

## 윤곽진동모드 압전트랜스포머의 3차원 시뮬레이션에 관한 연구

### A Study on the 3-D Simulation of Contour Vibration Mode Piezoelectric Transformer

홍재일\*, 류주현\*\*, 정영호\*\*\*, 박창엽\*\*, 김종선§, 유충식§  
(J.I.Hong, J.H.Yoo, Y.H.Jeong, C.Y.Park, J.S.Kim, C.S.Yoo)

#### Abstract

The 3-D 31.5×31.5×2.5 mm<sup>3</sup> model of contour vibration mode piezoelectric transformer with Pb(Ni<sub>1/2</sub>W<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-Pb(Mn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub> ceramics was simulated by ANSYS according to the dot size 17, 18, 19, 20, 21 mm $\phi$  and analyzed the results. The mechanical quality factor of the 3-D model was decreased with the dot size and increased as 2605 at 20 mm $\phi$  and after then decreased again. The output voltage of that sample was 74123 [V] and the maximum stress of the dot electrode at that sample was 288 [10<sup>7</sup> N/m<sup>2</sup>], and the maximum displacement of the ring electrode at that sample was 128 [ $\mu$ m].

**Key Words(중요용어)** : simulation(시뮬레이션), contour vibration mode(윤곽진동모드), piezoelectric transformer(압전트랜스포머), ring-dot type(링-도트형)

#### 1. 서론

1957년 Rosen에 의해 처음 제안된 압전트랜스포머(Piezoelectric Transformer)는 기계적인 진동에너지를 전기에너지로 변환하는 소자[1]이며 기존의 자기회로소자를 대체하는 소자로 각광을 받고 있다. 또한, 자기에너지를 이용하지 않기 때문에 전자기 소음이 없으며, 권선이 없으므로 대량생산이 가능하고 응용회로의 가격을 낮출 수 있는 장점이 있다.

압전트랜스포머의 응용 분야는 2~3[W]의 노트북 컴퓨터의 LCD 백라이트용 인버터[2,3,4]와 소형화된 DC-DC 컨버터[5] 이었으나, 최근에는 14[W], 28[W] 등의 고출력 형광등용 안정기에 대한 연구가 활발히

이루어지고 있다[6].

본 연구에서는 고출력 형광등용 조성으로 연구되고 있는 Pb(Ni<sub>1/2</sub>W<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-Pb(Mn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub> 세라믹스를 기본 조성으로 하여 ANSYS를 이용한 유한요소해석을 하므로써 최적의 윤곽진동모드 압전트랜스포머의 설계에 관하여 연구하고자 한다.

#### 2. 시뮬레이션

기존의 Rosen형 압전트랜스포머는 출력임피던스가 높아서 고전압 소전류의 LCD 백라이트용 냉음극관에는 적당하지만 고출력 형광등에는 부적합하다. 그러나, 경방향 전기기계 결합계수 k<sub>p</sub>가 길이방향 전기기계 결합계수 k<sub>31</sub>보다 큰 것을 이용한 Ring-dot형 압전트랜스포머는 길이방향 진동모드를 이용한 Rosen형 압전트랜스포머보다 에너지 변환효율이 높고 출력부의 정전용량이 커지므로 출력부 임피던스를 낮추고 출력전류 및 전력을 높일 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 그림 1과 같은 고출력 형광등용으로 적합한 윤곽진동모드인 Ring-dot형 압전트랜스

\* 동서울대학 전기과  
(경기도 성남시 수정구 복정동 423,  
Fax: 0342-721-2060,  
E-mail : jihong@haksan.dsc.ac.kr)  
\*\* 세명대학 전기공학과  
\*\*\* 한국전력 전력연구원  
§ 삼성전기 재료연구센터

포머를 모델로 하였으며, 시뮬레이션에 이용한  $Pb(Ni_{1/2}W_{1/2})O_3-Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr, Ti)O_3$  세라믹스의 재료정수는 표 1에 나타내었다.

설계조건에 따른 Ring-dot형 압전트랜스포머의 공진 주파수를 찾기 위하여 ANSYS 5.5를 이용하여 Modal 해석의 harmonic 해석을 하였으며, 표 2에 나타낸 것처럼 압전트랜스포머의 모델은 두께와 각판의 크기는 고정시키고 dot 크기를 변화시킨 다섯 종류로 정하였다.

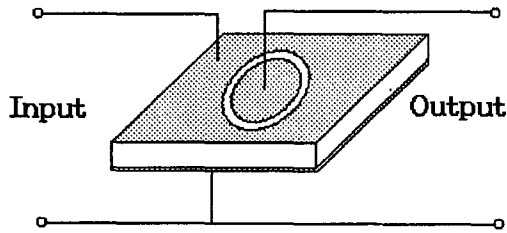


그림 1. 3차원 압전트랜스포머 모델  
Fig. 1. 3-D Piezoelectric Transformer model

표 1. PNW-PMN-PZT의 재료정수  
Table 1. Material properties of PNW-PMN-PZT

항 목	정수
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	7700
$\epsilon_{33}^T$ (10 <sup>-8</sup> F/m)	1.28
$\epsilon_{11}^T$ (10 <sup>-8</sup> F/m)	1.49
$c_{11}^E$ (10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup> )	14.28
$c_{12}^E$ (10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup> )	7.74
$c_{33}^E$ (10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup> )	12.54
$c_{13}^E$ (10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup> )	7.67
$c_{44}^E$ (10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup> )	2.95
$c_{66}^E$ (10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup> )	3.27
$e_{33}$ (C/m <sup>2</sup> )	17.24
$e_{31}$ (C/m <sup>2</sup> )	-6.26
$e_{15}$ (C/m <sup>2</sup> )	7.72

표 2. 3차원 압전트랜스포머 모델의 종류  
Table 2. Classification of 3-D Piezoelectric Transformer model

시편번호	시편크기[mm <sup>3</sup> ]	Dot크기[mm $\phi$ ]
P1	31.5×31.5×2.5	17
P2	"	18
P3	"	19
P4	"	20
P5	"	21

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 공진 주파수와 기계적 품질계수

3차원 유평진동모드 압전트랜스포머의 모델은 Z축 방향으로 분극이 되어 있으며 총 336 개의 요소(element)와 363 개의 절점(node)으로 구성되어 있으며 공진 주파수가 예상되는 55[kHz]에서 75[kHz]까지의 주파수 구간에서 400개의 substep으로 나누어 시뮬레이션 하였다.

harmonic해석으로 시뮬레이션하여 나온 주파수에 따른 임피던스를 그림 2에 나타내었으며, 이것으로부터 얻은 공진 주파수  $f_r$ , 반공진 주파수  $f_a$ , 공진시 임피던스  $Z_r$ , 입력 캐패시턴스  $C_{in}$ 을 이용하여 기계적 품질계수  $Q_m$ 을 계산하였다. 또한, 공진시 출력전압, 최대용력, 최대변위의 값과 앞에서 얻은 데이터들을 표 3에 정리하였다.

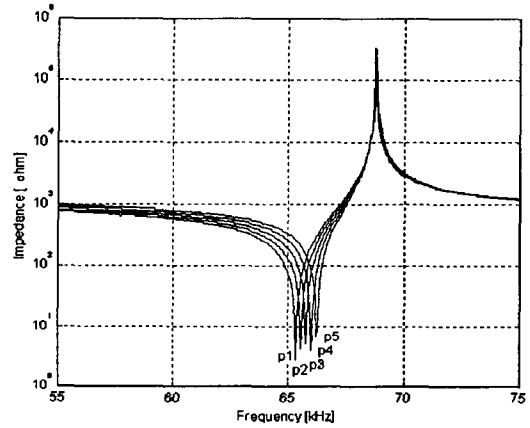


그림 2. dot 크기에 따른 공진 주파수  
Fig. 2. Resonant frequency with the dot size

표 3. 시뮬레이션 결과  
Table 3. Simulated results

항 목	P1	P2	P3	P4	P5
$f_r$ [kHz]	65.3	65.55	65.75	66.0	66.2
$f_a$ [kHz]	68.8	68.8	68.8	68.75	68.75
$Z_r$ [ $\Omega$ ]	2.63	4.18	5.0	3.44	6.88
$C_{in}$ [nF]	4.03	3.84	3.64	3.433	3.21
$Q_m$	2313	1640	1534	2605	1495
출력전압 [V]	87348	65299	57427	74123	46759
최대용력 [10 <sup>4</sup> N/m <sup>2</sup> ]	327	247	212	288	185
최대변위 [ $\mu$ m]	156	115	99.9	128	80.3

기계적 품질계수  $Q_m$ 은 dot 크기에 따라서 2313으로부터 1534까지 감소하다가 P4(20 mm $\phi$ )에서 2605로 최대값을 나타낸 후 다시 1495로 감소하였으며 이러한 경향은 dot 전극의 출력전압과 시편의 최대 응력, 최대 변위의 경향과도 일치하였으며 P4(20 mm $\phi$ )에서 출력전압 74123 [V], 최대 응력 288 [ $10^7$  N/m $^2$ ], 최대 변위 128 [ $\mu$ m]로 가장 우수한 특성을 보였다.

### 3.2 전압, 응력과 변위 분포

3차원 유평진동모드 압전트랜스포머 모델에서 ring 전극의 입력 전압 220 [V]에 대해 dot 전극의 출력 전압이 얼마나 되는지를 dot 크기에 따라서 그림 3에 나타내었다. 역시 기계적 품질계수의 경향과 같이 dot 크기에 따라 감소하다가 P4(20 mm $\phi$ )에서 74123 [V]로 증가한 후 다시 감소하였다.

또한 어느 부분의 응력이 가장 크게 집중되는 가를 알아보기 위하여 harmonic 해석으로 시뮬레이션 하여 나온 공진 주파수에서 응력 분포를 조사하였으며 특히 Ring-dot 전극이 있는 상층면의 dot 크기에 따른 응력 분포의 결과를 그림 4에 나타내었다. Ring과 dot 전극의 경계면인 절연층에서 응력의 급격한 변화를 보였으며 최대 응력은 dot 전극 부분에서 나타났고 그 크기는 dot 크기의 증가에 따라서 19 mm $\phi$ 까지 감소하다가 20 mm $\phi$ 에서 288 [ $10^7$  N/m $^2$ ]로 증가후 다시 감소하였다.

그림 5에 나타난 변위 분포는 Ring 전극에서 가장 컸으며 dot 전극에서 최소값을 보였는데 이는 일반적인 압전체에서 나타나는 현상으로 응력 분포와 반대로 나타난 것이다

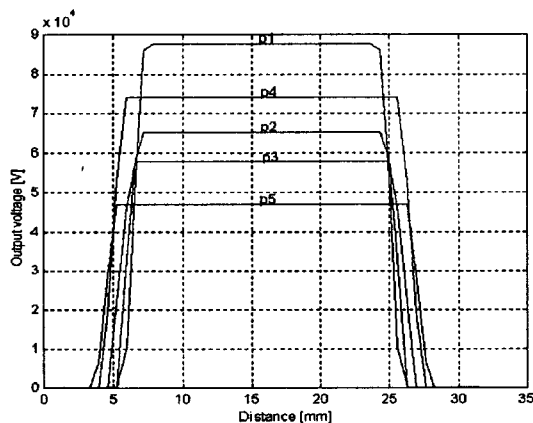


그림 3. dot 크기에 따른 전압 분포  
Fig. 3. The voltage distribution with the dot size

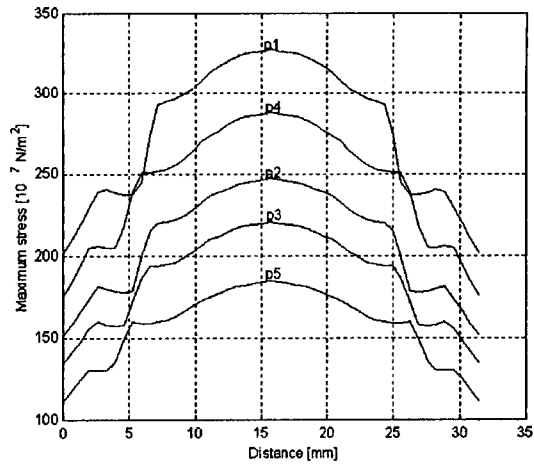


그림 4. dot 크기에 따른 응력 분포  
Fig. 4. The stress distribution with the dot size

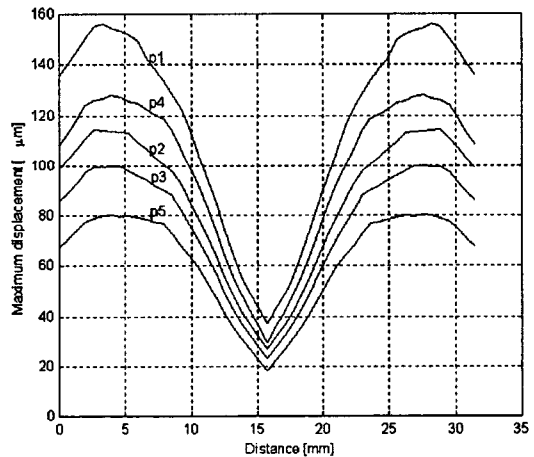


그림 5. dot 크기에 따른 변위 분포  
Fig. 5. The displacement distribution with the dot size

## 4. 결론

$Pb(Ni_{1/2}W_{1/2})O_3-Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr, Ti)O_3$  세라믹스로 된 유평진동모드 압전트랜스포머의 3차원 모델에 대해 ANSYS를 이용하여 dot 크기에 따라서 시뮬레이션한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 기계적 품질계수는 dot 크기에 따라 감소하다가 P4(20 mm $\phi$ )에서 2605로 최대값을 나타내었다.
2. 모델의 전압과 응력, 변위 분포의 경향은 기계적 품질계수와 일치하여 P4(20 mm $\phi$ )에서 출력전압

74123 [V], 최대 응력 288 [ $10^7$  N/m<sup>2</sup>], 최대 변위 128 [ $\mu$ m]로 가장 우수한 특성을 보였다.

이상의 결과로부터 31.5×31.5×2.5 mm<sup>3</sup>의 윤곽진 동모드 압전트랜스포머에서 최적의 dot 크기는 20 mm $\phi$ 인 것을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구(과제번호 : 1999-1-302-004-3)의 연구비로 이루어졌으므로 한국과학재단에 감사드립니다.

### 참고 문헌

- [1] C.A. Rosen, "Ceramic transformer and filters", Proc. of Electronic Component Symposium, pp. 205-211, 1957
- [2]. S. Kawashima, O. Ohnishi, H. Hakamata, S. Tagami, A. Fukuoka, T. Inoue, and S. Hirose, "Third-order longitudinal mode piezoelectric ceramic transformer and its application to high-voltage power inverter", IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 525-530, 1994
- [3]. M. Shoyama, K. Horikoshi, T. Ninomiya, T. Zaitu and Y. Sasaki, "Operational analysis of the push-pull piezoelectric inverter", IEEE APEC and Exposition, pp. 573-578, Feb.,1997,
- [4] T. Zaitu, T. Inoue, O. Ohnishi, and A. Iwamoto, "2 MHz power converter with piezoelectric ceramic transformer", IEEE INTELEC '92 Proc., pp.430-437, Oct. 1992
- [5] T. Zaitu, Y. Fuda, Y. Okabe, T. Ninomiya, S. Hamamura, and M. Katsuno, "New piezoelectric transformer converter for AC-adaptor", IEEE APEC, pp. 568-572, 1997
- [6] 이용우, 류주현, 윤광희, 정희승, 서성재, 김종선, "PSN-PZT계 세라믹스를 이용한 고출력 압전트랜스포머의 전기적 특성", 전기전자재료학회 논문지, 제13권 제4호, pp.286-293, 2000