

최근연구동향 I

미세유체기술을 이용한 다양한 재료 및 형태 조절이 가능한 마이크로 파이버 가공 기술

마이크로-파이버는 광범위한 분야에 응용이 가능하여 세간의 주목을 받고 있어, 새로운 기능을 첨가하거나, 효과적으로 가공하기 위한 기술들의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 마이크로-파이버를 가공하기 위한 연속 방사기술로는 전기방사 또는 미세유체 (microfluidics) 방사기술이 사용되어왔다. 그러나 현재까지의 연속 방사기술로 가공된 마이크로-파이버는 보통 단일 화학조성을 갖거나, 연속으로 생성시 파이버의 크기가 균일하지 않다는 제한점이 존재하였다.

최근 발간된 Nature materials에는 국내 연구진이 거미의 방사 메커니즘을 모사하여 형태학적, 화학적으로 비균질 특성을 갖는 마이크로-파이버를 디지털 조작이 가능한 미세유체 방사기술을 이용하여 형성하였으며 “Digitally tunable physicochemical coding of material composition and topography in continuous micro fibres”의 제목으로 게재되었다. [Nature Materials, vol. 10, page 877-883, 2011]

거미의 배에는 거미줄의 재료가 되는 개별적인 단백질 (protein)을 생산해내는 ‘분비선 (gland)’들이 있고 단백질을 이용하여 거미줄을 방적하는 ‘실 잣는 통로 (spinning duct)’가 있다. 이 통로는 밸빙 (valving)작용으로 단백질들의 흐름을 조작하여 길이가 긴 거미줄을 방적하게 된다. 이 연구에 사용된 장치는 거미가 거미줄을 방적하는 방법을 모사하기 위해 미세유체기술을 이용하였다. 본 미세유체 칩은 서로 다른 샘플의 흐름을 마이크로-밸브 기술로 디지털 조작하였으며, 기본적으로 알지네이트 (Alginate)와 CaCl₂용액을 사용하여 Ca²⁺이온의 킬레이팅으로 고체의 알지네이트-파이버를 형성하였다.

서로 다른 샘플의 흐름을 조작하는 마이크로-밸브의 여닫히는 순서를 조작함으로써 하나의 마이크로-파이버에 화학적 조성이 다른 물질을 직렬, 병렬 또는 양쪽 모두 혼합된 형태로 암호화 (Coding)하였고, 다수의 밸브를 여닫는 시점이 중첩되게 함으로써 파이버의 굵기에 변화를 주었다. 더 나아가 알지네이트 용액에 염 (salt)을 포함시킨 용액을 사용하여 파이버를 고형화 시킨 후 염을 용해시켜 나노 다공성 (nanoporous) 구조의 물폴로지가 다른 마이크로 파이버를 생산하였다. 또한, 실 잣는 통로

내부에 그루브 (Groove)한 표면을 갖는 추가적인 채널을 두어, 파이버의 표면이 그루브한 특성을 갖게 유도하였다.

본 연구에서 제작된 형태적 또는 화학적 비균질 마이크로-파이버 가공 시스템으로 3차원 구조의 스캐폴드 (scaffold)를 가공하여 서로 다른 두 신경세포 (Neural-cell)간의 상호작용을 관측하였다. 서로 다른 세포들의 상호작용 (Cell-Cell interaction)은 조직공학 및 생물학 분야에서 중요성이 대두되고 있으며, 서로 다른 세포를 함께 공생배양 (Co-culture)하여 이들의 상호작용으로 인하여 나타나는 특성을 비교 관측할 수 있는 방법이 필수적이다. 이 연구에서 사용된 세포는 간세포 (Hepatocyte)와 섬유아세포 (Fibroblast)로서, 마이크로-파이버 내에 각각 개별적으로 직렬 암호화하였으며, 두 세포를 함께 병렬로 암호화하여 배치하여 공생 배양을 하였다. 세포가 암호화된 각 부분에서의 세포생존율을 측정할 결과, 두 세포가 각각 개별 배양되었을 때보다 공생 배양 되었을 때가 세포의 생존율이 더 우수함을 증명함으로써, 본 시스템을 이용하여 가공한 마이크로-파이버가 조직공학 분야에 적용 가능함을 입증하였다.

또한, 마이크로 파이버에 비균질적으로 화학적 코딩이 가능하고, 이를 세포의 행동 관측에 이용할 수 있음을 증명하기 위하여, 호중성 백혈구 주화인자 (Neutrophil chemoattractant)인 fMLP (formyl-Met-Leu-Phe)를 암호화하여 호중성 백혈구의 주화성에 대해 분석하였다. fMLP가 암호화된 마이크로 파이버를 호중성 백혈구의 배양액에 넣은 후, 호중성 백혈구의 이동을 5구간으로 나누어서 관측하고 이를 정밀 분석 하였다. 초기 30분은 fMLP로의 호중성 백혈구의 이동이 미미하였으나, 점차 증가하여 6시간 후에 대다수의 호중성 백혈구들이 fMLP 주위로 이동함을 관측하였다. 즉, 배양액 속 fMLP의 존재가 세포의 분극화를 유도하였고 fMLP 주위로 이동하게 함을 확인하였다.

결론적으로, 미세유체기술과 디지털 조작기술을 이용하여 마이크로-파이버의 화학적, 형태학적인 비균질성 특성을 조작하는 방법을 제시하였다. 다양한 물질을 마이크로미터 규모로 암호화 할 수 있어, 한 소재 안에 여러 가지 유용한 기능들을 담을 수 있음을 증명하였다. 이 연구는 앞으로 새로운 형태의 마이크로-섬유를 개발하는데 활용 가능할 것이며, 개발된 다기능성 마이크로-섬유로 조직공학, 약물전달 등의 다양한 분야에 응용 가능할 것이다.

충남대학교 화학공학과

진시형, 정현호, 이창수 (e-mail: rhadam@cnu.ac.kr)

Nature Materials, vol. 10, page 877-883 (2011)