자성 마이크로의료로봇 기반 정밀 세포 전달

최홍수*, 김상원, 김진영
[1]대구경북과학기술원, 로봇공학전공

1. 서론

의료용 마이크로 로봇은 체내에 삽입하여 최소 침습적인 방식으로 진단과 치료에 이용하는 마이크로 크기의 로봇으로, 수술자의 도구 및 손이 진입하기 어려운 국소부위에 진입하여 자기장과 같은 무선제어 방식을 통해 위치와 방위가 정밀 제어된다.[1] 또한 체내에서 약물 및 세포전달을 위한 도구로 사용되었을 때, 국소부위 약물치료 및 세포와 조직의 기능회복에 효과적이다. 현재는 마이크로 크기의 로봇 구조물 제작의 어려움 때문에 주로 단순한 구조의 마이크로 로봇을 통한 위치이동에 그 연구의 초점이 맞추어져 있다. [2] 따라서 마이크로 로봇의 이동뿐만 아니라 다양한 기능을 수행할 수 있는 마이크로 로봇의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 세포의 배양과 성장을 가능하게 하는 3차원 다공성 구조물을 제작하고, 자성물질을 증착 하여 자기장을 통해 유체 내에서 위치 및 방위를 제어하였다. 또한 HEK 293 세포를 마이크로 로봇 구조물 내에 배양시켜 3차원 배양된 세포 전달을 위한 마이크로 로봇을 완성하였다. [3]

2. 실험방법과 결과

2.1 마이크로로봇 제작

마이크로 로봇은 Computer aided design (CAD; Solidworks)를 사용하여 설계하였으며, 세포배양에 알맞도록 구조물의 선폭과 간격을 결정하였다. 전체 길이는 약 150 um이고 선폭과 공극의 크기에 따라 두 가지 Type으로 설계하였고, 각 Type은 원통형 및 직육면체 형으로 설계되었다.

설계된 마이크로 로봇은 3차원 리소그래피 공정과 금속층 증착을 통해 제작되었다. 3차원 레이저 리소그래피 시스템은 고에너지 파장 (780 nm)을 가지는 레이저 빔을 포토 레지스트에 조사하여, 조사된 부분의 광경화성 폴리머를 경화시키는 원리를 이용한다. 조사되지 않은 부분을 현상액으로 제거한 후에 원하는 3차원 구조물을 얻을 수 있다. 3차원 구조물이 완성되면 자기장 제어를 위해 자성물질인 니켈(Nickel)을 증착하고, 생체 적합성 물질인 티타늄 (Titanium)을 최외곽에 증착하여 완성한다. 그림 1은 완성된 마이크로 로봇(Type 1)의 주사전자현미경(SEM) 사진이다.

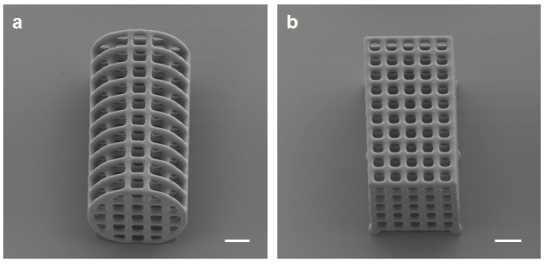

그림 1. 완성된 마이크로 로봇의 SEM 사진;
Type 1의 원통형(a) 및 직육면체 형(b) 마이크로 로봇, Scale bar: 20 μm.

2.2 마이크로로봇의 자기장 제어

제작된 마이크로 로봇은 정밀 자기장 제어기 (minimag; Aeon Scientific)를 통해 제어되었다. 자기장 제어기

내의 8개의 전자석 코일에 인가되는 전류를 통해 3차원 공간에서 자기장 세기(B) 및 자기장 기울기(▽B)를 생성한다. 자기장 세기는 마이크로 로봇의 방위를 결정하고 자기장 기울기는 마이크로 로봇을 선형 이동시키며, 이를 통해 마이크로 로봇의 위치와 방위를 제어한다.

$$T = m \times B \qquad (1)$$

$$F = (m \cdot \nabla)B \qquad (2)$$

수식 (1)은 자기장 세기에 의해 자성체가 회전하기 위한 자기 토크(T)의 크기를 나타낸다. 수식 (2)는 자기장 기울기에 의해 자성체가 선형이동하기 위한 자기힘(F)의 크기를 나타낸다. m은 자성체의 자기모멘트이며 그 크기가 클수록 외부 자기장에 잘 반응하여 많은 힘이나 토크를 낼 수 있다. 그림 2는 DI water 내에서 자기장에 의해 제어되는 마이크로 로봇의 제어화면 및 제어 원리를 나타낸다.

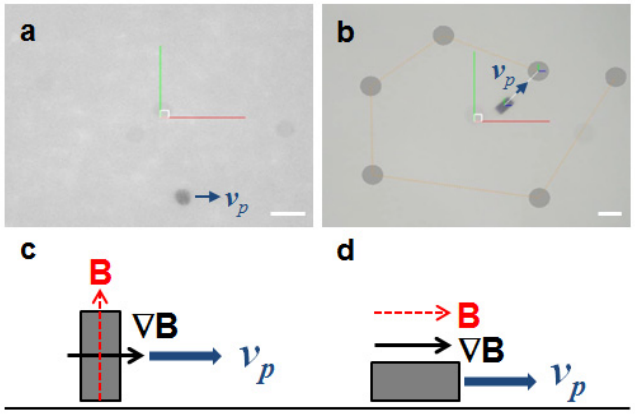

그림 2. 마이크로 로봇의 자기장 제어화면 및 제어원리, (a) 수동제어화면, (b) 자동제어화면, (c) 수동제어화면 a에 대한 제어원리, (d) 자동제어화면 b에 대한 제어원리, Scale bar: 200 μm.

3. 결론

본 연구에서는 세포전송을 위한 자성을 가진 다공성 마이크로 로봇을 제작하였으며, 자기장 정밀 제어를 통해 제작된 마이크로 로봇의 위치와 방위를 유체 내에서 정밀 제어하였다. 또한 HEK 293 세포의 3차원 배양을 통해 세포 전송용 마이크로 로봇의 기능을 확인하였다. 향후 마이크로 로봇 재료 및 자기장 구동 방식 등을 연구하여 체내 환경에서 이동효율이 좋고, 생체 적합성이 뛰어난 마이크로 로봇을 개발할 수 있다.

4. 참고문헌

[1] B. J. Nelson, et al., “Microrobots for Minimally Invasive Medicine”, Annual Review of Biomedical Engineering, Vol. 12, pp. 55-85, 2010.

[2] S. Tottori, et al., “Magnetic Helical Micromachines: Fabrication, Controlled Swimming, and Cargo Transport”, Advanced Materials, Vol. 24, No. 6, pp. 811-816, 2012.

[3] S. Kim, F. Qiu, S. Kim, A. Ghanbari, C. Moon, L. Zhang, B. Nelson, and H. Choi Advanced Materials, Vol. 25, Issue 41, pp 5863–5868, Nov. 2013.