

## 고분자 나노템플레이트를 이용한 중공성 무기 나노입자 제조기술 (Sacrificial Polymer Nanotemplates for Inorganic Hollow Nanoparticles)

중공성(hollow) 마이크로/나노입자는 낮은 밀도, 큰 비표면적 및 제어가능한 표면 투과기능 등의 독특한 물리적 성질을 갖고 있으며, 약물, 단백질 등 생체활성 분자의 봉입(encapsulation)이 가능하므로 화학 및 NT/BT 융합소재 기술 분야에서 흥미로운 연구 테마이다. 중공성 입자의 구체적인 응용분야로는 새로운 개념의 화장품, 촉매, 코팅, 복합재료, 염료, 잉크, 인공 세포 개발 등으로 광범위하며, 특히 약물전달 분야에 있어 나노캐리어(nanocarrier)로서의 높은 응용가능성도 갖고 있다. 특히, 실리카( $\text{SiO}_2$ ), 인산칼슘(calcium phosphate) 등의 생체친화성 무기 중공성 마이크로/나노입자는 고분자 중공성 나노입자의 장점과 더불어 기계적, 열적, 화학적 안정성 및 높은 생체적합성을 갖고 있어 흥미로운 연구대상이 되어왔다. 현재까지, 무기 중공성 나노입자를 제조하는 기술은 독일 막스플랑크 연구소(Max Planck Institute)의 Caruso 그룹에서 1998년 Science에 발표한 기술을 중심으로 이루어지고 있다. 구체적으로는, 중공성 고분자 라텍스(latex)를 sacrificial 구형 템플레이트(template)로 도입하여 실리카 나노입자와 양이온성 고분자의 정전인력을 통한 layer-by-layer(LBL) 어셈블리 및 최종적으로 용매추출 또는 하소(calcination) 과정을 통한 고분자 템플레이트의 제거 단계가 관여된다. 일반적으로 라텍스 입자가 마이크로 크기의 중공성 나노입자를 합성하는데 사용되어 왔으나, 최근 들어 고분자 자기조립체(self-assembly)인 고분자 미셀(polymer micelle)을 중공성 무기 나노입자의 sacrificial 나노템플레이트로 사용하고자 하는 연구가 활기를 띠고 있다. 특히, 고분자 미셀은 나노레벨에서의 크기 및 형상 조절의 자유로움 및 용이한 표면 기능화로 인해 실리카(*JACS*, ASAP(2007)) 및 인산칼슘(*Nanotechnology*, **17**, 5988 (2006))의 안정한 중공성 무기 나노입자를 제조하는데 있어 가장 이상적인 나노 템플레이트로 각광받고 있다. 구체적인 요소기술로, 삼차원적으로 구조가 제어된 고분자템플레이트 제조를 위한 고분자합성, 용매상 고분자의 자기조립, 공간선택적(space-selective) 실리카 또는 인산칼슘층의 성장과 마지막 단계로 고분자 나노템플레이트의 제거 스텝이 도입되고 있다.

소위 “Sacrificial 고분자 나노템플레이트”로 무기결정의 성장을 나노레벨에서 정밀하게 제어하는 기술은 다양한 기능의 하이브리드 소재 또는 중공성 무기 입자의 제조를 가능하게 하므로, 광전자, 센싱 소자, 촉매, 약물전달 등의 응용분야에 있어 주요 구성성분인 다양한 나노입자의 응용범위를 확대시킬 수 있다는 측면에서 매력적인 연구 토픽이다. 현재, 연구개발 단계에 머무르고 있으나, 고분자 나노템플레이트의 크기, 형상, 표면기능화 등 다양한 구조 인자들에 대한 정밀한 제어를 통해 높은 신뢰성 및 재현성을 갖는 시스템이 구현된다면 향후 다방면의 산업에 도입되어 실질적인 기능을 발휘할 수 있을 것으로 전망한다.

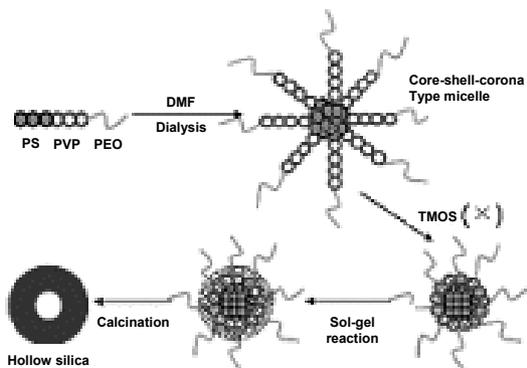


그림 1. 고분자 나노템플레이트를 이용한 중공성 실리카 나노입자 제조.

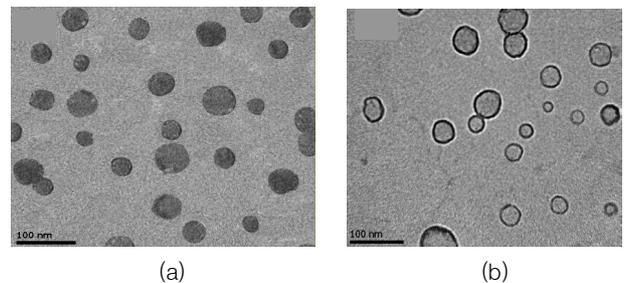


그림 2. (a) Calcination 전의 나노템플레이트/인산칼슘 나노하이브리드. (b) Calcination 후의 중공성 무기 나노입자.

<요업(세라믹)기술원 나노소재응용본부 이상천, e-mail: sclee@kicet.re.kr>