

경방향 진동모드를 이용한 적층형 압전변압기의 강압특성

정현호, 박태근, 김명호

창원대학교

Step-Down Characteristics of Multi-layered Piezo Transformer for Transverse Vibration Mode

Hyon-Ho Chong, Tae-Gone Park, Myong-Ho Kim

Changwon National Univ.

Abstract

This paper presents characteristics of piezo transformer for AC-DC converter. This transformer uses transverse vibration mode and the origin of the structure was the ring dot type transformer. Because, the ring dot type transformers produce only step-up phenomenon, we made a multi-layered ring dot structure for a step-down output. The characteristics of the transformer were simulated by using the ANSYS. And frequency and voltage were measured by changing the load resistance and current. Frequencies that have the maximum output voltage and current were gradually increased, when the resistance were increased. Output voltage and current show a stable linearity according to the input voltage. The maximum output power was expected greater than 20 [W]. So, we expect that this type of multi-layered step-down ring dot transformer can be adopted for a small AC adapters.

Key Words : Piezo transformer, multi-layer, ring dot type, step-down, transverse vibration mode

1. 서론

최근 산업전반에 걸쳐 기존의 권선형 압전변압기의 단점을 극복하기 위한 다양한 형태의 변압기가 제안되고 있다. 특히 압전변압기는 타 형태의 변압기에 비해 소형 경량이며 변환 효율이 높고 전자기 유도가 없으며 전압 변환비가 뛰어난 특성을 가지고 있다. 이러한 특성에 의해 승압용 압전변압기의 경우 LCD나 노트북의 백라이트 구동용 인버터, 형광등 안정기 등 그 사용범위가 확대되어가고 있으며 강압용의 경우 실용화를 위한 전 세계적으로 많은 연구가 산업체와 대학교등에서 진행되고 있다.

본 연구에서는 경량의 AC-DC컨버터로 사용하기 위한 압전변압기를 제작하기 위해 기존의 Ring Dot형의 압전변압기를 적층화하여 강압형 압전변

압기로서의 사용을 가능하게 하였다.

2. 실험

2.1 변압기의 구조와 원리

압전변압기의 경우 전기→기계→전기로의 에너지 변환을 이용한다^[1]. 그러므로 입력부와 출력부 사이의 에너지 전달은 기계적 에너지에 의해 이루어지게 된다. 디스크형 압전세라믹의 특성은 분극 방향과 동일한 방향의 변위보다 경방향의 변위가 크게 되므로($k_p > k_t$) 이러한 기계적 진동의 특성을 활용하기 위해 경방향 진동을 이용하는 것이 변압기의 효율에 유리하다. 또한 기계적 진동에 의한 변압기의 열화특성을 줄이기 위해 ring dot형의 압전변압기를 채택하여 이를 적층화 하였다. 본 연구

에서는 그림 2.1에서와 같이 Ring Dot형의 압전변압기의 입력부를 외부의 단일층의 압전세라믹으로 구성하고 출력부를 중심부에 5층으로 구성하여 분극방향을 마주보게 구성하였다. 세라믹 디스크의 공진주파수에 대한 B₁₁모드의 변위의 최대점은 r/a=0.4가 되는 지점이며 변위가 최소가 되는 지점은 0.8부근이다^[1]. 그러므로 이 지점을 중심으로 하여 입력부와 출력부의 전극을 2[mm]간격으로 분리하였다. 변압기의 지름은 26[mm]이며 두께는 3[mm]이다.

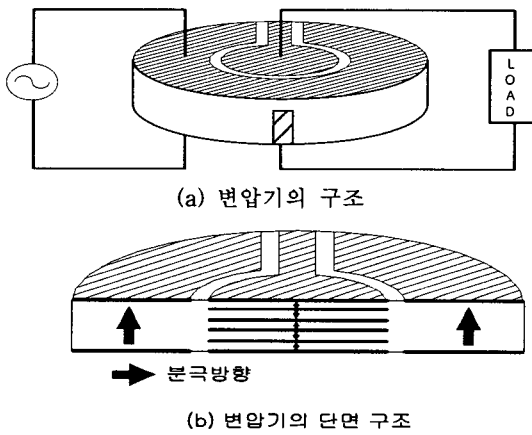


그림 2.1 압전변압기의 구조.

2.2 압전변압기의 유한요소해석

제안된 압전변압기의 특성을 유한요소해석프로그램인 ANSYS 7.0을 이용하여 해석하였다. 변압기의 element는 SOLID-5를 사용하였으며 ANSYS의 경우 e형식의 압전방정식(식 2.1)을 사용하여 압전체의 특성을 해석하게 된다. 그에 따른 압전e상수와 stiffness상수c는 다음과 같으며 밀도는 7600[kg/m³]이다.^[2]

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

Piezoelectric Matrix e[C/m²]

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -6.1 & -6.1 & 15.7 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Stiffness Matrix c^E[×10⁻¹⁰N/m²]

$$\begin{bmatrix} 12.8 & & & & & & \\ 6.8 & 12.8 & & & & & \\ 6.6 & 6.6 & 11.0 & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 2.1 & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2.1 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.1 & \end{bmatrix}$$

그림 2.2는 압전변압기의 경방향 진동모드에서의 진동형상을 보여준다. 입력부에 사인파의 전압이 인가될 때 변압기는 전체적으로 수축과 확장을 반복하는 진동을 일으키게 된다.

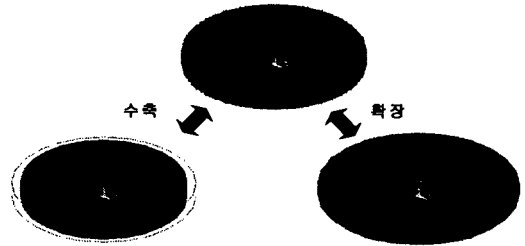


그림 2.2 압전변압기의 진동.

입력부의 40[V]인가전압에 대한 92[kHz]에서의 변압기의 전압분포를 그림 2.3에 나타내었다. 멀티레이어로 구성된 출력부의 전압분포를 살펴보기 위해 변압기의 중심부를 단면으로 나타낸 그림이며 중심의 출력부의 전압층을 확인할 수 있다.

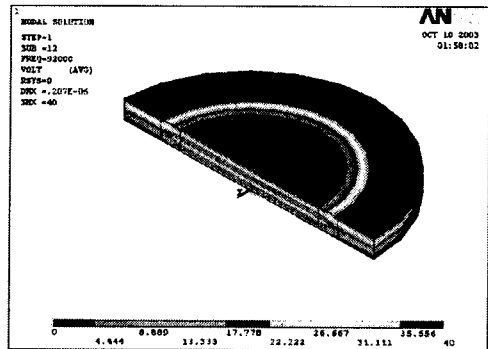


그림 2.3 압전변압기의 단면의 전계분포.

그림 2.4는 ANSYS상의 시뮬레이션에 의한 압전변압기의 입력부에서의 주파수의 변화에 따른 임피던스의 변화를 나타낸 그래프이다. 94[kHz]부근에서 공진주파수를 나타내었으며 그 때의 저항값은 218[Ω]이다.

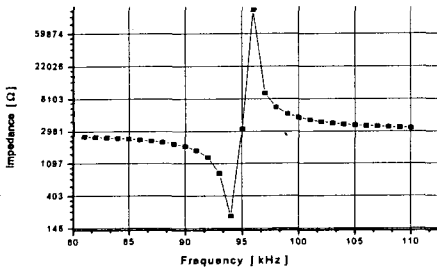


그림 2.4 해석된 압전변압기의 입력부의 주파수변화에 따른 임피던스특성.

2.3 압전변압기의 제작

설계된 압전변압기를 제작하기 위해 지름 26[mm] 두께 6[mm]의 전극이 형성된 원판형 압전세라믹의 표면전극을 식각하여 내부전극을 형성하였다. 은전극의 식각은 과산화수소 10%, 암모니아수 15%, 메탄올 75%의 혼합용액을 사용하였다. 내부전극이 형성된 압전세라믹을 5층으로 접합하고 외부전극을 형성하고 3000[V/mm]의 전압으로 분극하였다. 완성된 압전변압기 형태는 그림 2.4와 같다.

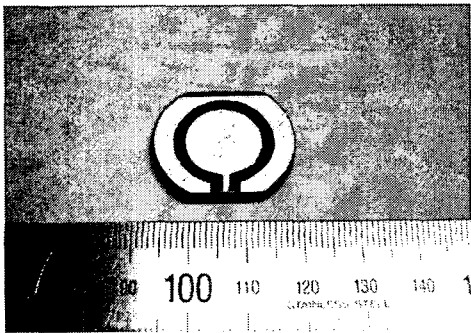


그림 2.5 제작된 압전변압기.

2.4 특성측정

먼저 제작된 압전변압기의 기본 특성을 임피던스분석기(HP4194A)를 이용하여 측정하였으며, 압전 변압기의 구조특성을 측정하기 위해 입력전압, 주파수, 부하저항을 가변하여 압전변압기의 출력특성을 살펴보았다. Function generator(LG, FG-7005C)에서 주파수를 발생시켜 변압기의 공진 주파수에 해당하는 주파수를 high speed 전력 증폭기(NF社NF-4025)에 인가하고 전압을 증폭하여 고주파의 전압을 변압기의 입력단에 인가하였다.

변압기의 출력단에 가변 저항을 연결하여 부하의 변화에 따른 출력전압을 살펴보았다. 전압의 측정은 오실로스코프(TEktronix TDS320)로 측정하였으며 출력전류를 digital multimeter(Agilent 34401)로 측정하여 출력 특성을 살펴보았다.

3. 결과 및 고찰

임피던스 분석기(HP4194A)로 측정된 압전변압기의 주파수에 따른 임피던스특성을 그림3.1에 나타내었다. 공진시의 입력부의 임피던스가 출력부에 비하여 약 4.5배정도 높았으며 입력부와 출력부의 각각의 공진주파수가 97[kHz], 100.8[kHz]로 나타났다. 출력부의 임피던스변화가 불안정하게 나타났으며 이는 출력부의 세라믹의 재분극에 의한 각종의 세라믹의 분극도의 차이에 의한 것으로 판단된다.

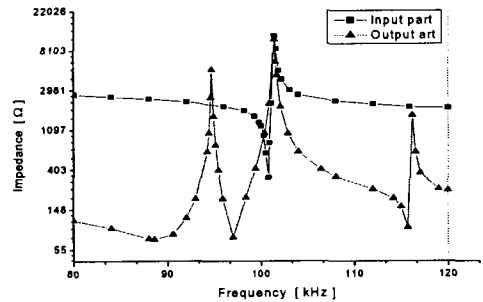


그림 3.1 주파수에 따른 임피던스특성.

압전변압기의 입력부에 40[Vrms]의 입력전압을 주파수를 가변하여 인가하였을 때 저항의 변화에 따른 출력전압과 출력전류의 특성을 각각 그림 3.2와 그림 3.3에 나타내었다. 96[kHz]부근에서 저항에 따른 일정한 전압특성을 나타내었으며 100.8[kHz]부근에서 거의 일정한 전류값을 나타내었다. 저항이 증가할수록 최대전압이 나타나는 주파수가 증가하였으며 최대전류를 나타내는 주파수는 감소하였다. 이전의 연구^[3]에서의 입력임피던스와 출력임피던스의 매칭이 이루어진 변압기의 전류특성은 일정하게 증가 후 감소하는 특성을 나타낸 데에 비하여 출력부의 전류특성이 증가하다가 95~98[kHz]부근에서 불안정한 값을 나타내는 것으로 보아 출력부의 임피던스특성이 출력전압에 비하여 출력전류에 많은 영향을 미치는 것으로 생

각된다.

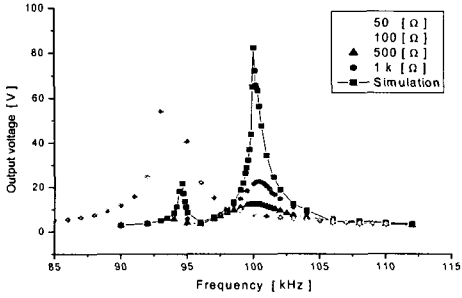


그림 3.2 압전변압기의 주파수에 따른 전압특성.

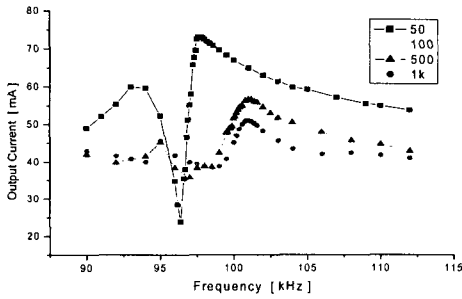


그림 3.3 압전변압기의 주파수에 따른 전류특성.

입력전압의 변화에 따른 출력전압, 출력전류의 변화를 각각 그림 3.4와 그림 3.5에 나타내었다. 입력전압이 증가함에 따라 출력전압이 선형적으로 증가하며 출력전류역시 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이러한 특성으로 인해 출력전력역시 출력전압과 출력전류에 비례하여 증가하므로 220[Vrms]의 전압인가 시 약 20[W]이상의 출력특성이 기대된다.

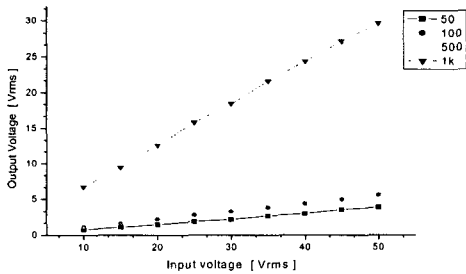


그림 3.4 입전전압에 따른 출력전압.

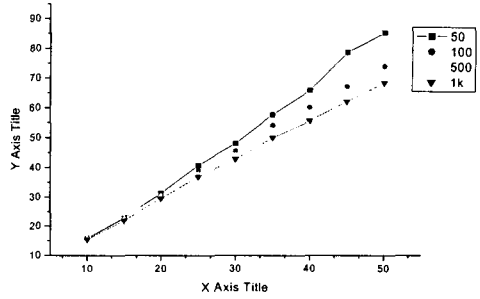


그림 3.5 입전전압에 따른 출력전류.

4. 결론

경방향진동모드를 이용한 ring dot형의 압전변압기를 적층화 하였을 때 그 출력특성은 다음과 같았다. 유한요소해석프로그램인 ANSYS의 해석결과 변압기의 공진주파수는 실제 변압기의 공진주파수에 비하여 약 6[kHz]정도의 차이를 보였으며 이는 해석상의 세라믹의 물성치와 실제 세라믹의 압전특성의 차이에 의한 값으로 보여진다. 해석결과에 의한 출력특성과 실제 측정값과는 어느 정도의 차이를 보였으나 변화양상은 거의 일치하였으므로, 시뮬레이션상의 특성을 이용하여 실제 변압기의 특성을 예상할 수 있을 것이다.

변압기의 특성 측정 시 부하저항이 증가함에 따라 최대 출력전압과 출력전류를 가지는 주파수는 점차 증가하였으며, 출력전압은 저항이 증가할수록 증가하였으며 전류는 감소하였다. 입력전압이 증가함에 따라 각각의 부하저항에서의 출력전압, 출력전류는 선형적으로 증가하였으며 이러한 양상으로 보아 220[Vrms]의 전압인가 시 출력전력은 20[W] 이상이 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] S.Ueha, "Ultrasonic Motors Theory and Applications", Oxford, 1993, pp.36~37.
- [2] ANSYS 7.0 Verification manual, VM176.
- [3] 이원재, 민복기, 송재성, 정현호, 박태곤, "경방향 확장진동모드를 이용한 강압용 압전변압기의 특성에 관한 연구", 한국전기전자재료학회학계학술대회 논문집, p. 638, 2002.