

디스크형 압전 변압기의 전극 대칭성에 따른 전기적 특성

이종필^{1*}
¹한국전기학원

A study on the electrical characteristics with the electrode symmetry of a disk-type piezoelectric transformer

Jong-Pil Lee^{1*}

¹Korea Electric Institute

요 약 본 연구에서는 직경이 50mm, 두께가 4.5mm인 디스크형 압전 변압기의 구동부와 발전부의 전극에 대한 대칭성을 고려하여 2, 4 및 8등분으로 각각 분할하였다. 이렇게 분할된 압전 변압기에 부하저항을 변화(100Ω ~ 10kΩ)시키면서 전기적 특성을 측정하고, 이를 토대로 한 압전변압기의 승압비 및 효율에 관한 메카니즘을 정량적으로 해석하였다.

Abstract In this study, a disk-type piezoelectric transformer was fabricated. Its diameter was 50 mm and thickness was 4.5 mm. The driving and generating electrode with their gap of 1mm were fabricated on the top surface. But the common electrode was fabricated on the whole bottom surface. The electrode surface of driving and generating part on the top surface was divided into 2, 4 and 8 pieces. The electrical characteristics with its electrode variation was measured in the range of load resistance of 100Ω ~ 10kΩ. We investigated quantitatively the influence of the set-up voltage ratio.

Key Words : Piezoelectric Transformer, Piezoelectric Ceramic

1. 서론

압전 변압기는 권선형 변압기에 비해 고효율성을 실현할 수 있을 뿐만 아니라 경박단소(輕薄短小), 단순 구조, EMI가 없음, 제작의 용이성, 난연성(難練性), 승압비의 가변성 등의 장점을 지니고 있다[1,2].

TFT LCD 모니터의 후면광원은 임피던스가 매우 높아서 로젠타입의 압전 변압기와 부하 정합면에서 우수한 특성을 지니고 있어 압전 인버터에 채택되어 널리 사용되고 있다[3]. 그렇지만 로젠타입은 높은 임피던스를 가진 반면 저출력의 한계를 지니고 있다. 따라서, 임피던스가 낮은 광원은 출력이 비교적 높기 때문에 로젠타입의 압전 변압기는 이와 같은 광원의 적용에 한계가 있다. 이를 극복하기 위해, 적층 또는 병렬 구동시킨다든지 하는 방법의 연구가 진행되어 왔으며, 한편으로는 형상과 전극 패턴을 변화시키는 연구가 이루어지고 있다[4,5]. 압전 변

압기를 일반 전원의 전압에서 구동하면 압전체가 큰 구동전압에서 파괴되기 쉽다는 것과 임피던스 정합이 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 일반 형광등 조명용에 적용하려는 새로운 형태의 압전 변압기에 대한 연구가 극히 소수 이루어지고 있다[6,7].

본 연구에서는 출력을 증가시키고, 아울러 상용 전원에서도 사용이 가능한 즉, 압전 변압기의 구동부에 인가되는 전원 전압이 높은 경우, 압전체가 파괴되지 않는 분극 방법을 고려하였으며, 디스크형 압전 변압기의 입출력 전극의 패턴을 새롭게 하여 전압 인가에 따른 전기적 출력 특성을 측정하고 검토하였다.

2. 실험

2.1 시편제조

*교신저자 : 이종필(jp1212@paran.com)

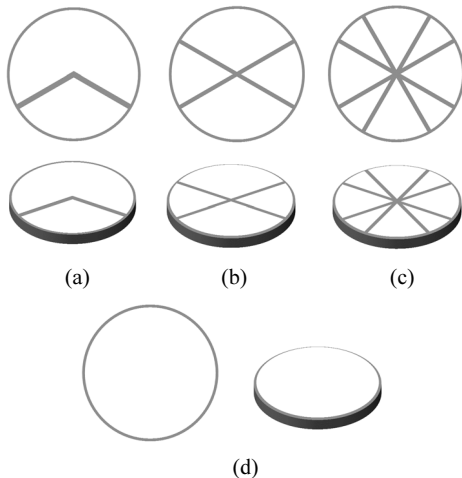
접수일 10년 11월 04일 수정일 (1차 10년 12월 21일, 2차 11년 01월 03일) 게재확정일 11년 02월 10일

압전 변압기용 세라믹은 전통적인 세라믹 제조 공정에 따라 제조하였으며, 표 1의 물성을 가진 조성으로 직경이 50mm, 두께가 4.5mm인 디스크형 압전 변압기를 제작하였다.

전극 분할은 그림 1과 같이 2, 4 및 8 조각으로 하였으며, 분극은 입출력부 모두 두께 방향으로 함으로써 비교적 높은 전압에서 분극하여도 파괴되지 않도록 하였다. 입·출력 전극 면적비는 모두 2 : 1로 되도록 하였다. 즉, 그림 1-(a)는 넓은 면이 입력측이고, 좁은 면이 출력측 전극이며, 그림 1-(b) 및 (c)는 각각 넓은 면 2개 및 4개가 입력측 전극이며, 출력측 전극은 좁은 면 2개 및 4개이다. 그림 1-(b)와 (c)에서와 같이 전극을 분할한 것은 그림 1-(a)는 입력부와 출력부가 비대칭으로 되어 있지만, 그림 1-(b)와 (c)는 입력부와 출력부의 대칭성이 되도록 하기 위해서이다.

[표 1] 압전 세라믹의 특성

$\epsilon^T_{33}/\epsilon_0$	$\tan \delta$	k_p	d_{33}	Q_m
1200	0.3%	0.55	320	1200



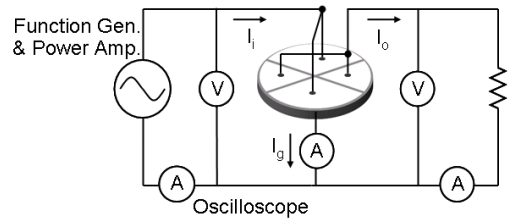
[그림 1] 디스크형 압전 변압기의 전극패턴 (a) 2분할 (b) 4분할 (c) 8분할 (d) 공통단자

2.2 특성 측정

압전 변압기의 전기적 출력 특성은 그림 2 및 그림 3과 같이 회로를 구성하여 부하저항을 변화시키면서 측정하였다. 구동부 인가전원은 함수발생기(Agilent, 33120A)와 전력증폭기(NF, NF4015)를 사용하였으며, 구동부와 발전부의 전압 및 전류 측정은 오실로스코프(Tektronics, TDS 3032)로 측정하였다.



[그림 2] 압전 변압기 특성 측정 회로



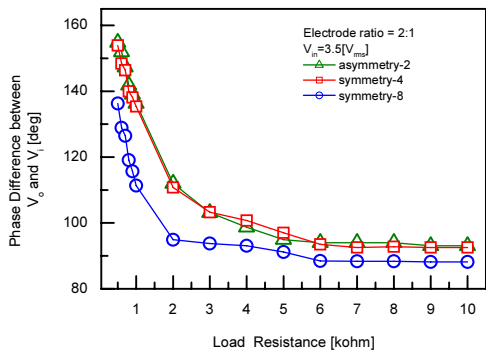
[그림 3] 압전 변압기 특성 측정 회로

3. 실험결과 및 고찰

입력 전압은 크기가 3.50[V_{rms}]이며, 부하 저항별로 공진 주파수를 인가하였다. 입·출력 전압과 전류 및 각각의 위상차를 오실로스코프를 이용하여 측정하였으며, 이들 값으로부터 입·출력 전력을 계산하였다.

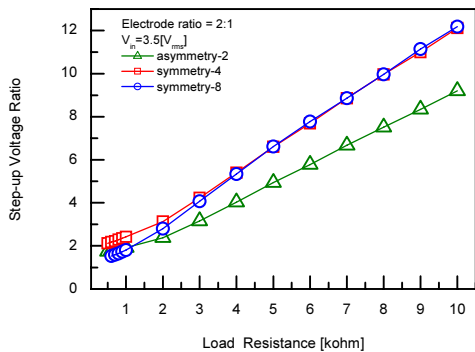
먼저, 입력 전압과 출력 전압 간의 위상차를 나타낸 것이 그림 4이다.

이 그림에서 보듯이 구동부의 전극 면적의 분할 수가 많을수록 또는 부하저항이 증가함에 따라 입·출력 전압 간 위상차는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 한편, 부하 저항이 0[Ω]인 경우에 입·출력 전압간의 위상차를 측정 한 결과 약 180°차이가 발생하였다. 이는 구동부 전극에 공진 주파수의 전압을 인가하면, 구동부에 기계적 변형이 발생되고 이것이 발전부 측으로 전달되어 다시 발전부에 기계적 변형을 일으키게 되고 이것이 압전 역효과에 의해 전기적 출력으로 변환되는 압전 변압기의 구동 특성과 연관성이 있다고 보여진다. 즉, 구동부와 발전부의 전극이 대칭성을 가질수록 입력부의 기계적 변형이 발전부로의 전달이 보다 잘 이루어지는 구조로 볼 수 있어서 위상차는 감소하는 경향을 띠게 된다고 생각된다.



[그림 4] 전극의 대칭성과 부하저항에 따른 입·출력 전압 간 위상차

그림 5는 압전 변압기의 구동부에 입력 전압 3.50[V_{rms}], 부하저항별 각각의 공진 주파수를 인가하면서 오실로스코프로 측정한 승압비(=V_o/V_i)를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 구동부의 전극 면적의 분할 수가 많을수록 또는 부하저항이 커질수록 증가함을 알 수 있다.



[그림 5] 전극의 대칭성과 부하저항 변화에 따른 승압비

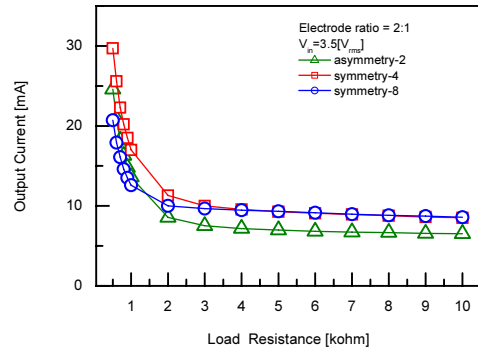
그림 5에서 나타난 승압비의 경향을 입·출력 전극의 대칭성과 부하저항 변화를 나누어 생각해 보자.

우선, 구동부와 발전부의 대칭성이 커짐에 따라 승압비가 증가하는 것은 다음과 같이 해석될 수 있다.

대칭성이 클수록 구동부에서 발전부로 전달되는 기계적 변형의 비가 클 뿐만 아니라 대칭적으로 작용하여, 2차측의 전하 발생량이 증가하여 승압비가 증가하는 요인이 되는 것으로 볼 수 있고, 구동부의 전극의 대칭성에 따른 고유의 공진 특성도 양호해질 것이므로 승압비는 증가한 것으로 볼 수 있다.

다음으로 부하저항별 승압비의 경향은 부하저항이 증가함에 따라 승압비도 증가하는 경향을 보여주고 있다.

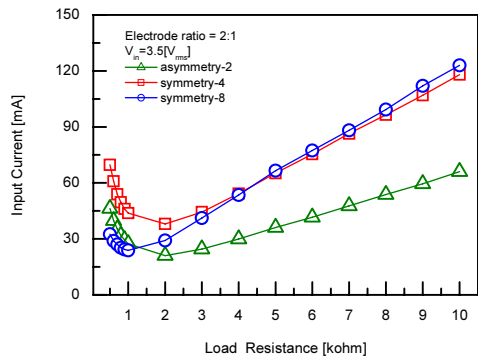
이는 발전부를 일정한 크기의 전류원으로 보았을 때, 부하저항이 증가할수록 부하저항을 통해 흐르는 출력 전류의 크기가 감소할 것이며(그림 6 참조), 이에 따라 발전부 전극에 남아있는 전하의 양이 점점 증가함으로써 위상차가 점점 감소되는 것으로 보여지며(그림 4 참조), 또한 발전부의 잔류 전하가 많은 만큼 승압비는 증가하게 될 것이다. 이는 무부하에서 승압비가 가장 크게 나타나는 것과 동일한 현상으로, 그 만큼 구동부와 발전부의 한 몸체의 기계적 정합이 양호해진 것으로 볼 수 있다.



[그림 6] 전극의 대칭성과 부하저항에 따른 출력 전류

그림 7은 구동부의 입력 전류로서 부하저항이 2[kΩ] 이상인 범위에서의 입력 전류는 대칭성이 클수록 부하저항이 작을수록 증가하는 경향을 보이고 있다.

이는 위에서 언급한 바와 같이 전극 면적의 대칭성이 클수록 구동부와 발전부의 공진 특성이 양호하게 되어 입력 전류가 커진 것으로 보여지며, 그림 6에서도 보았듯이 발전부의 출력전류도 비대칭 전극에 비해 대칭 전극인 경우가 큼을 이해할 수 있다.



[그림 7] 전극의 대칭성과 부하저항에 따른 입력 전류

또한, 부하저항 2[kΩ] 이후의 입력 전류의 증가는 위에

서 언급한 바와 같이 부하저항이 클수록 부하저항에 흐르는 출력 전류의 크기가 감소하여 발전부 전극에 남아 있는 전하 양이 서서히 증가한 것에 기인된 것으로 보여진다. 발전부에 전하가 많이 남아 있을수록 구동부가 발전부를 공진시켜 전하를 생성하도록 하는 역할이 감소되어 구동부 자체만의 특성과 관련성이 있을 것이므로, 이때도 공진 특성은 양호해질 것이며, 따라서 입력전류도 증가한 것으로 해석된다.

그림 8과 9는 각각 오실로스코프로 측정한 구동부의 입력 전류 I_i 와 공통단자에 흐르는 전류 I_g 및 I_o 사이의 위상차 θ 를 나타낸 것이다.

여기서, 입력전류 I_i 와 출력전류 I_o 를 다음과 같이 놓으면,

$$I_i = I_{im} \sin \omega t \quad (1)$$

$$I_o = I_{om} \sin(\omega t - \alpha) \quad (2)$$

단, α 는 I_i 와 I_o 사이의 위상차

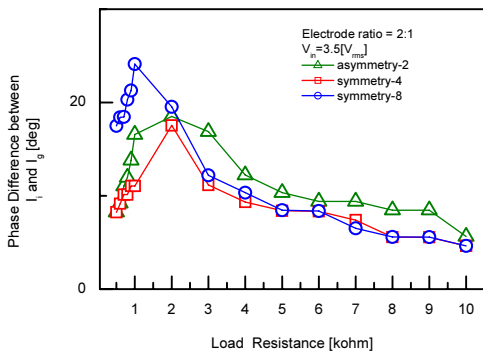
이 되고, 공통 단자에 흐르는 전류 I_g 는

$$\begin{aligned} I_g &= I_i - I_o \\ &= I_{im} \sin \omega t - I_{om} \sin(\omega t - \alpha) \\ &= \sqrt{(I_{im} - I_{om} \cos \alpha)^2 + (I_{om} \sin \alpha)^2} \sin(\omega t + \theta) \end{aligned} \quad (3)$$

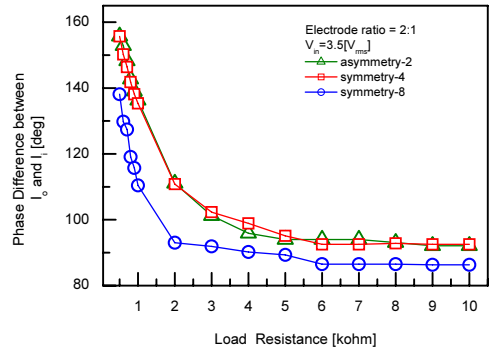
$$\text{단, } \theta = \tan^{-1} \frac{I_{om} \sin \alpha}{I_{im} - I_{om} \cos \alpha} \quad (4)$$

(θ : I_i 와 I_g 사이의 위상차)

과 같게 된다. 측정된 I_i , I_o 및 I_i 와 I_o 사이의 위상차 α 를 식 (3) 및 식 (4)에 대입하여 계산한 I_g 의 값과 위상차 θ 값은 그림 8과 그림 9의 측정값과 거의 차이가 없음을 확인하였다.

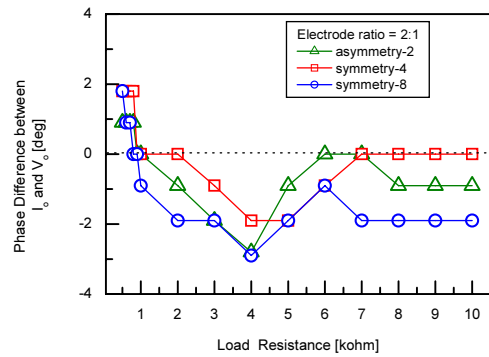


[그림 8] 전극의 대칭성과 부하저항에 따른 공통 단자 전류와 입력전류간 위상차



[그림 9] 전극의 대칭성과 부하저항에 따른 출력전류와 입력 전류간 위상차

한편, 그림 10은 발전부의 출력 전류 I_o 와 출력 전압 V_o 사이의 위상차 θ 를 나타낸 것이다.



[그림 10] 전극의 대칭성과 부하저항에 대한 출력 전압과 출력 전류간 위상차

입력전력과 출력전력을 다음 식에 의해 계산하여 각각 그림 11과 12에 나타냈다.

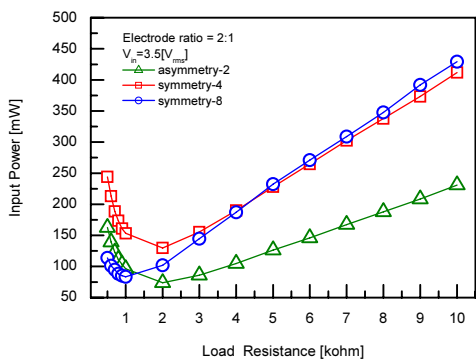
$$W_i = V_i I_i \quad (5)$$

$$W_o = V_o I_o \cos \alpha \quad (6)$$

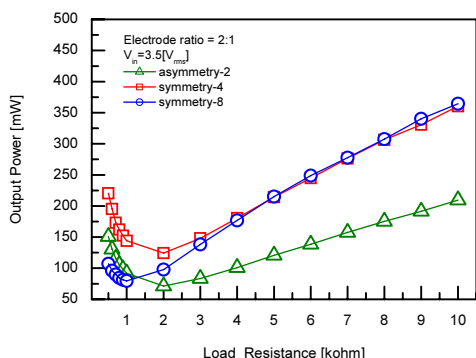
(α 는 V_o 과 I_o 사이의 위상차)

그림 13은 다음 식에 의해 계산된 효율을 나타낸 것으로 전극의 대칭성이 클수록 효율이 저하되고 있는데 그림 11과 12에서 보듯이 단위체적이 같은 크기의 압전 변압기에서 입·출력이 증가하면 그만큼 손실요소도 커진 것으로 보인다.

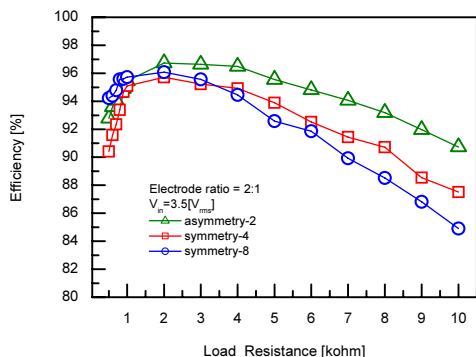
$$\eta = W_o / W_i \quad (7)$$



[그림 11] 전극의 대칭성과 부하저항에 대한 입력 전력



[그림 12] 전극의 대칭성과 부하저항에 대한 출력 전력



[그림 13] 전극의 대칭성과 부하저항에 대한 효율

4. 결론

본 연구에서는 디스크형 압전 변압기의 구동부와 발전부의 전극의 대칭성과 부하 저항을 변화시키면서 전기적 특성을 측정하고, 이를 토대로 하여 디스크형 압전변압기의 거동에 대한 정량적 및 정성적 해석을 한 결과 다음과

같다.

구동부의 전극 구조가 대칭적으로 됨에 따라 승압비가 증가하였으며, 2차측의 단위시간당 생성 전하량이 증가하여 승압비가 증가하는 요인으로 해석되었다.

또한, 부하저항이 증가함에 따라 승압비도 증가하였다. 부하저항이 증가함에 따라 입출력 전압간의 위상차가 점점 감소하게 되는데, 이는 발전부를 일정한 크기의 전류원으로 보았을 때, 부하저항이 증가할수록 부하저항을 통해 흐르는 출력 전류의 크기가 감소하며, 이에 따라 발전부 전극에 남아있는 전하의 양이 점점 증가함으로써 위상차가 점점 감소하며, 발전부의 잔류 전하가 많은 만큼 승압비는 증가하게 되는 것으로 해석된다. 무부하에서 승압비가 가장 크게 나타나는 것과 동일한 현상으로, 그만큼 구동부와 발전부의 한 몸체에 대한 공진 특성이 양호해진 것으로 볼 수 있다.

효율은 전극의 대칭성이 클수록 효율이 저하되고 있는데 이는 단위체적이 같은 크기의 압전 변압기에서 입·출력전력이 증가하면 그만큼 손실요소도 커진 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] C. A. Rosen, Electrical Conversion Apparatus, US Patent No. 2,975,354, 1961.
- [2] T. Kawada, Corona discharge apparatus for particle collection, US Patent No. 3,900,766, 1975.
- [3] Chong C Lim, Piezoelectric ultraviolet voltage generator for a television receiver, US Patent No. 4,459,505, 1975.
- [4] 김희준, “압전 트랜스포머를 이용한 전력변환기 회로”, Proceedings of KIEE, Vol. 45, No. 3, pp. 16-22, 1996.
- [5] H. Sasaki, "Development of high voltage DC power supply using piezoelectric transformer", NEC技術報告, Vol. 50, No. 10, pp. 80-83, 1997.
- [6] Inoue T, Yamamoto M, Kawashima S, and Hirose S, "Third Order Longitudinal Mode Piezoelectric Ceramic Transformer for High-Voltage Power Inverter", Transactions on Electronics, Vol. E81-C, No. 7, 1998.
- [7] Tagami S, Kawai J and Fukuoka A, Piezoelectric transformer having improved electrode arrangement, US Patent No. 5,402031, 1995.

이 종 필(Jong-Pil Lee)

[정회원]



- 1998년 8월 : 광운대학교 대학원
전기공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 광운대학교 대학원
전기공학과 (공학박사)
- 1994년 2월 ~ 현재 : 한국전기
학원 원장

<관심분야>
전기, 재료