

Unipoled Disk-type 압전변압기의 설계 및 유한요소 해석

정성수, 박태곤

창원대학교

Design and FEM Analysis of Unipoled 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, voltage step-up ratio, unipoled transformer.

1. 서론

압전세라믹을 이용한 변압기는 1957년 미국 G.E.사의 C. A. Rosen이 처음 개발되었고, 이 후 P. A. Barkman, A. E. Craford 등에 의해 실용화 연구가 진행되었다. 압전변압기의 사용범위 또한 점차 확대 되어가고 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 압전변압기는 권선형 변압기에 비해 구조가 간단하고 경량, 소형이면서 다양한 형태의 변압기를 얻을 수 있으며, 고주파에서 구동이 가능하다는 점, 전자기 노이즈가 전혀 없다는 점 등의 장점을 이용해 권선형의 변압기가 사용되기 힘든 분야

들에 사용되어지고 있다.[1] 그 외 높은 승압비를 얻을 수 있다는 장점을 이용하여 고전압을 필요로 하는 LCD 백라이트, 형광등 점등용 전원, 정전도장용 전원 등으로 사용되고 있으며 그 시장성은 점차 확대 되어가고 있다.

압전변압기 분야의 많은 연구는 실험을 통해서 논문으로 만들어지고 있다. 각각의 실험은 같은 내용 일지라도 재료의 불순물, 실험장소, 주위온도, 측정 장비의 오차등으로 인하여 조금씩 다른 결과값을 가져오기도 한다. 본 논문에서는 직접 설계하여 실험을 통해서 얻어낸 결과 값과 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 해석한 결과 값을 비교 분석해보았다.

2. 본 론

2.1 압전변압기의 구조와 원리

압전변압기는 압전현상을 이용하여 전기에너지-기계에너지 - 전기에너지로의 변환을 하여, 압전세라믹의 입력부와 출력부에 대한 전기적 임피던스의 원리를 이용하여 전압의 변화를 얻어낸다.[2] 권선형 변압기가 자력선에서 발생하는 임피던스변환을 이용하는데 비해 압전변압기는 압전효과로부터 발생하는 초음파진동에서 여기되는 임피던스변환을 이용한다.

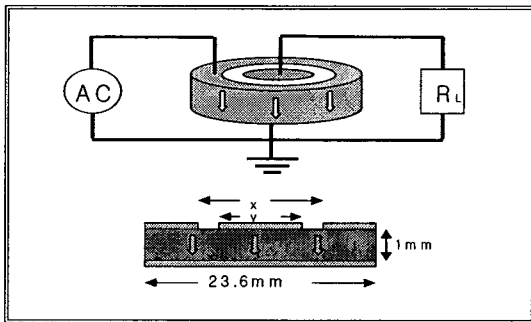


Fig.1 Structure of piezoelectric transformer with single polarization along the thickness.

Fig.1은 원형의 단방향분극 압전변압기의 구조를 보여준다. 화살표는 분극방향을 나타내고, 직경이 23.6[mm] 그리고 두께가 1[mm]를 기본으로 표 2와 같이 입력과 출력의 길이인 X,Y를 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] 압전효과의 순서는 압전역효과에서 압전정효과의 순으로 출력전압을 얻을 수 있다.

2.2 실험

본 논문은 직접 제작된 압전변압기의 결과 값을 유한요소해석 프로그램을 이용하여 얻은 결과 값과 비교하여 그 차이점을 찾기 위한 것으로 이번 실험의 대상은 2002년에 발표된 Kenji Uchino의

“Unipoled Disk-Type Piezoelectric Transformers”라는 논문의 결과를 유한요소해석 프로그램으로 얻은 결과와 비교 분석해 보았다.[3]

이 실험에서 사용한 압전세라믹은 APC841이고 물질의 특성은 Table 1과 같다. Table 2는 입력과 출력면적을 변화시켜 실험하기 위한 값으로 입력과 출력간의 면적비도 함께 기술하였다.

Table 1. Material constants of APC841.

Properties		Value
Dielectric constant	$\frac{\epsilon_{33}}{\epsilon_0}$	1350
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

Table 2. 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

3. 실험결과와 시뮬레이션특성 비교

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

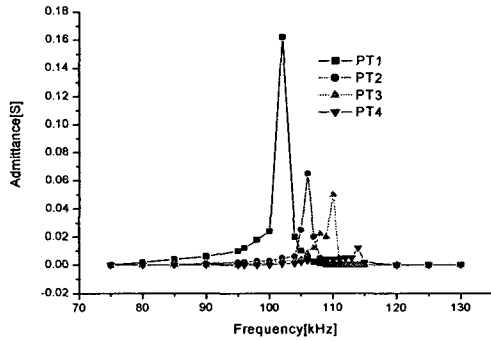


Fig.2 Measured input admittance versus frequency in the 1st radial extensional vibration mode.

Fig.2는 공진주파수 주변의 주파수와 임피던스의 역수인 어드미턴스의 관계를 나타낸 그래프로서 공진주파수 대역에서 최대어드미턴스 즉, 최소임피던스를 나타냄을 보여준다. 이는 실험결과값과 해석 결과값이 흡사하므로 복잡해 보이는 그래프를 하나의 그래프로 대신하였다. 실험을 통해 일어나는 변위는 아주 미세한 진동을 보여서 직접 눈으로 확인하기가 힘들지만, ANSYS해석을 하면 Fig.3과 같이 공진주파수 인가에 따른 변형과 응력의 분포도를 수학적 계산에 의해 시뮬레이션 해준다.

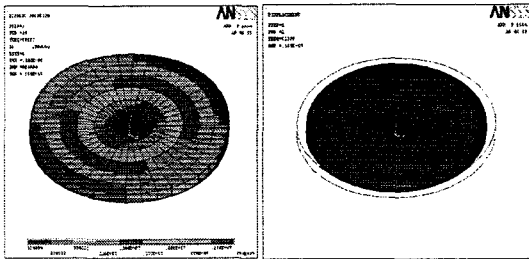


Fig.3 Analyzed piezoelectric transformer.

Modal 해석에 의해 찾아낸 압전변압기의 공진주파수로 그 부근의 ± 40 [kHz]범위에서의 입력전압과 출력전압의 비를 살펴보았다. Fig.4~Fig.7의 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.

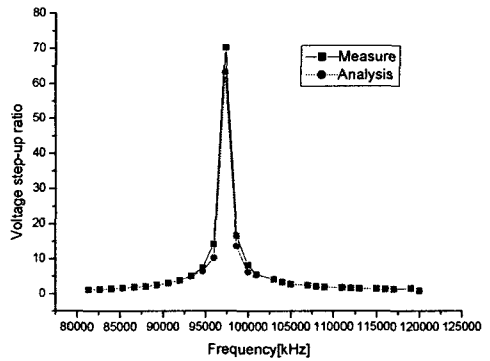


Fig.4 Voltage step-up ratio as a function of frequency at measured and analysis(PT1)

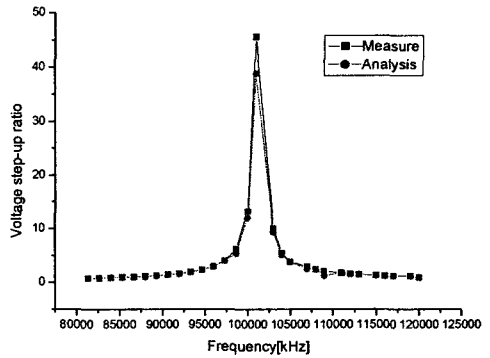


Fig.5 Voltage step-up ratio as a function of frequency at measured and analysis(PT2)

Fig.4는 출력부의 면적이 가장 좁은 모델로서, 약 97[kHz]의 주파수에서 70배에 가까운 변압비를 보였다. Fig.5의 경우는 Fig.4보다 조금 높은 약 102[kHz]에서 45배에, Fig.6은 105[kHz]에서 25배의 승압특성을 보였다. Fig.7은 입력부 면적이 가장 좁고, 출력부 면적이 가장 넓은 모델로 107[kHz]에서 5배로 낮은 승압비를 나타내었다. 위 4가지 모델의 특성으로 미루어 출력면적이 좁으면 좁을수록 승압비는 커진다는 이론을 만족 시켰고, 공진주파수도 상승함을 확인할 수 있었다. Fig.8은 입력전압의 변화에 따른 출력전압의 변화를 나타낸 그래프로서, 각 모델들의 주파수는 공진주파수로 고정하여 해석한 결과값이다. 이는 승압비를 나타내는 그래프의 결과와 비슷한 결과를 보인다.

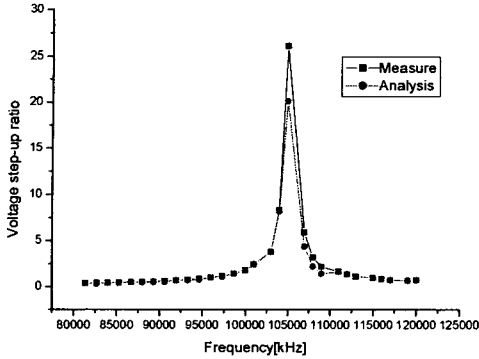


Fig.6 Voltage step-up ratio as a function of frequency at measured and analysis(PT3)

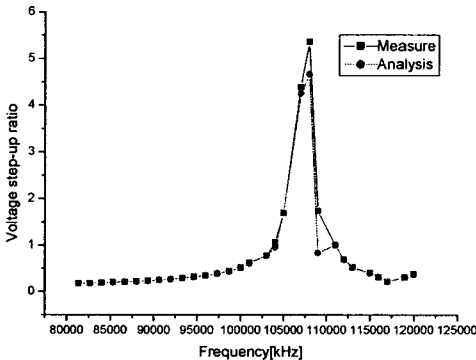


Fig.7 Voltage step-up ratio as a function of frequency at measured and analysis(PT4)

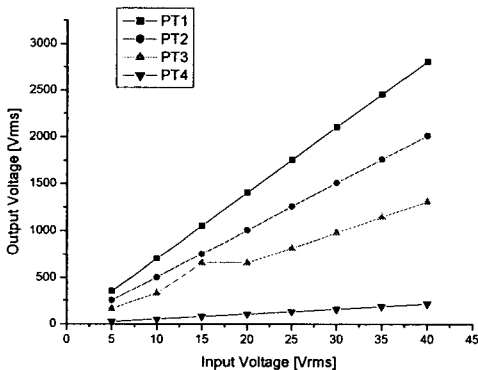


Fig.8 Output Voltage as a function of Input Voltage.

4. 결론

단방향 진동모드를 이용한 디스크타입 압전변압기의 실제 제작에 의한 측정결과들과 유한요소해석프

로그래밍 ANSYS를 통해 얻어낸 결과들의 특성을 비교해 보면 다음과 같다.

- 1) 같은 크기의 압전변압기에 입출력간의 면적을 변화시켜 비교한 결과 PT1에서 큰 승압비를 보였지만 측정과 해석의 오차의 범위가 컸고, 낮은승압비를 가질수록 측정과 해석의 오차는 적었다.
- 2) 압전변압기의 출력에 영향을 미치는 공진모드는 각 부분의 사이즈에 영향을 받으며 이를 이용하여 변압기의 출력측의 형태를 결정하고 출력측의 전계분포를 제작전에 해석을 통해 알 수 있다.
- 3) 입력전압의 변화에 따른 출력전압의 변화는 선형적인 변화를 보였고, 출력측 면적이 좁을수록 높은 승압율을 보였다.

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, 주위 온도, 크기 및 측정 오차, 그리고 변압기의 지지점이 진동모드에 미치는 영향 등이 해석값보다 승압율이 낮게 나온 결과로 보인다.

사용자가 원하는 전압 및 형태의 압전변압기를 제조하기 위해서는 제작전 미리 해석프로그램을 이용하여 최적설계를 하고, 오차원인을 줄일 수 있는 조건에서 제작에 임하게 된다면 기존의 압전변압기보다 보다 나은 효율을 가진 압전변압기를 제작할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] Toshiyuki Zaitu, "New Piezoelectric Transformer Converter for AC-adpater", IEEE. 0-7803-3704-2/97, pp. 569-572, 1997
- [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.