

# PAN-PZT 압전변압기를 이용한 CCFL 구동용 인버터 설계

한재현, 임영철, 양승학\* 권기현\*\*

전남대학교 전기공학과, 호남대학교 전기공학과\*, 한국과학기술연구원\*\*

## Design of the inverter for driving CCFL using PAN-PZT piezoelectric transformer

Jae-Hyun Han, Young-Cheol Lim, Seung-Hak Yang\*, Gie-Hyoun Kweon\*\*

RRC & Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University

RRC & Dept. of Electrical Engineering, Honam University\*

Thin Film Tech. Research Center, Korea Institute of Science and Technology\*\*

**Abstract** - 액정표시장치(LCD; Liquid Crystal Display)는 표현된 정보를 가시화하기 위해 램프의 백라이트가 필수적인데 대부분 부피가 작고 효율과 휘도특성이 좋은 냉음극 방전램프가 사용된다. 램프는 고압으로 구동되며 높은 전압을 얻기 위해 일반적으로 권선 변압기를 사용한다. 그러나 권선 변압기의 경우 자체의 철심이나 권선의 손실로 인하여 출력 효율의 한계가 있으며, 고압을 위해 감긴 코일은 부피를 크게 하며 무겁게 만든다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 변압기 자체 손실을 줄이고 소형화가 가능하며 높은 승압비를 가진 PAN-PZT계의 적층형 압전 변압기를 제작하였으며, 회로의 손실을 줄이기 위한 영전압 스위칭(ZVS; Zero Voltage Switching)과 그리고 LCD패널과 인버터의 불필요한 간섭현상(EMI; Electro-Magnetic Interference)을 줄일 수 있으며 소형화가 가능한 풀브리지형 압전 인버터를 설계하였다.

은 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 PAN-PZT( $0.05\text{Pb}(\text{Al}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3-0.95\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3+\text{Nb}_2\text{O}_5+\text{MnO}_2$ )의 성분을 가진 장방향 Rosen-Type 적층형 압전 변압기를 제작하여 이를 이용한 냉음극 방전램프 구동용 압전 인버터를 제작하였다. 압전 변압기의 등가회로 모델링 방법으로는 진동자의 모델에 많이 이용되고 있는 어드미턴스 케적법을 사용하였고, 인버터 설계 시 전자회로 해석프로그램인 PSIM을 사용하여 압전 인버터 설계에 대한 검증을 하였다. 제작된 압전 인버터는 풀브리지 방식으로 ZVS를 함으로써 고 효율을 꾀하고 있으며, 압전 변압기의 사용으로 인버터와 LCD패널간의 불필요한 간섭현상(EMI)을 줄일 수 있다. 또한 직접구동방식(Direct Operating)으로 기존의 벌크형과 승압비가 낮은 압전 변압기에서 많이 사용하고 있는 보조권선에 의한 1차 승압부분을 제거하여 전체적인 인버터회로를 단순화하였으며 인버터 제작 시 소형화가 가능하다는 장점을 가지고 있다.

### 1. 서 론

최근 정보통신산업의 급속한 발전에 따라 전자부품의 고성능화, 초소형화, 초고주파 등이 절실히 요구된다. 대표적으로 LCD는 갈수록 두께는 얇아지고 화면은 커지고 있다. 때문에 수반되는 백라이트용 냉음극 방전램프 또한 길어지고 얇아지고 있으며 램프를 구동하는 인버터 또한 소형, 고효율이 요구되고 있다. 이러한 문제의 해결방안으로 기존의 인버터에 사용되는 권선 변압기를 압전 변압기로 대체하는 방법이 있다. 압전 변압기는 소형화와 고효율화가 가능하고, 높은 승압비와 불연성 등 많

### 2. 냉음극 방전램프

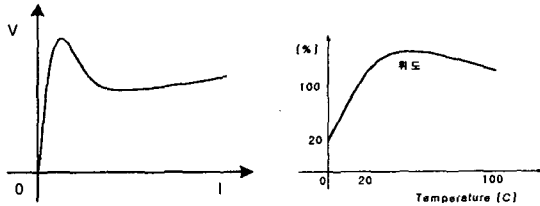
LCD 백라이트의 광원으로 사용되는 냉음극 방전램프는 고휘도, 고효율, 저소비 전력, 장수명, 저발열, 우수한 내구성, 우수한 점등 특성 등 매우 많은 장점들이 있어 각종 디스플레이의 백라이트, 이레이저, 스캐너, 계기류, 각종 조명, 장식용으로 사용되고있다<sup>[1]</sup>.

냉음극 방전램프는 필라멘트가 없어서 열전자를 방출하지 않으므로 방전(점등)이 시작될 때에는 높

은 입력전압을 필요로 하며 점등 중에는 구동 시의 1배 이하의 전압과 일정한 전류의 공급이 필수적인데 이는 점등의 유지와 깜박임 방지를 위함이다. 냉음극 방전램프의 초기점등 특성은 그림 1(a)와 같다.

그림 1(b)와 같이 램프의 전류와 휘도 특성은 전류가 120%정도까지는 휘도가 선형적으로 상승하나 그 이상에서는 방전램프 내부전류밀도 상승에 의해 온도가 상승하여 휘도는 더 이상 증가하지 않는다.

휘도와 주파수 특성은 인버터에서 출력되는 주파수에 따라 휘도가 변하게 되는데 이는 점등주파수가 방전등 내부의 전자의 운동량이나 자외선 발생 정도를 변화시키기 때문이다. 주파수가 높아짐에 따라 휘도 또한 증가하는데 어느 정도 이상에서는 포화되어 증가되지 않는다.



(a) 점등특성 (b) 휘도특성  
그림 1 냉음극 방전램프의 특성  
Fig. 1 Characteristics of the CCFL

### 3. 압전 변압기의 제작

세라믹스 물질은 유전성, 압전성, 초전성 등 세가지의 큰 특징을 가지고 있다. 그 중 압전성을 이용하여 만든 것이 압전 변압기이다<sup>[2]</sup>.

압전 변압기는 그림 2와 같은 공정에 의해 제작되었으며, PZT 계열의 PAN-PZT(0.05Pb(Al<sub>0.5</sub>Nb<sub>0.5</sub>)O<sub>3</sub>-0.95Pb(Zr<sub>0.52</sub>Ti<sub>0.48</sub>)O<sub>3</sub>+Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+MnO<sub>2</sub>) 조성을 사용하였다.

먼저 재료의 양을 계산(mole%)하고 1차 Ball milling에 들어간다. 이 때 플라스틱 Nalgen bottle에 파우더와 지루코니아볼 그리고 용매를 혼합하여 milling한다. milling 시간은 24시간하였으며, 각각의 비는 1/3을 기준으로 하였다. 그 후 용매와 함께 혼합 밀링 된 파우더를 5시간 이상 100℃로 건조한다.

다음으로 각각의 파우더를 합성하기 위한 하소(Calcination)작업을 850℃에서 2시간동안 실시하였으며 이 때의 승·하강 온도는 각각 5℃로 하였다. 하소가 끝난 후 2차 볼 밀링(Ball milling)을 수행하고 성형 후 시편의 바인더 탈지를 위해 600℃에서 열처리(Burn out)를 한다. 열처리가 완료된 시편에 그레인파 그레인 사이의 최적의 결합을 위한 공정으로 1200℃에서 한 시간 동안 소결을 한 후 가공을 한다. 마지막 작업으로 Poling(열처리가 된

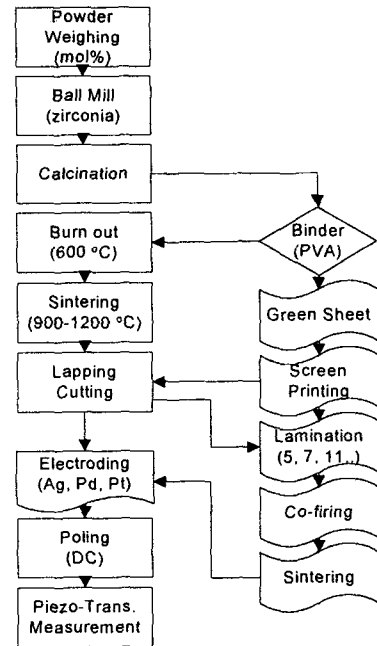


그림 2 적층형 압전 변압기의 제작 과정  
Fig. 2 Process of Manufacture Multilayer PT

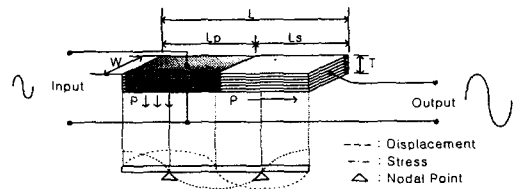


그림 3 제작된 적층형 압전 변압기의 구조  
Fig. 3 Structure of The Multilayer PT

시편 양단에 고전압을 걸어 줌으로써 역 압전 효과를 얻음)을 한다.

그림 3은 실제 제작된 적층형 압전 변압기의 구조이며, 11층의 적층형 압전 변압기는 길이(L)가 3.2mm, 폭(W) 8mm, 두께(T)가 1.5mm이다.

### 4. 압전 변압기의 특성 및 등가회로

#### 4.1 등가회로

압전 변압기의 해석 방법으로 여러 가지 모델이 제안되어 있으나 본 논문에서는 어드미턴스 케적법을 사용하였다.

어드미턴스 케적법을 통한 압전 변압기의 등가 방법은 그림 4와 같이 구할 수 있는데 입·출력 단을 교차적으로 단락 시킨 후 임피던스 분석기(HP4194A)로 각각의 변수 값을 얻는다.

그림 4에서 어드미턴스 Circle은 G(Susceptance) -B(Conductance)로 표현되며  $\omega_s$ 는  $2\pi f_s$ 로 구할 수 있으며  $f_{-45}, f_{+45}$ 는 G,B(0,0)지점에서 45°를 기준으로 나타낸 값을 말한다.<sup>[3]</sup>

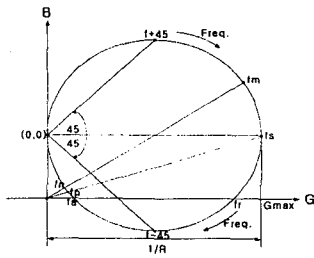
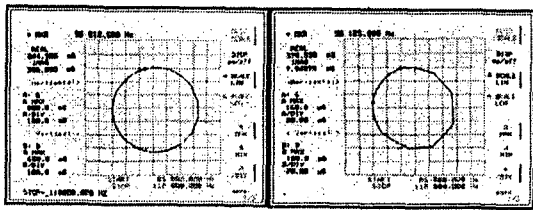


그림 4 어드미턴스 궤적법  
Fig. 4 Admittance-Circle Methode



(a) 입력측 (b) 출력측  
그림 5 압전 변압기의 입출력 어드미턴스 궤적도  
Fig. 5 Admittance-Circle of the PT

그림 5(a)와 5(b)는 압전 변압기의 입출력 어드미턴스 궤적으로 G-B성분이 정원에 가까울수록 정확성이 높아진다.

$$R = \frac{1}{B_{MAX}} \quad (1)$$

$$Cd1 = \frac{Bs}{\omega s} \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{2\pi R} \cdot \frac{f-45 - f+45}{f-45 \cdot f+45} \quad (3)$$

$$L = \frac{R}{2\pi} \cdot \frac{1}{f-45 - f+45} \quad (4)$$

식 (1) ~ 식 (4)는 압전 변압기의 등가화를 위한 수식으로 입출력 어드미턴스 궤적을 통해 측정된 값을 대입함으로써 그림 6과 같은 전기적인 등가회로를 얻을 수 있다.

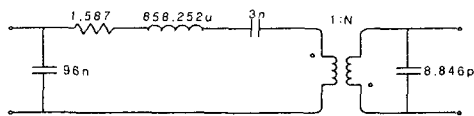


그림 6 압전 변압기의 등가회로  
Fig. 6 Equivalent Circuit of PT

#### 4.2 압전 변압기의 특성

압전 변압기의 전기적인 특성 분석을 위해 그림 6과 같이 임피던스 분석기(HP4194A, HP3577A)를 사용하였으며, 신호 증폭을 위해 전력증폭기(NF4025)를 사용하였다. 주파수에 따른 입·출력 전압, 전류 측정은 신호발생기(HP3245)를 사용하였다.<sup>[4]</sup>

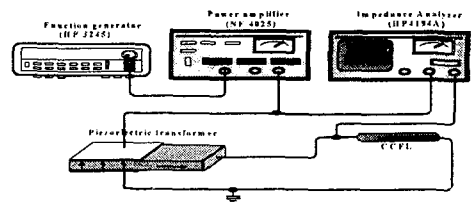
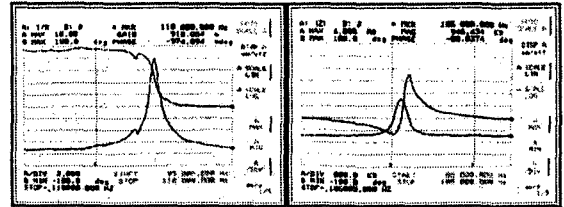


그림 6 측정 시스템  
Fig. 6 Measuring System of PT



(a) 이득위상곡선 (b) 임피던스위상곡선  
그림 7 주파수에 따른 압전 변압기의 특성  
Fig. 7 Characteristics of the PT as a Function of Frequency

그림 7(a)는 압전 변압기의 주파수에 따른 전압 이득과 입출력 전압 사이의 위상특성으로 공진주파수에서 높은 전압이득을 가지며 위상이 반전된다는 것을 알 수 있다. 그림 7(b)는 임피던스 위상곡선으로 공진과 반공진주파수를 알 수 있으며 일반적으로 기계적 품질계수(Qm)값이 클수록 공진주파수의 주파수 대역이 좁아진다.

### 5. 압전 인버터 설계

#### 5.1 풀브리지형 압전 인버터

압전 변압기는 전기적 공진과 기계적 진동을 매개로 하여 전력을 전달하기 때문에 압전 변압기 입력전압에 정현파가 필요하다. 그리고 이 파형은 최대 전력전달 진동주파수와 같아야 한다. 그래서 압전 변압기를 사용한 인버터는 기존의 권선형 변압기를 사용하는 인버터와는 달리 정현파 입력을 위해 별도의 공진 링크 단이 필요하다. 이것을 위해 LC와 같은 수동소자를 이용하여 공진을 만든다. 그리고 스위칭 소자의 구동회로가 필요한데 교번적으로 동작되는 스위칭소자에 의해 정현파의 신호가 입력된다.

그림 8은 풀브리지형 압전 인버터로 게이트 인가 신호인 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>는 서로 상보적으로 턴온된다. S<sub>1</sub>과 S<sub>4</sub> 그리고 S<sub>2</sub>와 S<sub>3</sub>가 동시에 턴온되며, On-Time은 CCFL에 전달되는 에너지의 양에 따라 결정된다. 휘도제어는 위상이동(Phase Shift)방식으로 한 신호를 기준으로 다른 신호의 이동으로 인한 Duty 폭을 제어하게 된다.

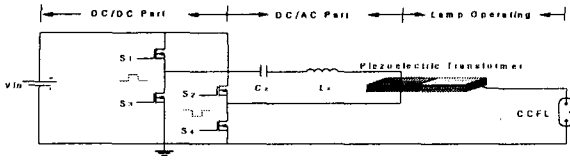


그림 8 풀브리지형 압전 인버터의 블럭도  
Fig. 8 Block Diagram of Full-Bridge type Inverter

5.2 시뮬레이션

그림 9의 압전 인버터의 시뮬레이션에서 스위칭소자의 동작주파수는 압전 변압기의 최대 전력전달 동작주파수인 98kHz를 선정하였다.

설계된 인버터의 부하인 냉음극 방전램프는 저항으로 등가화 하였으며, 구동 상태에서 방전램프의 특성상 약 100kΩ ~ 500kΩ이므로 시뮬레이션에서도 같은 값으로 적용하였다.

그림 10은 시뮬레이션 결과 파형으로 전압과 전류는 최대값(Pk-Pk)으로 표현되었으며 램프 구동 시 저항 값을 200kΩ으로 선정하고 직류전압10[V]의 입력에 출력전압 590[Vrms], 출력전류 2.9[mArms]가 계산되었다.

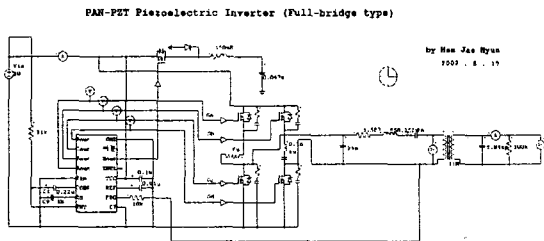


그림 9 PSIM을 이용한 압전 인버터의 시뮬레이션  
Fig. 9 Simulation of the piezoelectric inverter using the PSIM

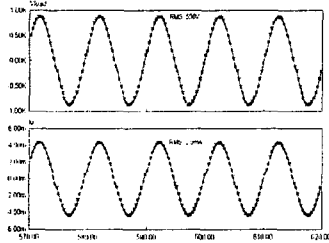


그림 10 출력전압 · 전류 파형(시뮬레이션)  
Fig. 10 Vout, Iout Waveform (Simulation)

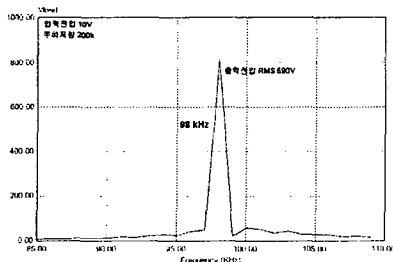


그림 11 FFT 특성(시뮬레이션)  
Fig. 11 FFT Characteristics (Simulation)

그림 11은 FFT 특성을 살펴본 결과로 약 85kHz ~ 110kHz대역에서의 승압특성과 98kHz에서 가장 높은 승압비를 가진다는 것을 알 수 있다.

5.3 실험결과

그림 12는 입력전압 10[V] 구동 시 주파수변동에 대한 출력전압특성을 보여준다. 압전 변압기의 최대전력전달 구동주파수인 98kHz에서의 승압비가 제일 높으며 실험결과와 시뮬레이션결과가 다소 차이가 있는 부분은 실제 제작된 압전 변압기는 품질계수(Qm) 값이 높으며 응용에 있어서 압전 변압기는 보다 좁은 구동주파수 대역을 가진다는 것을 알 수 있다.

그림 13은 램프 부하 200K기준에서 구동 시 입력전압에 따른 온도특성을 나타낸 그림이다.

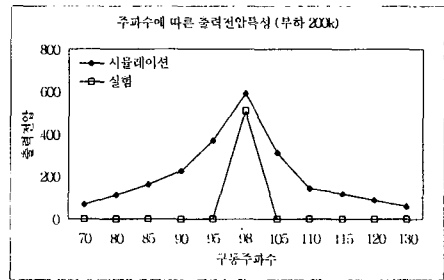


그림 12 주파수에 따른 출력전압특성  
Fig. 12 Variation of Vout as a Function of Frequency

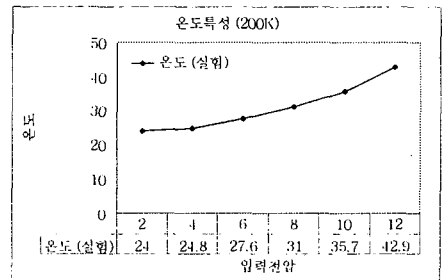


그림 13 압전 변압기의 온도특성  
Fig. 13 Variation of Temperature as a Function of Vin

입력전압이 높아질수록 온도가 점점 상승하는 모습을 볼 수 있다. 일반적으로 사용되는 인버터의 안정적인 온도가 60℃ 이하라고 볼 때 본 논문에서 제작한 압전 변압기는 입력전압 12V에서 40℃ 정도로 우수한 특성을 가진다는 것을 알 수 있다.

그림 14는 휘도 조절전압에 따른 출력전압특성으로 풀브리지 압전 인버터의 휘도제어 전압[최소 0.5V-최대 3V]을 놓고 볼 때 휘도가 둘 다 선형적으로 제어된다는 것을 알 수 있다.

표 1은 풀브리지 압전 인버터의 입력전압에 따른 입출력대비 휘도 특성, 온도, 효율을 나타낸다.

그림 15는 램프 부하값이 200kΩ 일 때 풀브리지의 입력전압 변동에 따른 출력전압과 출력전류이다. 오실로스코프 파형에서 상단이 출력전압이고 하단이 출력전류이다. 실험을 통한 파형은 PSIM에서의 시뮬레이션의 결과와 거의 일치한다는 것을 알 수 있다.

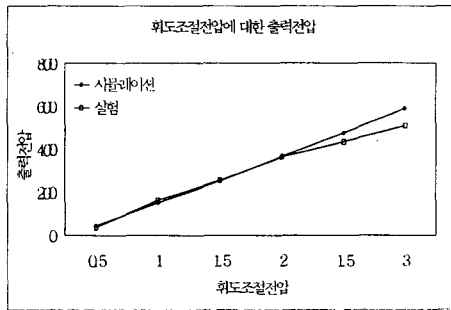


그림 14 휘도조절전압 따른 출력전압특성  
Fig. 14 Variation of Vout as a Function of Brightness Control

표 1 풀브리지 압전 인버터의 입출력특성

입력 전압 (V)	입력 전류 (A)	출력 전압 (Vrms)	출력 전류 (mA rms)	휘도 (cd/m <sup>2</sup> )	온도 (°C)	효율 (η)
6	0.12	313	1.89	90	28	82
8	0.15	413	2.57	110	31	88
10	0.17	507	3.06	160	36	91
12	0.21	591	3.67	180	43	86

## 6. 결론

본 논문에서는 PAN-PZT(0.05Pb(Al<sub>0.5</sub>Nb<sub>0.5</sub>)O<sub>3</sub>-0.95Pb(Zr<sub>0.52</sub>Ti<sub>0.48</sub>)O<sub>3</sub>+Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+MnO<sub>2</sub>)의 성분을 가진 장방향 Rosen-Type 적층형 압전 변압기를 제작하였으며, 이를 이용한 냉음극 방전램프 구동용 압전 인버터를 설계하였다. 인버터 설계 시 전자회로 해석프로그램인 PSIM을 사용하여 압전 인버터 설계에 대한 검증을 하였다.

제작된 압전 인버터는 풀브리지 방식으로 ZVS를 함으로써 고효율을 꾀하고 있으며, 압전 변압기의 사용으로 인버터와 LCD패널간의 불필요한 간섭현상(EMI)을 줄일 수 있다. 또한 제작한 냉음극 방전램프 구동용 압전 인버터는 직접구동방식(Direct Operating)으로 기존의 벌크형과 승압비가 낮은 압전 변압기에서 많이 사용하고 있는 보조권선에 의한 1차 승압부분을 제거하여 전체적인 인버터회로를 단순화하였으며 인버터 제작 시 소형화가 가능하다는 장점을 가지고 있다.

결과적으로, 새로운 조성을 가진 제작한 적층형 압전 변압기는 길이가 32mm 폭 8mm 두께 1.5mm이며 높은 승압비 특성을 가지고 있고 이를 이용해서 제작한 압전 인버터는 회로의 단순화와 그에 따른 소형화 그리고 입출력대비 효율 최대 90%정도로 우수한 성능을 보였다.

이 논문은 한국과학재단지정 전남대학교 고품질전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

## 참고 문헌

- [1] 정수태, 조상희 : 적층형 압전변압기의 전기적 특성 KIEE. Vol. 9. No. 2, pp. 138-145, 1996.
- [2] 손준호, "압전 세라믹스에 관하여", 에스-TECH, 2001.
- [3] Chih yi Lin, "Design and Analysis of Piezoelectric Transformer Converters", Academic Press, 1997.
- [4] Pitak Laoratanakul, Kenji Uchino, "Design and Characterization of Piezoelectric Transformers for High Power Applications", 2002 ICAT Conference.

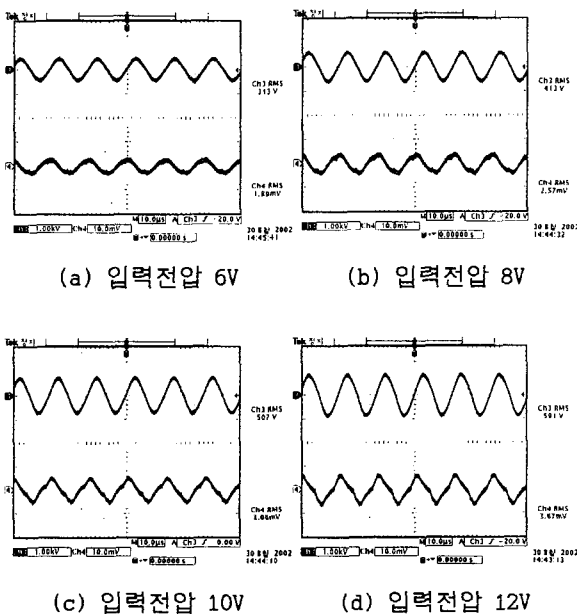


그림 15 압전 인버터의 출력 전압 · 전류파형  
Fig. 15 Vout · Iout Waveform of Piezo-Inverter