

마이크로믹서에의 응용을 위한 batch type 초음파믹서의 혼합 상태 가시화

허필우[†] · 윤의수 · 고광식*

Visualization for the mixing state of a batch-type ultrasonic mixer for its application to the microdevice

Pil Woo Heo[†], Eui Soo Yoon, and Kwang Sik Koh*

Abstract

An active μ -mixer is important in Bio-MEMS and μ -TAS. The mixing state depends on some kinds of factors including the intensity of ultrasonic radiation. We have visualized the mixing state of the mixing chamber with radiation time and presented the influence of the driving voltage in this research. It will be possible to compare the performances of the ultrasonic radiation parts used in the active μ -mixer using this method.

Key Words : mixer, ultrasonic, microdevice, visualization

1. 서 론

바이오분야에서 사용되는 기기의 소형화는 기존에 실험실에서만 사용되던 기기를 일반인들도 사용이 가능하도록 함으로써 많은 새로운 수요의 창출이 가능하게 되었다. 하지만 기기의 크기가 마이크로화가 됨으로써 매크로 세계와는 다른 현상에 접하게 되었다. 즉 시료가 마이크로 크기를 갖는 채널을 지나가면 레이놀즈 수가 작기 때문에 층류 유동이 일어난다. 따라서 시료의 혼합에 소요되는 시간이 길어지므로, 유효한 혼합을 위해서는 긴 채널이 필요하다¹⁻⁴⁾.

이 문제를 해결하기 위해 신뢰성 있고, 제어가 간편한 능동믹서를 많이 사용한다. 능동믹서의 성능은 초음파와 밀접하게 관련되므로, 마이크로믹서의 혼합 효율은 발생하는 초음파의 세기에 비례한다. 그러므로 제작된 능동믹서에서 발생하는 초음파의 세기를 조사하는 것은 중요하다. 이를 위해 먼저 임피던스 측정기를 이용하여 주파수 변화에 따른 임피던스 크기를 측정하여 압전소자 상태에 대해 점검한다. 하지만 이 방법은 초

음파가 매질에 전달되는 양을 직접 알려주지 못하고 압전소자의 파손여부, 케이블과 전극의 연결 여부만을 알려주는 한계가 있다.

압전소자의 앞부분에는 압전소자와 사용하려는 매질 사이의 임피던스 불일치에 따른 초음파의 손실을 줄이기 위해 실리콘이나 에폭시를 사용한다. 본 연구에서는 PZT와 에폭시를 압전소자와 다이아프램 재료로 각각 사용하였다. 압전소자가 정상적으로 동작하더라도 압전소자와 압전소자의 앞부분에 붙는 에폭시의 접착 상태에 따라 성능이 달라진다. 특히 마이크로 영역의 두께를 갖는 압전소자와 다이아프램 재료의 접합상태와 두께의 균일 정도, 이루는 각도 등이 조금 달라지면 매질에 조사되는 초음파의 세기가 크게 영향을 받는다.

이러한 점들을 파악하기 위해 매크로한 영역에서 능동믹서의 성능은 레이저를 이용한 vibrometer를 사용하거나, 하이드로폰을 사용하는 매질에 넣어 인가된 초음파에 의해 발생하는 음압을 측정할 수 있다. 그 외에 인가되는 전압과 전류에 의한 소모 전력을 측정할 수도 있고, 매질 내부의 온도상승률을 측정하는 경우도 있다.

그러나 크기가 작아지면 이러한 방법을 사용하기가 어려워지므로, 본 연구에서는 서로 다른 두 종류의 화학시료를 사용하여 상하로 색상이 다른 층을 만든 후에

한국기계연구원(Korea Institute of Machinery and Materials)
*경북대학교(Kyungpook National University)

[†]Corresponding author: pwheo@kimm.re.kr

(Received : December 6, 2004, Accepted : January 10, 2005)

초음파의 조사시간에 따른 색상 변화를 관찰함으로써 초음파가 진행되는 과정을 가시화했으며, 이를 통해 초음파를 이용하여 능동소자의 성능을 평가할 수 있는 가능성을 제시하였다.

2. 실험 장치

본 연구에서는 PZT를 압전소자 재료로 사용하여 정지된 상태의 시료를 혼합하는 batch type 실험장치를 제작하였다. 그림 1과 같이 맨 아래에 0.15 mm 두께를 갖는 압전소자가 있고, 그 위에 0.15 mm 두께를 갖는 에폭시가 부착되며, 그 위에 10 mm × 7 mm × 10 mm 크기를 갖는 챔버가 놓인다. 챔버의 위 쪽은 개방되어 있으며, 여기로 시료를 공급한다.

압전소자의 주파수에 따른 임피던스 값은 임피던스 측정기로 측정하였으며, 그 결과를 그림 2에 나타냈다. 저주파수에서는 임피던스가 크므로 본 연구에서는 300 kHz를 사용하였으며, 이때 임피던스 값은 233.7 Ω을 나타냄을 알 수 있다.

사용되는 시료로는 NaOH와 phenolphthalein을 사용하였다. Phenolphthalein은 무색을 띤 지시약으로 보통 검사와자 하는 시료의 특성이 산성인지 염기성인지 알아보기 위해 사용된다. 즉 pH가 8보다 크면 시료는

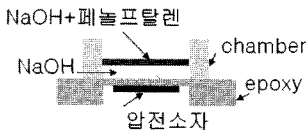


그림 1. 능동 마이크로믹서 구조
Fig. 1. The structure of an active μ-mixer.

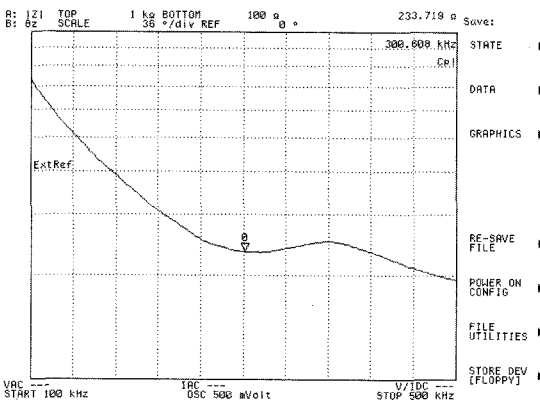


그림 2. 임피던스 특성
Fig. 2. Impedance characteristics.

붉은 색으로 변화함으로 염기성임을 알 수 있으며, 그렇지 않으면 색상이 변하지 않고 무색을 띠므로 이 물질은 산성임을 알 수 있다. 본 연구에서는 먼저 NaOH로 챔버의 절반을 채운 후에 phenolphthalein을 한 방울 떨어뜨린다. 그러면 시료의 위쪽만 붉은 색을 띠고 나머지 아래층은 무색이 된다. 이런 상태에서 초음파를 조사하면 매질의 색상이 시간에 따라 변화한다. 압전소자에 공급되는 전압은 변화하는 특성을 잘 관찰할 수 있도록 주파수는 300 kHz이면서 진폭은 각각 40 Vp-p, 50 Vp-p, 60 Vp-p 크기를 갖는 정현파를 사용하였다. 시료의 혼합 상태를 측면을 통해 쉽게 측정하기 위해 시료를 챔버에서 5 mm 높이까지 채웠으나, 마이크로 장치로 사용될 때는 압전소자와 다이아프램 재료의 형상과 크기는 동일하게 사용하고, 챔버의 높이만 수십 μm까지 작아지게 되므로 혼합시간이 매우 짧아진다. 다만, 실제로 μ-TAS 등의 진단기기에 적용할 때는 시료가 연속적으로 공급되어 혼합된다는 점에서 차이가 있다. 하지만 사용되는 능동믹서의 상대적인 성능 차이는 동등하므로 정지상태에서 성능이 우수한 능동믹서가 연속적인 상태에서도 우수한 능동믹서가 된다고 간주할 수 있다.

초음파를 가해주는 시간에 따라 능동믹서의 챔버 내의 시료의 색상변화를 관찰하기 위한 가시화 실험장치의 구성은 그림 3과 같다. 주파수 발생기, 전력증폭기, CCD 그리고 능동믹서로 구성된다. 주파수 발생기는 압전소자에 요구되는 주파수를 갖는 정현파 신호를 공급하고, 공급된 신호는 전력증폭기에서 필요한 전력만큼 증폭하여 압전소자에 공급된다. 압전소자에 공급되는 전압은 각각 40 Vp-p, 50 Vp-p, 60 Vp-p 진폭과

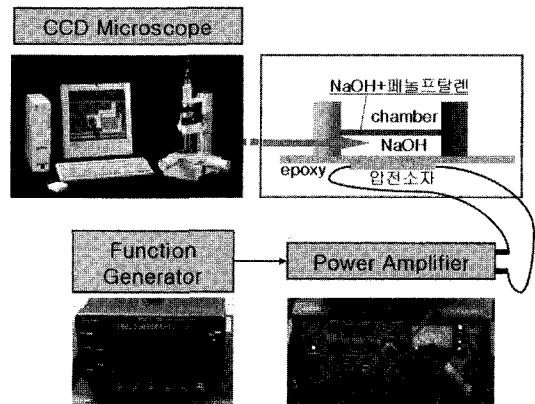


그림 3. 혼합상태 가시화용 실험장치
Fig. 3. Experimental equipments for visualization of mixing state.

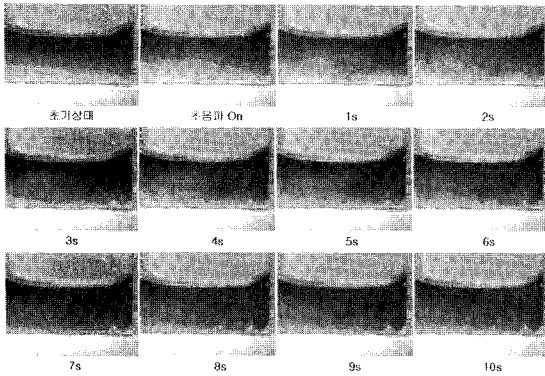


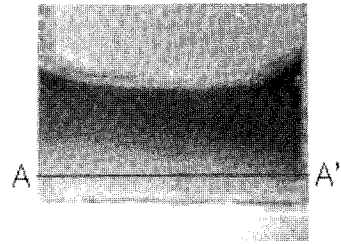
그림 4. 중 전압(50 Vp-p) 초음파 조사실험
Fig. 4. Ultrasonic radiation with medium voltage (50 Vp-p).

300 kHz 주파수를 갖는 정현파이다. 챔버에 공급되는 시료는 NaOH와 phenolphthalein을 사용하였으며, 전술한 바와 같이 초기에 위층은 붉은 색 그리고 아래층은 무색을 나타내다가 초음파 조사가 진행되면서 점차 전체가 붉은 색으로 변화한다. 이와 같은 색상변화는 CCD를 이용하여 영상신호로 변환하여 저장하였다. CCD 영상은 조명의 위치에 따라 상태가 다르며, 본 실험에서는 위쪽에서 아래쪽 방향으로 조명이 향하도록 설치하여 영상신호를 얻었다. 또한 조도에 따라 색상의 선명도가 영향을 받으므로 조도의 변화에 따른 색상 상태를 관찰한 후에 적절한 조건으로 설정하였다.

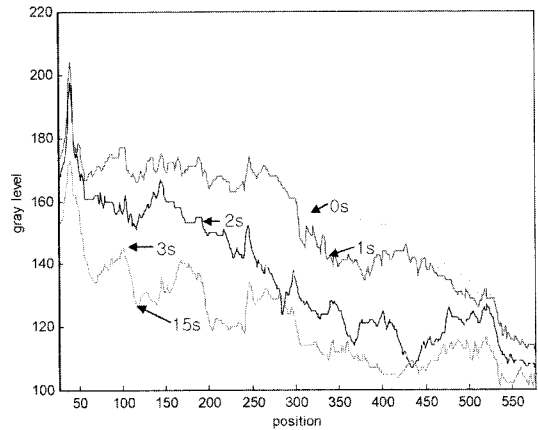
3. 실험 결과

위층은 붉은 색 그리고 아래층은 무색의 상태로 실험조건을 만든 후에, 50 Vp-p 진폭과 300 kHz 주파수를 갖는 초음파를 조사하면서 챔버 내의 색상 변화를 측정하였다. 그림 4와 같이 시간이 지남에 따라 챔버 내의 전체가 붉은 색으로 변화함을 알 수 있고, 이는 초음파에 의해 혼합이 잘 일어남을 나타낸다. 가운데 부분부터 변화가 일어나면서 점차 측면으로 진행됨을 알 수 있다.

혼합이 진행되는 상태를 정량화하기 위해 그림 5(a)의 A-A' 위치에서 명암도의 변화를 계산하면 그림 5(b)와 같다. 수평축은 측정지점을 나타내고 수직축은 명암도를 나타낸다. 명암도의 값이 0이면 검은 색을 나타내고, 255면 흰색을 나타낸다. 즉 명암도 값이 줄어들면 색상이 짙어짐을 나타낸다. 0 s, 1 s, 2 s, 15 s와 같이 시간이 경과함에 따라 명암도 값이 가운데 부분에서 초기에 160이상인 값이 120이하로 줄어드는 것을 알 수 있으며, 이것은 혼합이 효과적으로 진행됨



(a) 측정지점



(b) 명암도

그림 5. 시간에 따른 명암도
Fig. 5. Change of gray level.

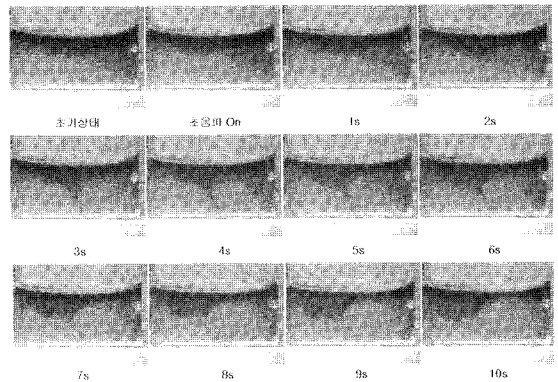


그림 6. 저 전압(40 Vp-p) 초음파 조사실험
Fig. 6. Ultrasonic radiation with low voltage (40 Vp-p).

을 나타낸다.

인가전압의 변화에 따른 혼합 진행 상태를 조사하기 위해 그림 6에서 저 전압을 인가한 경우의 혼합의 진행상태를 측정하였다. 저 전압을 인가하면 그림 6과 같이 혼합이 진행되는 속도를 감소시킴을 알 수 있다. 진행속도가 떨어짐에 따라 혼합이 진행되는 과정을 보다

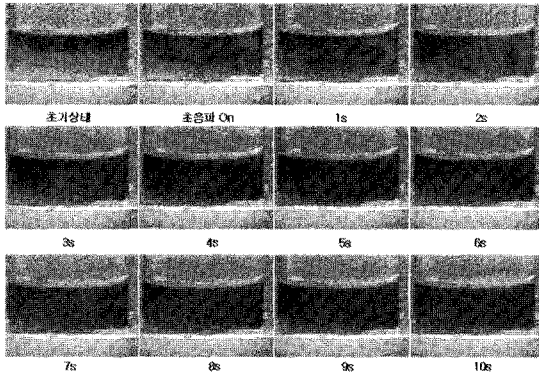


그림 7. 고전압(60 Vp-p) 초음파 조사실험
Fig. 7. Ultrasonic radiation with high voltage (60 Vp-p).

자세히 관찰할 수 있다. 즉 초음파는 압전소자의 가운데 부분부터 붉은 색으로 변화하면서, 회오리바람과 같은 형상으로 측면으로 점차 진행함을 알 수 있다. 측면 방향만 비교하면 우측보다는 좌측이 먼저 붉은 색으로 진행됨을 알 수 있다.

마지막으로 고전압을 인가하면 그림 7과 같이 혼합이 진행되는 시간이 더욱 짧아짐을 알 수 있다. 따라서 인가전압을 조절함으로써 쉽게 혼합이 진행되는 속도를 가변하는 것이 가능하다.

이러한 초음파 조사시간의 변화에 따른 색상변화의 정도는 같은 능동믹서에서도 압전소자와 다이아프램 재료의 접합상태, 두께, 두께의 균일도, 평행정도 등에 따라 다르게 나타나므로, 이를 통해 제작된 능동믹서의 제특성의 비교가 가능하다. 그리고 능동믹서의 성능개선을 위해 다른 압전재료나 다이아프램 재료를 사용하는 경우에 성능개선에 관한 객관적인 데이터를 제시하는 것이 가능하다.

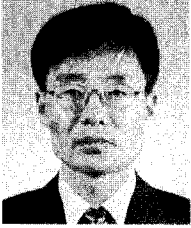
따라서 능동믹서를 실제로 bio-MEMS나 μ -TAS 등의 진단기에 적용하여 진단기의 성능을 개선하고자 할 때 혼합 상태에 대한 정확한 자료를 제시하여 진단기의 성능개선에 공헌할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

초음파를 이용한 능동마이크로믹서는 bio-MEMS와 μ -TAS를 포함하는 마이크로 진단기기 분야에서 아주 중요하다. 하지만 제작된 장치에 대해 매크로한 영역과는 달리 마이크로 장치 내부의 매질에서 직접적인 성능을 파악하기가 어렵다. 본 연구에서는 능동믹서에서 초음파의 조사시간에 따라 혼합이 진행되는 상태를 가시화하였다. 초음파가 조사됨에 따라 챔버 내의 가운데 부분이 가장 먼저 혼합이 되었고, 이어서 왼쪽 측면, 오른쪽 측면의 순서로 혼합이 진행됨을 알 수 있었다. 일정한 시간이 경과하면 전체가 붉은 색으로 변하므로 혼합이 전체 매질에 대해 잘 되었음을 확인할 수 있었다. 시간 변화에 따른 혼합 상태는 인가되는 전압의 크기에 따라 다르므로, 이 방법을 이용하면 능동믹서의 성능을 비교할 수 있으며, 능동소자에 사용되는 재료의 특성이 개선될 때 성능에 미치는 영향을 정량적으로 파악하는 것도 가능하다. 따라서 바이오 분야에 사용되는 마이크로소자의 성능개선에도 기여할 것으로 기대된다.

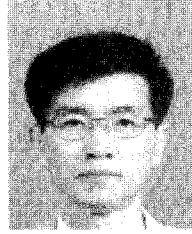
참고 문헌

- [1] A. D. Strook, S. K. W. Dertinger, A. Ajdari, I. Mezic, H. A. Stone, and G. M. Whitesides, "Chaotic mixer for microchannels", *Science*, vol. 295, pp. 647-651, 2002.
- [2] H. Monnier, A.-M. Wilhem, and H. Delmas, "Influence of ultrasound on mixing on the molecular scale for water and viscous liquids", *Ultrasonics Sonochemistry* 6, pp. 67-74, 1999.
- [3] Z. Yang, H. Goto, M. Matsumoto, and R. Maeda, "Active micro mixer for microfluidic systems using PZT generated ultrasonic vibration", *Electrophoresis* 21, pp. 116-119, 2000.
- [4] Z. Yang, S. Matsumoto, H. Goto, M. Matsumoto, and R. Maeda, "Ultrasonic micromixer for microfluidic systems", *Sens. Actuators A* 93, pp. 266-272, 2001.



허 필 우 (許 弼 宇)

- 1989년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1991년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
- 1998년 ~ 현재 경북대학교 박사과정
- 1991년 ~ 현재 한국기계연구원 선임연구원
- 주관심분야 : Bio-MEMS, μ -Device, μ -TAS



윤 의 수 (尹 義 洙)

- 1981년 부산대학교 기계공학과 졸업 (공학사)
- 1983년 한국과학기술원 기계공학과 졸업 (공학석사)
- 1997년 한국과학기술원 기계공학과 졸업 (공학박사)
- 1983년 ~ 현재 한국기계연구원 책임연구원
- 주관심분야 : MEMS-Fluidics, Bio-Fluidics, Bio-MEMS, 유체기계

고 광 식

- 「센서학회지 제 10권 제 1호」 논문 02- , p.61 참조
- 현재 경북대학교 전자전기공학부 교수