

디스크형 압전변압기의 설계 및 유한요소 해석

정성수, 박태곤
창원대학교

Design and ANSYS Analysis of Disk-type Piezoelectric Transformer

Sung-Su Jung, Tae-Gone Park
Changwon National Univ

Abstract

Unipoled piezoelectric transformers were designed with different input and output area ratios. The voltage step-up ratio increased proportionally with increasing the input area. The piezoelectric transformers operated in each transformer's resonance vibration mode. In this paper, ANSYS(FEM program) was used for analysing piezoelectric transformers. We compared with analysis and experimental results. The voltage step-up ratio showed maximum value in output area of small size. Output characteristics of piezoelectric transformers with various size were simulated. The result of analysis showed 2~7 times higher voltage step-up ratio than a experiment result.

Key Words : piezoelectric transformer, unipoled transformer, voltage step-up ratio.

1. 서론

압전변압기의 개발은 1957년 미국 G.E.사의 C. A. Rosen이 처음 제안한 이래 압전변압기에 관한 많은 연구가 진행되어왔고, 그 사용범위 또한 점차 확대 되어가고 있다. 압전변압기는 권선형 변압기에 비해 구조가 간단하고 다양한 형태의 변압기를 얻을 수 있으며, 소형·경량화, 박형화가 가능하다는 점, 표피·근접효과가 없어서 고주파화에 유리하다는 점, 전자(電磁) 노이즈가 발생하지 않는다는 점 등의 장점을 가지고 있어서 권선형 변압기로는 사용이 어려운 여러 분야에 사용되어지고 있다.[1] 특히 압전변압기는 권선형 변압기에 비해 승압비가 매우 높아 고전압 전원 발생장치로서 LCD 백라이트, 형광등 점등용, 정전도장용전원 등으로 사용되고 있으며, 현재 고출력용 재료와 기술의 개발로 소형 경량의 특성을 이용하여 시장성이 매우 활발한 이동통신분야나 서버형 노트북의 전원으로

서 사용을 위해 연구가 활발히 진행 중이다. 이렇게 확대되고 있는 기술개발 및 생산은 주로 일본, 미국이 주를 이루고 있는 실정이고 국내에서는 몇몇 기업과 대학에서만 연구가 진행되고 있는 실정이다.

압전변압기 분야의 연구는 실험을 통해서 논문으로 제출되고 있는데, 각각의 실험은 재료의 제작시 불순물, 실험장소, 주위 온도 등의 주위 환경 차이, 그리고 측정 장비의 오차 등으로 조금씩 다른 결과 값을 가져오기도 한다. 본 논문에서는 위와 같은 오차가 미치는 영향을 알아보기 위해 직접 설계하여 실험을 통해서 얻어낸 결과 값과 유한요소 해석프로그램인 ANSYS를 사용하여 해석한 결과 값을 비교해 보았다.

2. 본론

2.1 압전변압기(PT)의 구조와 원리

권선형 변압기가 자력선에서 발생하는 임피던스 변환을 이용하는데 비해 압전 변압기는 압전효과로부터 발생하는 초음파진동에서 여기되는 임피던스 변환을 이용한다.

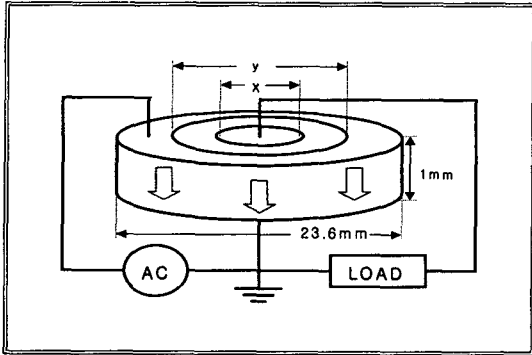


그림 1. 두께방향 단방향 분극 압전변압기의 구조
Fig. 1. Structure of piezoelectric transformer with single polarization along the thickness.

압전변압기는 압전현상을 이용하여 전기에너지→기계에너지→전기에너지로의 변환을 하여, 압전세라믹의 입력부와 출력부에 대한 전기적 임피던스의 원리를 이용하여 전압의 변화를 얻어낸다.[2]

직경이 23.6[mm]이고, 두께가 1[mm]인 원형의 단방향 분극 압전변압기의 구조를 나타내는 그림 1은 이번 실험의 기본이 되고, 입력부와 출력부의 면적을 결정하는 x, y의 값을 변화시켜 실험한다. 입력과 출력의 전극은 윗면의 표면에 위치하고, 입력전극은 바깥 면에 있고 출력전극은 중심점에 위치한다. 아랫면에 있는 전극은 입력과 출력의 공통 접지로 사용한다.

방사상의 확대진동을 일으키는 AC입력은 출력부분인 중심점으로 진동이 퍼져서 전압으로 전환된다.[3] 입력에서 출력이 나오기까지의 압전효과 순서는 압전역효과에서 압전정효과의 순으로 출력전압을 얻는다.

2.2 실험

그림 1은 2002년에 발표된 Kenji Uchino의 “Unipoled Disk-Type Piezoelectric Transformers”에 나온 디자인으로, 본 논문에서는 Kenji Uchino의 실험 결과 값과 유한요소해석 프로그램으로 얻은 결과와 비교 분석해 보았다. 재료의 성분은 똑같이

입력하였고, x, y의 면적은 4가지 경우로 똑같이 설계하여 해석프로그램에 적용하였다.

표 1. 압전변압기의 입출력 치수 및 면적비

Table 1. Dimensional specifications of piezoelectric transformers.

	PT1	PT2	PT3	PT4
X (mm)	8	12	16	20
Y (mm)	4	8	12	16
Input/Output area ratio	30.9	6.47	2.1	0.62

표 1은 입력과 출력의 직경인 x, y의 변화의 치수와 그 변화에 따른 입출력 면적비를 나타낸다. 출력부의 면적이 늘어날수록 입력부의 면적은 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

표 2는 이 실험에 사용된 압전세라믹 APC841의 특성을 기록한 표로서 압전계수, 기계품질계수, 유전체상수, 그리고 전기기계결합계수를 보여준다.

표 2. 압전세라믹의 재료 상수

Table 2. Material constants of APC841.

Properties		Value
Dielectric constant	$\epsilon_{33} / \epsilon_0$	1350
	k_{31}	0.33
Coupling factors	k_{33}	0.68
	k_p	0.60
	d_{31}	$-109(10^{-12}C/N)$
Piezoelectric coefficient	d_{33}	$275(10^{-12}C/N)$
	Q_m	1400

3. 결과

3.1 유한요소해석

ANSYS7.0을 이용하여 압전변압기를 해석하였다. 먼저 전처리(pre-processing)과정으로 압전변압기를 모델링하고, 압전세라믹스의 물성치와 압전 매트릭스를 입력하였다. 모델의 경계조건을 위해 압전변압기의 전극부분에 coupled-field를 형성하고 해석을 위한 모든 조건을 부여한 모델을 meshing 하였다. 압전변압기는 압전세라믹을 주 재료로 사

용하므로 압전세라믹의 특성인 공진주파수 부근에서의 최소임피던스 특성으로 이 주파수에서 입력부에 최대의 전류가 흐르며 최대의 변위가 나타나고 이로 인해 출력부에 최대의 전압이 나타난다.[4]

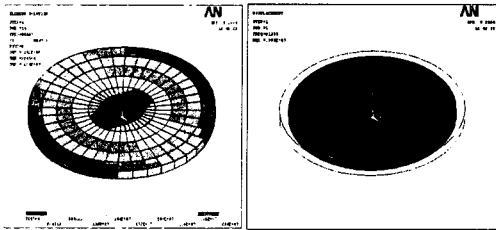


그림 2. 압전변압기의 변형 및 응력 분포
Fig. 2 Analyzed piezoelectric transformer.

실험을 통해 일어나는 변위는 아주 미세한 진동을 보여서 직접 눈으로 확인하기가 힘들지만, ANSYS해석을 하면 그림 2와 같이 공진주파수 인가에 따른 변형과 응력의 분포도를 수학적 계산에 의해 시뮬레이션 해준다.

그림 3은 공진주파수 주변의 주파수와 임피던스의 역수인 어드미턴스의 관계를 나타낸 그래프로 공진주파수 대역에서 최대어드미턴스 즉, 최소 임피던스를 나타냄을 보여준다. 이는 실험결과값과 해석결과값이 흡사하므로 복잡해 보이는 그래프를 하나의 그래프로 대신하였다.

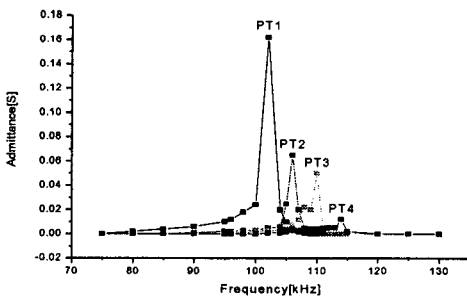


그림 3. 입력어드미턴스와 공진주파수
Fig. 3 Measured input admittance versus frequency in the 1st radial extensional vibration mode.

Modal 해석에 의해 찾아낸 압전변압기의 공진주파수로 그 부근의 ± 40 [kHz]범위에서의 입력전압과

출력전압의 비를 살펴보았다. 그림 4의 그래프는 같은 크기의 압전변압기에 입력과 출력사이의 면적을 달리한 4가지 모델들의 실험에 의한 측정값과 ANSYS로 해석한 값을 비교한 그래프이다.

전체적으로 실험에 의한 측정값이 해석한 값보다 승압비가 조금 낮음을 확인할 수 있다.

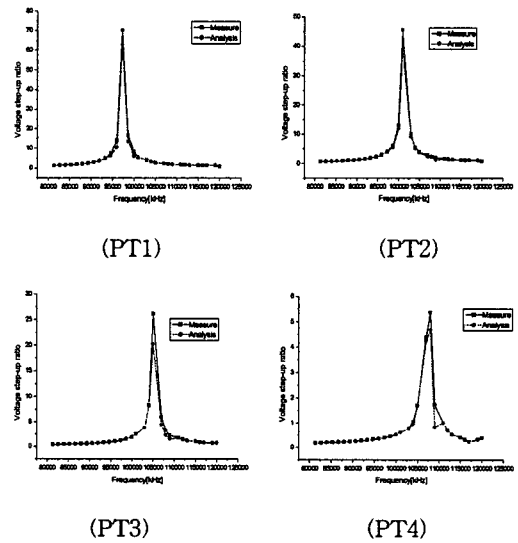


그림 4. 공진주파수 부근의 입출력 전압비
Fig. 4 Voltage step-up ratio as a function of frequency at measured and analysis

그림 4의 (PT1)은 입출력 면적비 30.9로 출력부의 면적이 가장 좁은 모델로서, 약 96[kHz]의 주파수에서 70배에 가까운 변압비로 4개의 모델중 가장 큰 승압비를 보였다.

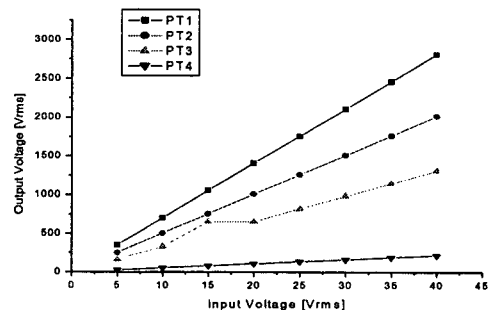


그림 5. 공진주파수에서의 입출력 전압
Fig. 5 Output Voltage as a function of Input Voltage.

(PT2)는 면적비 6.47로 102 [kHz]에서 공진 특성을 보였고, 45배 정도의 변압비를 보이며 (PT1)과는 면적비 만큼 큰 변압비 차이를 보였다. (PT3)은 105[kHz]에서 25배의 변압비를, (PT4)는 107[kHz]에서 5배의 변압비를 보였다.

위 4가지 모델의 특성으로 미루어 출력면적이 좁으면 좁을수록 승압비는 커진다는 이론을 만족시켰고, 공진주파수도 상승함을 확인할 수 있었다.

그림 5는 입력전압의 변화에 따른 출력전압의 변화를 나타낸 그래프로써, 각 모델들의 주파수는 공진주파수로 고정하여 해석한 결과 값이다. 이는 승압비를 나타내는 그래프의 결과와 비슷한 결과를 보인다.

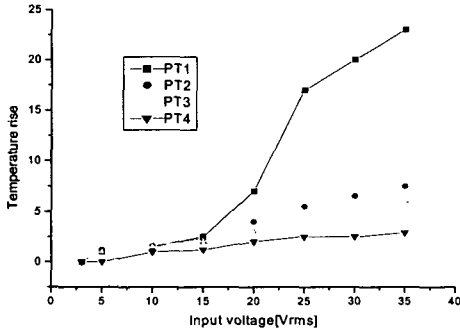


그림 6. 출력에 따른 온도 특성

Fig. 6 Characteristic temperature rise as a function of output power.

그림 6은 출력에 따른 온도 특성을 직접 측정함으로써 전압이 높아질수록 온도도 조금씩 상승하였고, 특히 승압비가 큰 (PT1)의 경우 20[v]이상에서 온도가 급격히 상승함을 확인할 수 있었다.

4. 결론

디스크형 압전변압기의 단방향 진동모드에서의 실제 제작에 의한 측정결과들과 유한요소해석프로그램인 ANSYS를 통해 얻어낸 결과들의 특성을 비교해 보면 다음과 같다.

첫째, 압전변압기의 출력에 영향을 미치는 공진모드는 각 부분의 사이즈에 영향을 받으며 이를 이용하여 변압기의 출력측의 형태를 결정하고 출력측의 전계분포를 제작 전에 해석을 통해 알 수 있다.

둘째, 같은 크기의 압전변압기에 입출력간의 면적을 변화시켜 비교한 결과 (PT1)에서 큰 승압비를 보였지만 측정과 해석의 오차의 범위가 컸고, 낮은 승압비를 가질수록 측정과 해석의 오차는 적었다.

셋째, 입력전압의 변화에 따른 출력전압의 변화는 선형적인 변화를 보였고, 출력측 면적이 좁을수록 높은 승압율을 보이지만 반대로 승압율이 높을수록 온도특성은 나쁘게 나타났다.

이상에서의 결과를 바탕으로 해석과 측정과의 관계를 살펴보면, 전체적으로 해석한 값이 측정치의 값보다 2~7배 정도 전압승압율이 높게 나타났다. 이는 실제 제작시 생기는 변수 즉, 재료속 불순물, 주위온도, 크기 및 측정 오차, 그리고 변압기의 지지점이 진동모드에 미치는 영향 등이 해석 값보다 승압율이 낮게 나온 결과로 보인다.

필요한 전압 및 형태의 압전 변압기를 만들기 위해서는 해석프로그램을 이용하여 최적설계를 하고, 오차의 원인을 줄일 수 있는 조건에서 제작에 임하게 된다면 기존의 압전변압기보다 높은 효율을 가진 압전변압기를 제작 할 수 있을 것으로 본다.

참고 문헌

- [1] Toshiyuki Zaitzu, "New Piezoelectric Transformer Converter for AC-adapter"
- [2] 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
- [3] "Unipoled Disk-Type Piezoelectric Transformers" Pitak LAORATANAKUL, Alfredo Vazquez CARAZO, Philippe BOUCHILLO-UX1 and Kenji, UCHINO, 2001.
- [4] 박형진, "ANSYS를 이용한 유한요소 해석" 광문각, 2001.