 사피엔자 대학교 (Universita degli Studi di Roma La Sapienza)의 연구팀에 의해 개발되었다. 황 cathode와 리튬 금속 anode를 사용하는 일반적인 접근법을 채택하지 않고, Jusef Hassoun와 Bruno Scrosati는 cathode로써 탄소 리튬 설퍼이드 복합체(carbon lithium sulfide composite)를 사용하고 anode로써 주석 탄소 복합체(tin carbon composite)를 사용함으로써, 리튬 금속이 없는 배터리를 개발하였다. 지난 2월 28일 Angewandte Chemie International Edition 지에 게재된 연구에서, 셀(cell)의 비에너지는 1,100 Wh/kg임을 보고하였다.

리튬-이온 배터리가 전극의 분자 사이에 이온을 삽입하는 방법에 의해 리튬 이온을 저장하기 위해 중간삽입(intercalation)이라는 공정을 사용하는 반면에, 리튬-황 배터리는 황과 중간체인 설퍼이드 이온(sulfide ion)을 다수 생성해 내는 다단계 산화환원 반응에 의존한다. 전형적인 접근법에 따르면, 음극의 리튬 전극은 방전때 용액에 용해되며 충전 시 도금된다. 중간체인 설퍼이드 이온의 용해성은 전해질로 사용된 용매에 의존하며, 배터리의 전압 및 방전 용량 프로파일은 사용된 용매에 의존한다.



리튬-황 배터리의 실제적 개발은 몇 가지 문제로 인해 지연되어 왔다. 주요 문제는 유기 전해질에서 폴리설퍼이드  $Li_2S_x$  ( $1 \leq x \leq 8$ )의 높은 용해성이다. 폴리설퍼이드는 충전과 방전과정에서의 중간체 형태이다. 이런 높은 용해도는 실제 질량손실을 일으키며, 이것은 황 음극의 활용도가 낮은 까닭이자 반복에 따른 심각한 용량의 저하를 발생시킨다. 용해된 폴리설퍼이드 이온은 전해질을 통해 이동하면서 리튬 금속 양극에 도달하여 표면에 비용해성 물질을 생성한다. 이 과정은 또한 배터리의 성능에 악영향을 끼친다. 핵심은 일정하게 높은 용량, 긴 주기성 및 안전성을 부여하기 위한 개선된 구조를 성취하는 것과 같은 이 배터리의 화학특성을 완전히 교체하는 것이다. 이에 연구팀은 리튬 금속이 없는 새로운 배터리를 개발하고 시연하였으며, 대략 이런 목표를 효과적으로 만족시킨 것으로 보인다. 지금까지 제안된 대부분의 리튬-황 배

터리의 경우처럼 충전 상태에서 제조되고 탄소-황 복합체 cathode와 리튬 금속 anode를 사용하여  $16Li + S_8 \rightarrow 8Li_2S$ 의 방전 과정이 진행되는 것과는 달리, 본 연구에서 제작한 배터리는 탄소 리튬 설퍼이드 복합체를 cathode로 사용하여 방전된 상태에서 제조된다.

또한, 연구팀은 보통의 액상 유기 용액 대신에 겔 타입의 고분자막을 사용하였다. 전기화학 과정을 진행시키기 위해 필요한 리튬 이온은  $Li_2S/C$  cathode에 의해 제공되기 때문에, 리튬 이온을 방출하거나 받아들일 수 있는 어떤 물질도 anode로 사용되어 리튬 금속을 대체할 수 있다고 저자들은 밝혔다. 연구팀은 주석/탄소 나노복합체(Sn/C) 1:1 중량비로 하였다. 개선된 Sn/C 전극의 비용량은  $Li_2S/C$  전극의 것과 같았으며, Sn/C 전극은 높은 화학적 안정성을 보여주었다. 실용적인 리튬-황 배터리에 대한 연구는 아직 지속된다고 표현한 연구팀은, 전극 형태 및 배터리 구조의 최적화를 이룬다면 수명 주기와 고속 충전 효율(rate capability)을 보여줄 것으로 예상하고 있다.

<Angew. Chem. Int. Ed., DOI: 10.1002/anie.200907324>  
<J. Power Sources, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2009.07.046>

### 새로운 방식의 미셀을 통한 항체의 효과적인 전달

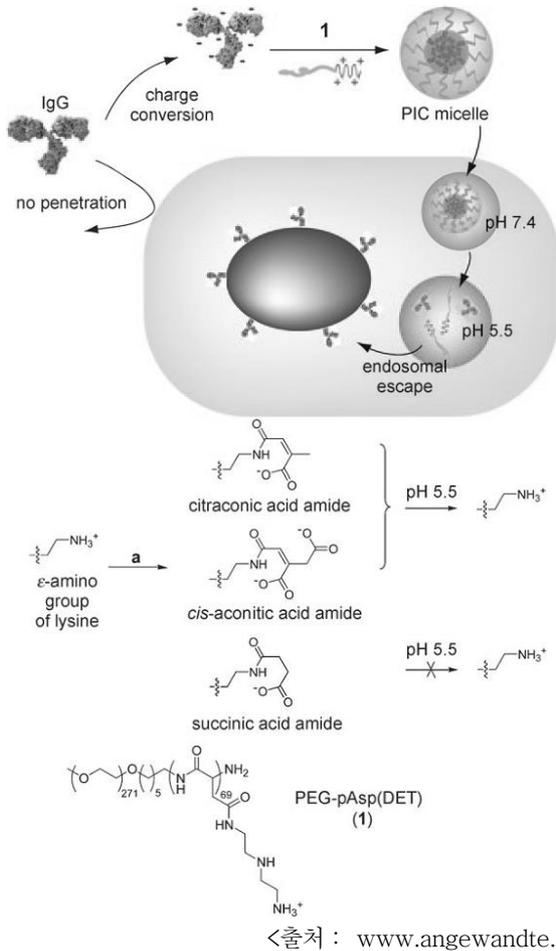
항체들은 뛰어난 선택성을 가지고 세포의 항원을 인식하여 활성을 죽이는 체액면역의 가장 중요한 구성성분이다. 더욱이, 단일 클론의 항체 개발은 최근 바이오 제약으로서 항체의 성공에 기여해 왔다. 그러나 그런 항체의 목표는 세포 내부로 항체를 전달하는 시스템의 부족으로 세포 밖에서 제한되어 왔다. 비록 세포의 단백질의 감지와 비활성화는 부분적으로 항체의 세포외 발현에 의해 이루어져 왔다. 치료와 바이오 분석에 있어 더 나은 발전을 하려면 살아있는 세포 속으로 효과적이며 안전한 항체의 전달 방법이 요구된다.

일본의 연구팀은 하전-역전 폴리이온 복합체 미셀을 이용한 새로운 단백질 전달 시스템을 개발하여 독일화학회지 3월 4일자로 발표하였다(그림). 마이크로 주입, 리포솜, 세포투과 펩타이드 등 다양한 방법들이 도입되고 있지만 이들의 일반적인 사용은 종종 제한된다. 왜냐하면 이런 방법들의 복잡성과 비효율 뿐 아니라 아주 특별한 장치의 요구가 필요하기 때문이다. 연구팀은 최근 하전-역전 폴리이온 복합체(PIC) 미셀에 기반한 세포질속으로 새로운 단백질 전달 시스템을 개발했다. 모델 단백질, cytochrome c의 하전 밀도는 하전-역전 성분, citraconic acid amide(Cit) 혹은 cis-aconitic acid amide(Aco) 안으로 라이신 잔기 아민의 개질에 의해 일시적으로 증가될 수 있다(그림).

양으로 하전된 라이신은 음으로 하전된 카복시기로 이 개질에 의해 바뀐다. 개질된 단백질들은 강하게 음이온이며 하전 밀도가 양이온성 블록 공중합체와 안전한 PIC 미셀을 형성하게 된다. 폴리에틸렌 글리콜(PEG) 블록은 표면 껍질로 형성된다. PIC 미셀이 세포속으로 들어간 후 Cit와 Aco는 빠르게 엔도솜 pH 5.5에서 원래 라이신으로 분해되어 재생산된다.

PIC 미셀의 해리는 원래 단백질이 재생되어 자유로운 양이온 블록 공중합체를 방출하게 된다. 이는 엔도솜 멤브레인이 단백질의 세포질로 탈출시키는 것을 돕게 된다. 연구팀은 이번 연구에서 세포 경로를 조절하는 목적으로 세포내 항체 전달에 같은 개념을 도입하였다. 연구팀은 하전 역전 PIC 미셀은 살아있는 세포의 세포질속으로 전달하기

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 섬유의 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