

Crescent-shaped Input Type 원형압전변압기의 특성 연구

A Study on the Characteristics of Circular Piezoelectric Transformer which has Crescent-shaped Input Type

정성수^{1,a}, 박태곤¹

(Seong-Su Jeong^{1,a} and Tae-Gone Park¹)

Abstract

This paper presents a new disk-type piezoelectric transformer. The input side of the transformer has a crescent-shaped electrode and the output side has a focused poling direction. The piezoelectric transformers operated in each transformer's resonance vibration mode. The electrodes and poling directions on commercially available piezoelectric ceramic disks were designed so that the planar or shear mode coupling factor (k_p , k_{15}) becomes effective rather than the transverse mode coupling factor (k_{31}). ANSYS finite element code was used to analyze transformer behavior and to optimize electrode and poling configurations. The voltage step-up ratio of the proposed transformer has been markedly improved in comparison with that of the equivalent rectangular(Rosen) type. A single layer prototype transformer, 20~30 mm in diameter and 1.0~3.5 mm thick, was fabricated, such as step-up ratio, power transformation efficiency, and temperature were measured. While the transformer was driving a Cold Cathode Fluorescent Lamp(CCFL), the temperature field of the transformer was also observed.

Key Words : Piezoelectric transformer, Shear mode, Planar mode, Voltage step-up ratio

1. 서론

PZT계의 압전세라믹이 개발되고 압전변압기에 적합한 세라믹스의 개발이 이루어지면서 최근에 그 연구가 다시 활발히 진행되고 있다[1,2]. 압전변압기는 코일과 철심이 존재하지 않아서 소형·경량화, 박형화가 가능하며, 구조가 간단하고, 표피·근접효과가 없어서 고주파에서 유리하다. 또한, 전자(電磁) 노이즈가 없고, 회로의 소손에 대한 위험이 없으며 다양한 형태의 변압기를 만들 수 있다는 특성에 의해 그 사용분야는 점차 확대되어가고 있다[3,4].

본 연구에서는 압전세라믹 변압기의 출력의 집중을 분산 시키고, 보다 높은 효율을 얻기 위하여

단판형의 원형압전변압기에 입력측 전극면을 초승달모형(Crescent-shaped)으로한 압전변압기를 제안하였다. 먼저 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 9.0을 이용하여 Rosen형과 Crescent형 변압기의 출력분포를 비교하였고, 실제 압전변압기를 제작하여 승압비를 비교하였다[5]. 그리고 Crescent형 압전변압기의 두께, 지름, 입출력 사이의 공극 거리를 다르게 한 모델을 제작하여 무부하, 저항부하시의 특성을 측정하였으며 CCFL의 점등전압 및 운전전압 특성을 측정하였다[6].

2. 본론

2.1 압전변압기의 구조와 원리

압전변압기는 압전현상을 이용하여 전기에너지→기계에너지→전기에너지의 단계로 변환하여, 압전세라믹의 입력부와 출력부에 대한 전기적 임피던스의 원리를 이용하여 전압의 변환을 얻어낸다[7].

1. 창원대학교 전기공학과
(경남 창원시 사림동 9)

a. Corresponding Author : jungeros@dreamwiz.com

접수일자 : 2006. 1. 25

1차 심사 : 2006. 5. 14

심사완료 : 2006. 6. 14

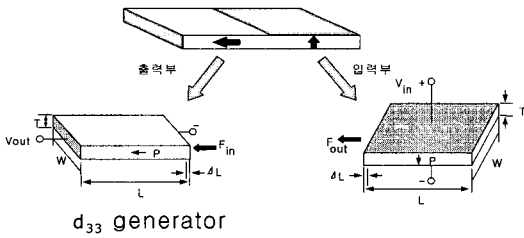


그림 1. Rosen형 압전변압기의 원리.
Fig. 1. Principle of Rosen type piezoelectric transformer.

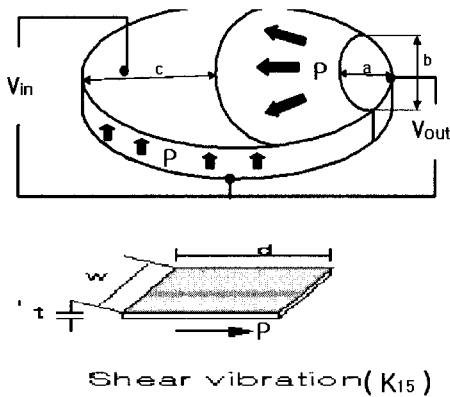


그림 2. Crescent형 압전변압기의 구조 및 전단변위 진동모드.
Fig. 2. Structure of Crescent input type piezoelectric transformer & Shear vibration mode.

Rosen형의 압전변압기의 구조는 그림 1과 같다. 입력측의 전압을 기계적 변위로 변환하는 액추에이터와 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 제네레이터의 결합을 통해 전압의 변환을 얻어낸다[8].

모든 직사각형의 압전변압기는 transverse mode coupling constant(k_{31})가 사용된다. 그러나 shear mode(k_{15})의 경우에는 전계의 방향과 탄성과의 전과 방향이 평행한 방향이므로 transverse mode(k_{31})보다 두 배로 큰 값을 보인다. 따라서 본 논문에서 제안된 압전변압기에는 shear(k_{15})와 planar(k_p) mode가 함께 적용되었다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 Crescent input형 압전변압기의 구조와 Shear vibration mode를 보여준다.

2.2 압전변압기의 유한요소해석

실제 한 압전변압기의 출력특성을 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 9.0을 이용하여 해석하였다. ANSYS의 경우 e형식의 압전방정식(식 2.1)을 이용하므로 사용된 압전상수 e와 stiffness상수c는 다음과 같다[9,10].

$$\begin{aligned} T &= c^E S - e E \\ D &= e S + \epsilon^S E \end{aligned} \quad (2.1)$$

Piezoelectric Matrix $e[C/m^2]$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 6.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6.67 & 0 & 0 \\ -5.93 & -5.93 & 11.6 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Stiffness Matrix $c^E[\times 10^{-10}N/m^2]$

$$\begin{bmatrix} 1.16 & & & & & & \\ 4.45 & 11.6 & & & & & \\ 4.42 & 4.42 & 9.01 & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 1.02 & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.02 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.6 & \end{bmatrix}$$

Dielectric Matrix $[\epsilon]\times 10^9 F/m$

$$\begin{bmatrix} 8.04 & 0 & 0 \\ 0 & 8.04 & 0 \\ 0 & 0 & 5.94 \end{bmatrix}$$

전처리(pre-processing)과정으로 압전변압기를 모델링하고, 압전세라믹의 물성치와 압전매트릭스를 ANSYS 프로그램에 입력하였다. 모델의 경계조건을 위해 압전변압기의 전극부분에 coupled-field를 형성하고 해석을 위한 모든 조건을 부여한 모델을 meshing하였다. 변압기의 해석을 위해 element type으로는 3-D coupled-field 용 element인 SOLID 45를 사용하였다.

압전변압기는 압전세라믹을 주 재료로 이용하므로 압전세라믹의 특성인 특정주파수 부근에서의 최소임피던스 특성을 보인다. 이 주파수에서 입력부에 최대의 전류가 흐르며 최대의 변위가 나타나고, 이로 인해 출력부에 최대의 전압이 유기되므로 ANSYS 프로그램의 modal 해석으로 압전변압기의 방사상의 진동모드의 공진주파수를 찾아낸다[11].

그림 3은 Rosen형과 Crescent형 압전변압기의 유한요소해석을 한 것으로서 진동모드를 통한 공진주파수의 확인과 입출력 접촉부의 응력의 분포를 확인할 수 있다.

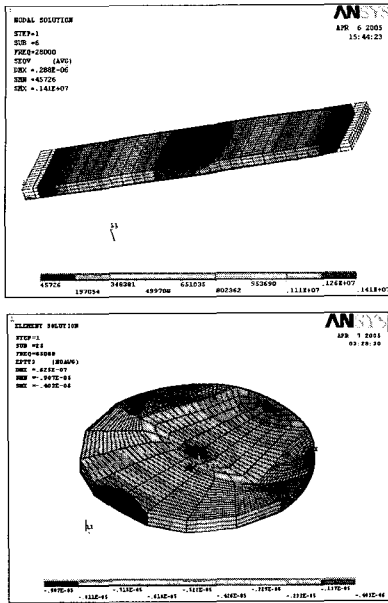


그림 3. Rosen형과 Crescent형 압전변압기의 유한 요소 해석.

Fig. 3. FEM analysis for Rosen & Crescent type piezoelectric transformer.

표 1. 압전세라믹의 물질 특성(KPZ14).

Table 1. Material properties of piezoelectric ceramics(KPZ14).

Properties		Value
Dielectric constant	ϵ_{33}/ϵ_0	1180
Coupling factors	k_{31}	0.33
	k_{33}	0.68
	k_p	0.60
Piezoelectric coefficient	d_{31}	$-109(10^{-12}C/N)$
	d_{33}	$275(10^{-12}C/N)$
Mechanical quality factor	Q_m	1400

3. 실험

사용된 압전세라믹 KPZ14는 “KYUNG-WON FERRITE”사의 압전세라믹으로서 물질의 특성은 표 1과 같다.

KPZ14는 분극방향이 한방향이고 전극이 모두 부착되어 있다. 본 논문에서는 입력측의 분극방향과 출력측의 분극 방향이 서로 다르고, 입출력간의

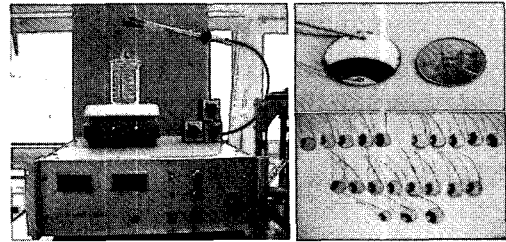


그림 4. 분극장치 및 제작된 압전변압기.

Fig. 4. Polarization equipment and fabricated piezoelectric transformer.

전극이 나뉘어 있기 때문에 별도의 식각공정을 거쳐 입력측과 출력측에 각각 분극처리를 하였다.

그림 4는 증류수, 메탄올, 암모니아로 혼합된 식각액으로 전극을 나눈 압전변압기의 사진과 입출력부의 분극을 하기위한 분극장치를 보여준다. 분극전압은 두께 1 mm당 약 2.5 Kv의 직류전압을 가했고, 안전하고 효율적인 분극을 위해 실리콘 오일 내에서 약 50분간 분극 시켰다.

제안된 압전변압기는 single layered 압전세라믹으로서 crescent-shaped 입력전극과, elliptical shaped 출력전극으로 구성되어있다. 사이즈는 지름 26 mm, 두께 각각 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm, 3.5 mm, 4.0 mm이다.

4. 결과 및 고찰

그림 5는 전기적 등가회로와 임피던스 특성곡선이다. C_{01} 및 C_{02} 는 각각 소자에 변형이 없는 경우의 입력 및 출력측의 정전용량이고, L_0 , $1/C_0$, R_0 는 공진점 부근에서의 등가질량, 등가 Stiffness, 등가 기계저항을 나타낸다. Hewlett-Packard의 4194A impedance/ gain-phase analyzer를 이용한 압전변압기의 임피던스를 측정된 스펙트럼의 경우 공진 주파수가 나타나는 최소 임피던스는 두께 1.0 mm에서 약 87 kHz로 시작해 두께가 두꺼워질수록 조금씩 감소하여 3.5 mm에서는 약 86 kHz에서 측정되었다.

그림 6은 공진주파수(86~87 kHz)에서 입력전압의 변화에 따른 출력전압특성을 보여준다. Waveform Generator로 86 kHz의 주파수를 만들고, 이를 Power Amplifier로 전압 및 전류를 증폭시켜서 압전변압기의 입력부에 인가하였다. 승압율은 입력전압의 변화에 대해 큰 변화를 보이지 않았으며 두께가 얇아질수록 선형적으로 증가하였다.

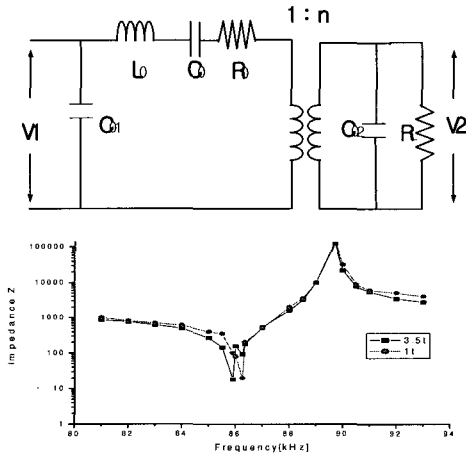


그림 5. 전기적 등가회로 및 임피던스 특성.
Fig. 5. Electrical equivalent & characteristic of impedance.

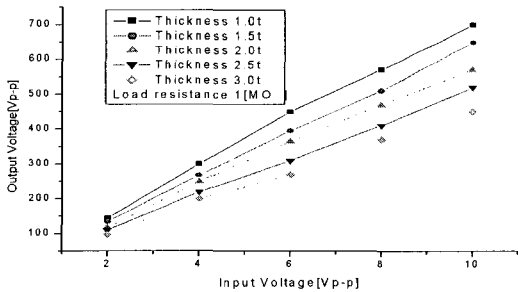


그림 6. 입력전압 변화에 따른 출력전압.
Fig. 6. Output voltage by changes of input voltage.

압전변압기의 부하의 변화에 따른 승압비 변화를 그림 7에서 보여준다. 출력부 전극과 입력부와 출력부의 공통 그라운드 사이에 부하저항을 연결하여 측정된 결과, 부하저항이 높을수록 승압율은 높으며, 두께 1 mm의 경우, 1 MΩ의 부하저항에서 최고의 출력전압 약 700 Vp-p가 측정되었다.

그림 8은 부하저항의 변화에 따른 주파수 특성과 승압비를 나타낸다. 가로축의 주파수 특성으로는 부하저항이 높을수록 가장 높은 출력전압을 내는 공진주파수가 형성되고, 세로축의 출력전압 또한 높은 부하저항에서 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

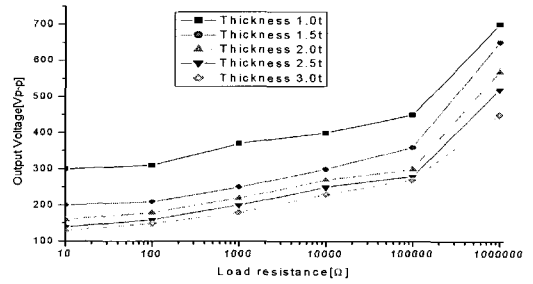


그림 7. 부하저항 변화에 따른 출력전압.
Fig. 7. Output voltage by changes of load resistance.

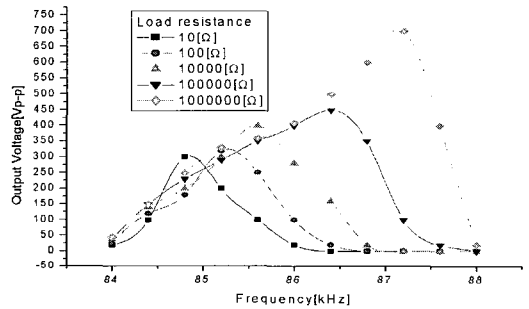


그림 8. 부하저항 변화에 따른 승압비와 주파수특성.
Fig. 8. Characteristic of step-up ratio and frequency for load resistance.

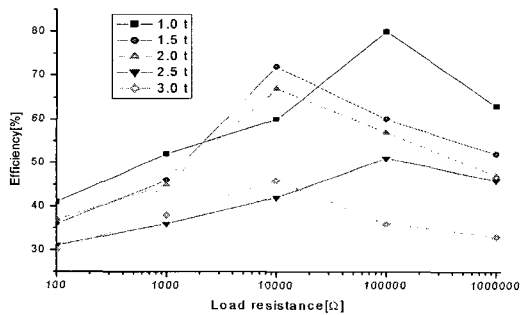


그림 9. 부하저항 변화에 따른 효율(두께).
Fig. 9. Efficiency by changes of load resistance(thickness).

그림 9는 부하저항에 따른 효율을 나타낸다. 효율은 입력전압과 전류의 곱과 출력전압(부하전압)과 전류의 곱을 백분율로 계산하였다. 전체적으로 두께가 얇을수록 높은 효율을 보였고, 두께 1 mm,

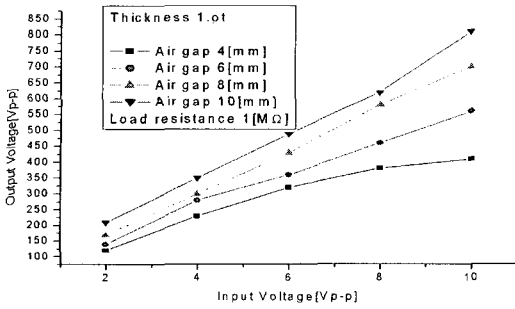


그림 10. 공극의 변화에 따른 출력전압.
Fig. 10. Output voltage by changes of air gap.

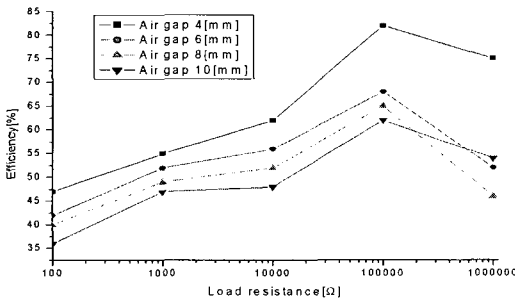


그림 11. 부하저항 변화에 따른 효율(공극).
Fig. 11. Efficiency by changes of load resistance(Air gap).

2.5 mm일 때는 100 kΩ에서 높은 효율을 보였으며 나머지 두께에서는 10 kΩ에서 가장 높은 효율을 나타내었다. 즉, 출력임피던스가 부하저항과 매칭될 때 구동부의 입력전력이 출력부로 최대 전달되는 것과 같음을 보인다.

그림 10은 공극변화에 따른 출력전압을 나타낸다. 지름이 26 mm인 압전변압기에 입력-출력간(공극)의 간격을 4~10 mm까지 2 mm씩 차이가 나도록하여 4개의 모델을 제작하였다. 출력측의 전극은 고정시키고 입력부의 전극면적을 달리하여 공극의 간격이 차이가 나도록 구성하여 전압 및 주파수 특성을 측정하였다.

최소 임피던스 값을 나타내는 공진주파수는 그림 5에서 보느냐와 같이 86 kHz 근처에서 측정되었으며, 두께가 얇은 1 mm에서 높은 공진주파수를 보였다. 공극의 변화에 따른 공진주파수 특성은 입력부의 면적이 넓을수록 즉, 공극이 좁을수록 공진주파수는 높은 값으로 측정되었다. 입력전압에

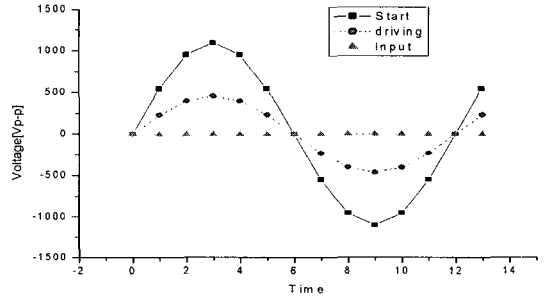


그림 12. CCFL의 초기전압 및 운전전압.
Fig. 12. Starting voltage and driving voltage of CCFL

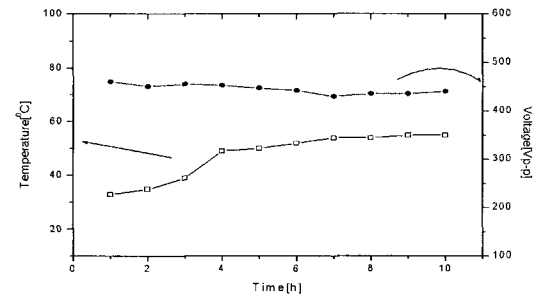


그림 13. CCFL의 전압 및 온도특성.
Fig. 13. Characteristic of voltage and temperature for CCFL.

다른 출력전압은 선형적인 값을 보였고, 두께 1 mm, 공극 10 mm에서 약 820 Vp-p로 공극이 클수록 출력전압이 높게 나타남을 알 수 있었다.

그림 11은 부하저항에 따른 효율을 나타낸 것이다. 전체적으로 공극이 좁을수록 높은 효율을 보였고, 100 kΩ의 부하에서 높은 효율을 보였으며 공극 4 mm에서 약 83 % 정도의 높은 효율을 나타내었다.

LCD(Liquid Crystal Display) backlight에 사용되는 냉음극 형광램프 CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp)는 필라멘트가 없으므로 열전자가 방출되지 않는다. 결과적으로 방전이 시작될 때에는 높은 입력전압을 필요로 하고 점등을 유지하기 위해서는 초기 방전 전압의 약 3분의 1 정도의 전압을 공급해 주어야 한다.

방전이 시작되기 전의 등가 임피던스는 거의 무한대에 가까워 개방 상태로 본다. 방전이 시작되어 전력이 공급됨에 따라 냉음극 형광등의 등가 임피던스는 서서히 감소하는 특징을 가진다.

그림 12는 압전변압기의 출력전압을 CCFL에 인가시 초기전압과 운전전압을 보여준다. 관장 2 mm, 관장 250 mm의 CCFL의 초기 방전개시전압은 1100 V이며 압전변압기의 입력전압은 13 V로 입력하였으며, 실험에 사용된 모델은 두께 1 mm, 공극 8 mm의 변압기로서 부하효율이 높게 측정된 것을 사용하였다. CCFL의 점등후 운전전압을 측정된 결과 460 V가 측정되었으며, 공진주파수의 변화로 전압변동이 약 20 V가까이 일어남을 확인할 수 있었다.

CCFL의 장시간 구동할 때의 전압변동과 온도특성을 측정한 것이 그림 13이다. 온도의 변화는 최고 55 °C까지 상승하였고, 전압변동은 10~20 Vp-p정도로 온도가 상승 할수록 낮아지는 특성을 보였다.

5. 결론

압전변압기의 응력집중을 분산시키고, 보다 높은 효율을 얻기 위하여 단판형의 원형압전변압기에 입력측 전극면을 초승달 모형(crescent-shaped)으로 구성한 'Crescent-shaped input type 원형압전변압기'를 제안하였다.

변압기의 두께변화, 입력부의 면적변화(공극변화)를 주어 제작한 모델들의 주파수 특성, 전압 및 전류특성을 측정하였고, 이에 따른 전압 및 효율을 비교하였으며 실험 모델 중 높은 효율을 갖는 변압기를 이용하여 CCFL의 구동특성을 측정한 결과는 다음과 같다.

유한요소해석을 통하여, Rosen형 보다 입력부와 출력부의 접촉부가 넓어진 Crescent형태의 압전변압기에서 응력의 분산을 보임을 확인하였다.

압전변압기의 주파수 특성으로는 두께가 두꺼울수록 공진주파수는 낮아지고 면적이 넓을수록 공진주파수는 높아지며, 이 공진주파수 대역에서만 변압기로서의 동작을 보인다. 두께가 두꺼울수록 승압율은 낮아졌고, 얇을수록 승압율은 높게 나타났으나 기계적인 응력으로 인한 열과 진동이 발생하였다. 또한 공극이 클수록 승압율은 높아졌으나 공극이 커질수록 승압율의 비가 조금씩 줄어드는 것을 확인하였다.

결론적으로 제안된 초승달 모형(Crescent-shaped)압전변압기의 높은 효율성과 CCFL 구동용 전원으로의 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 압전변압기만으로 CCFL을 구동하였으며, CCFL의 특성상 초기 방전개시전압과 운전전압의 변동으로 인한 공진주파수의 변동에 따른 능

동적인 변환과 리액턴스의 연결로 전압과 전류의 위상차를 줄여 줌으로서 보다 안정적인 전원으로의 적용이 용이할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구된 것으로, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] T. Zaitso, O. Ohnishi, T. Inoue, M. Shoyama, T. inomiya, and F. C. Lee, "Piezoelectric Transformer Operating in Thickness Extensional Vibration and it's Application to Switching Converter", IEEE PESC Record, p. 585, 1994.
- [2] T. Zaitso, "New Piezoelectric Transformer Converter for AC-adpater", IEEE. 0-7803-3704-2/97, p. 569, 1997.
- [3] Zaitso T. et al, "Piezoelectric transformer converter with PWM control", IEICE Transactions on Communications, Vol. E80-B, No. 7, p. 1035, 1997.
- [4] M. Shoyama, K. Horikoshi, T. Ninomiya, and T. Zaitso, "Steady-state Characteristic of the Push-pull Piezoelectric Inverter", IEEE PESC, p. 715, 1997.
- [5] B. Koc, Y. Gao, and K. Uchino, "Design of a circular piezoelectric transformer with crescent-shaped input electrodes", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 42, No. 2A, p. 509, 2003.
- [6] K. Uchino, "Design of a circular piezoelectric transformer with crescent-shaped input electrodes", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 42, p. 509, 2003.
- [7] 當川義朗, "超音波エレクトロニクス振動論", 朝倉書店, p. 241, 1997.
- [8] C. A. Rosen, "Ceramic transformer and filters", Roc. of Electronic Component Symposium, p. 205, 1957.
- [9] 박형진, "Ansys를 이용한 유한요소해석", 광문각, p. 14, 2001.
- [10] 손창현, "유한요소해석 입문과 선형해석", 태성에스엔이, p. 36, 1999.
- [11] Daryl L. Logan 원저, "Logan의 유한요소법 첫걸음", 시그마 프레스, p. 165, 1998.