

# 압전 단결정을 이용한 압전변압기의 특성해석

황 성 필\*, 고 영 인\*, 김 무 준\*\*, 하 강 열\*\*  
\*부경대학교 대학원 음향진동공학과, \*\*부경대학교 물리학과

## Characteristics Analysis of Piezoelectric Transformer using Piezoelectric Single Crystal

Sung-Phil Hwang\*, Young-In Ko\*, Moo-Joon Kim\*\*, Kang-Lyeol Ha\*\*

\*Dept. of Acous. & Vib. Eng. in Pukyong National University.

\*\*Dept. of Phys. in Pukyong National University.

(E-mail: sweetheart94@hanmail.net)

### 요 약

Rosen형 또는 적층 Rosen형과 같은 압전세라믹 변압기는 고전압, 고효율의 출력특성과 소형이라는 장점을 가지는 반면에, 온도에 따른 압전 특성의 변화가 심하다는 단점을 가진다. 이러한 이유로 압전 단결정과 같은 온도특성이 안정적인 재료를 이용한 변압기의 개발이 진행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 온도계수가 낮은  $LiTaO_3$  단결정( $X-112^\circ Y$ )을 이용한 압전변압기를 제작 그 특성을 시뮬레이션 및 실험으로 해석하였다.

### 1. 서 론

압전단결정은 일반적으로 작은 유전손실, 높은 품질계수 그리고 낮은 온도계수 등의 장점으로 인해 압전 변압기의 재료로 많이 연구되고 있다. 특히, 압전변압기는 장시간의 사용이 요구되므로 압전체의 온도에 따른 특성변화가 매우 큰 문제로 제기되고 있다. 또한 압전 단결정의 경우, 그 종류 및 결정축의 방향에 따라 온도계수 및 결합계수가 많은 차이를 보이므로 재료의 선택에 있어 많은 요소들을 고려해야 한다.

본 연구에서는 온도변화에 따른 안정된 동작을 목적으로 18ppm/°C의 낮은 온도계수[1]를 갖는  $LiTaO_3$  단결정( $X-112^\circ Y$ )을 선택하여 압전변압기를 제작, 그 특

성을 시뮬레이션 및 실험으로 해석하였다.

### 2. 시뮬레이션과 실험

$LiTaO_3$  단결정( $X-112^\circ Y$ )은 낮은 온도계수를 가지지만, 변환효율이 작은 단점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 횡진동 모드에 있어 길이방향의 기본 공진주파수의 배수의 주파수와 폭방향의 기본공진주파수를 결합하는 Rame-Mode[2]를 사용하여 변환효율을 향상시키는 방법을 이용하였다.

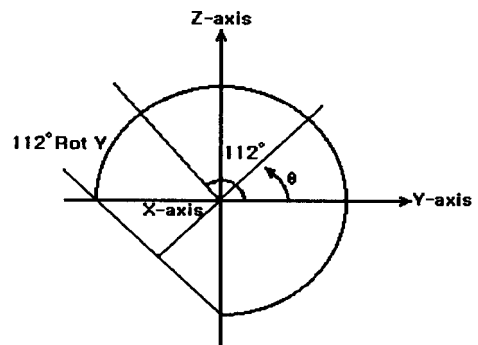


Fig 1.  $X-112^\circ Y$   $LiTaO_3$  single crystal.

그림-1은 Y축으로  $112^\circ$  회전하여 X축에 수직하게 커팅 된  $LiTaO_3$  단결정( $X-112^\circ Y$ )원판을 나타내고 있다.  $LiTaO_3$  단결정은 절단 각  $\theta$ 에 따라 콤플라이언

스의 값이 달라지므로 절단 각에 따른 컴플라이언스 값을 계산해야 한다. 그림-1과 같이  $Y'$ 축에 대하여 절단 각  $\theta$ 를  $0^\circ$ 에서  $180^\circ$ 까지 변화시킬 때,  $s_{11}^E$ 과  $s_{22}^E$ 의 값은 그림-2와 같이 계산되었다.

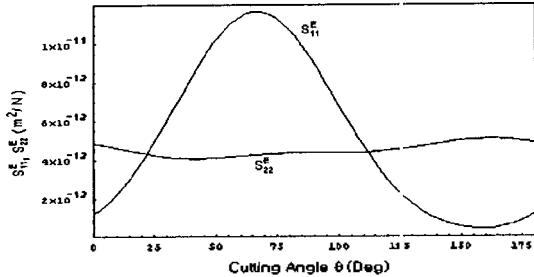


Fig 2. Change of  $s_{11}^E$  and  $s_{22}^E$  by angle  $\theta$ .

계산 결과로부터  $s_{11}^E$ 과  $s_{22}^E$ 는 절단 각  $\theta$ 가  $21.6^\circ$  또는  $111.6^\circ$ 에서 일치함을 알 수 있고, 이것은 곧  $s_{11}^E$ 방향과  $s_{22}^E$ 방향의 음속이 같다는 것을 의미한다.

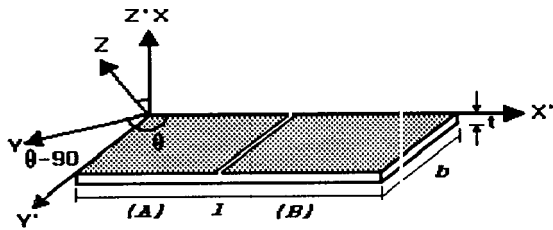


Fig 3. Construction of piezoelectric transformer made of  $LiTaO_3$  single crystal.

그림-3은  $LiTaO_3$  단결정 원판을  $\theta = 111.6^\circ$ 에서 길이  $l$ 과 폭  $b$ 의 비가 두 배 ( $l=2b$ )가 되도록 잘라 제작한 압전변압기의 구조를 나타내고 있다. 이때  $s_{11}^E$ 과  $s_{22}^E$ 의 방향은 각각  $X'$ 과  $Y'$ 이며,  $Z'$ 에 수직한 면은 금으로 코팅한 전극면으로 한쪽 전극을 길이  $l$ 방향에 대하여  $l/2$  지점에서 전극 분할하였다. 그리고 표-1은 그림-3의  $LiTaO_3$  단결정 판의 물질상수 값이다.

Table 1. Material constants of piezoelectric transformer made of  $LiTaO_3$  single crystal plate.

Items	Values
Density $\times 10^3$ [ $kg/m^3$ ]	$\rho = 7.46$
Length [ $mm$ ]	$l = 20$
Width [ $mm$ ]	$b = 10$
Thickness [ $mm$ ]	$t = 0.4$

그림-3과 같이 제작된 압전변압기의 진동모드를 해석하기 위해  $X'$ 방향과  $Y'$ 방향에 대한 횡진동 모드를 PSpice 모델[3]을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

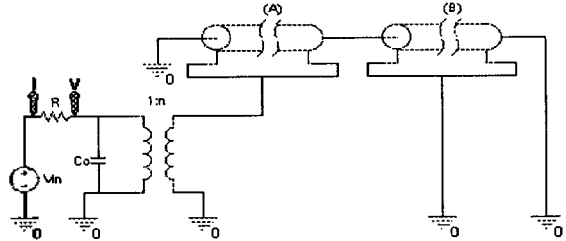


Fig 4. PSpice model of transverse vibration in  $X'$ axis.

그림-4는  $X'$ 방향으로 횡진동 하는  $LiTaO_3$  단결정의 PSpice 모델이다. 저항  $R$ 은 계측기의 내부저항을 나타내며, 두 개의 전송선로 (A), (B)는 각각  $X'$ 방향 ( $l$ )으로 전극분할된  $LiTaO_3$  단결정을 나타낸다. 그 이유는 전송선로 (A)는 시뮬레이션 시 입력전압에 의해 구동되는 반면 전송선로 (B)는 단락 되기 때문이다. 시뮬레이션 방법은 교류전원 1V를 구동전압으로 인가하고, 주파수를 100-350kHz까지 변화시키면서 계측기의 내부 저항  $R$ 에 걸리는 전류와 전압 비를 시뮬레이션 하였다.

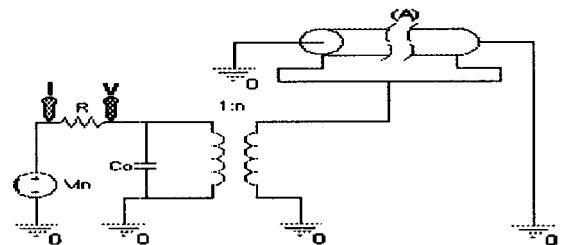


Fig 5. PSpice model of transverse vibration in  $Y'$ axis.

그림-5는  $Y'$  방향으로 횡진동 하는  $LiTaO_3$  단결정의 PSpice 모델이며, 시뮬레이션 방법은 그림-4와 동일하다.

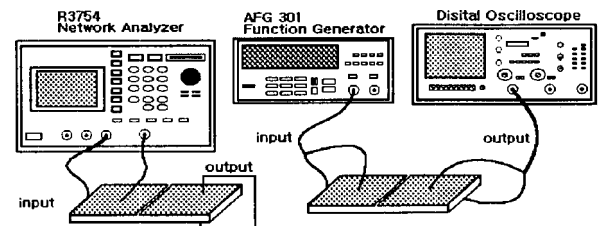


Fig 6. Experimental setup for measurements of electrical characteristics.

그림-6은  $LiTaO_3$  단결정( $X-112^\circ Y$ )을 이용한 압전변압기의 실험장치도를 나타내고 있다. R3754A Network Analyzer로 변압기의 어드미턴스를 측정하였다. 그리고 AFG 301 Function Generator에서  $1V_{0peak}$ 인 교류전원을 입력단에 인가하고, 주파수를 변화시키면서 출력단의 VC-6275 Digital Oscilloscope에 나타난 최대 출력전압과 그때의 주파수를 기록하였다.

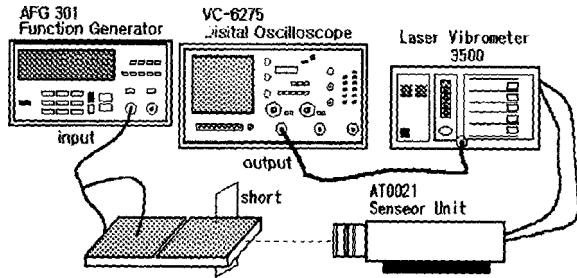


Fig 7. Experimental setup for measurement of vibration velocity.

압전변압기의 출력파워 특성을 측정하기 위해 본 연구에서는 그림-7에 나타낸 것과 같이 입력전압의 변화에 따른 출력부의 진동속도의 변화특성을 측정하였다. 진동속도의 측정위치는 폭의 정중앙을 선택하였다.

### 3. 결과

그림-4와 그림-5의 Pspice 모델을 사용한 시뮬레이션 결과를 그림-8과 그림-9에 각각 나타내었다. 이때 사용한 전송선로 모델은 기계적 손실을 고려하지 않았다.

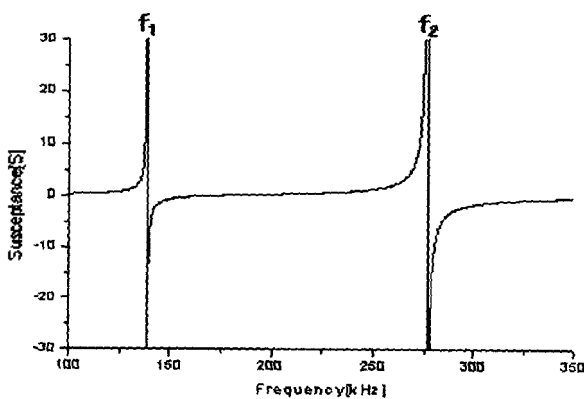


Fig 8. Admittance characteristics of Transverse mode in  $X'$ -axis.

그림-8의 결과를 보면  $X'$ 방향에 대한 횡진동의 기본공진주파수  $f_1$ 는 138.5kHz에서 나타났으며 기본공진주파수의 배수의 주파수  $f_2$ 는 276.7kHz에서 나타났다.

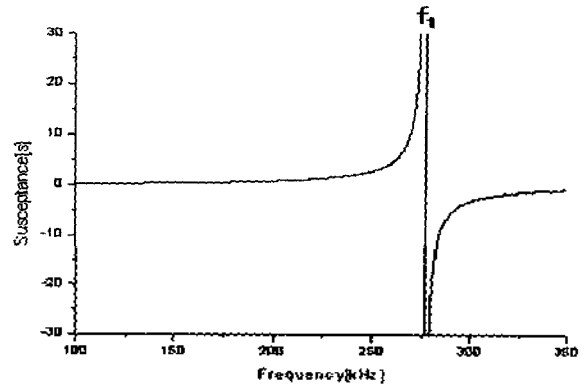


Fig 9. Admittance characteristics of Transverse mode in  $Y$ -axis.

그림-9의 결과를 보면  $Y$ 방향에 대한 횡진동의 기본공진주파수  $f_1$ 는 276.7kHz에서 나타났으며, 그림-7의  $X'$ 방향에 대한 횡진동의 기본공진주파수의 배수의 주파수와 일치하였다.

그림-8과 그림-9의 결과로부터  $s_{11}^E$ 과  $s_{22}^E$ 의 값이 일치하는 절단 각  $\theta$ 에서 길이  $l$ 과 폭  $b$ 의 비를 두 배로 절단 한  $LiTaO_3$  단결정은  $X'$ 방향에 대한 기본공진주파수의 배수의 주파수와  $Y$ 방향에 대한 기본공진주파수가 결합되는 것을 알 수 있었다.

그림-3에 나타낸 압전단결정 변압기의 전극 ( $B$ )을 단락 시킨 상태에서 전극 ( $A$ )에서 본 어드미턴스의 측정결과를 그림-10에 나타내었다. 이 결과를 보면 변압기의 기본공진주파수  $f_1$ 는 143.21kHz에서 나타났으며, 기본공진주파수의 배수의 주파수  $f_2$ 는 290.83kHz 부근에서 나타났다. 그리고 310kHz 부근에서 나타나는 공진모드는 길이방향의 진동모드에 있어서 전극분할 부분에 의한 공진모드의 분리에 의한 것으로 생각된다.

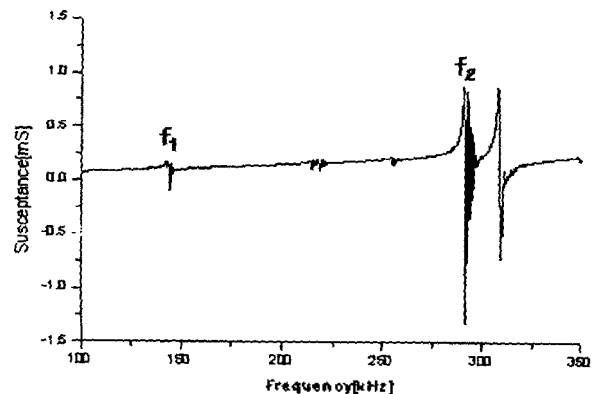


Fig 10. Experimental result of admittance characteristics.

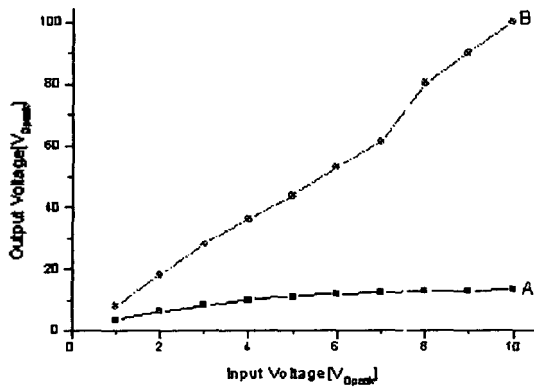


Fig 11. Output voltage characteristics.

그림-11은  $LiTaO_3$  단결정을 이용한 압전변압기에서 기본공진주파수(A)와 기본공진주파수의 배수의 주파수(B)에서 측정한 입력전압에 따른 출력전압을 나타내고 있다. 기본공진주파수(A)에서는 입력전압에 대한 최대 출력전압의 비는 3.4배이고 입력전압이 증가할수록 출력전압의 비는 감소하는 반면, 기본공진주파수의 배수의 주파수(B)에서는 입력전압에 대한 최소출력전압의 비가 1V일 때 8.4배이고, 입력전압에 대한 최대출력전압의 비가 10V일 때 10배로 나타났다.

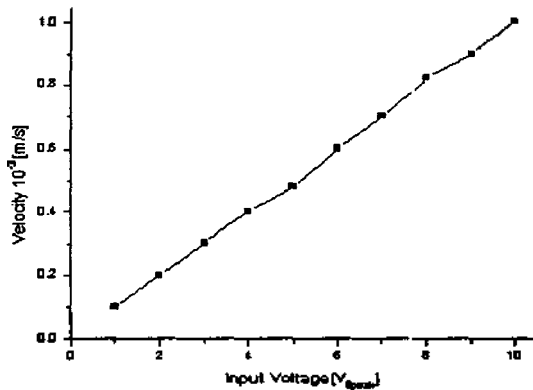


Fig 12. Change of vibrational velocity on output part of transformer.

입력전압에 따른 출력측의 진동속도 변화의 측정결과는 그림-12와 같다. 그림에서 입력전압에 대한 진동속도는 거의 일정하게 증가함을 알 수 있다. 즉 주어진 입력전압의 범위에 대해 출력단의 파형은 포화됨이 없이 일정하게 증가하는 값을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

온도계수가 낮은  $LiTaO_3$  단결정( $X-112^\circ Y$ )의 절단 각  $\theta$ 를 변화시키면서  $s_{11}^E$  과  $s_{22}^E$  의 값을 시뮬레이션

하여 그 값이 일치하는  $\theta = 111.6^\circ$ 에서 자른 단결정판을 이용하여 압전변압기를 제작하였다. 시뮬레이션과 실험결과로부터  $LiTaO_3$  단결정을 이용한 압전변압기는 X'방향에 대한 횡진동의 기본공진주파수의 배수의 주파수와 Y'방향에 대한 횡진동의 기본공진주파수가 결합된 290.83kHz에서 입력전압에 대한 출력전압이 최대가 됨을 알 수 있었다. 또한 입력전압에 대한 진동속도는 입력전압이 증가함에 따라 일정하게 증가하였다. 이상의 시뮬레이션과 실험결과로부터 온도계수가 낮은  $LiTaO_3$  단결정( $X-112^\circ Y$ )을 이용한 압전변압기의 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1]超音波便覽,超音波便覽編集委員會 編,丸善株式會社. pp.600-637.
- [2]K. Nakamura and T. Tsujimoto: "Lame-mode piezoelectric resonators using  $LiNbO_3$  crystals". Trans. IEICE(C-I), J78-C-I, No.11, pp.494-499, 1995.
- [3]W. M. Leach, Jr., "Controlled-source analogous circuits and SPICE models for piezoelectric transducers," Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr., vol. 41, pp. 60-66, Jan. 1994