The Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers. Vol. 10, No. 6, pp.562-569, 1997.

장방형 압전세라믹변압기의 전극형상이 전기적특성에 미치는 영향

10-6-7

Effect of Electrodes on the Electrical Properties of Piezoelectric Ceramic Transformer

정수태*, 최상수*, 조상희**
(Su-Tae Chung, Sang-Soo Chae and Sang-Hee Cho)

Abstract

The resonance characteristics on vibration mode of a transverse type ceramic resonator and the output voltage characteristics of a piezoelectric ceramic transformer are discussed in the effects of partial electrode arrangement (one sided, centered and both sided). A resonance characteristics of resonator depended strongly on both a vibration mode and a electrode structure because of a strain distribution. The maximum resonance current of a piezoelectric ceramic transformer [PCT] with partial centered electrode appeared in $\lambda/2$ mode, and that of a PCT with partial both sided electrode appeared in $3\lambda/2$ mode. But the maximum output voltage of those samples appeared in $\lambda/2$ mode. In the PCT with partial both sided electrode, the ratio of output voltage to input current was highest out of all samples and the poling voltage was a half times of Rosen type transformer.

key words(중요용어) : resonance characteristics(공진특성), piezoelectric ceramic transformer(압전세라믹변압기), vibration mode(진동모우드), partial electrode (부분전극)

1. 서 론

직류고전압발생소자로 알려진 압전세라믹변압기(압전변압기)는 구동부에 고유공진주파수의 전압을 인가하면 전왜-압전효과에 의해서 발전부에 높은 전압이 유기된다[1]. 압전변압기의 형태는 여러가지가 있으나 일반적으로 Rosen형이 실용적인 것으로 알려져 있고 이에 대한 원리 및 이론적인 연구 등이 다수 보고되었다[2-5]. 압전변압기는 진동자의 공진특성을 이용한 소자이다. 진동자의 고유공진주파수는 진동자 중의 음속을 c라 하고 길이가 L이면 $f_r = c/2L$이다. 진동자가 f_r로 공진할때는 반파장공진 또는 $\lambda/2$모우드공진, $2f_r$로 공진할때는 전파장공진 또는 λ모우드공진이라하고 $3f_r$로 공진할때는 $3\lambda/2$모우드공진이라 한다. 공진은 전극구조에 밀접한 관계가 있다. 즉 장방형 시료에서 부분전극의 경우 λ모우드공진이 없으며, 전극의 크기에 따라 $\lambda/2$모우드공진이 크기도 하고 $3\lambda/2$모우드공진이 크기도 하였다[6]. 또한 Rosen형 압전변압기소자에서는 $\lambda/2$, λ 및 $3\lambda/2$모우드에서 각각 공진이 존재한다. 따라서 전극구조와 공진형태는 매우 중요하다. 한편 Berkum[7]은 Rosen형 압전변압기에서 전극의 크기를 달리하였을 때 출력전압이 다른 것은 진동형태에 기인함을 보고하였다. 이것은 압전변압기의 전기적 특성은 공진소자의 진동모우드와 구동부 및 발전부의 전극형태에 밀접한 관계가 있음을 의미한다. 그러므로 압전변압기의 전극구조를 달리한 소자의 전기적 특성을 조사할 필요가 있다. 본 논문에서는 여러 가지 전극형태를 갖는 장방형 압전세라믹의 진동모우드와 공진특성의 관계를 정성적, 정량적으로 규명하고자 하였으며, 전극구조에 따른 압전변압기소자들의 출력전압특성을 비교 검토하였다.

* : 부경대학교 전자공학과
** : 경북대학교 무기재료공학과
접수일자 : 1997년 4월 7일
심사완료 : 1997년 7월 3일

2. 진동모우드와 응력분포

두께가 얇은 장방형 압전진동자를 구속하지 않고 자유진동을 시키면 고유공진주파수로 진동을 한다. 미소변위의 기울기를 나타내는 응력(strain) S는 다음과 같이 정의된다.

$$S=\frac{du}{dx}=A\ \sin(\frac{n\pi}{L}x) \tag{1}$$

여기서 u는 미소변위, A는 상수, x는 진동자의 길이를 나타낸다. 그리고 n=1이면 $\lambda/2$모우드, n=2이면 λ모우드 또 n=3이면 $3\lambda/2$모우드에서의 응력을 나타낸다.

한편 장방형 압전진동자에 유입되는 입력전류는 압전기본식으로부터 쉽게 유도된다[8]. 그 결과식은 다음과 같다.

$$I=j\omega\int \varepsilon E_1 w\ dx+j\omega\int \frac{d_{31}}{s_{11}^E} S_1 w\ dx \tag{2}$$

식(2)에서 ω:각주파수, ε:유전율, d_{31}, s_{11}^E:압전상수, w:시편의 폭, E_1:인가전계, S_1:응력을 각각 나타낸다. 첫째 항은 시편의 정전용량에 기인하는 제동전류이며, 둘째 항은 시편의 기계적 진동에 기인하는 공진전류이다. 공진전류를 I_p라 하고 S_1대신에 식(1)을 대입하여 정리하면 다음과 같다. 단 압전상수는 일정하다고 가정한다.

$$I_p=j\omega\frac{d_{31}}{s_{11}^E} S_1 wA\ U(x) \tag{3}$$

$$U(x)=\int \sin(\frac{n\pi}{L}x)\ dx \tag{4}$$

여기서 응력의 적분값 즉 진동자의 변위 U(x)는 식(1)에서 A=1일 때 진동자의 변위에 해당된다. 식(3)에서 공진전류는 압전진동자의 압전정수 뿐만 아니라 응력의 적분값(U항)에 의존함을 나타낸다. 한편 강한 전장으로 분극처리가 된 압전진동자에서 진동자에 인가되는 응력의 극성이 분극처리방향과 일치할 때는 진동을 증가시키고 반대일 때는 진동을 감쇄시킨다[9]. 그러므로 진동자의 변위량은 전극이 있는 구간만 적분한 후에 이 적분한 값이 진동을 증가시키면 더하고, 감쇄시키면 빼면 된다. 따라서 전극구조가 다른 압전진동자에 대하여 진동모우드에 따른 공진자의 변위량 U를 정량적으로 비교하면 다음과 같다.

2.1. 전면전극

그림1(a)는 전면전극에 대한 각 진동모우드를 나타낸 것이다. $\lambda/2$모우드(n=1)의 주파수를 갖는 전압을 인가하면 압전체의 전부분에 걸쳐 응력 S는 진동을 증가시킨다. 식(3)에서 n=1일 때 응력 S를 전구간에 걸쳐 적분하면 다음과 같다.

$$U_{11}=\int_0^L \sin(\frac{\pi}{L}x)\ dx=\frac{2L}{\pi} \tag{5}$$

λ모우드(n=2)일 때 응력 S는 압전체 길이의 반은 진동을 증가시키고 나머지 반은 진동을 감소시킨다. 따라서 서로 응력이 상쇄되므로 진동은 일어나지 않는다.

$3\lambda/2$모우드(n=3)일 때 압전체는 3부분으로 나누어져 응력이 발생한다. 첫 번째와 마지막 부분은 진동을 증가시키고, 중앙부분은 진동을 감소시키므로 압전체는 1/3만큼 진동이 일어난다.

$$U_{13}=\int_0^{L/3} \sin(\frac{3\pi}{L}x)\ dx=\frac{2L}{3\pi} \tag{6}$$

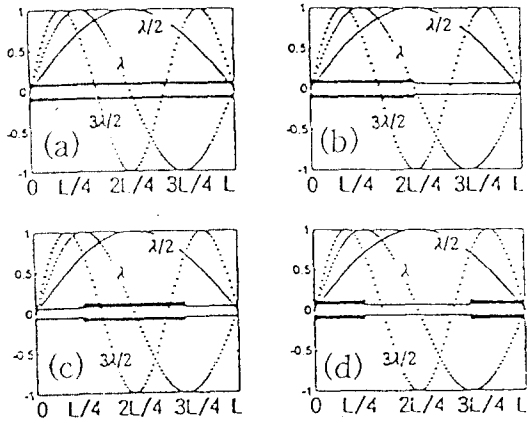

그림 1. 전극구조와 응력분포.
(a)전면전극, (b)반쪽전극,
(c)중앙전극, (d)양쪽전극

Fig. 1. Electrode structure and strain.
(a)full size, (b)one sided,
(c)centered, (d)both sided

2.2. 부분전극

그림1(b)는 압전체의 반쪽 전극에 대한 각 진동모우드를 나타낸 것이다. $\lambda/2$모우드에서 압전체의 전극이 있는 1/2만이 진동을 한다. 위와 동일한 방법으로 계산하면 $U_{21}=L/\pi$이다. λ모우드일 때는 반쪽전극이 있는 부분만 진동을 일으키므로 $\lambda/2$모우드와 같이 $U_{22}=L/\pi$이다. $3\lambda/2$모우드일 때 응력은 0에서 L/3부분은 진동을 증가시키지만 L/3에서

L/2부분은 진동을 감쇄시킨다. 따라서 그 값은 $U_{23}=L/3\pi$ 이다.

그림1(c)는 부분전극을 중앙에 만든 시료의 각 진동모우드를 나타낸 것이다. $\lambda/2$모우드에서의 변위량은 L/4에서 3L/4구간을 적분한 량과 같고 그 크기는 $U_{31}=\sqrt{2}L/\pi$ 이다. λ모우드에서는 L/4에서 L/2구간은 진동을 증가시키고 L/2에서 3L/4구간은 진동을 감쇄시키므로 전체로서는 진동이 일어나지 않는다. $3\lambda/2$모우드에서는 L/4에서 L/3구간과 2L/3에서 3L/4구간은 진동을 증가시키고, L/3에서 2L/3구간은 진동을 감쇄시키므로 $U_{33}=\sqrt{2}L/3\pi$ 이다.

그림1(d)는 양단에 1/4크기의 전극에 대한 진동모우드를 나타낸 것이다. $\lambda/2$모우드에서는 0에서 L/4구간과 3L/4에서 L구간만이 진동을 증가시키므로 $U_{41}=0.414L/\pi$ 이다. λ모우드에서는 0에서 L/4구간은 진동을 증가시키고, 3L/4에서 L구간은 진동을 감쇄시키므로 서로 상쇄되어 진동이 일어나지 않는다. $3\lambda/2$모우드에서는 0에서 L/4구간과 3L/4에서 L구간이 진동을 증가시키므로 그 진동이 2배가 되어 $U_{43}=1.138L/\pi$ 이다.

이상의 결과로 부터 전면전극에서 기본공진인 $\lambda/2$모우드의 변위량의 크기를 1로하여 규격화시키면 표1과 같다. 표1에서 전극의 형태가 압전체의 한쪽만 있는 경우는 모든 진동모우드에서 공진이 일어나지만, 그 외는 λ모우드에서의 공진이 없음을 나타낸다.

표 1. 전극형태와 진동모우드에 대한 규격화시킨 변위량

Table 1. Normalized value of displacement on the electrode forms and vibration modes.

electrode forms		vibration modes		
		$\lambda/2$	λ	$3\lambda/2$
full size		1	0	0.333
partial size(1/2)	one sided	0.5	0.5	0.167
	centered	0.707	0	0.235
	both sided	0.207	0	0.569

3. 실 험

압전공진자의 전극형상에 대한 전기적특성을 조사하기 위하여 0.1Pb(Mg,Te,Mn,Nb)O_3 - 0.9Pb(Zr,Ti)O_3계 압전세라믹스의 시료를 사용하였으며, 이 시료에 대한 제조공정은 본 저자의 논문에 있다[10]. 본 실험에서 사용되는 시편은 2종류인데, (1) 공진자의 진동특성을 검토하는 시편과 (2)압전변압기의 전기적특성을 조사하는 시편으로 나누어 진다. 그리고 시편의 전극은 은전극으로 하였고, 전기적접촉을 양호하게 하기 위하여 리드선에 납땜처리를 하였다.

(1). 압전공진자는 20x5x1mm^{3}의 크기를 갖는 장방형구조의 시편에 전면전극과 시료의 1/2을 부분전극으로한 반쪽, 중앙 및 양쪽대칭인 4종류의 소자로 만들었다. 100℃의 실리콘 오일속에서 25 [kV/cm]의 전장으로 분극처리를 하였으며, 이 시편을 24시간 이상 공기중에서 방치 후 LCZ메터(HP4277A)를 이용하여 주파수에 대한 임피이던스값을 측정하고 이로부터 공진 및 반공진주파수, 공진저항 및 유전률 등을 구하였다. 또한 측정자료로부터 어드미탄스원선도를 작성하였다. 그리고 시편의 실효 전기기계결합계수, k는 다음 식으로 계산하였다. 여기서 ω_r 및 ω_a는 공진 및 반공진시의 각주파수이다.

$$\frac{k^2}{1-k^2}=\frac{\pi}{2}\frac{\omega_a}{\omega_r}\tan\left(\frac{\pi}{2}\frac{\omega_a-\omega_r}{\omega_r}\right) \qquad (7)$$

(2). 압전변압기소자는 20x5x1mm^{3}의 크기를 갖는 세라믹에 전술한 바와 같은 전극구조를 구동부로 하고, 발전부에 해당하는 부분에 전극을 설치후 분극처리(20 kV/cm)를 하였다(그림 7,8,9참조). 그림2는 압전변압기의 전기적 특성을 측정하는 회로이다. 입력전원은 함수발생기를 사용하였으며, 출력전압은 2배전압 정류회로를 구성하였다. 공진특성은 X-Y기록계를 사용하여 측정하였으며, 입력전압 또는 입력전류에 대한 출력전압은 부하저항과 입력전압을 각각 실험에 적합한 값으로 유지하고, 공진주파수에서 출력전압의 값을 측정하였다.

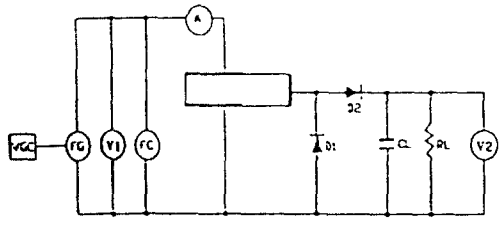

그림 2. 정류회로를 포함한 압전변압기의 측정회로.

Fig. 2. Measuring circuits of piezoelectric transformer with rectifying circuit.

4. 결과 및 고찰

4.1 어드미탄스원과 압전정수

진동자의 전기적-기계적 특성은 어드미탄스 원선도에서 얻어진다. 어드미탄스 원선도는 주파수의 변화에 대한 진동자의 공진특성을 가장 잘 나타내는 선도이며, 진동자의 전기적-기계적 진동특성을 쉽게 비교할 수 있다[11]. 즉 원의 크기는 진동자의 진동이 큼을 의미하고, 원의 수는 공진점의 수를 나타낸다. 그림3은 전극구조를 달리한 장방형시편의 공진특성으로부터 어드미탄스 원선도를 작성한 것이다.

그림3(a)는 전면전극시료(그림1(a)의 구조)의 원선도를 나타낸 것으로 공진이 $\lambda/2$와 $3\lambda/2$모우드에서 존재하고, $\lambda/2$모우드에서 가장 큰 진동이 일어남을 보였다. 그림3(b)는 반쪽전극시료(그림1(b)의 구조)의 원선도를 나타낸 것으로 공진이 $\lambda/2$, λ, $3\lambda/2$모우드에서 모두 존재하고, λ모우드에서 가장 큰 진동이 일어남을 보였다. 그림3(c)는 중앙전극시료(그림1(c)의 구조)의 원선도를 나타낸 것으로 공진이 $\lambda/2$, $3\lambda/2$모우드에서 존재하고, $\lambda/2$모우드에서 가장 큰 진동이 일어남을 보였다. 그림3(d)는 양쪽전극시료(그림1(d)의 구조)의 원선도를 나타낸 것으로 공진이 $\lambda/2$, $3\lambda/2$모우드에서 존재하고, $3\lambda/2$모우드에서 가장 큰 진동이 일어남을 보였다.

이상과 같이 실제 장방형진동자의 진동특성은 2절에서 기술한 진동모우드와 응력분포의 이론적인 해석과 잘 부합함을 알 수 있다(표1참조). 즉 반쪽전극시료를 제외한 모든 시료에서 λ모우드의 공진이 발생하지 않는 것은 응력이 대칭적(+ 또는 -)이면 진동이 서로 상쇄되어 공진이 일어나지 않기 때문이다. 예를 들면[12] 전극의 크기를 양단에서 1/6만큼씩 줄이면 $3\lambda/2$모우드의 진동을 없앨 수 있다. 그러므로 공진모우드와 전극의 크기를 임의로 조절함에 의하여 특정한 진동모우드를 감쇄시킬 수 있다.

표2는 각종 전극구조를 갖는 시료의 전기기계결합계수, k를 계산하여 나타낸 것이다. 표2에서 전기기계결합계수, k는 전극구조와 진동모우드에 따라서 다름을 나타내었다. 일반적으로 에너지 변환정도를 나타내는 전기기계결합계수는 전극의 형태에 관계없이 압전체의 면적만 일정하면 동일할 것으로 생각되었으나, 예상과는 달리 전극구조와 진

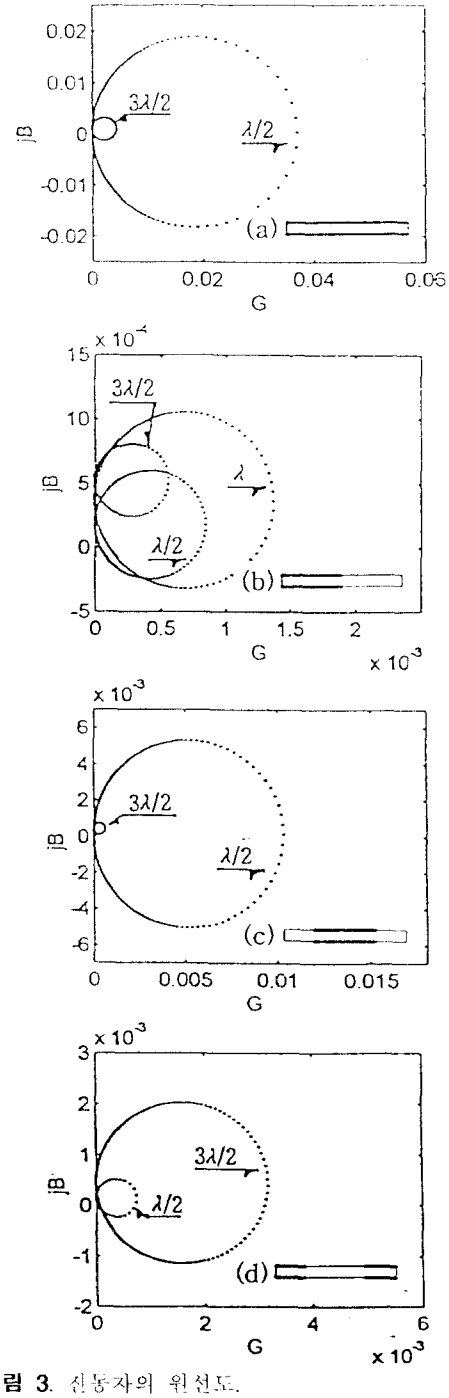

그림 3. 진동자의 원선도.
(a)전면전극, (b)반쪽전극,
(c)중앙전극, (d)양쪽전극

Fig. 3. Polar diagrams of vibrators.
(a)full size, (b)one sided,
(c)centered, (d)both sided

동모우드에 따라서 다름을 나타내었다. 그리고 그 크기가 표1의 변위량과 밀접한 관계가 있음을 나타낸다. 예를 들면 압전체의 중앙에 부분전극을 한 경우 각 진동모우드에서의 k값은 규격화시킨 값을 전면전극의 0.30에 곱하면 비슷한 값을 얻을 수 있다. 그러므로 분극처리된 압전체에 인가되는 응력은 진동을 일으키고, 이 진동력이 전기적에너지를 기계적인 에너지로 변환하는 효율 즉 전기기계결합계수와 비례적인 관계가 있음을 알 수 있다.

표 2. 전극형태와 진동모우드에 대한 전기기계 결합계수

Table 2. Electromechanical coupling factors, k on the electrode forms and vibration modes.

electrode forms		vibration modes		
		$\lambda/2$	λ	$3\lambda/2$
full size		0.30	0	0.08
partial size(1/2)	one sided	0.12	0.11	0.05
	centered	0.21	0	0.06
	both sided	0.09	0	0.13

이상의 결과로부터 공진자의 진동특성은 전극의 구조와 진동모우드에 따라서 다르며, 이러한 결과는 응력분포을 이용하여 유추할 수 있다. 특히 부분전극의 경우 중앙에 전극을 설치한 시료는 $\lambda/2$ 모우드의 진동이 큰 반면에 양쪽 편에 설치한 시료는 $3\lambda/2$모우드의 진동이 큼을 보였다.

4.2. 압전변압기의 전기적 특성

압전변압기는 입력부의 구동력이 출력부에 전달되고, 이 힘이 출력부의 압전효과로 인하여 출력전압이 유기된다. 그러므로 전술한 공진자의 원선도와 같이 진동이 일어나는 공진모우드에 해당하는 주파수의 범위에서 출력전압이 유기되므로 전극형태와 진동모우드에 대한 전기적 특성은 매우 중요하다.

그림4는 반쪽전극소자(PCT1)의 주파수에 대한 입력전류와 출력전압을 나타낸 것이다. 반쪽전극시료의 공진특성(그림3(b))과 같이 $\lambda/2$, λ, $3\lambda/2$모우드에 해당하는 주파수에서 출력전압이 유기되었으며, 전파장에 해당하는 λ모우드에서 가장 큰 출력전압이 유기되었다. 이러한 결과는 Rosen형 압전변압기의 전형적인 주파수특성과 같다[13].

그림5는 중앙전극소자(PCT2)의 주파수에 대한 입력전류와 출력전압을 나타낸 것이다. 중앙전극시료의 공진특성(그림3(c))과 같이 $\lambda/2$와 $3\lambda/2$모우드에 해당하는 주파수에서 출력전압이 유기되었으며, 반파장에 해당하는 $\lambda/2$모우드에서 큰 출력전압이 유기되었다.

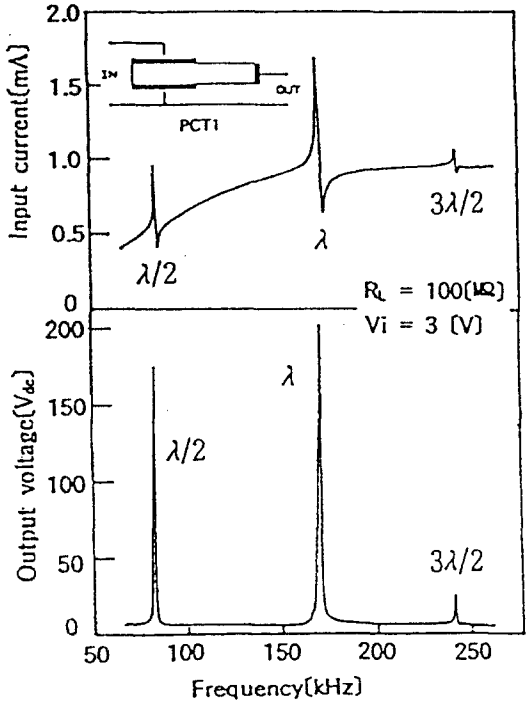

그림 4. PCT1 의 공진특성

Fig. 4. Resonance characteristics of PCT1 device

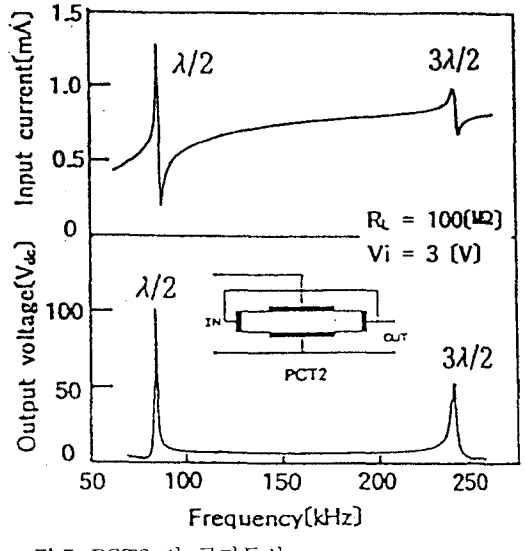

그림 5. PCT2 의 공진특성

Fig. 5. Resonance characteristics of PCT2 device

그림6은 양쪽전극소자(PCT3)의 주파수에 대한 입력전류와 출력전압을 나타낸 것이다. 양쪽전극 시료의 공진특성(그림3(d))과 같이 $\lambda/2$와 $3\lambda/2$모우드에 해당하는 주파수에서 출력전압이 유기되었다. 그러나 $3\lambda/2$모우드의 공진전류가 $\lambda/2$모우드의 공진전류보다 매우 큼에도 불구하고 공진전류가 적은 $\lambda/2$모우드에서 큰 출력전압이 유기되었다. 일반적으로 공진전류가 크면 공진자의 구동력이 크기 때문에 출력전압이 크게 유기될 것으로 생각되며, 이러한 생각은 PCT1 및 PCT2 소자에 그대로 적용된다. 그러나 PCT3의 경우에는 오히려 반대현상이 나타났다. 이 이유는 좀 더 관심을 가지고 규명해야 될 사항이다.

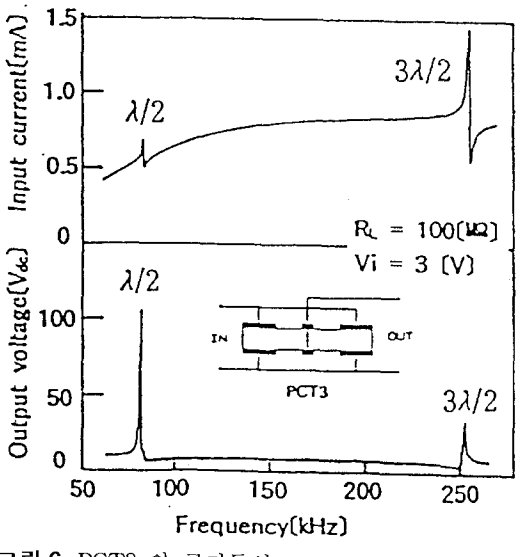

그림 6. PCT3 의 공진특성

Fig. 6. Resonance characteristics of PCT3 device

전극구조에 따른 압전변압기의 출력전압은 공진모우드에 따라서 제각기 다름을 보였다. 그러므로 각시료의 출력전압이 최대가 되는 공진모우드에서 출력전압특성을 비교하여야 한다. 즉 PCT1소자는 λ모우드, PCT2와 PCT3소자는 $\lambda/2$모우드에서 동작시켜 입출력특성을 검토하였다.

그림 7은 각 소자에 있어서 입력전압에 대한 출력전압을 나타낸 것이다. PCT1소자는 가장 높은 출력전압을 나타내었으며, 출력전압이 약 250[V]이상에서는 그 증가가 둔화되었다. PCT2 및 PCT3 소자는 출력전압이 비슷하였고, 입력전압의 증가에 대하여 거의 선형적으로 증가함을 보였다. 그리고 입력전압이 약 3[V]까지는 PCT1소자의 출력전압은 PCT2 및 PCT3소자보다 약 2배 정도 높았다. 이것은 PCT1소자가 PCT2 및 PCT3 보다 발전부의 길이가 2배정도 길므로서 압전변압기의 출력전압이 발전부의 길이에 비례한다는 要 祐[14]의 보고와 일치하고 있다.

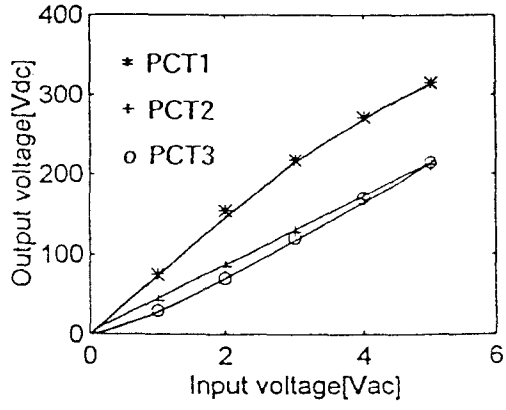

그림 7. 압전변압기의 입력전압에 대한 출력전압

Fig. 7. Input voltage vs output voltage of piezoelectric ceramic transformer.

그리고 압전변압기는 낮은 입력전압에 대하여 높은 출력전압을 가짐이 좋고, 구동전류는 적음이 좋다. 입력전압에 대한 출력전압이 큰 것이 좋은가? 입력전류에 대한 출력전압이 큰 것이 좋은가?를 단순히 비교하기에는 무리가 있으나 압전변압기를 구동하는 회로의 설계에서는 입력전류가 적은 쪽이 다소 유리하다. 왜냐하면 높은 출력전압은 출력측의 정류회로를 4배 또는 6배 등 그 배수를 늘리면 쉽게 얻을 수 있기 때문이다. 그림8은 전극형태에 따른 입력전류에 대한 출력전압을 나타낸 것이다. 그림에서 PCT3소자는 작은 입력전류에도 출력전압이 높았으나, PCT2소자는 큰 입력전류에도 출력전압이 낮음을 보였다. 즉 출력전압이 200[V]일 때 PCT2소자의 입력전류가 약 3.3[mA], PCT3소자는 약 1.2[mA]로써 그 비가 약 2.5배나 되었다. 이러한 이유는 그림6의 공진곡선에서 적은 공진전류에서 큰 출력전압이 유기되었기 때문이다. 그러므로 PCT3소자는 다른 전극구조를 갖는 시료에 비하여 작은 입력전류에도 높은 출력전압을 유기하였다.

한편 압전변압기를 제작할 때의 문제점을 고려해보자. 승압비(출력전압/입력전압)가 높은 PCT1 소자는 발전부의 길이가 길기 때문에 분극처리전압이 높으므로 이로 인한 소자의 절연파괴의 확률이 클 뿐만 아니라 고전압으로 인한 감전의 위험도 따른다. 그러나 PCT3소자는 발전부의 길이가

PCT1소자에 비하여 1/2 밖에 되지 않으므로 분극처리를 할 때에 소자에 인가되는 전압은 1/2의 크기이면 된다. 따라서 PCT3소자는 분극처리전압이 Rosen형 구조인 PCT1소자의 1/2에서도 충분하고, 다른 구조의 소자에 비하여 작은 입력전류로 큰 출력전압이 발생하므로 압전변압기의 실용화에 있어서 매우 유리하다고 생각된다.

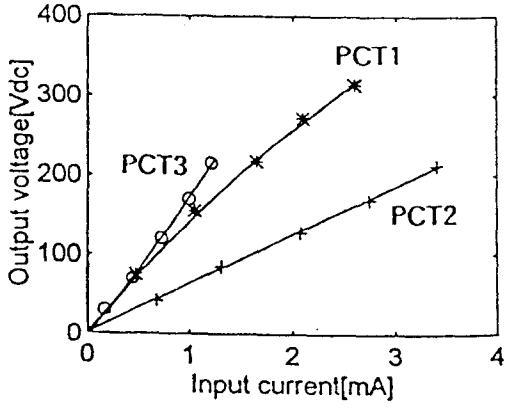

그림 8. 압전변압기의 입력전류에 대한 출력전압

Fig. 8. Input current vs output voltage of piezoelectric ceramic transformer.

5. 결 론

여러 가지 전극형태를 갖는 장방형 압전세라믹 진동자의 진동모우드에 대한 공진특성과 전극구조에 따른 압전변압기의 출력전압특성을 비교 검토하였다.

1. 공진자의 진동특성은 전극의 구조와 진동모우드에 따라서 다르며, 이러한 결과는 응력분포로서 유추할 수 있다. 특히 부분전극의 경우 중앙에 전극을 설치한 시료에서는 $\lambda/2$모우드의 진동이 큰 반면에 양쪽 편에 전극을 설치한 시료에서는 $3\lambda/2$모우드의 진동이 크게 일어났다.
2. 한쪽편 전극(PCT1)이나 중앙전극(PCT2)을 갖는 압전변압기에서는 공진전류가 큰 진동모우드에서 높은 전압이 유기되었으나, 양쪽대칭전극(PCT3)을 갖는 압전변압기에서는 오히려 공진전류가 적은 $\lambda/2$모우드에서 높은 전압이 유기되었다.
3. 양쪽대칭전극을 갖는 압전변압기(PCT3)는 분극처리전압을 Rosen형 구조에 비하여 분극처리전압이 1/2에서도 충분하고, 적은 입력전류에 대하여 비교적 높은 출력전압이 유기되므로 압전변압기의 실용화에 유리한 구조이다.

* **감사의 글**

이 논문은 1996년도 교육부 신소재분야 연구비 지원으로 이루어 진 것으로서 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. H. W. Katz; Solid State Magnetic and Dielectric Devices, New York, John Wiley & Sons, INC., pp. 170-197, 1959.
2. 電子材料工業會, 壓電セラミックスとその應用, 東京, 電波新聞社, pp. 159-175, 1974.
3. 一ノ瀨 昇, 横山 勝德 ; "壓電トランスとその應用 ", エレクトロニク セラミックス ,72年 12. pp.28-34, 1972.
4. 박순태, 정수태, 이종헌; "PZT계 압전변압기의 공진특성과 전기적성질", 전기전자재료학회지, 8권 1호, pp.27-34, 1995.
5. 和田利彦, 萩原述史, 三枝武男, "磁器變壓器の基礎特性の三領域表現法とひずみ波驅動", 電氣學會論文誌 A, Vol.104(4), pp.7-14, 1984.
6. 永井健三, 近野 正 ; 電子回路素子としての電氣 機械振動子とその應用, 東京, コロナ社, pp.204-205, 1974.
7. P.A. van Berkum and J.C. Sinclair ; "High Voltage Ceramic Transformers", IRE Trans of BTR, Vol.8, No.1, pp.22-35, 1962.
8. 池田拓郎 ; 壓電材料學の基礎, 東京, オーム社, pp.59-62, 1984.
9. H. W. Katz; Solid State Magnetic and Dielectric Devices, New York, John Wiley & Sons, INC., pp. 227-228, 1959.
10. 정수태, 조상희 "저온에서 소결한 Pb(Mg,Te,Mn,Nb)O_3 - Pb(Zr,Ti)O_3 세라믹스의 전기적 특성", 전기전자재료학회지, Vol.9, No. 7, pp.652-659, 1996.
11. 池田拓郎 ; 壓電材料學の基礎, 東京, オーム社, pp.99 - 110, 1984.
12. 電子材料工業會, 壓電セラミックスとその應用, 東京, 電波新聞社, pp. 239-240, 1974.
13. 小玉裕二郎 "壓電トランスの特性と應用", エレクトロニク セラミックス ,71年 7. pp.73-77,

1971.
14. 要 祐一,伊勢悠紀彦, "壓電セラミックトランス用素子の一考察", 日本音響學會誌, Vol. 32, No.8, pp.470 479, 1976.

저자소개

정수태

1949년 3월 3일생. 1973년 2월 동아대학교 전자공학과 졸업. 1978년 2월 동아대학교 대학원 전자공학과(석사). 1985년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(박사). 1988년 일본방위대학교 Post Doc. 현재 부경대학교 전자공학과 교수

최상수

1960년 4월 29일생. 1984년 2월 동아대학교 전자공학과 졸업. 현재 동명정보공업고등학교 정보전자과 교사. 부경대학교 산업대학원 전자공학과 석사과정

조상희

1965년 한양대 화공과 졸업. 1975년 일본 KEIO대 대학원 응용화학과 (석사). 1978년 일본 KEIO대 대학원 응용화학과 (박사). 현재 경북대학교 공대 무기재료공학과 교수 및 한국과학재단지정 재료정보센터 소장