

초음파 이용 유체내 미세입자 이송 기법

Ultrasonic moving technique of the microparticle suspending in a fluid by the operational frequency sweep

조승현† · A. K. A. Ariful Haque Siddique* · 박재하* · 안봉영*

Seung Hyun Cho, A. K. A. Ariful Haque Siddique, Jae Ha Park and Bongyoung Ahn

1. 서론

최근, 미세입자 제어를 위해 초음파를 이용하는 연구가 다수 보고되고 있다[1-3]. 미세입자에 초음파를 가하면 음향방사력(acoustic radiation force)으로 인해 입자를 움직일 수 있다. 이러한 기술은 유체 내에 유동을 따라 부유하는 수 마이크로 미터 크기의 미세입자를 효율적으로 제어할 수 있기 때문에 주로 세포나 DNA 같은 유기입자의 분석에 응용하고자 하는 시도가 활발하다. 초음파를 이용하면 원칙적으로 분리(separation), 정제(purification), 포집(harvesting), 고정(trapping) 등의 입자 조작이 가능하다.

미세입자 제어 방법으로 여러가지 물리적 기전에 근거한 다양한 기술 들이 알려져 있다. 초음파를 이용하면 이러한 기술에 비해서 다량의 입자를 고속으로 제어할 수 있다는 장점이 있다. 무엇보다도, 초음파에 의한 음향방사력은 크기가 입자의 역학적 물성과 관련이 있으므로, 입자의 전기적, 자기적 특성과 무관하게 적용할 수 있다. 초음파 입자제어 기술은 바이오 공학 및 나노 공학 분야에서 응용 가능성이 크다.

본 연구에서는 초음파를 이용하여 미세채널 내에서 유동 중인 입자의 위치를 제어하여 입자들을 분리하고자 한다. Fig. 1 에서 같이 하나의 입구와 두개의 출구를 가진 채널로 구성된 모듈을 제작하고, 초음파를 이용하여 미세입자들이 한쪽 출구로만 나갈 수 있도록 입자의 위치를 제어하는 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 초음파의 주파수를 연속적으로 조정하여 입자의 위치를 제어하는 방법으로, 실험을 통해서 입자 거동을 관찰함으로써, 제안한 방법이 미세입자의 위치 제어에 효과가 있음을 확인하였다.

2. 미세 채널에서 초음파 장 형성

Fig. 1 과 같이 미세 채널에 수직 방향으로 초음파를 인가하면 입사된 초음파가 채널 양쪽 경계에서 반사되면서 정재파(standing wave)가 형성된다. 이 때, 유체보다 압축률이 작고 밀도가 큰 입자들은 대개 정재파의 마디선(nodal line)으로 이동하게 된다. 따라서, 채널에 초음파 인가 후 입자가 이동 위치를 관찰하면 그 주파수에서 채널 내 정재파의 마디선의 위치를 추정할 수 있다.

본 연구에서는 폭 1.5 mm 의 미세채널로 구성된 소형 모듈을 제작하였다. 모듈은 아크릴과 스틸로 이루어져 있다. 초음파의 주파수를 1.75 MHz 부터 3.05 MHz 까지 점차적으로 변경하면서 입자의 집속 위치를 관찰하고 이로부터 각 마디선의 위치를 측정하였다. Fig. 2 의 그래프는 이렇게 관찰된 마디선의 위치를 표시한 것이다. 1.75 MHz 에서는 마디선이 4 개만이 존재하지만 주파수가 높아지면서 마디선이 점차 증가하여 3.05 MHz 에서는 6 개의 마디선이 생긴다. 반사체에 쪽에 가까운 첫번째 마디는 주파수에 따른 위치 변화가 크지 않지만 반사체로부터 멀어질수록 마디선의 위치가 크게 변한다는 것을 알 수 있

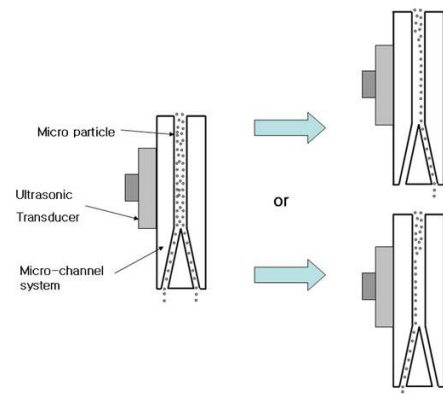


FIG. 1. Conceptual illustration of microparticle control by ultrasonic wave in a microchannel module with one inlet and Y-branched two outlets.

† 교신저자; 한국표준과학연구원 안전측정센터

E-mail: seungcho@kriss.re.kr

Tel: (042) 868-5752, Fax: (042) 868-5639

* 한국표준과학연구원 안전측정센터

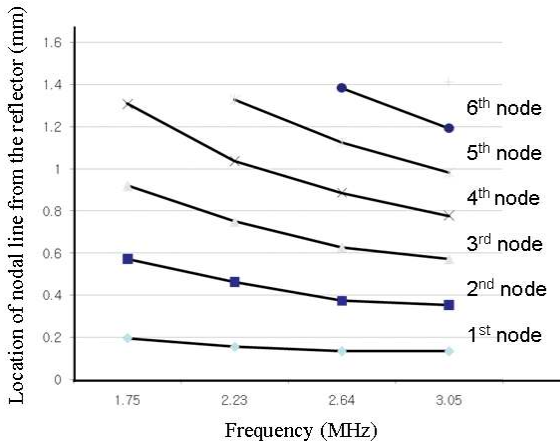


FIG. 2. The location of nodal lines of ultrasonic standing waves obtained by the observation of particle behavior.

다. 이는 채널과 반사체와의 경계에서 음향임피던스의 차이가 크기 때문에 이 경계가 항상 반음압마디에 가까워서 생기는 현상이다.

3. 주파수 스위칭을 이용한 미세입자 이동

정재초음파 장(field)이 형성되어 있으면 입자는 항상 마디선에 집속되어 있으므로, 주파수가 연속적으로 변할 때 마디선을 따라서 움직인다. 1.75 MHz 에서 4 번째 마디선(약 1.3 mm)에 있던 입자는 주파수를 연속적으로 증가시켜 3.05 MHz 가 되었을 때도 4 번째 마디선(약 0.8 mm)에 위치한다. 따라서, 초음파의 주파수를 조정하면 4 번째 마디에 있는 입자의 위치를 0.8 mm ~ 1.3 mm 사이의 범위내에서 제어할 수 있다.

초음파의 주파수를 연속적으로 변경하지 않고 갑자기 바꾸게 되면 입자가 마디선의 위치를 따라 즉시 움직이지 못하고 가까운 마디선으로 움직인다. 이와 같은 원리를 이용하면 입자를 다음 마디선으로 이동시킬 수 있다.

이렇게 주파수의 점진 상승 및 돌발 하강을 반복하면 Fig. 3 에서 보듯이 입자를 한 쪽 경계로 이동시킬 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 초음파를 이용한 미세입자의 분리 기술을 제안하였다. 이를 위해 마이크로 채널을 구성하고 주파수 변화를 조정하여 미세 입자의 위치를 제어할 수 있음을 확인하였다.

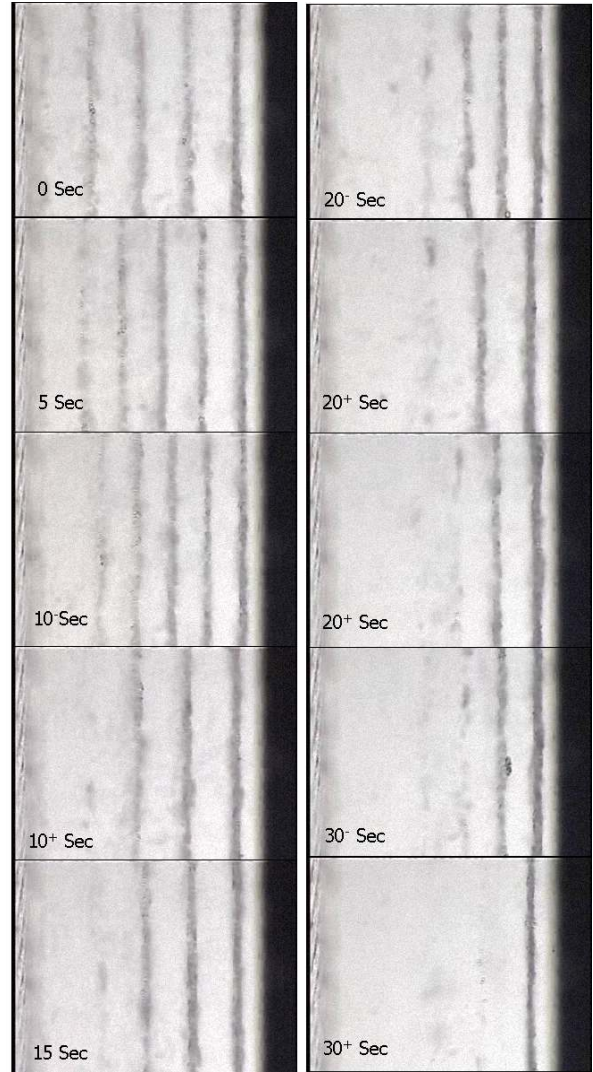


FIG. 3. The observation of particle behavior with the increasing frequency sweep. (Frequency: 1.75 MHz ~ 3.05 MHz, sweep period: 10 sec, 45 micron polystyrene beads)

참 고 문 헌

- (1) Hertz, H. M., 1995, "Standing-wave acoustic trap for nonintrusive positioning of microparticles," J. Appl. Phys., Vol. 78, pp. 4845~4849.
- (2) Wiklund, M. and Hertz, H. M., 2006, "Ultrasonic enhancement of bead-based bioaffinity assays," Lab on a Chip, Vol. 7, pp. 127~1292.
- (3) Cho, S. H., Seo, D.-C., Ahn, B., Kim, K.-B. and Kim., Y.-I., 2008, "Position control of micro particles in a fluid flow using ultrasonic standing wave." Journal of KSNT, Vol. 28, pp. 131~136