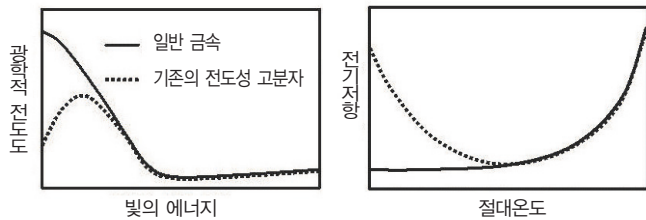


순수한 금속 성질 갖는 플라스틱 상용화 눈앞에

글 | 이광희 _ 부산대학교 물리학과 교수 kwhlee@pusan.ac.kr

일 반적으로 플라스틱이라고 불리는 많은 종류의 고분자 제품들은 가공하기 쉽고 가볍고 값이 싸다는 이유로 우리 주변에 많이 활용되고 있으나, 강도가 약하고 전기전도도와 열전도도가 낮은 부도체라는 이유로 전기전자나 광학적 활용에는 한계가 있었

다. 그러나 1977년 당시 미국 펜실베이니아 대학의 A. J. 히거 교수와 A. G. 맥디아미드 교수 연구팀이 일본의 시라카와 히데키 교수가 합성한 폴리아세틸렌 필름에 할로젠 원소를 도핑하면 전기전도도가 급격히 증가하는 부도체-금속 상전이 현상이 일어난다는 사실을 발견하였고, 이후부터 플라스틱은 더 이상 부도체가 아닌 전기가 통하는 전도체로서 활발한 연구가 진행되기 시작하였다.



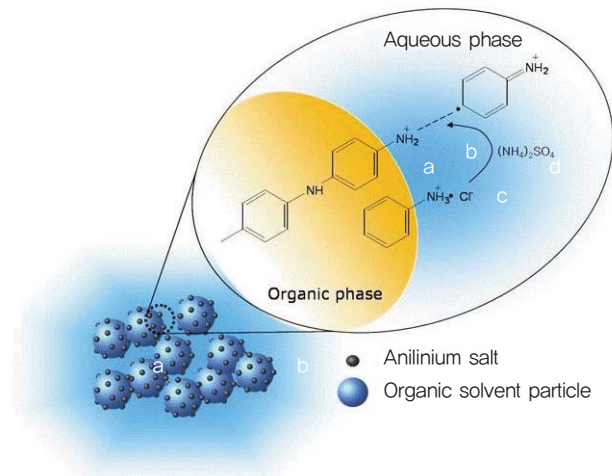
일반 금속과 기존의 전도성 고분자의 차이

도핑 통해 금속 특성 갖는 '전도성 고분자'

폴리아세틸렌과 같은 고분자는 탄소원자들이 단일결합과 이중결합이 번갈아 반복되는 사슬구조를 하고 있고, 또한 π -전자가 어느 정도 자유롭게 움직일 수 있기 때문에 ' π -공액고분자' 라고 부르며, 특히 도핑을 통해 금속의 특성을 갖는 고분자를 '전도성 고분자' 라고 한다. 이러한 전도성 고분자는 1970년대 후반에 처음 발견된 이후, 새로운 전기 전자 물질로서 많은 연구를 촉발시키며 지금까지 비약적인 발전을 거듭해 왔고, 이를 발견한 히거 교수와 맥디아미드 교수 및 일본의 시라카와 교수는 2000년도 노벨 화학상을 수상하였다.

그러나 이러한 전통적인 전도성 고분자는 전기가 통하기는 하지만 '드루드 모델' 과 같은 간단한 고체물리학의 기초이론으로 설명이 가능한 전형적인 금속과는 사뭇 다른 물리적 특성을 보였다. 대표적인 예로 광학적 전도율에서 일반적인 금속은 적외선의 낮은 에너지 영역에서 드루드 모델의 예측대로 에너지를 낮출수록 광학적 전도율이 계속 증가하는 모습을 보이는 반면, 기존의 전도성 고분자는 특정 에너지보다 낮은 에너지에서는 오히려 광학적 전도율이 감소하는 현상을 보여준다.

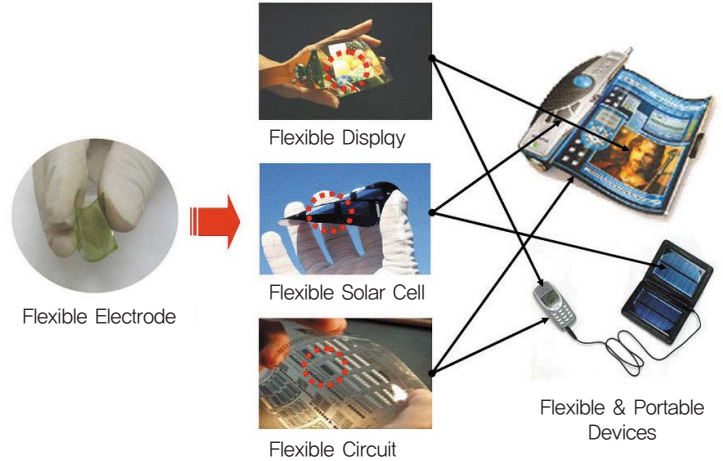
또한, 온도에 따른 저항 측정에서도 일반 금속의 경우에는 온도



자체분산중합법을 이용한 폴리아닐린의 합성 개략도



순수 금속 특성의 전도성 고분자를 이용한 플렉서블 전극 및 응용의 예



가 낮아지면 낮아질수록 전기 저항은 계속 감소하나, 기존의 전도성 고분자에서는 처음에 낮아지던 전기 저항이 특정 온도를 기점으로 다시 증가하는 현상을 보여준다. 이러한 현상은 무질서계 금속 (Disordered Metal)의 대표적인 모습이며, 이러한 물질내에 존재하는 무질서도는 전도성 고분자의 전도도를 급격히 하락시켜 이를 이용하려는 여러 응용연구에서 항상 걸림돌이 되었다.

‘자체분산 중합법’ 이용 전도도 높은 폴리아닐린 제조

그러나 이번에 개발된 새로운 폴리아닐린계의 전도성 고분자는 기존의 전도성 고분자와는 달리, 순수한 금속의 전기적 물성 특성을 보여주고 있으며, 전기 전도도 역시 최고 1,200S/cm의 수치로 기존의 전도성 고분자에 비해 월등히 높은 전도적 특성을 나타낸다. 이러한 결과는 새로 개발된 ‘자체분산 중합법’을 이용한 제조 과정에서 분자들 사이의 어긋난 결합을 배제하여 분자적 규모에서 기존의 물질보다 더욱 높은 순도의 물질을 얻음으로써 가능하게 되었다.

자체분산 중합법은 수용액내에서 고분자화하는 기존의 폴리아닐린 중합법과는 달리, 어떠한 안정제의 첨가 없이 수용액내에 유기용매가 분산되어 있는 이중구조에서 중합이 일어난다. 이 시스템에서는 별도의 안정제를 첨가하지 않고 폴리아닐린 단일 분자나 고분자의 사슬 자체가 스스로 안정제로 작용하여 수용액내에서 유기부분의 적당한 분산을 이끌게 된다. 또한 폴리아닐린 모노머가 친수성과 소수성이 공존하기 때문에 고분자 합성은 유기용매와 수용액의 경계면을 따라 일어나게 되고, 이것으로부터 고분자 사슬의 엉킴이 현저히 줄어들게 되어 기존의 폴리아닐린에 비해 매우 높은 순도를 나타낸다. 특히 이 제조기술은 반응기를 특수제작하거나 첨

가제가 없이도 전도도가 높은 폴리아닐린을 제조할 수 있는 획기적인 기술로 평가된다.

이와 같은 획기적인 제조기술로 제조된 폴리아닐린은 1,200S/cm라는 높은 전도도를 가지고 있어 이를 박막화로 제작하면 투명한 금속 전극으로 사용이 가능하다. 특히 플라스틱의 유연성과 경제성, 제작용이성의 장점을 활용할 수 있어 미래의 기술로 불리는 종이처럼 휘어지거나 말 수 있는 새로운 용도의 플렉서블 디스플레이의 전극으로 사용이 가능하다.

또한 이들 고성능 폴리아닐린은 고효율의 포토다이오드, 대형 박막구조의 태양전지, 전계효과 트랜지스터 개발도 가능할 뿐만 아니라 무게가 가볍고 단위 무게 당 출력 및 용량이 큰 고분자 2차전지의 개발이나 슈퍼커패시터, 금속의 부식방지도 응용성이 검토되고 있다. 그 외에도 이들 폴리아닐린은 정전기 제거, 유해 전자파 차폐 및 흡수용으로도 연구되고 있는 등 앞으로 실질응용연구를 통해 일상용품에서부터 첨단 산업제품에 이르기까지 다양한 분야에서 핵심소재로 쓰일 전망이다.

특히 휘어짐이 가능한 고성능 폴리아닐린은 외부충격에 깨어지지 않는 전기소재로 사용될 수 있어서 플렉서블 디스플레이, 플렉서블 태양전지 및 플렉서블 회로 등의 개발에 탄력을 불어넣어줄 것으로 보인다. 이는 차후 두루마리 TV, 태양전지를 이용한 휴대용 충전장치 및 입을 수 있는 디스플레이 등의 개발에 핵심요소로 이용될 수 있는 중요한 원천기술이 될 것으로 기대되고 있다. ㉔



글쓴이는 서울대학교 원자핵 공학과 졸업 후 한국과학기술원 물리학과에서 석사학위를, 미국샌타바버라 소재 캘리포니아 주립대학에서 박사학위를 받았다.