

외부 액체층 장치를 이용한 초음파구동장치 개발

Development of an ultrasonic actuation
with external liquid layer device○Jiyun Nan¹, 김 창 세^{1,2*}, 박 종 오^{1,2*}, 강 병 전^{1,2*}¹⁾ 전남대학교 기계공학과 (TEL:062-530-5264; E-mail: njy.kiwoon@gmail.com, jop@kimiro.re.kr, ckim@jnu.ac.kr)²⁾ 전남대학교 융합학부 (TEL: 062-530-5261; E-mail: bjkang8204@jnu.ac.kr)

Abstract Ultrasound utilizes the acoustic radiation force that exists in the acoustic field to actuate the particle. In order to trap the particle, one of the methods is utilizing the phase delay of ultrasound to form different kinds of the acoustic fields. In this research, we adopted a method of utilizing the external liquid layer device to actuate the particle. It can change the ultrasonic field formed in real time, so that the particle can move with the change of the ultrasonic field. Besides, we generate the High Intensity Focused Ultrasound(HIFU) by transducer and formed different acoustic fields by acoustic lens made of Polydimethylsiloxane(PDMS). We verified the different acoustic fields formed by the acoustic lens through the acoustic field scanning device and the performance of the external liquid layer device through the experiments. In further research, we will evaluate the ability of system trap and actuate particles.

Keywords Acoustic Lens, External Liquid Layer Device, Ultrasonic Actuation, Acoustic Radiation Force

1. 서론

현재 초음파를 이용한 파티클 트래핑과 구동기술에 대한 연구들이 여러 가지로 진행되어오고 있다. 초음파로 파티클을 트래핑할 수 있는 방법으로는 여러 가지가 있는데 그 중 한 가지가 Twin trap 이나 Vortex trap 같은 음향 필드를 생성시켜서 트래핑하는 것이다[1]. 이번 연구에서 우리는 초음파를 발생하는 트랜스듀서의 표면에 음향 렌즈를 부착하여 나오는 초음파가 위상지연이 일어나게끔 하여서 Twin trap과 Vortex trap의 음향 필드를 생성시키는 방법을 사용하였다 [2,3]. 또한 우리는 파티클을 구동하는 연구에 이미징에서 쓰고 있는 초점을 변경하는 액체 렌즈를 참고로 외부 액체층 장치를 설계하였다[4,5].

2. 이론 및 장치

2.1 이론적 설명

음향방사력은 음향포텐셜의 그레디언트와 관계가 있어서 파티클을 목표물로 고려하면은 일반적으로 초음파로 생성된 필드에서 압력이 강한 초점 부근에서 큰 음향방사력을 받게 된다[6]. HIFU로 생성된 필드는 단일 초점이어서 파티클을 트래핑할 수 없지만, 우리가 생성시킨 Twin

trap 필드는 두 개의 초점이 있어서 파티클을 트래핑 할 수 있게 한다. Vortex trap 필드는 초점이 회오리바람과 비슷한 형태를 가지고 있어서 파티클을 중심에서 트래핑 할 수 있게 한다.

우리가 렌즈로 초음파가 위상지연이 일어나게 할 수 있는 원인은 음파가 부동한 매질에서 서로 다른 전파속도를 가진데 있다. 하여 우리는 계산을 통하여 두께가 균일하지 않은 렌즈를 만들어서 렌즈를 투과해서 나오는 초음파가 우리가 원하는 위상을 가지게 할 수 있다.

2.2 장치 설명

우리가 제작한 외부 액체층 장치는 음파가 부동한 매질을 투과할 시 경계면에서 굴절이 일어나는 성질을 응용하였다.

$$\frac{\sin \theta_i}{c_1} = \frac{\sin \theta_t}{c_2} \quad (1)$$

여기서 θ_i , θ_t , c_1 과 c_2 는 각각 초음파의 입사각도, 굴절각도, 입사 측 매질 1에서의 음속과 굴절 측 매질 2에서의 음속이다. 실험 시 우리는 매질 1을 글리세린(음속: 1920 m/s)으로 선정하였고 매질 2를 물(음속: 1480 m/s)로 선정하였다. 그리고 두 매질을 얇은 고무막으로 분리하였다. 장치는

*본 연구는 보건복지부의 재원으로 한국보건산업진흥원의 보건 의료기술연구개발사업 지원에 의하여 이루어진 것임 (관리번호 HI19C0642)

고무막의 형태를 블록하게 변경하는 것을 통하여 생성된 초점의 위치를 변경하는 것이다. 실제 실험 시 이것을 실현하기 위하여 우리는 매질 층을 튜브로 외부의 조절 장치와 연결하여 매질 층 액체의 체적변화로 고무 막 형태를 컨트롤하는 방법을 사용하였다.

3. 실험장치 및 방법

실험에서 우리는 제너레이터(Agilent 33220A)와 앰프(HAS 4101)를 통하여 트랜스듀서에 전압을 공급하였고 음향 필드를 스캔하는 것은 하이드로폰(PA NH1000)과 linear stage를 조립하여 만든 3축으로 이동이 가능한 장치로 하였다.

음향 필드 스캔 실험 시 우리는 외부 액체층 장치를 사용하지 않은 상태에서 전압 크기가 $300[\text{mV}_{pp}] * 50$, 주파수가 $950[\text{kHz}]$ 인 싸인 파를 트랜스듀서에 입력했을 때 두 가지 렌즈를 각각 부착하여 생성된 Twin trap과 Vortex trap 필드를 확인하였다. 다음 우리는 외부 액체층 장치를 사용하여 주파수가 $950[\text{kHz}]$ 인 크기가 일정한 전압으로 생성된 렌즈를 사용하지 않은 단일 초점의 음향 필드를 스캔하여 생성된 초점이 장치의 고무 막 곡률반지름에 따라 트랜스듀서에서의 거리 변화를 확인하였다. 우리는 실험 데이터들을 소프트웨어(Matrix Laboratory, USA)로 처리하여 분석하였다.

4. 실험결과

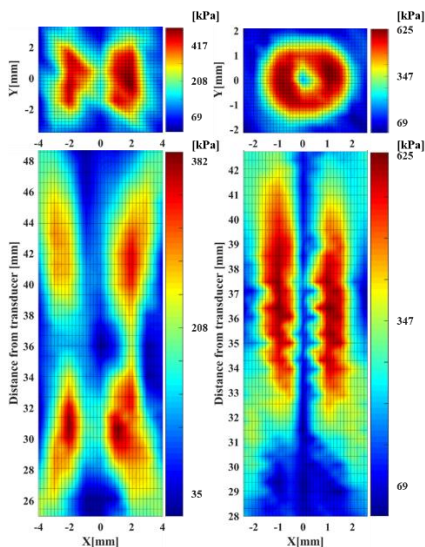


그림 1. 좌측은 렌즈를 사용하여 생성된 Twin trap 필드이고 우측은 Vortex trap 필드이다.

그림 1을 통하여 우리는 렌즈를 통하여 원하는 두 가지 필드가 생성되었음을 확인 할 수 있었고 필드의 초점 높이를 확인 할 수 있었다. 이는 향후 파티클 트래핑 실험 시, 파티클의 정확한 트래핑

위치의 파악에 도움이 될 수 있다.

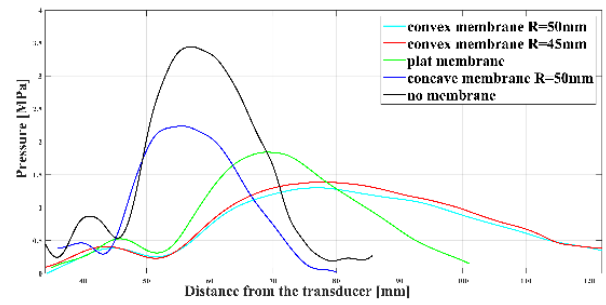


그림 2. 부동한 조건에 따른 트랜스듀서에서의 거리와 필드 압력의 관계

그림 2에서 우리는 고무 막의 형태 변화에 따라 초점 위치가 변화하는 것을 볼 수 있었지만 동시에 초점의 압력 강도도 떨어지는 것을 알 수 있었다. 하여 파티클 트래핑 실험 시, 초점 위치 변경에 따라 공급전압 크기도 따라서 변경하는 것도 고려해야 할 것으로 본다.

5. 결론

본 논문에서 우리는 일종 외부 액체층 장치를 사용한 초음파로 파티클을 구동하는 방법을 제안하였다. 향후 통합시스템의 초점 변화와 파티클 트래핑 능력의 검증에 따라 약물전달시스템의 마이크로 또는 나노사이즈 파티클 구동에도 사용이 가능하다고 본다.

참고문헌

- [1] A. Marzo, S. A. Seah, B. W. Drinkwater, D. R. Sahoo, B. Long and S. Subramanian, "Holographic acoustic elements for manipulation of levitated objects," *Nature Communications*, vol. 6, Oct., 2015.
- [2] S. Jiménez-Gambín, N. Jiménez and F. Camarena, "Transcranial Focusing of Ultrasonic Vortices by Acoustic Holograms," *Physical Review Applied*, vol. 14, no. 5, Nov., 2020.
- [3] Q. X. Zhou, J. Zhang, X. M. Ren, Z. Xu and X. J. Liu, "Multi-bottle beam generation using acoustic holographic lens," *Applied Physics Letters*, vol. 116, no.13, March, 2020.
- [4] C. L. Song, L. Xi and H. B. Jiang, "Acoustic lens with variable focal length for photoacoustic microscopy," *Journal of Applied Physics*, vol. 114, no.19, Nov., 2013.
- [5] J-W. Du, X-Y. Wang, S-Q. Zhu, D. Liang, "Doublet liquid variable-focus lens for spherical aberration correction," *Optik*, vol. 130, pp. 1244-1253, Feb., 2017.
- [6] H. Bruus, "Acoustofluidics 7: The acoustic radiation force on small particles," *Lab Chip*, vol. 12, no 6, pp. 1014-1021, Feb., 2012.