

## 구동회로에 따른 초음파 노즐의 분무 특성

### The Aerosol Characteristics of Ultrasonic Nozzle on the Driving Circuit

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

S. H. Lee, S. G. 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 driving characteristics of the ultrasonic nozzle on the driving circuit were investigated. And the characteristics of the ceramic oscillator were investigated for the temperature stability. The ceramic oscillator were made the  $Pb[(Sb_{1/2}Nb_{1/2})_{0.035}-(Mn_{1/3}Nb_{2/3})_{0.065}-(Zr_xTi_{1-x})_{0.9}]O_3$  with mole ratio of Zr/Ti. The ceramic oscillator were need the curie temperature of the over 300[°C] for the temperature stability. When the Zr/Ti ratio was 49/51, it's curie temperature is 322[°C] and the electromechanical coupling factor( $k_p$ ) and mechanical quality factor( $Q_m$ ) showed the values of 0.555, 1,214, respectively. The resonance frequency of ceramic oscillator were from 40KHz to 45KHz. So that, the driving circuit were made a possibility that the frequency are variable. The driving current of ultrasonic nozzle showed the value of maximum 80[mA]. 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** : Ultrasonic nozzle, Driving Circuit, Ceramic Oscillator

#### 1. 서론

현재 액체 연료의 분사에는 고압펌프를 이용하여 tip부분의 가는 구멍으로 액체 연료를 압출 방법으로 분사시키고 있다. 따라서 분사되는 연료의 입자들의 표면적이 불균일하며, 유입되는 연료의 양도 일정하지 않은 단점을 지니고 있다. 따라서 분사된 입자의 불균일성에 의해 불완전 연소에 의한 공해발생과 에너지 효율이 저하되는 문제점을 지니고 있다. 그러나 초음파를 이용하여 액체연료를 분무할 시에 균일한 입경과 미립화가 용이하여 에너지 절약과 공해방지등을 할 수 있으며, 또한 유속과 유량에 관계없이 이용할 수 있기에 반도체 분야의 반도체 웨이퍼와

평판 표시기상에 사진 석판용 화학물질의 균일도포, 컴퓨터 하드디스크의 광택제 도포등에 사용할 수 있다. 또한 의학/생의학분야에 약품의 분사 건조, 진단 시험키트에 대한 코팅등에 응용이 가능하며 또한 초저의 유출 용량을 요구하는 모든공정 및 액체연료의 분사가 요구되는 모든 산업에 적용할 수 있다.

이러한 액체 연료의 분사에 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 특성 향상이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 초음파 진동자로서 응용을 위한 압전 소자<sup>5~6)</sup>의 개발과 진동자로서의 요구되어지는 전기기계 결

\* 경북대학교 전자전기공학부(대구시 산격동 1370번지, Tel.: 053-950-7321, E-mail : leesuho@knu.ac.kr)

\*\* 세명대학교 전기공학과

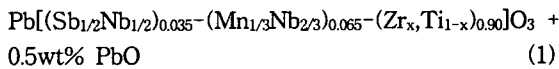
\*\*\*동아대학교 전기공학과

합계수, 기계적 품질계수 및 온도계수등의 특성을 검토하였으며, 또한 초음파 노즐을 제작하여 구동회로를 이용하여 구동시켰으며, 이에 따른 구동회로의 안정성과 안정한 분무 동작을 위한 초음파 노즐의 응용가능성을 검토 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 세라믹 진동자의 제조

본 실험에서는 다음의 조성식으로 시편을 제조하였다.



여기서, x를 0.51, 0.505, 0.5, 0.495, 0.49, 0.485, 0.48로 변화시켜 얻어진 제반 특성을 검토하여 세라믹 진동자가 기계적인 운동에 의해 발열 등으로 인한 열화현상의 방지하기 위하여 300[°C] 이상의 큐리온도를 가지며 특성이 우수한 조성비는 x가 0.49[mole] 일 때임을 알았다.<sup>5-6)</sup> 이에 대한 제반 특성을 표 1에 정리하였다. 세라믹 진동자는 일반적인 고상반응법으로 제조하였으며, 진동자의 크기는 두께 4mm, 외경 30mm, 내경 12mm의 ring형으로 제작하였다. 또한 제조된 세라믹 진동자의 온도안정성을 검토하기 위하여 항온조를 이용하여 -40~90[°C]의 온도범위에서 공진주파수를 측정하여 아래 식 (2)와 같이 계산하였다.

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

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

### 2.1 초음파 노즐의 제조

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

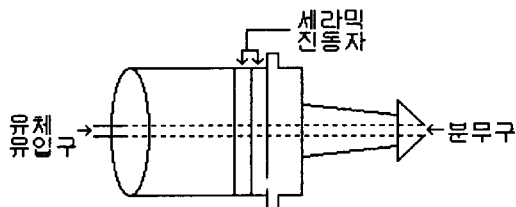


그림 1. 초음파 노즐의 모양  
Fig. 1. Form of ultrasonic nozzle.

### 2.3 구동회로의 설계 및 제작

초음파 노즐의 구동을 위한 구동회로의 블록도를 그림 2에 나타내었다. 초음파 노즐의 구동 주파수가

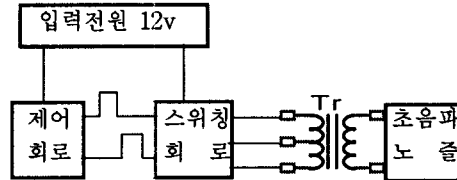


그림 2. 초음파 노즐의 구동회로 블록도  
Fig. 2. Block diagram of ultrasonic nozzle.

43[KHz] 부근이기에 입력전원을 DC를 사용하였으며, 이를 제어 회로에서 펄스발진 전용 IC인 KA3525를 이용하여 구동펄스를 발진시켜 입력전원을 40~45[KHz]로 발진할 수 있도록 타래 발진식으로 스위칭시켰다. 이를 트랜스포모로 승압시켜 초음파 노즐에 인가하여 진동자를 구동시켰다. 그림 3에 실제 구성시킨 회로도도 나타내었다. 여기서  $L_1$ 과  $C_1$ 은 스위칭 및 부하측에서 전원측으로 노이즈 침입을 방지하기 위하여 설치하였으며,  $Q_1$ 과  $Q_2$ 가 IC 3525에서 발진되는 펄스를 교대로 스위칭하는 FET로서 DC의 입력 전원을 구동주파수로 발진시킨다.

## 3. 결과 및 고찰

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 4에 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.

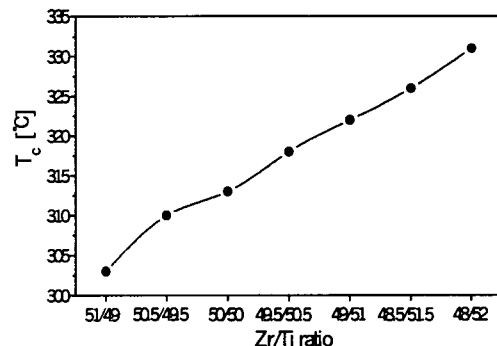


그림 4. Zr/Ti의 비에 따른 큐리온도  
Fig. 4. Curie temperature with Zr/Ti ratio

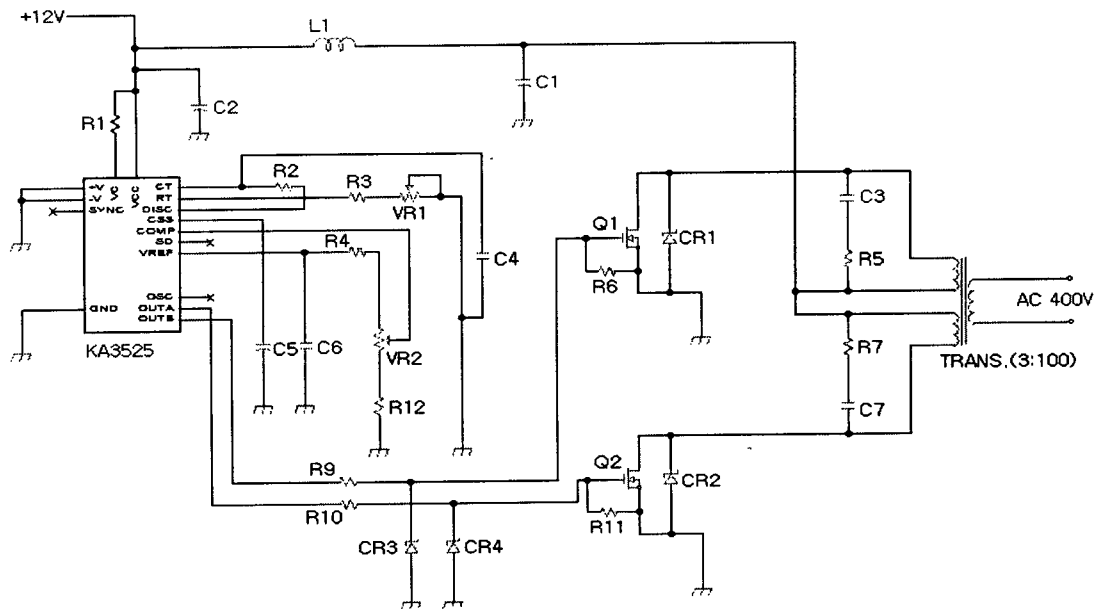


그림 3. 초음파 노즐의 구동회로  
Fig. 3. Driving circuit of ultrasonic nozzle.

따라서 큐리온도가 300[°C]가 넘으며, 표 1에 나타난 제반 특성들을 검토하여 세라믹 진동자로서 가장 적합할 것으로 생각되는 Zr/Ti의 비가 49/51인 재료를 선택하여 초음파 노즐을 제작하였다.

표 1. PSN-PMN-PZT 세라믹스의 특성

Table 1. Properties of PSN-PMN-PZT Ceramics

Sample Zr/Ti	Dielectric constant	K <sub>p</sub>	Q <sub>m</sub>	E <sub>c</sub> [kV/cm]	T <sub>c</sub> [°C]	Grain size[μm]
51/49	1130	0.560	1104	10.5	303	1.51
50.5/49.5	1065	0.562	1089	11.43	311	1.91
50/50	1065	0.562	1040	11.75	313	2.05
49.5/50.5	1257	0.562	713	11.93	318	2.20
49/51	1228	0.555	1214	12.06	322	1.79
48/52	1159	0.525	1419	13	331	2.20

또한 초음파 노즐의 구동시에 나타나는 온도 변화에 따른 공진주파수의 온도 의존성을 알아보기 위한 것으로 -40~90°C의 온도범위에서 공진주파수를 측정하여 공진주파수 온도계수(TC<sub>f</sub>[%])를 식 (2)에 의해 계산하여 그림 5에 나타내었다. 이는 초음파 노즐이 구동시에 많은 발열을 동반하므로 온도 변화에 따른 공진주파수의 안정성은 매우 중요하다. 본 실험에서 선택한 재료의 경우 상온 이상에서의 온도계수는 0에 가까워 온도안정성이 있음을 알 수 있었다.

그림 6과 7은 FET를 스위칭하는 파형과 트랜스포머의 2차단에 출력되는 파형을 나타낸 것으로 그림 6에 출력 A는 Q<sub>1</sub>, 출력 B는 Q<sub>2</sub>의 FET에 입력되는 파형을 나타내고 있다. 출력 A와 출력 B에는 약간의 dead time를 두었다. 또한 그림 7의 출력에는 스위칭 되는 순간에 overshoot되는 것을 볼 수 있으나 초음파 노즐의 구동에는 문제가 되지 않아 이를 줄이기 위한 회로 설계는 하지 않았다. 그러나 실제 구동시에 1차측에 2A이상의 전류가 요구되기에 이에 따른 발열등이 문제로 이를 해결하기 위한 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

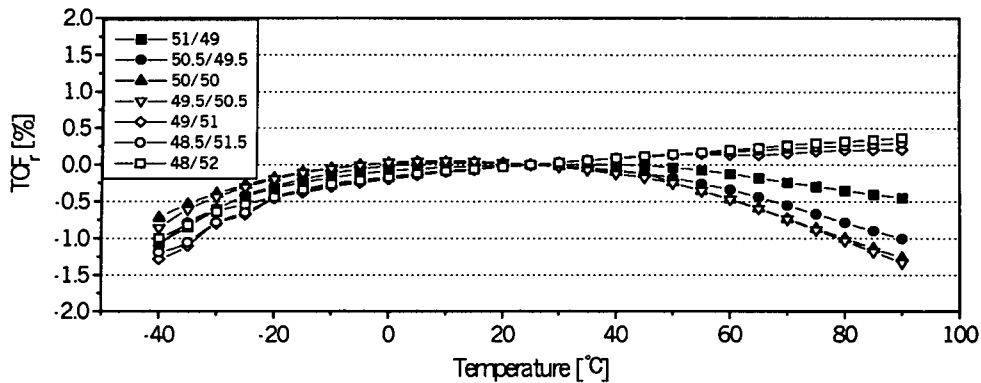


그림 5. 공진주파수의 온도계수  $TCF_r$  [%]  
 Fig. 5. Temperature coefficient of resonant frequency  $TCF_r$  [%]

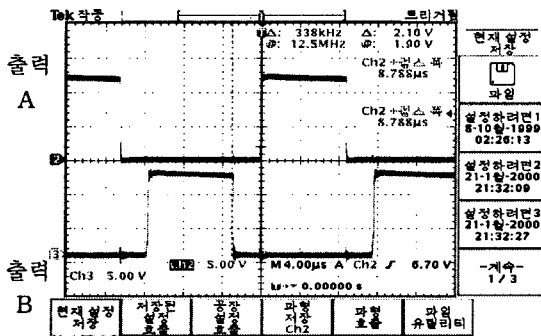


그림 6. 구동회로 FET단의 입력신호  
 Fig. 6. Input signal of FET driving circuit.

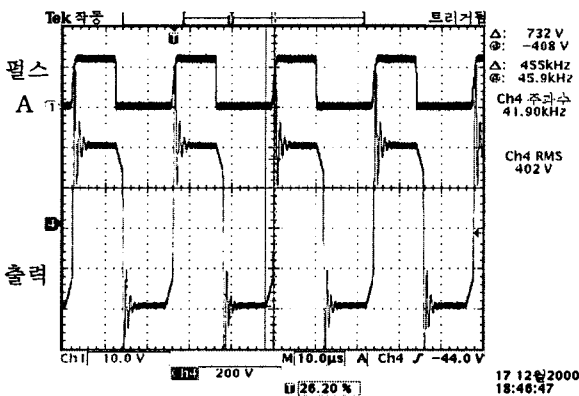


그림 7. 구동회로 출력 파형  
 Fig. 7. Output wave form of driving circuit.

그림 8은 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 9은 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

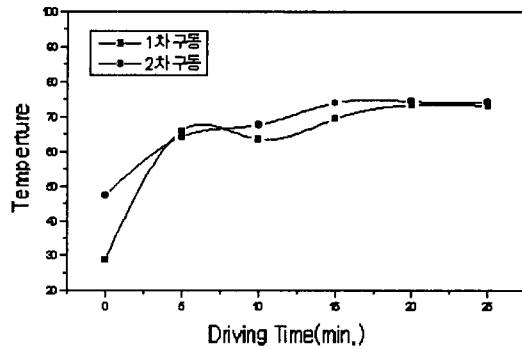


그림 8. 구동시간에 따른 진동자의 표면 온도.  
 Fig. 8. Surface temperature of oscillator with driving time.

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

#### 4. 결론

초음파 노즐의 응용을 위하여 선택한 PSN-PMN-PZT 계 세라믹 진동자의 제반특성과 구동회로의 설계와 제작에 따른 초음파 노즐의 구동에 따른 분무특성을 검토하여 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. 상온이상에서의 공진주파수의 온도계수가 0에 가까워 온도안정성을 가짐을 알 수 있었다.
3. 구동회로를 제작하여 소자에 맞는 공진주파수를 발진시켜 초음파 노즐의 분무 안정성을 가져왔다.
4. 초음파 노즐을 구동시킬 때 세라믹 진동자의 표면 온도가 10분 이후부터 약 75[°C]로 포화되어 온도의 안정성을 기대할 수 있었다.
5. 초음파 노즐의 구동시에 소비전류 및 전력이 약 80[mA]와 18[W]로 낮아 에너지 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대되었다.

#### 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.

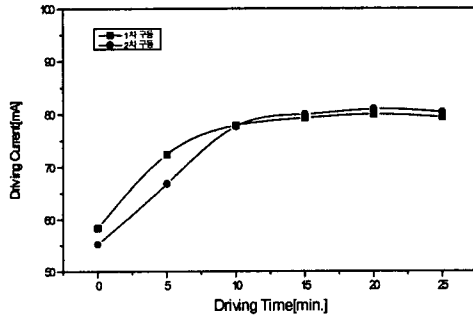


그림 9. 구동 시간에 따른 구동전류  
Fig. 9. Driving current with driving time.

그림 10는 초음파 노즐의 소비전력을 나타내고 있다. 소비전력도 세라믹 진동자의 온도가 상승되는 10분정도까지의 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.

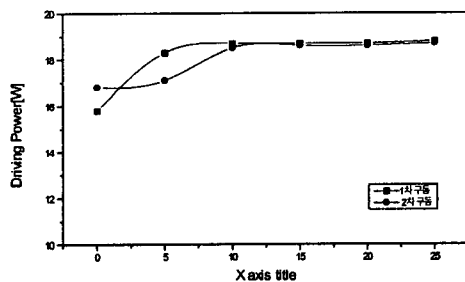


그림 10. 구동시간에 따른 구동전력  
Fig. 10. Driving power with driving time.