

경방향과 두께방향 진동모드를 이용한 강압용 압전변압기의 특성에 관한 연구

정현호*, 박태곤, 김명호, 권오영*, 이진이*, 이원재**
 창원대학교, *(주)영광기전, **한국전기연구원

A Study on Characteristics of Step-down Piezoelectric Transformer Using Transvers and Thickness Vibration mode.

Hyon-Ho Chong, Tae-Gone Park, Myung-Ho Kim, O-Yong kwon, Jin-I Lee, Won-Jae Lee
 Changwon National Univ. Gloria Techniques Service Co.,LTD, Korea Electrictechnology Research Institute

Abstract - This paper presents design and construct of flat type step-down piezoelectric transformer for the application to AC adaptor. This piezoelectric transformer operated in resonance vibration mode. In this paper, finite element method(FEM) was used for analysing piezoelectric transformers. Stress and electric field of the transformer were simulated at resonance frequency. Using this simulation results, we manufactured improved Rosen type piezoelectric transformer and measured its output characteristics. As results, output power was linearly increased by increasing input power at resonance frequency and it was found that the transformer an invariable output power for input power. From these results, we expect that this piezoelectric transformer can be applied to small size and low capacitive AC adaptor.

1. 서 론

압전변압기는 1957년 미국의 G.E.사의 C. A. Rosen에 의해 고안되었다. 그 이후 압전변압기에 관한 수많은 연구가 진행되었으나 이를 뒷받침해줄 적합한 재질정수를 가진 압전세라믹의 부재로 변압기의 신뢰성과 효율이 문제화되어 실용성의 관한 연구는 잠시 위축되었다. 그러나 1990년대에 들어 PZT압전세라믹이 개발되고 압전변압기에 적합한 세라믹스의 개발이 이루어지면서 최근에 그 연구가 다시 활발히 진행되고 있다.

압전변압기는 코일이 존재하지 않으며, 고주파에서 구동되고, 회로의 소손에 대한 위험이 없으며 다양한 형태의 변압기를 만들 수 있다는 특성에 의해 그 사용분야는 점차 확대되어가고 있는 전망이다. 근래에는 높은 승압비의 특성으로 고압발생용으로 LCD백라이트구동용, 형광등 점등용으로의 상용화가 이루어져 있으며 국내에서도 몇몇 기업에 의해 상용화가 진행되고 있다. 그러나 강압용 압전변압기의 경우 높은 전류발생이 어려워 출력전력이 낮아 현재 실용화가 되어 있지는 않지만 그에 관한 많은 연구가 진행 중이다^[1].

본 논문에서는 이러한 강압용 압전변압기의 출력특성을 향상시키기 위해 종래의 두께방향진동모드를 이용한 강압용 압전변압기의 단점인 낮은 전력변환효율을 보완하기 위해 Rosen형 압전변압기의 원리를 개량한 경방향진동모드와 두께방향 진동모드를 이용한 적층형의 강압용 압전변압기를 설계, 제작하여 그 출력특성을 연구하였다.

2. 실 험

2.1 압전변압기의 구조와 원리

압전변압기는 압전현상을 이용하여, 전기에너지-기계에너지-전기에너지의 변환을 이용한 압전세라믹의 입력부와 출력부에 대한 전기적 임피던스의 원리를 이용하여 전압의 변화를 얻어낸다. 권선형 변압기가 자력선에서 발생하는 임피던스변환을 이용하는데 비해 압전변압기는 압전효과로부터 발생하는 초음파진동에서 여기되는 임피던스변환을 이용한다. 그림 2.1은 Rosen이 제안한 가장 기본적인 압전변압기의 형태이며 입력부에서 발생하는 경방향 진동이 출력부에 전달되어 높은 임피던스를 가지는 출력부에서 I_2/I_1 에 비례하는 고전압이 발생하게 된다. 그러나 이를 역이용하여 입력부와 출력부를 교체하여 사용할 경우 변압기의 중심에 응력이 집중되어 변압기의 수명이 오래갈 수 없으며 파손의 우려가 있다^[2].

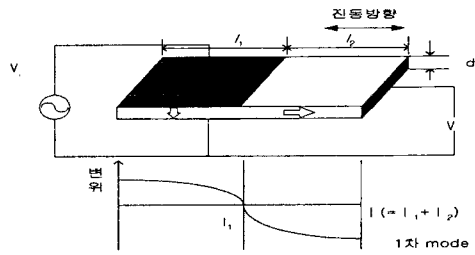


그림 2.1 Rosen이 제안한 압전변압기의 구조

이러한 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서 제안한 강압형 압전변압기의 형태는 그림 2.2와 같으며 기본적인 원리는 승압형 압전변압기와 동일한 원리를 이용하였다. 입력부의 두께를 늘려 임피던스를 높이고 출력부를 다층으로 하여 출력전압을 낮추고 출력전류를 높게 하였다. 입력부와 출력부의 접촉면적을 크게 하여 응력의 집중을 피하였다. 그림 2.3은 본 연구에서 제작한 압전변압기의 사진이다.

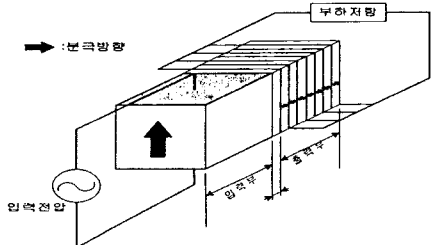


그림 2.2 제작된 압전변압기의 구조

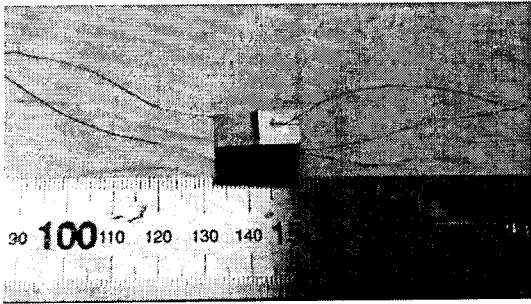


그림 2.3 제작된 압전변압기

2.2 압전변압기의 유한요소 해석.

본 연구에서는 압전변압기의 설계를 위해 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS 5.5.1을 이용하였다. 변압기를 해석하기 위해 먼저 전처리(pre-processing)과정으로 압전 변압기의 사이즈를 결정하여 모델링을 한 후, 압전 세라믹의 물질특성과 압전 매트릭스를 입력하였다. 각각의 압출력층의 분극방향을 결정하고, 모델의 경계조건을 위해 변압기의 전극부분에 coupled-field를 형성하였다. 해석을 위한 모든 조건을 부여한 모델을 각각의 요소를 형성하기 위하여 변압기의 모델을 meshing 하였다. 변압기의 해석을 위해 element type으로는 3-D coupled-field 용 element인 SOLID 5를 사용하였다. meshing을 끝낸 모델의 해석과정으로 먼저 modal 해석으로 압전변압기의 전체 길이 방향의 공진 주파수를 찾아내었다. 압전변압기는 압전세라믹을 주 재료로 사용하므로 압전세라믹의 특성인 공진주파수 부근에서의 최소임피던스 특성으로 이 주파수에서 입력부에 최대의 전류가 흐르며 최대의 변위가 나타나고 이로 인해 출력부에 최대의 전압이 나타난다. 그러므로 본 논문에서는 압전변압기의 길이방향으로 최대의 변위가 나타나는 점을 압전변압기의 길이 방향 공진주파수로 결정 하였다. 그림 2.4는 압전변압기의 진동모드를 나타낸다.

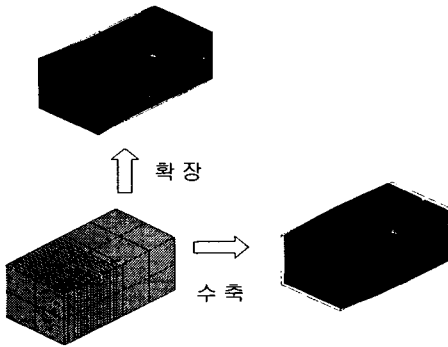


그림 2.4 FEM해석을 통한 압전변압기의 진동모드

modal 해석에서 찾아낸 변압기의 각각의 공진 주파수를 이용하여 이 주파수의 100[V]의 전압을 harmonic 해석에서 각각의 입력전극에 입력하고 주파수의 변화에 따른 출력전압을 살펴보았다. ANSYS의 경우 식(2.1)의 압전방정식을 이용하여 각각의 변수를 얻어내므로 주어진 압전 e상수, 유전율과 elastic coefficient matrix를 이용하여 입력부에 전압을 인가하면 출력측의 전계분포와 변압기의 각 부분에 미치는 응력의 분포를 얻을 수 있다⁽⁴⁾. elastic coefficient matrix의 경우 주어진 압전세라믹은 상온에서 tetragonal의 구조를 가지므로 아래의 c matrix와 같이 중심축을 기준으로 대칭의 값을 이용한다⁽²⁾.

piezoelectric e matrix

$$ANSYS [e] = \begin{bmatrix} x & y & z \\ x & c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ y & c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ z & c_{31} & c_{32} & c_{33} \\ xy & c_{61} & c_{62} & c_{63} \\ yz & c_{41} & c_{42} & c_{43} \\ xz & c_{51} & c_{52} & c_{53} \end{bmatrix}$$

elastic coefficient matrix

$$ANSYS [c]^E = \begin{bmatrix} x & y & z & xy & yz & xz \\ x & c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} \\ y & c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} \\ z & c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} \\ xy & c_{61} & c_{62} & c_{63} & c_{64} & c_{65} \\ yz & c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} \\ xz & c_{51} & c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} \end{bmatrix}$$

주어진 압전e상수와 c상수를 통해 입력부에서 전계를 인가하여 발생하는 장력T와 변위 S를 얻을 수 있으며, 압전세라믹의 비유전율과 e상수를 통하여 입력부에서 발생한 변위를 통해 출력부의 전계E와 분극D를 얻을 수 있다⁽⁵⁾.

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

그림 2.5는 유한요소 해석을 통한 변압기의 출력부의 전압분포를 나타낸 것이다. 입력부와 출력부가 같이 존재할 경우 입력부의 전압이 출력부에 비해 매우 높으므로 출력부만을 선택하여 그에 따른 출력전압의 분포를 살펴보았다. 입력부와 출력부에 전압차이가 75 [V]를 나타내었으며 공진주파수에 따른 출력전압의 변화를 그림 2.6에 나타내었다.

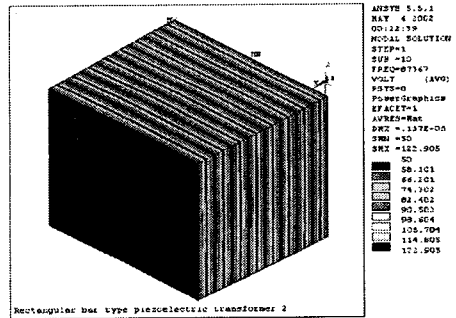


그림 2.5 압전변압기의 출력측의 전계분포

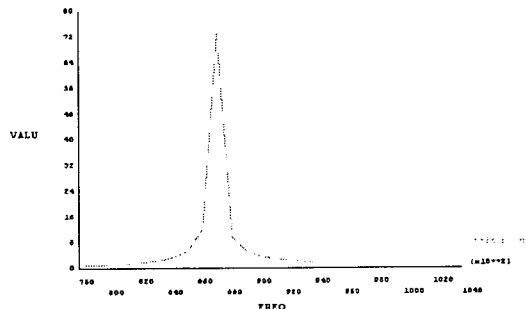


그림 2.6 출력전압의 주파수특성

그림 2.7은 유한요소 해석을 통한 변압기의 응력분포를 나타낸 것이다. 입력부와 출력부사이의 절연층에 응력이 집중적으로 분포되어있으나 접촉부의 넓고 접촉면 전체에 응력이 고루 분포되어 있음을 알 수 있으며 이는 변압기의 신뢰도에 영향을 미칠 것이라 사료된다.

3. 결 론

입력부에 경방향의 진동모드를 이용하고 출력부에 두
계방향의 진동모드를 이용한 강압용 압전변압기의 특성은 다음과 같았다.

- 1) 압전 변압기를 설계 시 변압기의 출력분포는 입력부의 힘이 출력부로 전달되는 중심부에 집중하였으나 전달면의 면적을 넓혀 이를 분산시킬 수 있었다.
- 2) 입력전압의 증가에 따른 출력전압과 출력전류는 선형적인 증가를 나타내었으며 입력전력에 대한 출력전력의 변화가 선형적임을 알 수 있다.
- 3) 부하저항의 변화에 대한 출력전압과 출력전류의 증가 감소양상은 동일하였으며 이는 부하의 변화에 대해 출력전력이 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있으며 500[Ω]이상의 부하저항에 대해서는 저항이 변화하여도 거의 일정한 출력특성을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

이상의 결과를 통해 제작된 압전변압기는 강압용변압기로서 사용될 수 있음을 알 수 있었으며 약간의 성능개선을 통해 소형의 저용량 어댑터로 사용가능함을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Toshiyuki Zaitzu, "New Piezoelectric Transformer Converter for AC-adaptor", IEEE. 0-7803-3704-2/97, pp. 569-572, 1997
- [2] C.A.Rosen, "Ceramic Transformer and Filters", Roc.of Electronic Component Symposium ,pp.205-211(1957)
- [3] Hunhui Hu, Yoshiaki Fuda, Masafumi Katsuno and Tetsuo Yoshida, "A Study on the Rectangular-Bar-Shaped Multilayer Piezoelectric Transformer Using Length Extensional Vibration Mode", JJAP, Vol 38, pp.3208-3212. 1999
- [4] ANSYS 5.3 verification manual.
- [5] 當川義朗, "超音波エレクトロニクス振動論", 朝倉書店, pp.241-242., 1997
- [6] Kenji Uchino, B. Koc, P. Laoratanakul and A. Vazquez Carazo" Pezoelectric Transformers", AMF, New perspective.