

광자 에너지 손실이 적은 고효율 고분자 태양전지

손해정 | KIST (E-mail: hjson@kist.re.kr)

일본 히로시마 대학 (Hiroshima University)의 연구진은 광자 에너지 손실을 줄일 수 있는 신규 낮은 밴드갭 고분자 물질을 개발하여 ~9%의 높은 효율과 ~1 V의 높은 개방전압(open-circuit current, V_{oc})을 보이는 고효율의 고분자태양전지를 실현화하였다. 이러한 연구는 단순한 소재 개발에서 벗어나 고분자 태양전지의 효율 향상을 위한 고분자들이 나아가야 할 방향을 제시한다는 점에서 주목할 만하다.

반 도체 고분자와 플러렌 유도체를 각각 p형과 n형 물질로 이용한 고분자 태양전지는 저가의 용액공정을 이용하여 가볍고 유연한 소자를 구현이 가능하다는 장점으로 인해 신재생에너지 분야에서 주목을 받아왔다. 현재 고분자태양전지는 반도체 고분자의 비약적인 발전으로 인하여 단일 접합소자 구조에서 10% 이상의 높은 전력변환효율(power conversion efficiency, PCE)을 기록하고 있다.

최근보다 효율이 향상된 고분자 태양전지를 위하여 높은 단락전류(short-circuit current, J_{sc})와 높은 V_{oc} 의 동시구현이 가능한 고분자 개발에 대한 연구가 진행되고 있다. 하지만 널리 알려져 있는 바와 같이 두 요소간에는 트레이드오프(trade-off)가 존재하여 이를 실현하는데 어려움이 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 일본 히로시마 대학의 Takimiya 교수 연구진은 E_g (광학밴드갭)와 eV_{oc} 의 차이로 정의되는 광자 에너지 손실(E_{loss})에 주목하였다. 이 연구팀은 무기태양전지와 페로

브스카이트 태양전지에서 관측되는 E_{loss} 가 0.4-0.5 eV에 비하여 고분자 태양전지는 0.7-1.0 eV의 낮은 E_{loss} 를 보인다고 언급하며 E_{loss} 를 최소화할 수 있는 깊은 highest occupied molecular orbital (HOMO)와 lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) 에너지를 갖는 고분자의 개발이 고성능 태양전지 실현을 위한 핵심요소라고 설명하고 있다.

본 연구에서는 quaterthiophene과 naphtho[1,2-c:5, 6'-c']bis[1,2,5]oxadiazole로 구성된 낮은 밴드갭 고분자 PNOz4T($E_g = 1.52$ eV)를 이용하여 8.9%의 높은 PCE와 동시에 1 V 근방의 높은 V_{oc} 를 보이는 태양전지를 구현하였다. 특히, E_{loss} 의 경우, 이전 고분자 태양전지 연구들에서 제시되었던 한계 값인 0.6 eV 보다 더 작은 0.52-0.56 eV의 낮은 값을 보여주었다. 또한 photoinduced charge separation에 driving force를 주기 위해 필요한 E_g 와 E_{CT} (charge transfer state energy)의 에너지차이(ΔE_L)가 종래에 알려져 있던 0.3 eV가 아닌 ~0.1 eV로도 충분함을 밝혀내었다.

Takimiya 교수 연구진은 이번 연구가 향후 고분자태양전지 내에서 E_{loss} 를 최소화하는데 도움을 줄 것이며 15% 이상의 PCE를 갖는 고분자 태양전지를 실현하는데 하나의 해결책이 될 것이라 기대하고 있다.

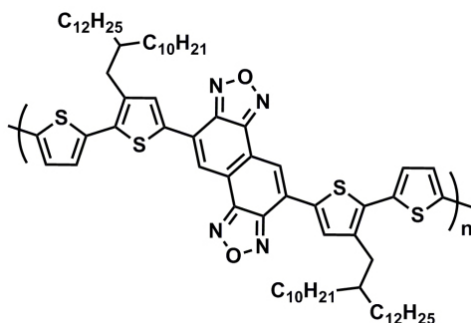


그림 1. 연구진이 개발한 PNOz4T의 화학구조.

본 연구결과는 저널 *Nature Communications* 지에 "High-efficiency polymer solar cells with small photon energy loss"라는 제목으로 게재되었다(DOI: 10.1038/ncomms10085).