

전자기 구동 마이크로 로봇을 이용한 미소물체 제어

An Untethered Microrobot Actuated by Electromagnetic Actuation for Bio/Micro-Object Manipulation

권준오, 양지선, *#정상국

Jun O Kwon, Ji Sun Yang, *#Sang Kug Chung (skchung@mju.ac.kr)

명지대학교 기계공학과

Key words : Microrobot, Cell manipulation, Drug delivery, Electromagnetic actuation, Radiation force

1. 서론

최근 바이오 산업의 급속한 발전과 함께 바이오 셀(biological cell) 및 미소물체(micro-object)를 정밀하게 제어(manipulation) 할 수 있는 기술의 개발이 중요해지고 있다. 이러한 정밀 물체제어를 위해서는 작은 물체를 포획하는 기술과 포획 후 이를 원하는 위치로 이송할 수 있는 위치 제어기술이 필요하다[1].

현재 마이크로 피펫(micropipette)을 비롯하여 레이저 빛을 집속함으로써 발생한 광압을 이용하는 광집게(optical tweezers)와 초소형 기전공학(MEMS)기술을 이용하여 제작된 소형칩에서 마이크로 크기의 물체들을 제어하는 방법들에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

본 논문에서는 전자기 구동에 의해 위치 제어가 가능한 초소형 로봇에 사람의 손과 같이 주변의 물체를 포획할 수 있는 진동하는 버블을 적용함으로써 미소물체를 제어하는 새로운 방법을 최초로 제안하였다. 그림 1(a)와 같이 로봇 주변의 Helmholtz 코일에 전류를 인가함으로써 발생하는 전자기장을 이용하여 제어하고자 하는 미소물체의 주변으로 로봇을 위치시킬 수 있다. 이 때 피에조 액추에이터(piezo-actuator)를 이용하여 로봇에 부착된 미소 버블을 진동시키면 그 버블은 주변으로 복사력(radiation force)를 발생시키며 그림 1(b)와 같이 주변의 물체를 끌어 당기게 된다. 이 때 전자기장을 다시 제어하여 로봇을 원하는 위치로 이동시키면 버블에서 발생하는 복사력에 의해 포획된 미소물체를 로봇과 함께 이송할 수 있다. 미소물체를 원하는 위치로 이송한 후에는 피에조 액추에이터를 정지시켜 그림

1(d)와 같이 버블로부터 미소물체를 분리할 수 있다.

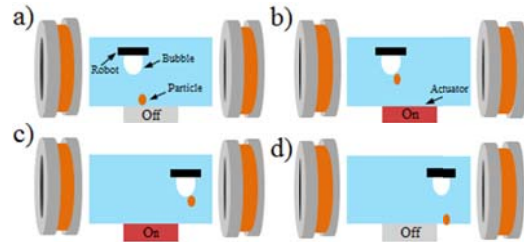


Fig. 1 Schematics of micro-object manipulation using an untethered microrobot actuated by an electromagnetic force and an acoustically oscillating bubble.

2. 실험결과

제안된 미소물체의 제어방법을 실험적으로 검증하기 위하여 물이 담긴 소형수조에서 파티클 포획 및 미소물체 위치 제어시험을 아래와 같이 수행하였다.

그림 2는 마이크로 버블을 이용한 미소 파티클 포획에 관한 실험결과이다. 피에조 액추에이터가 하단에 부착된 물이 담긴 소형수조의 바닥에 작은 실리콘 조각을 위치시키고 그 위에 80 μm 직경의 유리 파티클과 약 800 μm 직경의 버블을 마이크로 피펫을 이용하여 위치시켰다(그림 2(a) 참조). 함수발생기와 전압증폭기를 이용하여 피에조 액추에이터를 7.5 kHz로 진동 시 그림 2(b)와 같이 버블이 심하게 진동하며 주변의 파티클들을 포획하였다. 그리고 피에조 액추에이터를 꺼주었을 때 버블에 포획되었던 파티클들이 버블에서 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다.

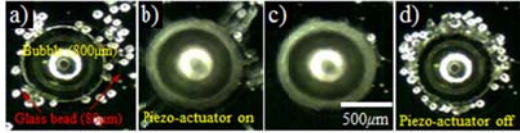


Fig. 2 Particle capturing by an acoustically oscillating bubble.

그림 3은 약 800 μm 크기의 초소형 로봇의 위치제어를 Helmholtz 코일을 이용하여 전자기장을 제어함으로써 구현한 결과이다. 그림 3(a)와 같이 초기 좌측하단에 위치한 로봇을 1 mm 두께의 빨간색 트랙을 따라 시계방향으로 이동시키기 위해 우선 y축 방향으로 구성된 Helmholtz 코일 쌍을 이용하여 로봇에 전자기력 ($F = \int_V (\vec{M} \cdot \nabla) \vec{B} dV$, \vec{B} , \vec{M} , V 는 각각 자기장의 자속밀도, 물체의 자화, 물체의 부피)을 발생시킴으로써 그림 3(b)와 같이 로봇을 위로 이송시킬 수 있었다. 이와 동일한 방법으로 x축 방향의 Helmholtz 코일 쌍을 이용하여 그림 3(b)-(c)와 같이 로봇을 수평방향으로 이동시킬 수도 있었다. 또한 두 쌍의 Helmholtz 코일을 동시에 이용함으로써 단순한 x와 y축 방향의 동작 이외에도 대각선과 같은 다양한 방향의 동작을 2차원 평면상에서 구현해 낼 수 있었다. 본 실험에 사용된 Helmholtz 코일의 반경과 감은 수는 각각 16 cm와 250회이며, 직류 전원공급 장치를 이용하여 코일에 인가한 전류는 0.05~3 A 였다.

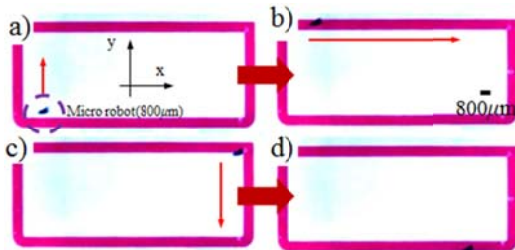


Fig. 3 Manipulation of a microrobot actuated by an electromagnetic force generated by Helmholtz coils.

그림 4는 Helmholtz 코일에 인가한 전압의 크기에 따른 로봇의 추진속도에 관한 결과이다. 참고로 본 실험의 최대 전자기력은 Stokes' drag approximation 통해 ~ 50 nN 으로 계산되었다.

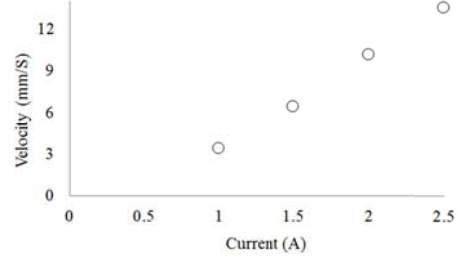


Fig. 4 Propulsion speed vs. applied current

그림 5는 위의 두 가지 구동방법을 결합하여 1 mm 직경의 fish egg의 위치를 제어한 결과이다. 전자기 구동에 의해 fish egg 근처로 로봇을 이동 후 외부에서 인가한 음파에 의해 진동하는 버블을 이용하여 fish egg를 포획하였다(그림 5(a)-(b) 참조). 로봇을 포획된 fish egg와 함께 다시 전자기 구동을 이용하여 원하는 위치로 이동 후 음파를 정지시켜 fish egg를 로봇에 붙어 있는 버블로부터 분리하였다(그림 5(c)-(d) 참조).

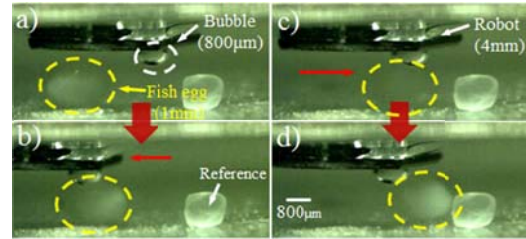


Fig. 5 Manipulation of a fish egg using a robot actuated by an electromagnetic force and an acoustically oscillating bubble. Note that the broken circles indicate the manipulated fish egg.

3. 결론

본 연구를 통해 제안된 새로운 미소물체 제어방법은 향후 약물전달(drug delivery)과 바이오 센싱(bio-sensing) 및 바이오 수술(bio-surgery)등과 같은 응용분야들에 적용될 수 있어 관련 산업분야에 파급효과가 클 것으로 판단된다.

참고문헌

1. S. K. Chung and S. K. Cho, "On-chip manipulation of objects using mobile oscillating bubbles," *J. Micromech. Microeng.*, 18, 125024 (12pp), 2008