

## 초음파 진동자 응용을 위한 압전 세라믹의 유전 및 전기적 특성

### The Dielectric and Electrical Characteristics of Piezoelectric Ceramic for Ultrasonic Oscillator Application.

이수호\*, 민석규\*\*, 윤광희\*\*, 류주현\*\*, 사공건#

(S. H. Lee, S. K. Min, K. H. Yoon, J. H. Yoo, G. Sa-Gong)

#### Abstract

The application of the ultrasonic nozzle has been extended because it is possible atomization of liquid material. In this study, the characteristics of the ultrasonic nozzle and ceramic oscillator were investigated. The oscillator for the ultrasonic nozzle were made piezoelectric ceramic of  $Pb[(Sb_{1/2}Nb_{1/2})_{0.035}-(Mn_{1/3}Nb_{2/3})_{0.035}-(Zr_{0.49}Ti_{0.51})_{0.90}]O_3$ . The electromechanical coupling factor( $k_p$ ) and mechanical quality factor( $Q_m$ ) showed the values of 0.555, 1,214 respectively when the Zr/Ti ratio was 49/51. Moreover, this oscillator will have the temperature stability because it's curie temperature is 322[°C].

The driving current of ultrasonic nozzle showed the value of 80[mA] when the driving time was 10[min.]. Also, The surface temperature of ceramic oscillator showed 80[°C] at driving time 10[min.]. We knew that the ultrasonic nozzle had stable driving above 10[min.].

**Key Words(중요용어)** : Ultrasonic nozzle(초음파 노즐), Aerosol(분무), Ceramic Oscillator(세라믹 진동자), Temperature coefficient of resonant frequency(TCF<sub>r</sub>)(공진주파수 온도계수)

#### 1. 서 론

최근까지 액체연료의 미립화를 위해서는 고압 분무 방식이 일반적으로 사용되어졌다. 그러나 고압 분무 방식을 이용할 시 분무 액체 표면적의 불균일성과 고르지 못한 입경에 의해 불완전 연소가 발생하며, 이로인해 공해발생과 효율이 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 그러나 초음파를 사용하여 액체연료를 분무할 시에 균일한 입경과 미립화가 우수하여 에너지 절약과 공해방지뿐만 아니라 유속이 낮은 곳과 공급 유량이 적은 곳에서도 이용할 수 있기에 의약품 도포공정, 반도체 제조공정등의 여러 산업에 응용이 가능하다. 초음파를 사용하여 액체를 분무시

키는 방법으로는 초음파 진동자 표면에서 직접 진동 에너지를 전달받아 액체가 분무되는 것과 일정한 유속이 있는 곳에서 액체 연료 전부에 대한 진동을 가하여 액체의 표면 부분에서 분무가 일어나는 것이 있다. 본 실험에서는 두 번째 방법을 사용하였으며, 이는 일정시간당 공급되는 액체 연료를 분무시키기 에 적당한 방법으로 생각된다.

초음파 노즐(nozzle)에 대한 연구로는 Mochida<sup>1)</sup>와 Berger<sup>2)</sup>등이 70년대 말에 보고 되었으며, 또한 Nakayama<sup>3)</sup>등은 초음파를 사용하여 균일한 입경 생성에 관한 보고를 하였다. 또한 Hiroyas<sup>4)</sup>등은 초음파 분사공에 대하여 보고하였다. 그러나 이는 노즐의 기계적인 메카니즘에 대한 연구로서 초음파 진동을 이용하여 액체 연료의 분무 효율을 향상시키기 위해서는 노즐의 기계적인 메카니즘과 더불어 진동자의 특성향상이 중요하다. 따라서 본 연구에서는

\* : 경북대학교 전자전기공학부

(Tel : 053-950-7321, E-mail : leesuho@knu.ac.kr)

\*\* : 세명대학교 전기공학과

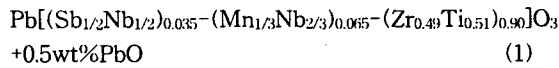
# : 동아대학교 전기공학과

초음파 진동자로서 응용을 위한 압전 소자<sup>5-6)</sup>의 개발과 진동자로서의 요구되어지는 전기기계 결합계수, 기계적 품질계수 및 온도계수등의 특성을 검토하였으며, 또한 초음파 노즐을 제작, 구동시켜 온도 안정성 및 분무정도를 검토하여 초음파 노즐의 응용 가능성을 제시하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 초음파 진동자의 제조.

초음파 진동자로서의 응용을 위하여 온도 안정성이 중요하기에 큐리온도가 300[°C] 이상이 되는 PZT 계열의 세라믹에 제반 특성을 향상시키기 위해 PMN과 PSN을 치환하여 다음과 같은 조성식으로 제조하였다.



여기서 Zr과 Ti의 조성비는 49/51로 하였으며, 이는 이전에 보고된 조성비의 변화에 따른 제반 특성등을 검토하여 초음파 진동자로서 가장 적절한 조성비를 선택하여 일반적인 고상반응법으로 제조하였으며, 압전 진동자의 크기는 두께 4mm, 외경 30mm, 내경 12mm의 ring형으로 제작하였다. 또한 전기기계 결합계수 및 기계적 품질계수등과 같은 특성을 조사하기 위하여 Impedance Analyzer(HP4194A)로 공진 및 반공진 주파수를 측정하여 계산하였으며, 공진주파수의 온도안정성을 측정하기 위하여 항온조내에 시편을 두고 -40~90[°C]의 온도 범위에서 공진주파수를 측정하여 식 (2)와 같이 계산하였다.

$$TCf_r = \frac{f_r(T_c) - f_r(25_c)}{f_r(25_c)} \times 100[\%] \quad (2)$$

여기서  $f_r(T_c)$ 는 온도 T[°C]에서의 공진 주파수이며,  $f_r(25_c)$ 는 25[°C]에서의 공진주파수이다.

### 2-2. 초음파 노즐의 제작

제조된 초음파 진동자를 사용하여 그림 1과 같은 초음파 노즐을 제작하였다. 노즐의 설계시 세라믹 진동자에 최대 진동이 전달될 수 있도록 하였으며, tip부분은 분부시 분무 범위를 넓게 하기 위하여 45°의 각을 주고 처리하였다.

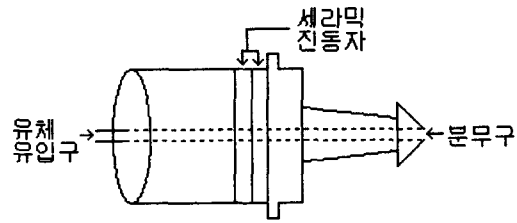


그림 1. 초음파 노즐의 모양

Fig. 1. Form of ultrasonic nozzle.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 초음파 진동자의 특성

초음파 노즐을 구동시에 기계적인 진동을 이용하므로 많은 열을 발생시켜 노즐의 표면 온도가 상승하여 세라믹 진동자에도 그 영향을 미치게 되어 열적 열화 현상이 일어날 수 있기에 높은 큐리 온도를 가지는 세라믹 진동자가 중요하다. 따라서 그림 2에 Zr/Ti의 비에 따른 큐리온도의 변화를 나타내었다. Ti의 비가 증가할수록 큐리온도가 증가하고 있는데, 이는  $\text{PbTiO}_3$ 의 큐리온도가 490[°C] 부근으로 230[°C]인  $\text{PbZrO}_3$ 보다 높기 때문이다.

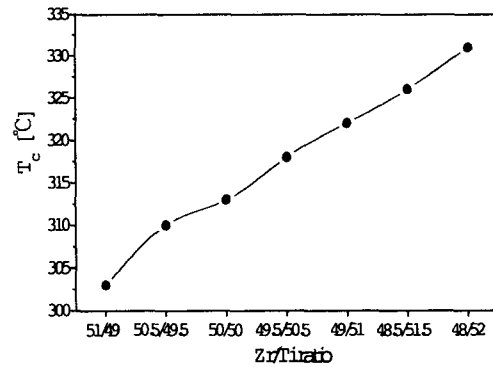


그림 2. Zr/Ti의 비에 따른 큐리온도

Fig. 2. Curie temperature with Zr/Ti ratio

또한 초음파 노즐에 요구되어지는 중요한 상수인 전기기계 결합계수와 기계적 품질계수를 Zr/Ti의 비에 따라 얻어지는 결과를 그림 3과 4에 각각 나타내었다. Zr/Ti 비가 감소할수록 결정격자의 이방성이 큰  $\text{PbTiO}_3$  조성이 증가하여 분극 가능한 축이 6개인 정방정상과 8개인 능면체정상이 공존하는 상경계 영역으로 근접함에 따른 분극 효율의 증가로 압전 특

성이 최대가 되므로 Zr/Ti 비가 50/50인 조성에서 최대값을 나타내었으며, 이 영역에서 멀어질수록 분극효율이 감소하여 전기기계 결합계수가 감소하였다. 또한 Zr/Ti 비가 감소할수록 PbTiO<sub>3</sub> 조성이 증가함에 따라 기계적 품질계수는 감소하다가 Zr/Ti 비가 49.5/50.5일 때 최소값을 나타내었는데, 이는 상경계 영역에 근접함에 따라 유전상수가 증가함에 따른 유전손실이 증가하고, 결정구조의 불안정성이 증가되었기 때문으로 생각된다. 그 이상 PbTiO<sub>3</sub> 조성이 증가함에 따라 기계적 품질계수는 다시 증가하고 있다. 따라서 초음파 진동자로서 요구되어지는 제반 특성들을 검토한 결과 Zr/Ti의 비가 49/51인 경우가 가장 우수할 것으로 생각되어 이를 선택하여 초음파 진동자를 제조하였다.

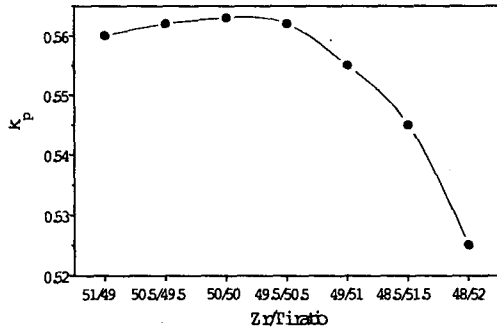


그림 3. Zr/Ti 비에 따른 전기기계결합계수  $k_p$   
Fig. 3. Electromechanical coupling factor  $k_p$  with Zr/Ti ratio

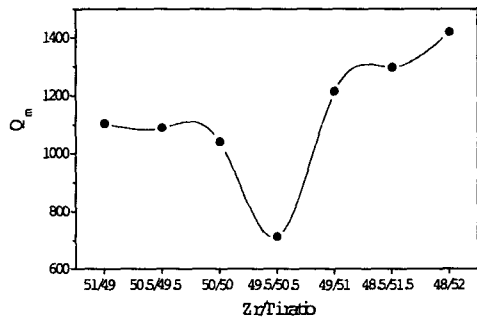


그림 4. Zr/Ti 비에 따른 기계적 품질계수  $Q_m$   
Fig. 4. Mechanical quality factor  $Q_m$  with Zr/Ti ratio

그림 5는 초음파 노즐의 구동시에 나타나는 온도

변화에 따른 공진주파수의 온도 의존성을 알아보기 위한 것으로 -40~90°C의 온도범위에서 공진주파수를 측정하여 공진주파수 온도계수(TCF[%])를 식(2)에 의해 계산하여 나타내었다.

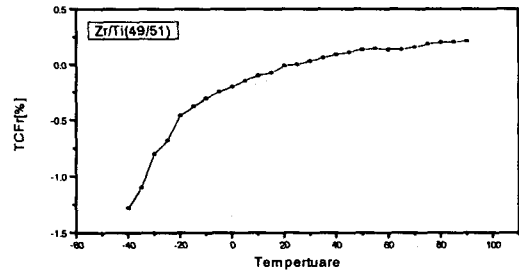


그림 5. 공진주파수의 온도계수 TCF, [%]  
Fig. 5. Temperature coefficient of resonant frequency TCF, [%]

### 3-2. 초음파 노즐의 특성

초음파 노즐의 구동을 위하여 그림 6과 같은 구동회로를 설계하여 시간당 유량 0.9l/hr를 공급하여 분무의 정도를 확인하였으며, 상온에서의 공진주파수 42[KHz]로 구동시켰다.

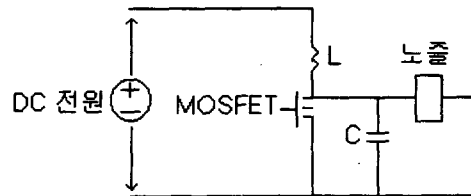


그림 6. 초음파 노즐의 구동회로  
Fig. 6. Driving circuit of ultrasonic nozzle.

그림 7은 초음파 노즐의 구동시에 세라믹 진동자의 표면 온도 상승을 나타내고 있다. 여기서 1차, 2차 구동 모두 유량 0.9[l/hr] 공급시이며, 2차구동은 1차 구동후 10분간 동작을 정지시킨 후 재동작 시킨 것을 의미한다. 세라믹 진동자의 표면 온도는 최대 74 [°C] 정도로 유지되어 장시간 구동시에도 문제가 없을 것으로 생각된다.

그림 8은 구동시간의 따른 소비 전류의 변화를 측정 한 것으로 1, 2차 구동 모두 구동 시간이 10분 이후 약 75[mA]로 안정됨을 알 수 있으며, 이는 구동 시간에 따른 진동자의 표면 온도의 변화가 10분 이후부

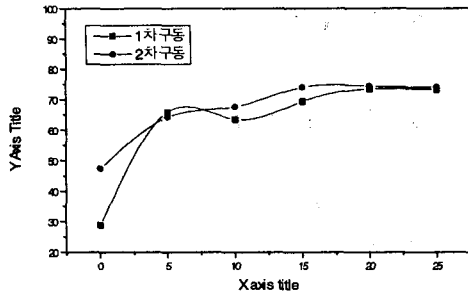


그림 7. 구동시간에 따른 진동자의 표면 온도.  
Fig. 7. Surface temperature of oscillator with driving time.

터 포화 현상이 나타남으로 온도 변화에 따른 진동자의 임피던스의 변화가 작아지면서 나타나는 것으로 생각된다.

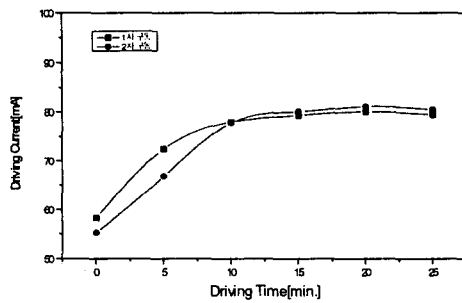


그림 8. 구동 시간에 따른 구동전류  
Fig. 8. Driving current with driving time.

그림 9는 초음파 노즐의 소비전력을 나타내고 있다. 소비전력도 세라믹 진동자의 온도가 상승되는 10분 정도까지의 증가를 나타내다가 온도가 포화되기 시작하면 소비전력도 18.5[W]로 일정한 값을 나타내고 있다. 2차구동시에 소비전류와 소비전력 모두 1차구동시보다 다소 낮은 값에서 출발하는데 이는 세라믹 진동자의 표면온도가 1차 구동에 의해 이미 가열이 되어 있어 1차 구동시 처럼 순간 과전류가 흐르지 않고 임피던스에 의해 소비전류가 유도되기 때문이라 생각된다.

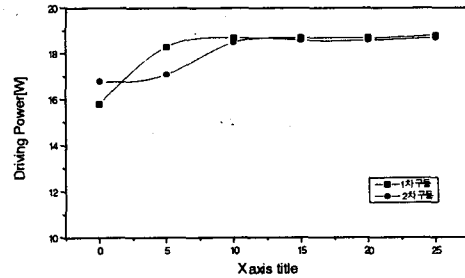


그림 9. 구동시간에 따른 구동전력  
Fig. 9. Driving power with driving time.

#### 4. 결론

초음파 노즐의 응용을 위하여 선택한 PSN-PMN-PZT 계 세라믹 진동자의 제반특성과 노즐의 구동에 따른 특성에 의해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 진동자가 요구되어지는 전기기계 결합계수 및 기계적 품질계수등은 Zr/Ti의 조성비가 49/51일 때 각각 0.555, 1214로 나타났으며, 이때 큐리온도가 322[°C]로 비교적 높게 나타나 진동자로서 적합함을 알 수 있었다.
2. 초음파 노즐을 구동시킬 때 세라믹 진동자의 표면 온도가 10분 이후부터 약 75[°C]로 포화되어 온도의 안정성을 기대할 수 있었다.
3. 초음파 노즐의 구동시에 소비전류 및 전력이 약 80[mA]와 18[W]로 낮아 에너지 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대되었다.

그러나 초음파 노즐의 응용을 위해서는 액체 연료의 분무량 및 분무 입자 크기등에 대한 고찰이 필요하며, 이는 지속적인 실험을 통하여 검토하고자 한다.

#### 참고 문헌

- [1].Mochida T. "Ultrasonic Atomization of Liquids" Proc. 1st Inter. Con. on Liquid Atomization and Sprays(ICLAS-78), pp.193~200, 1978.
- [2].Berger H. L., "Characterization of a Class of Widely Applicable Ultrasonic Nozzle", Proc. 3rd Inter. Con. on Liquid Atomization and Spray Systems(ICLAS-85), 1985.
- [3].M. Nakayama, "Study of Uniform Liquid Droplet Formation by Ultrasonic Vibration", JSME(B), Vol. 52, No. 482, 1986.
- [4].廣安博之, 超音波噴射に関する研究", 日本機械學會論文集(B), 51卷, 475号, 1985.