

AC-adapter를 위한 적층형 압전트랜스포머의 설계 및 유한요소해석

Design and FEM Analysis of Multilayer Piezoelectric Transformer for AC-adapter

정현호, 김형우, 박태곤, 김명호*

창원대학교 전기공학과 *창원대학교 세라믹공학과

Hyon-Ho Jueng, Hyeoung Woo Kim, Tae-Gone Park, *Myong-Ho Kim

Dept. of Electrical Eng., Changwon National Univ.

*Dept. of Ceramic Eng., Changwon National Univ.

Abstract

This paper present a new sort of multilayer piezoelectric ceramic transformer for AC-adapt. This piezoelectric transformer operates in the second thickness extensional vibration mode. The output voltage of the multilayer piezoelectric transformer was simulated using ANSYS. As results, the maximum stress appeared at the two points where one is the middle of input and the other is middle of output side in Second thickness extensional vibration mode. And output voltage was inversely decreased by increasing number of output layers.

1. 서론

압전세라믹을 이용한 트랜스는 1957년 미국 G.E.사의 C. A. Rosen이 처음으로 개발하였고 P. A. Barkman, A. E. Crawford 등에 의해 실용화 연구가 진행되었다. 그러나 초기의 제품들에는 발열로 인한 세라믹의 열화 현상으로 장시간 사용이 곤란하였고 이에 신뢰성 문제가 대두되어 기계적 강도가 우수한 소재의 개발이 선행되어야 했다. 1990년에 들어와서 압전세라믹의 소재특성이 상당히 개선되어 압전트랜스의 장점이 부각되기 시작하여 고전압 발생용 압전트랜스의 판매가 이루어지기 시작하였다. 지금은 압전트랜스의 소

형경량의 특성을 이용하여 노트북과 같은 휴대용 제품들을 위한 전원소자로서의 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1]

이에 대하여 이 논문은 승압비가 적은 단판형 압전세라믹의 단점을 보완한 적층형 압전세라믹을 이용하여 각각 층수를 달리 하여 강압용 압전트랜스를 설계하였고 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 이의 특성을 해석하여 그 출력특성을 살펴 보았다.

2. 압전트랜스(PT)의 구조 와 원리

Fig.1 은 두께방향진동모드로 동작하는 PT의 구조를 보여주고 있다(입력총:출력총=1:4). 입력측은 단판형을 사용하였고 출력측은 적층형 압전세라믹을 이용하였다.

입력측의 전압은 100[V]로 하였고, 이에 대해 출력측의 층수를 각각 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14로 하였을 때 출력측의 전압을 살펴보았다. 사이즈는 두께×높이×길이를 5×8×30[mm]로 하였고, 내부의 화살표는 분극의 방향이다. 입력총과 출력총 사이에 3[mm]의 분극을 행하지 않은 동일 재료의 절연층을 두어 입력총과 출력총을 전기적으로 분리 시켰다. 분극의 방향은 두께 방향으로 하였으며 화살표로 나타내었다. 입력측에 교류의 입력전압을 가하면 전기기계 결합계수 k_t 에

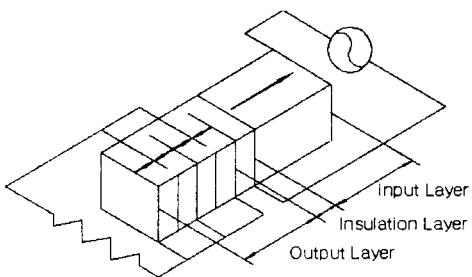
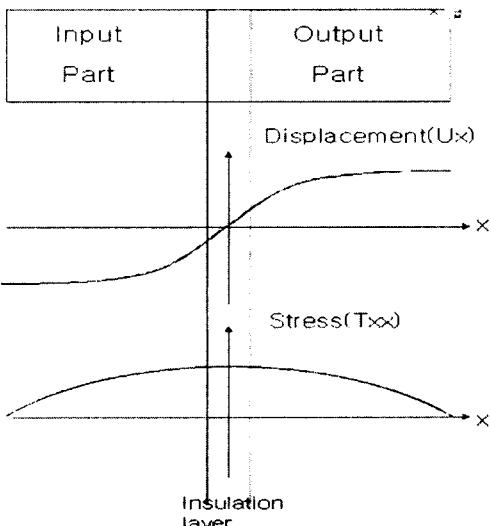
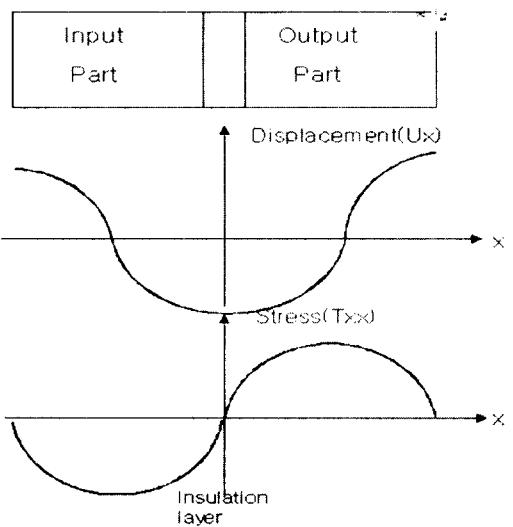


Fig.1 Multilayer PT construction

의해 두께방향의 진동이 발생되고 전기-기계-전기의 변환에 의해 전력을 전송하게 된다. 압전트랜스는 두께방향 진동모드를 이용하는 것이 전송효율이 높고 그 중 2차 공진모드를 이용하는 것이 주파수 대역이 넓으며 우수한 특성을 나타낸다.^[2] Fig.2는 각각의 진동모드에 대한 기계적인변위와 응력의 분포를 나타낸 것이다. (a)는 1차공진모드를 나타내는데 반파장 공진이 일어나고 입력측과 출력측에는 확산과 수축이 동시에 일어나게 된다. 압전물질내에서 발생전하량은 응력값에 비례하게 되는데 절연층에 최대 응력이 공급된다.^[5] (b)는 2차 공진모드를 나타내는데 입력총과 출력총에서 확장과 수축이 교대로 일어나며, stress의 분포도 입력총과 출력총의 가운데에서 각각 최대의 stress가 공급된다.



(a) First mode



(b) Second mode

Fig.2 Mechanical displacement and stress distribution for thickness-extensional-vibration mode.

두께 방향 진동모드를 이용하기 위하여 $PbTiO_3$ 계 세라믹을 사용하는 것이 유리하다. PZT계의 세라믹은 높은 결합계수 k_t 를 가지고 있지만 또한 높은 전기기계 결합계수 k_p 또한 높기 때문에 AC 전압을 적용할 경우 두께방향 진동뿐만 아니라 경방향 진동 역시 크게 나타나 좋지 못한 진동이 발생한다.^[3] 이 실험에서는 NEPEC 6를 사용하였고 물질의 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Material constant of NEPEC 6

재료정수	측정치
Dielectric Constant($\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$)	3000
Qeri temprature T_c (°C)	200
Density(ρ)	7.73×10^3 kg/m ³
Electriomechanical (k_t)	0.6
Mechanical Quality Factor(Q_m)	50

3. 유한요소법을 이용한 시뮬레이션

3.1 압전트랜스의 등가회로

압전트랜스의 등가회로는 Maison의 등가 회로를 이용하면 Fig.4와 같이 나타낼 수 있고 다음과의 방정식으로 표현된다.^{[2][4]}

$$\left(F_2 - \frac{e_{33}}{\varepsilon_{33}^S} Q \right) = \left(F_1 - \frac{e_{33}}{\varepsilon_{33}} Q \right) \cos\left(\frac{\omega}{v} l\right) - j Z_0 \cdot \sin\left(\frac{\omega}{v} l\right) \cdot \dot{u}_1 \quad (3.1)$$

$$\dot{u}_2 = \dot{u}_1 \cos\left(\frac{\omega l}{v}\right)$$

$$- j \frac{\left(F_1 - \frac{e_{33}}{\varepsilon_{33}^S} Q \right)}{Z_0} \cdot \sin\left(\frac{\omega}{v} l\right) \quad (3.2)$$

$$Z_0 = \rho v b t$$

$$(F = -btT_3)$$

$$\therefore \frac{e_{33}}{\varepsilon_{33}^S} Q = \left(\frac{e_{33} b t}{l} \right) V + \phi^2 \frac{1}{j \omega C_d} (\dot{u}_2 - \dot{u}_1), \quad (3.3)$$

$$\phi = \frac{e_{33} b t}{l}, C_d = \frac{\varepsilon_{33}^S b t}{l}$$

로 나타낼 수 있다.

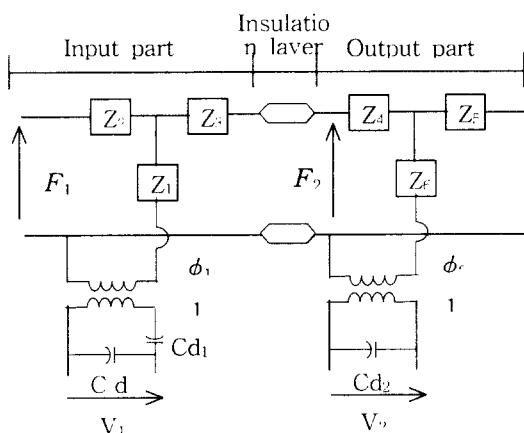


Fig.4 Distributed equivalent circuit for piezoelectric ceramic transformer operating in thickness extensional vibration mode

3.2 적층형 압전트랜스의 승압비

적층형 압전트랜스의 출력부 Capacitance는

$$C_d = \frac{n^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r S}{t} \quad (3.4)$$

n : 적층수 S : 내부 전극 면적

ε_r : 비유전율 t : 한 층의 두께

여기서 트랜스의 전체두께 T 는 nt 이며 따라서

$$C_d = \frac{n^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r S}{t} \quad (3.5)$$

이상에서 보면 두께 T인 단판형 압전트랜스의 구동부 정전용량에 비해 n 층의 적층형 압전트랜스는 n^2 배의 정전용량을 갖게 된다. 트랜스의 내부손실 R_{Loss} 는 아래와 같이 표현된다.^[1]

$$R_{Loss} = \frac{8g_{33}^2 Y_3^D Q_m L^2}{\pi^3 \nu \omega T} \quad (3.6)$$

전압 승압 이득은 (출력전압/입력전압)은 다음과 같다.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{j \omega W d_{31} Y_1^E}{Y_3^D g_{33}} \cdot \frac{R_{Loss} \cdot R_{Load}}{R_{Loss} + R_{Load}} \quad (3.7)$$

한편, 출력층은 n 층의 적층형구조이므로 트랜스의 전체 두께 T 는

$$T = nt \quad (3.8)$$

출력전압 V_{out} 은

$$V_2 = n V_{out} \quad (3.9)$$

식 (3.9)를 식 (3.8)에 적용하면 전압이득은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{V_2}{V_{in}} = \frac{1}{n} \cdot K \cdot \frac{R_{Loss} \cdot R_{Load}}{R_{Loss} + R_{Load}} \quad (3.10)$$

$$\left(K = \frac{j \omega W d_{31} Y_1^E}{-Y_3^D g_{33}} \right)$$

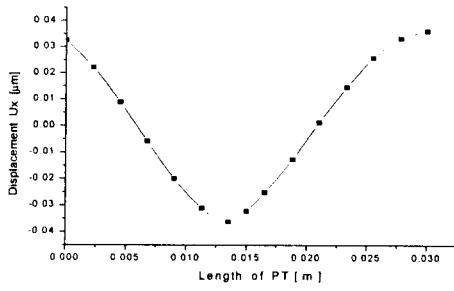
3.3 FEM에 의한 각 모드별 변위와 응력

두 번째 두께 방향 공진 주파수로 하여 변압기의 입력측에 인가하여야 할 압전트랜스의 2차 공진모드의 공진 주파수를 구하기 위해 ANSYS 5.5.1을 사용하였다. Fig.1의 모델을 사용하였고, 입력전압은 100[V]로 하였다. Fig.5는 입력층과 출력층의 비가 1:1일때의 두 번째 공진모드에서 압전트랜스의 x방향의 길이에 따른 변위와 응력을 구한 것이다. 이때 2차 진동모드(λ mode)일 때의 주파수는 101.5[kHz]였고 각 층수의 변화에 따른 2차 공진모드의 주파수가 Table 2에 나타나

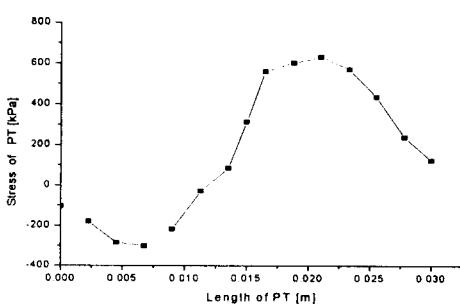
있다. 두 번째 공진모드의 주파수는 100[kHz] 이상의 높은 주파수 대역을 나타내었고 충수의 증가에 대한 두드러진 변화는 없었다. 주파수의 변화에 대한 시뮬레이션의 결과 역시 Fig.5에서 보이는 바와 같이 입력층과 출력층의 가운데에서 최대의 응력이 나타났고, 이 주파수를 두 번째 두께 방향 공진 주파수로 하여 변압기의 입력측에 인가하여야 할 것이다.

Table 2. Resonant frequencies of piezoelectric transformer by changing number of output layers.

output layer	frequency[Hz]
1	101521
2	101026
4	102082
6	100143
8	101249
10	102162
12	102582
14	102516



(a) Displacement vs length of PT



(b) Stress vs length of PT

Fig.5 Displacement and Stress of PT in second mode(λ mode)

3.4 ANSYS를 통한 압전트랜스의 출력층의 변화에 따른 전압이득

Table 2에 구해진 공진 주파수를 이용하여 출력층의 변화에 따른 2차 공진모드의 전압이득을 유한요소 프로그램인 ANSYS를 이용하여 시뮬레이션 하여 Fig.6에 나타내었고(입력층: 출력층=1:8), 각 충수의 변화에 따른 전압이득을 Fig.7에 나타내었다.

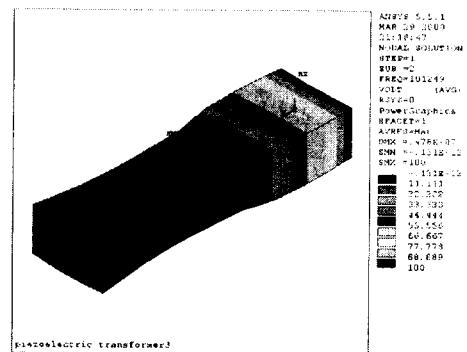
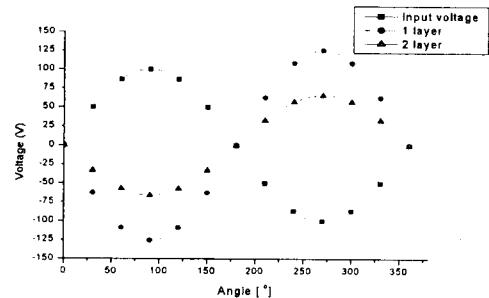
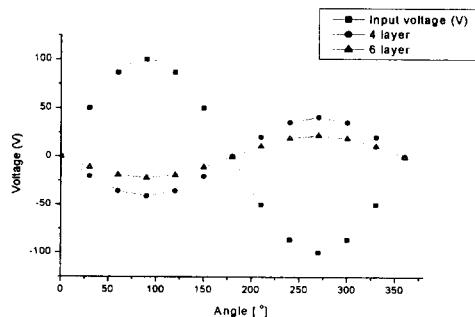


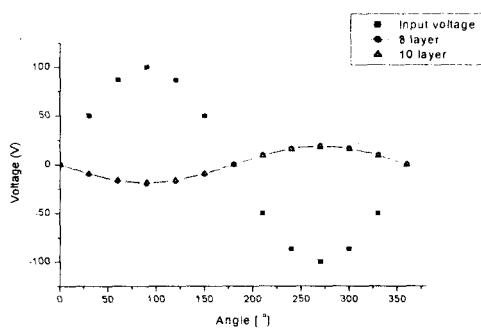
Fig.6 Simulated output voltage using ANSYS



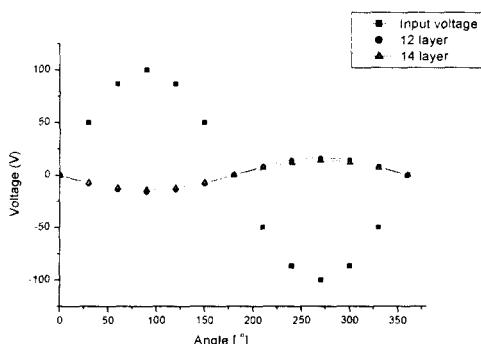
(a) Output voltage of 1 and 2 layered PT



(b) Output voltage of 4 and 6 layered PT



(c) Output voltage of 8 and 10 layered PT



(d) Output voltage of 12 and 14 layered PT

Fig.7 Voltage gain by changing number of output layer

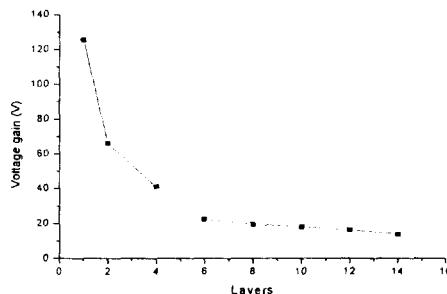


Fig.8 Output voltage by increasing number of output layers

Fig.7은 출력층의 증가에 따른 전압이득을 보여주고 있는데, 전압의 이득은 출력층이 증가할수록 $1/n$ 배로 증가하고 있음을 알 수 있다. 입력과 출력의 층수의 비가 1:14일 때 약 13.8[V]를 나타내었다.

4. 결론

두께 방향 진동모드를 이용한 적층형 압전트랜스의 출력특성은 다음과 같다.

1. 2차 두께방향 공진 모드를 이용하였을 때 입력측과 출력측의 중간점에서 최대의 응력이 나타났다.
2. 출력층수가 증가함에 따라 공진주파수의 변화는 볼 수가 없었다.
3. 출력전압은 출력층수가 증가함에 따라 출력층수의 역수에 비례하여 증가하였다.

이상에서 보는 바와 같이 강압용 압전트랜스의 전압이득은 층수를 증가시킬수록 그 변화의 폭이 크고 1:14일 때의 출력전압이 13.8[V]로 나타났다. 노트북용 adapt의 출력이 14[V]이므로 이번 시뮬레이션을 통해 노트북과 같은 소형, 경량의 adapt를 필요로 하는 제품들을 위한 강압용 압전트랜스로서의 개발 가능성을 볼 수 있었다.

[Acknowledgement]

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

【참고문헌】

- [1]. Toshiyuki Zaitsu, "New Piezoelectric Transformer Converter for AC-adapter", IEEE. 0-7803-3704-2/97, pp. 569-572, 1997 .
- [2]. 김동범, 이재열, "압전트랜스 적층화 기술", 전기전자재료 Vol. 12, No. 5, pp7-11, 1999
- [3]. Osamu Ohnishi "Piezoelectric Ceramic Transformer for Power Supply Operating in Thickness Extensional Vibration Mode", IEICE TRANS. Fundamentals. Vol. E77-A. NO. 12, pp2098-2105, 1994.
- [4]. S. Ueda, Y. Tomikawa, M. Kurosawa, N. Nakamura "Ultrasonic Motors Theory and Applications", OXFORD, 1993.
- [5]. Toshiyuki Zaitsu, "Piezoelectric Transformer Converter with PWM Control", IEICE Trans. COMMUN. Vol. E80 B. No. 7, pp. 1035-1043, 1997