

초음파 노즐구동회로의 모델링과 동작특성

이상호, 김화수, 황락훈, 유주현, 김국진  
세명대학교 전기공학과

Driving Characteristics and Modeling of Ultrasonic Nozzle Driving Circuit

Sangho Lee, Hwasoo Kim, Lakhoon Hwang, Juhyun Yoo, Kookjin Kim  
Semyung Univ.

**Abstract** - In this paper, ultrasonic nozzle and driving circuit were manufactured and their electrical properties were investigated. Ultrasonic nozzle was fabricated using PSN-PMN-PZT ceramics showing excellent piezoelectric characteristics. In order to drive ultrasonic nozzle, PWM controller(KA3525A) was used. With increasing input voltage of nozzle, particle diameters of diesel were increased up to 16V and then decreased. At the input voltage of 12V, volume particle diameter showed the minimum value of 37.3 $\mu$ m and also at the input voltage of 18V, volume particle diameter showed the maximum value of 51.3 $\mu$ m.

1. 서론

최근까지 액체연료의 미립 화를 위해서는 고압 분무방식이 일반적으로 사용되어왔다. 그러나, 고압 분무 방식을 이용할 시 분무 액체 표면적의 불균일성과 고르지 못한 입경에 의해 불완전 연소가 발생하며, 이로 인해 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 제조공정, 보일러 연료 연소 등의 여러 산업에 응용이 가능하다. 초음파 노즐은 입력되는 주파수에 상당히 민감한 변화를 보이는데 구동에 필요한 정확한 주파수를 공급하게 되는 것이 중요하다. 따라서 본 실험은 우수한 압전 특성을 보이는 PSN-PMN-PZT 세라믹스 조성으로 제작한 초음파 노즐을 구동시키기 위한 구동회로를 설계하고 실제로 경유를 분사하여 분사된 경유의 분사입경을 측정하여 응용가능성을 조사하고자 한다.

2. 본론

2.1 초음파 진동자의 특성

초음파 노즐의 구동 시에 기계적인 진동을 이용하므로 많은 열을 발생시켜 노즐의 표면 온도가 상승하여 세라믹 진동자에도 그 영향을 미치게 되어 열적 열화 현상이 일어날 수 있기에 높은 큐리온도를 가지는 세라믹 진동자가 중요하다.

초음파 노즐에 요구되어지는 중요한 상수인 전기기계 결합계수와 기계적 품질계수를 표1에 나타내었다. 표1에서 알 수 있는 것처럼 초음파 진동자로서 요구되어지는 제반 특성들이 우수하였다. 이 조성을 이용하여 진동자를 일반적인 고상반응법으로 제조하였으며, 압전 진동자의 크기는 두께 4mm, 외경 30mm, 내경 12mm의 ring형으로 제작하였다. 또한 전기기계 결합계수와 기계적 품질계수와 같은 특성을 조사하기 위하여 Impedance Analyzer(Agilent 4294A)로 공진 및 반공진 주파수를 측정하여 계산하였다.

〈표 1〉 PSN-PMN-PZT 세라믹스의 특성

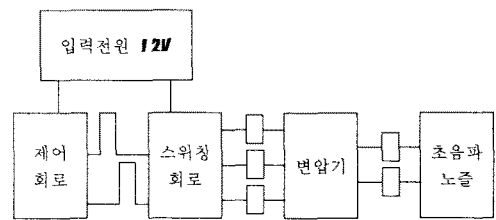
Dielectric constant	KP	Qm	Ec [KV/cm]	Tc [°C]	Grain size[um]
1228	0.555	1214	12.06	322	1.79

2.2 회로의 동작특성

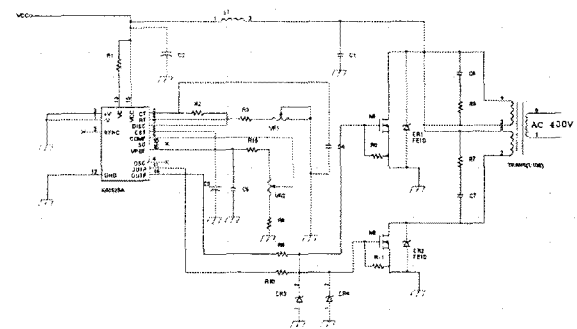
초음파 노즐의 구동을 위한 구동회로의 블록도는 그림 1에 나타내었다. 초음파 노즐의 구동 주파수가 43[KHz] 부근이기 때문에 입력전원을 DC를 사용하였으며, 이를 제어회로에서 펄스발진 전용 IC인 Voltage-Mode PWM Controller KA3525A를 이용하여 구동펄스를 발진시켜 입력전원을 30~60[KHz]로 발진할 수 있도록 타타 발진 식으로 스위칭 시켰다. 이를 Push-Pull방식의 권선형 변압기를 사용하여 교류파형을 얻어 초음파 노즐을 구동시켰다.

제작된 초음파 노즐 구동회로는 입력전원을 DC 12~17V까지의 입력을 받아 구동가능하며, 노즐의 구동 주파수가 43[KHz] 부근이기 때문에 펄스 발진 전용 IC인 Voltage-Mode PWM Controller KA3525A를 이용하여 구동펄스를 발진 시켰다. 그림 2는 초음파노즐 구동회로의 전체 회로도이다. 회로도에서 RT와 CT의 정수는 스위칭 주파수를 결정한다. 이 회로에서는 R2, R3, C4를 고정 정수로 놓고, VR1의 값을 가변저항으로 가변시켜 주파

수를 조절을 30~60[KHz]로 발진할 수 있도록 타타 발진식으로 스위칭 시켰다. 그림2의 회로도에서 Vref의 전압과 저항으로 나눠진 전압을 비교기에 인가하여 출력전압의 크기를 결정한다. 즉 Vref의 전압과 비교기의 전압으로 Duty비를 결정하여 출력전압이 결정되는 것이다. 이 회로는 오픈루프 회로이므로 가변저항 VR2를 조정하여 Duty비를 결정하여 결정된 Duty비로 출력전압이 조정된다.

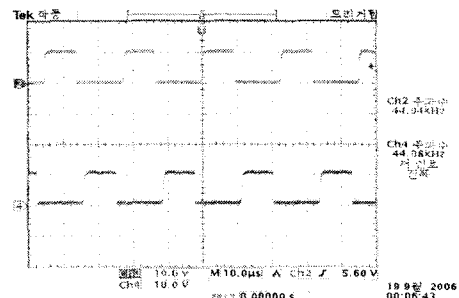


〈그림 1〉 초음파노즐의 구동회로 블록도



〈그림 2〉 초음파 노즐 구동회로

L1과 C1은 스위칭 및 부하측에서 전원 측으로 노이즈 침입을 방지하기 위하여 설치하였으며 CR1, CR2는 MOSFET의 스위칭을 더 빠르게 하기 위해서 고속다이오드를 설치하였다. 회로에서 Push-Pull방식의 권선형 변압기 1차측 권선에 센터 탭이 있고 권선의 양단에 그림 2의 회로에서 출력되는 MOSFET의 게이트(Gate)에 입력받아 스위칭 되어 양 1차 권선에 번갈아 전력을 주입하는 방식이다. 단지 이 회로에서는 2차측에 정류회로가 없고 1차측만 사용하여 교류파형을 얻기 위한 것이다.

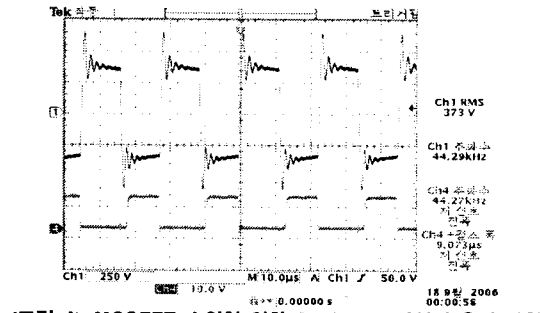


〈그림 3〉 MOSFET에 인가되는 전압과 주파수 파형

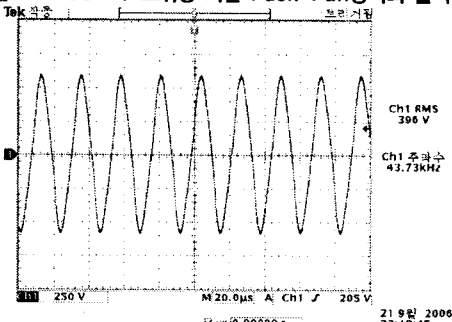
그림 3은 실제 회로의 주파수 발진 파형을 나타낸 것으로 실제 MOSFET의 게이트(Gate)측의 입력 전압 파형을 측정한 것이다.

그림 4는 Push-Pull방식의 권선형 변압기 2차측의 출력파형과 MOSFET 게이트(Gate)에 인가되는 입력파형을 측정한 것이다. 그림 4의 출력에는 스

위칭 되는 순간에 Overshoot되는 것을 볼 수 있으나 초음파 노즐의 구동에는 문제가 되지 않아 이를 줄이기 위한 회로 설계는 하지 않았다.  
그림 5는 구동회로와 초음파노즐을 연결하여 초음파노즐의 입력 전압과 주파수를 측정한 것이다.



〈그림 4〉 MOSFET 스위칭 의한 Push-Pull방식의 출력 파형



〈그림 5〉 초음파 노즐 구동시 전압과 주파수 파형

### 2.3. 초음파 노즐의 분무특성

본 실험 장치는 입자 특정 묘사와 입자 동력학 분석기인 Dantec dynamics사의 제품인 PDA(Particle dynamics analysis) Model Dantec P90을 주제로 하여 이를 하양분무가 가능하도록 구조물 위에 설치하고 분사구의 3cm 부근에서 PDA의 양쪽 Transmitting optics분사되는 두 쌍의 광선에서 교차되는 면을 측정 면으로 하여 교차 면을 통과하는 분무입자의 측정하는 방식이다. 본 실험에서는 전압변화에 따른 분무특성을 조사하기 위한 실험이므로 동일 유속에서 입력전압을 12V~17V까지 변화를 주었을 때 측정 면을 통과하는 경유분무입자 입경크기 측정하여 다음 수식에 의하여 평균값을 제시하였다.

• Ensemble number mean diameter

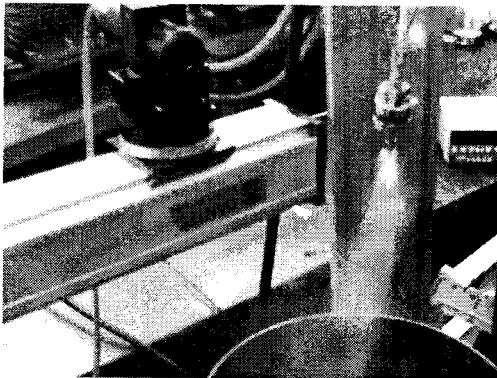
$$D_{10} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i$$

• Area mean diameter:

$$D_{20} = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i^2 \right)^{1/2}$$

• Volume mean diameter:

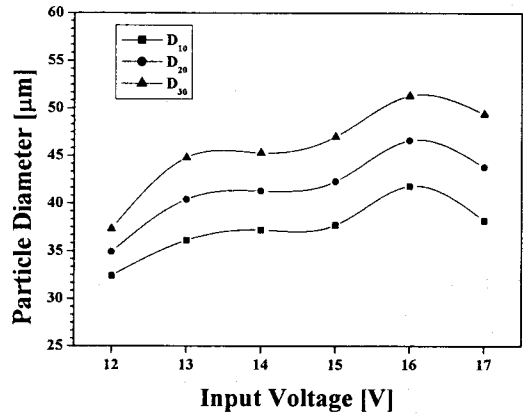
$$D_{30} = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i^3 \right)^{1/3}$$



〈그림 6〉 초음파 노즐분무 특성 실험 장치

그림 7에 입력전압 변화에 따른 입자의 크기를 나타내었다. 입력전

압이 증가함에 따라 초음파 노즐의 탄성 진동이 증가하여 분무되는 입자의 크기가 다소 증가되는 경향을 보였다. 입력전압 16V에서 체적평균입경(Volume mean diameter) 51.3 $\mu$ m로 가장 크게 나타났으며 추후 이에 대한 이론 고찰이 필요할 것으로 사료된다.



〈그림 7〉 입력전압변화에 따른 입자 크기

### 3. 결 론

본 연구는 초음파노즐과 이를 구동하기 위한 구동회로를 제작하여 초음파노즐 구동 시 경유분무특성과 회로의 안정성에 주안점을 두고 경유연료의 분무입경 특성과 구동회로 성능시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 경유연료의 분사입경은 입력전압이 증가함에 따라 증가하여 16V에서 D<sub>10</sub>, D<sub>20</sub>, D<sub>30</sub>은 각각 41.8, 46.6, 51.3 $\mu$ m로 최대값을 보이고 이후에 감소하였다. 경향을 나타내었다.
- 2) 입력전압이 12V일 때 D<sub>10</sub>, D<sub>20</sub>, D<sub>30</sub>은 각각 32.4, 34.9, 37.3 $\mu$ m로 최적의 값을 나타내었다.
- 3) 초음파 노즐의 실제 구동 시에 1 차축에 2A이상의 전류가 요구되기에 이에 따른 발열 등이 문제로 이를 해결하기 위한 지속적인 연구가 진행 되어야 할 것으로 생각 된다.

### 【감사의 글】

본 연구는 한국과학재단에서 시행하는 특장기조사업(과제번호 : R01-2006-000-10120-0)으로 진행되었으며 이에 감사드립니다.

### 【참고 문헌】

- [1] Gyu-bum Joung, Jin-hong Kim, "Soft Switched PWM Converter Controlled by PWM IC", KPEE Power Electronics annual conference, pp. 168~171, 2000.
- [2] G. Hua, c. Leu, and F.C. Lee. "Novel zero-voltage-transition PWM converters", in IEEE PESC rec., pp. 707~713, 1992
- [3] M.S. Vilela, E.A.A. Coelho, J.B. Vicira Jr., L.C. de Freitas, V.J. Farias, "A Family of PWM Soft-Switching Converters with Low Stresses of Voltage and Current". IEEE Applied Power Electronics Conference. vol. 1, p. 299~304, 1996.