진주조개 구조를 모사한 다기능성, 초분자구조 섬유 연속제조기술

한중탁 | 한국전기연구원 (E-mail: jthan@keri.re.kr)

중국 Zhejiang 대학교의 Gao 교수팀은 조개껍데기의 적층구조를 모사하여 우수한 물리적 성질을 나타내는 섬유를 대량 제조할 수 있는 기술을 개발하였다. 섬유구조는 화학적 산화법에 의해 제조된 박리그래핀과 hyperbranched polyglycerol을 이용해 brick-and-mortar 모델 구조를 재현함으로서 이루어졌으며, 진주조개나 뼈와 같은 100 MPa 이상의 우수한 인장강도를 나타내었다.

자연계의 계층적 마이크로와 나노구조를 지니는 진주조개나 뼈의 복합구조는 그 생체적 기능성 외의 우수한 기계적 강도 때문에 지난 반세기 동안 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히, 진주조개의 구조는 정렬된 $CaCO_3$ 결정 플레이틀릿 마이크로구조 사이에 단백질로 이루어진 10-50 nm의 유기접착층이 존재하는 대표적인 "brick-and-mortar"(B&M) 모델 구조이다. 이러한 진주조개의 구조를 모사하기 위해 층층쌓기, 동결건조 조립, 진공 조립 그리고, 실제 $CaCO_3$를 인공적으로 제조하는 방법 등이 시도되어 왔다. 하지만 이러한 적층구조를 연속적으로 형성하기 위해서는 기존 방법과 다른 무기물층을 연속적으로 형성시킬 수 있는 방법이 고안되어야 한다.

중국 Zhejiang 대학교의 Gao 교수팀은 화학적으로 박리된 그래핀을 무기물층으로 대체하고 hyperbranched polyglycerol(HPG)를 유기접착층으로 활용하여 용액방사공정을 통해 기계적 물성이 매우 우수한 진주조개 구조 모사 복합체 섬유를 연속적으로 제조하였다. 사용된 그래핀은 니트렌(nitrene) 화학기법을 사용하여 용액 내 분산성이 확보된 환원 그래핀을 사용하여 분산문제를 해결하였다. 여과법에 의해 HPG로 코팅된 그래핀을 제조하였으며, 이는 DMF나 NMP와 같은 용매에 매우 높은 농도로 분산되고, 특히, 높은 농도에서 액정특성을 보여 연속적으로 용액공정에 의한 방사가 가능하게 된다. 일반적인 방사법에 의해 HPG-그래핀 용액을 NaOH 용액에 방사하여 10-100 ㎛ 지름의 섬유를 연속적으로 제조가 가능하며, 노즐크기, 방사액 농도, 방사속도, 침전액 유속 등을 조절하여 섬유의 직경을 제어할 수 있다. 제조된 섬유는 B&M모델 구조와 유사한 계층적 다층구조로 인해 인장강도는 125 MPa정도로 진주조개(130 MPa)나 뼈(102-125 MPa)의 인장강도와 유사한 특성을 보인다. 또한 Mg^{2+}, Ca^{2+}와 같은 금속이온을 첨가하여 그래핀을 가교시켜 인장강도를 145 ± 18 MPa로 증가시킬 수 있으며, 그래핀 복합체의 전기전도도를 0.24 S/m에서 4.88 S/m로 증가시켰다. 이러한 생체모사 섬유는 그래핀 이외의 다양한 2차원 구조 소재인 clay, WS_2, MoS_2, Al_2O_3 등의 소재와 다양한 기능성 고분자와의 하이브리드를 통해 고강도, 고기능성 섬유의 연속적인 제조가 가능할 것으로 예상된다.

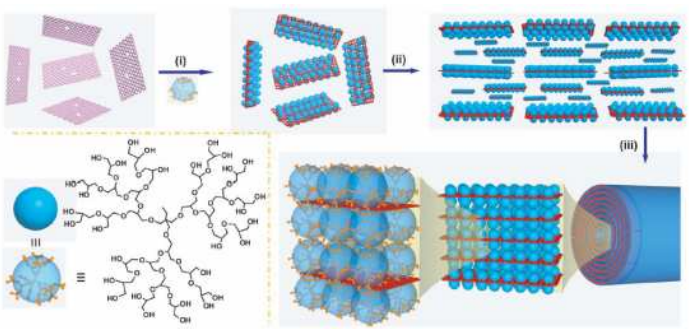

그림 1. 인공진주조개구조 모사 섬유 제조과정도.

본 연구결과는 *Scientific Reports*(DOI: 10.1038/srep00767) 2012 온라인판에 "Multifunctional, supramolecular continuous artificial nacre fibres"의 제목으로 게재되었다.