

차세대 다공성 물질 제조를 위한 동결 주조 기술

김윤호 | 한국화학연구원 (E-mail: yunho@kRICT.re.kr)

최근 양방향성(bidirectional) 동결 주조(freeze-casting) 기술을 이용하여, 미세구조가 제어된 세라믹 복합구조를 제조할 수 있는 효과적인 방법이 *Science Advances*지에 발표되었다.

미 국 로렌스 버클리 국립연구소(Lawrence Berkeley National Laboratory)의 과학자들은, 최근 뼈, 치아, 껍데기(shell) 및 목재와 비견할 정도로 강하고, 질기며, 가벼운 물질을 설계하고 손쉽게 제작할 수 있는 동결 주조(freeze-casting) 기술을 개발하였다. 양방향성(bidirectional) 동결 주조 기술은, 높은 수준의 구조 조절이 필요한 곳에서 복합 재료와 같은 차세대 재료를 포함한 독특한 구조 재료를 제조하는 효과적인 방법이 될 수 있다고 연구진은 소개하였다. 연구팀은 특정 자연 물질들을 살펴보면, 구성성분 자체는 약한 물성을 가지고 있음에도 불구하고, 이들이 나노/마이크로 구조에서부터 매크로 구조에 이르는 정교한 계층적인 구조를 이루었을 때, 가볍고, 질기고, 단단한 기계적 안정성을 가지고 있다는 점에서 영감을 얻었다. 더불어, “자연은 역사상 가장 뛰어난 발명가”라는 말을 믿는다고 전했다.

연구팀은 양방향 동결 주조 기술을 사용해, 인체의 치아나 뼈의 주성분으로 사용되는 수산화인회석(hydroxyapatite) 세라믹 입자를 센티미터 크기로 배열된 다공성의 라멜라(lamella) 구조를 가진 스캐폴드(scaffold)로 만들었다. 이는 자연계에 존재하는 다양한 세라믹 재료의 마이크로 구조체를 손쉽게 모방하여 제작할 수 있는 가능성을 열어주었다고 강조하였다. 본 연구에서는 다양한 경

사도를 가지는 뼈기 구조의 기판을 사용함으로써, 동결 공정 동안 서로 다른 방향으로 온도 구배를 제공할 수 있었고, 이에 따라 얼음 결정의 핵 형성과 결정의 성장 방향을 조절함으로써 정렬되고 계층적인 구조를 제조하는 것이 가능하였다.

기존의 동결 주조 기술에서는, 슬러리(slurry)가 단일 온도차 조정에서 동결됨으로써 cold finger 표면에 무분별하게 얼음의 형성을 유발하였다. 결과적으로 다수의 밀리미터 이하 크기의 도메인(domain)이 형성되는데, 이러한 얼음 결정이 동결 방향과 수직 평면 상에서 다양한 배향을 갖게 된다. 이런 문제점을 해결하기 위해, 연구팀은 서로 다른 경사를 갖는 PDMS 썬치를 사용하여 cold finger 표면에 온도 구배가 발생할 수 있도록 조절하였다. 냉각됨에 따라, 썬치의 바닥 끝단은 상부 끝단에 비해 낮은 온도가 되어, 수직방향 및 수평방향의 온도 차가 동시에 나타날 수 있도록 설계되었다. 이런 이중(dual) 온도 구배 조건 하에서 슬러리가 온도 차에 따라 동결이 시작될 때, 얼음 결정의 핵 형성은 오직 썬치의 바닥 쪽에서만 이루어지고 두 개의 온도 구배 방향을 따라 결정이 성장하게 된다. 결과적으로 센티미터 크기의 단일도메인(monodomain) 라멜라 구조가 만들어진다. 또한, 경사각 및 냉각 속도 이외에도, 첨가제 등과 같은 다른 많은 요소들이 양방향성 동결 주조 기술에 미치는 영향에 대한 연구도 함께 진행되었다.

연구팀을 이끈 Robert Ritchie 교수는, 자연 구조를 모사한 이러한 정렬된 다공성 세라믹 구조는 촉매작용을 위한 담지체, 조직공학을 위한 스캐폴드, 폼 및 연료전지 전극, 수질 정화를 위한 필터와 같은 다양한 분야에 활용될 수 있다고 말했다.

본 연구결과는 *Science Advances*에 “Bioinspired large-scale aligned porous materials assembled with dual temperature gradients”라는 제목(*Sci. Adv.*, 1, e1500849 (2015), DOI: 10.1126/sciadv.1500849)으로 게재되었다.

본 토픽은 KISTI 미리안의 글로벌동향브리핑 (<http://mirian.kisti.re.kr>)의 기사를 참조하여 정리하였습니다.

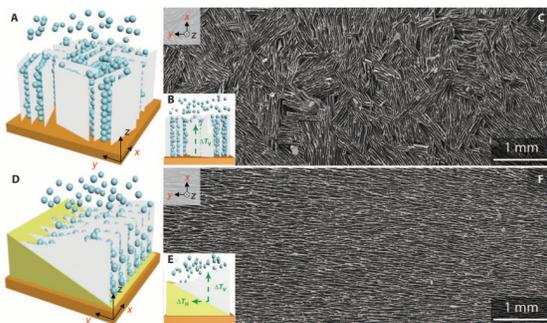


그림 1. 양방향 동결 주조 기법을 이용하여 제작된 정렬된 다공성 세라믹 구조.