

## 대화면 Backlight를 위한 EEFL 구동용 압전 인버터 운전 특성에 관한 연구

朴洪鏞<sup>†</sup>, 梁承學<sup>\*</sup>, 任永徹<sup>\*\*</sup>, 韓勤牛<sup>\*\*\*</sup>

### A Study on the Operating Characters of the Piezoelectric Inverter to Drive EEFL for a Large Screen

Hong-Sun Park, Seung-Hak Yang, Young-Cheol Lim and Keun-Woo Han

#### 요 약

본 논문에서는 멀티램프 구동이 유리하여 인버터 개수를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있는 EEFL을 사용하였으며, 변압기의 자체 손실을 줄이고 소형화가 가능하며, 높은 승압비를 갖는 압전 변압기를 병렬로 연결하여 멀티램프 구동이 가능하도록 하였다.

최적의 EEFL 구동회로를 구성하기 위해서 Push-Pull 타입의 압전 인버터를 설계하였으며, 설계된 인버터 회로에 대한 시뮬레이션 분석을 통하여 타당성을 검증하였다. 향후 본 논문에서 제안하는 구동 방식을 대화면 LCD 백라이트에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### ABSTRACT

In this paper, EEFL, which is advantageous for driving multi-lamp and is able to reduce number of inverter, is used and Piezoelectric Transformer, which is able to reduce self loss, miniaturize and has high boosting transfer rate, and parallel connected to drive multi-lamp.

For optimized EEFL driver circuit configuration, a Push-Pull type Piezoelectric inverter was designed and a simulation analysis was performed on the inverter circuit, and by applying multiple different type of driving methode, it is proved that a piezoelectric transformer can be used to manufacture a big screen multi-lamp driving inverter.

**Key Words** : multi-lamp, Piezoelectric transformer, EEFL, Piezoelectric Inverter

#### 1. 서 론

일반적으로 액정 디스플레이 (LCD : Liquid Crystal Display)는 TV, Laptop PC, Monitor, Video Cam,

Mobile Phone, Navigation 등 전자정보기기 전반에 걸쳐 사용되고 있다. 그러나 자체 발광능력이 없기 때문에 백라이트용 광원이 필요하게 되고 냉음극 방전램프의 사용이 일반적이다.

또한 최근 LCD 모니터 화면의 대형화에 따라서 패널 뒷면에 여러 개의 방전램프를 장착함으로써 백라이트를 하고 있으며 기존의 냉음극 방전램프 대신에 외부전극 형광램프(EEFL : External Electrode Fluorescent Lamp)를 사용하면 저전류 고전압으로 구동할 수 있는 장점을 이용하여 기존의 냉음극 방전램

<sup>†</sup>교신저자 : 학생회원, 전남대 대학원 전기공학과 석사과정

E-mail : hspak1749@paran.com

<sup>\*</sup>정회원, 호남대 전기공학과 부교수

<sup>\*\*</sup>정회원, 전남대 전기공학과 교수

<sup>\*\*\*</sup>정회원, LG이노텍(주) 연구원

접수일자 : 2006. 10. 30

1차 심사 : 2006. 11. 23

2차 심사 : 2007. 4. 17

심사완료 : 2007. 4. 20

프의 멀티 램프 구동시 전류의 분담으로 여러 개의 인버터가 필요 하였던 것을 인버터의 수를 줄일 수 있게 한다.

방전램프 구동용 인버터로는 권선 변압기를 사용하는 것이 일반적이거나 이는 코어나 권선 손실에 의해 효율이 낮으며, 부피나 중량 또한 크다. 또 과열에 의한 화재의 위험성 등 단점이 있다. 이를 대체하기 적합한 소자로서 압전 변압기가 있는데 고효율, 소형, 경량, 불연성, 저 EMI 등 많은 장점이 있는 반면 공진주파수가 있는 일종의 세라믹 소자를 사용하게 되어 주파수 의존도가 높고, 좁은 최대 전력전달 진동주파수 대역을 가지며, 입력 측 커패시턴스에 기인한 매칭 회로 설계의 어려움이 있고, 깨지기 쉽다는 단점이 있어 인버터 설계 시 주의가 필요하다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 외부전극 형광램프를 적용한 대화면 LCD 백라이트 인버터 구동에 압전 인버터의 적용 가능성과 압전 변압기 특성에 부합된 회로를 설계하기 위하여 관경4.0mm, 관장 740mm 로 기준부하를 선정하고, 압전 변압기는 Kong Hoong 사의 약 10W Rosen 타입의 직충형 변압기를 사용하였다.

이 압전 변압기는 임피던스 분석기(HP4149)로 통한 어드미턴스 측정법을 이용하여 압전 변압기의 공진점을 측정하였고, 이를 기반으로 전기적인 등가회로를 구성하였으며, 최적화의 EEFL 구동회로를 구성하기 위해서 Push-Pull 을 적용하여 압전 인버터를 제작하였다.<sup>[2]</sup>

## 2. 외부전극 형광램프와 압전 변압기의 구조 및 특징

### 2.1 외부전극 형광램프의 구조 및 동작원리

EEFL은 방전 공간 내부에 전극이 없으며, 유리관 양끝 외부에 설치된 외부전극의 용량성 결합에 의하여 작동된다. CCFL이 방전관 내부의 양 끝에 설치된 금속 전극이 방전 플라즈마에 노출되어 직접 금속 전극으로 전류가 흐르는 직류형 방전인 반면에, EEFL은 방전관 내부의 양 끝에 하전입자가 쌓여서 플라즈마 전류가 방전관 내에 교차적으로 흐르는 교류형 방전이다.

따라서 외부전극 형광램프는 전극이 직접 플라즈마와 상호 작용을 피할 수 있어서 수명에 매우 유리하며, 전극이 외부에 설치되므로 램프의 제작이 매우 간편하다.

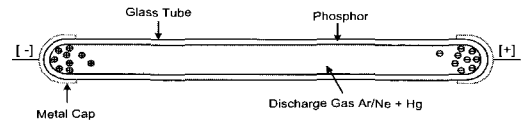


그림 1 EEFL 구조  
Fig. 1 Construction of EEFL

그림 1에 EEFL의 램프구조와 하전입자의 동작에 대한 개념을 나타내었다. 유리관이 내벽에는 RGB의 삼원색 발광 형광체를 코팅하고, 방전기체는 네온과 아르곤의 혼합기체에 미량의 수은을 넣고 유리관 양끝을 봉합한다. 양끝의 유리관에 구리재질의 외부전극을 캡 형태로 설치한다.

EEFL은 정현파 구동보다는 구형파 구동에 의하여 고휘도와 고효율을 얻는데 효과적이므로, 벽전하의 거동에 따른 자기 방전 동기화 방식을 제시하였다.<sup>[3]</sup>

### 2.2 압전 변압기 구조 및 등가회로

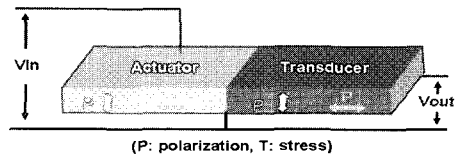


그림 2 압전 변압기의 구조  
Fig. 2 Structure of Piezoelectric Transformer

본 논문에서 사용된 압전 변압기의 크기는 7.4(W) x 35.0(L) x 3.1(T) [mm] 이며, 이러한 압전 변압기의 특징으로는  $\lambda/2$ ,  $\lambda$ ,  $3\lambda/2$ 에서 공진 특성이 있으나 본 연구에서는  $\lambda/2$ 의 공진 특성을 이용하였다.

어드미턴스 측정법을 통한 압전 변압기의 등가 방법은 입·출력 단을 교차적으로 단락시킨 후 임피던스 분석기로 각각의 변수 값을 얻을 수 있으며, 또한 어드미턴스 측정에 의해 얻어진 파라미터를 통하여 등가 회로화 할 수 있다.

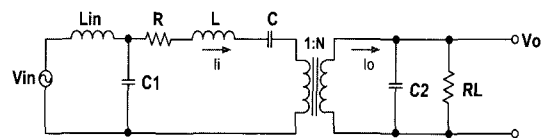


그림 3 압전 변압기의 등가회로  
Fig. 3 Equivalent Circuit of Piezoelectric Transformer

그림 3은 회로 설계 시에 중요 인자로서 입·출력 측 커패시턴스 값(C1, C2)과 승압비(1:N)가 있다. 보통 C1은 수십~수백[nano]이며, C2는 수[pico]이다.<sup>[4][5]</sup>

임피던스 분석기를 통한 압전 변압기의 등가회로의 C1=155nF, C2=18.9pF, N=50, R=1.75Ω, L=1.13mH, C=7.99nF의 값들을 얻을 수가 있었다.

### 3. 압전 인버터의 적용 토폴로지

백라이트 구동을 위한 인버터는 다음과 같이 3가지의 요건이 필수적이다. 첫째로 다양한 직류입력에 대응하기 위한 DC/DC 변환기가 있어야 한다. 이는 일반적인 랩톱 컴퓨터의 경우, 배터리와 어댑터의 출력이 다르기 때문이다. 둘째로 고압의 정현파에서 최대 효율로 램프를 구동하기 위한 DC/AC 변환기가 필요하다. 마지막으로 모니터의 화면 밝기 조절을 위한 휘도 제어가 있어야 한다.

이러한 요건들을 감안한 토폴로지들은 다음과 같다.

Full-Bridge의 경우는 높은 전력변환 효율과 저전압 구동시 좋은 특성이 있으나 많은 스위칭 소자의 사용과 회로가 복잡해지는 단점이 있다. Push-Pull과 Half-Bridge는 ZVS(Zero Voltage Switching) 설정이 용이하고 변환효율도 우수하며 제어 용이성 등이 장점이 있으나 Push-Pull의 경우 공진 인덕터의 동일한 용량이 요구되며, Half-Bridge의 경우 Upper side의 공진전압을 이용하므로 변압기의 노화가 일어날 수 있고, 스위칭 소자 구동시 주의 하여야 한다.

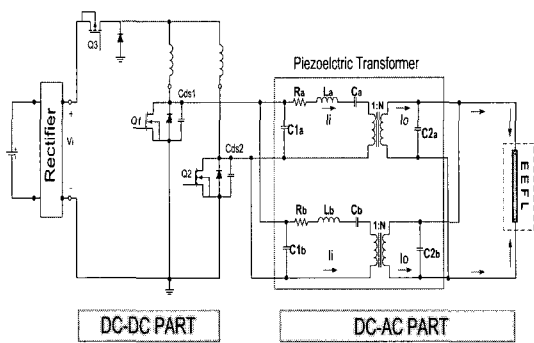


그림 4 Push-Pull 타입의 압전 인버터  
Fig. 4 Piezoelectric Inverter of Push-Pull Type

그림 4는 High-High 구동방식을 적용한 Push-Pull 타입의 압전 인버터이다.

본 논문에서는 32인치 대형 LCD 백라이트 인버터에서 사용하고 있는 관경 4.0mm, 관장 740mm EEFL을

하나의 컨트롤 IC(BD9825)를 통하여 Master와 Slave 양측에 인버터를 제어하는 형태로 구성하고 High-High 램프 구동방식이 적용된 Push-Pull 타입의 토폴로지로 구성하였다.

공진 주파수를 통하여 ZVS (Zero Voltage Switching) 구동을 하며, Push-Pull 출력 MOSFET (Q1&Q2)를 50% 듀티비로 교번 구동하여 ZVS을 발생한다. 전류 공급은 Push-Pull단의 Buck Regulator(Q3)를 통하여 가능하며 제어 회로는 평균전압과 기준 전류 센싱 저항, 정류기의 기준전압의 비로 가능하게 한다. 또한 변압기 2차 측은 300~1500[V]이상의 다양하고 균형 잡힌 정현파를 발생하고 콘덴서 C2는 부하의 전압, 전류의 균형을 잡아준다.<sup>[6]</sup>

압전 변압기는 기존의 권선형 변압기와 달리 공진 주파수 부근에서 구동해야 하며 부하에 따라 공진 주파수가 변환하는 특성을 가지고 있다. 또한 압전 변압기의 부하로 연결된 외관전극 형광램프의 점등 상태에 따라 등가 임피던스가 변하는 특성을 가지고 있어 결과적으로 구동 주파수를 가변해야 한다.

구동용 압전 인버터는 그림 5에서와 같이 크게 압전 변압기의 입력신호를 인가하는 PWM PULSE회로 부분과 입력신호의 승압을 위한 압전 변압기 그리고 높은 교류전압으로 구동되는 외관전극 형광램프로 나눌 수 있다.

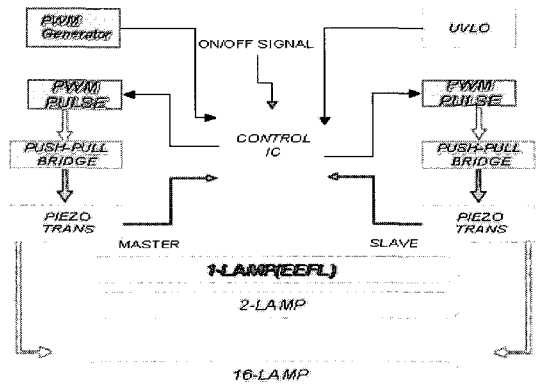


그림 5 압전 인버터의 블록 다이어그램  
Fig. 5 Block Diagram of Piezoelectric Inverter

본 논문에서 인버터의 스위칭 회로는 입력되는 전압에 비례하는 주파수를 출력하는 장치인 주파수 변조(VCO : Voltage Controlled Oscillator)방식을 이용하여 입력 전압을 가변시킴으로써 주파수를 제어하고, 전압-주파수 변환기의 입력 전압은 최종 부하인 외관전극 형광램프의 출력전류를 피드백시킴으로써 점등

상태에 따른 구동 주파수가 결정되도록 설계하였다.  
 전압-주파수 변환기의 초기 출력은 압전 변압기의 무부하 공진 주파수와 같게 설정하였으며, 전압-주파수 변환기의 입력으로 부궤환 되도록 설계 하였다.<sup>[7]</sup>

#### 4. 시뮬레이션 및 실험 결과

##### 4.1 시뮬레이션

본 절에서는 모델링된 압전 변압기의 부하 램프를 회로 해석 프로그램인 PSpice로 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 실제로 제작된 압전 인버터와 동일하게 그림 6과 같이 EEFL일 때로 적용하였다.

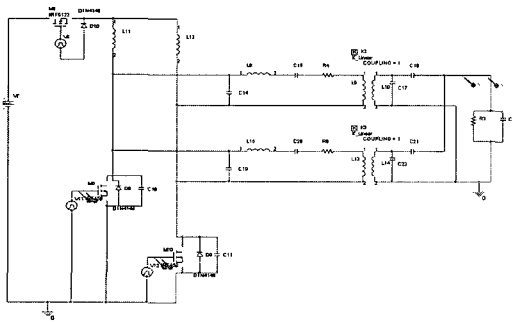
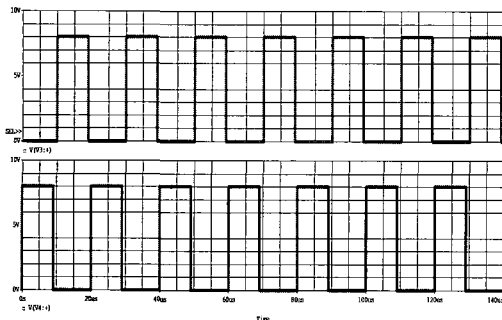
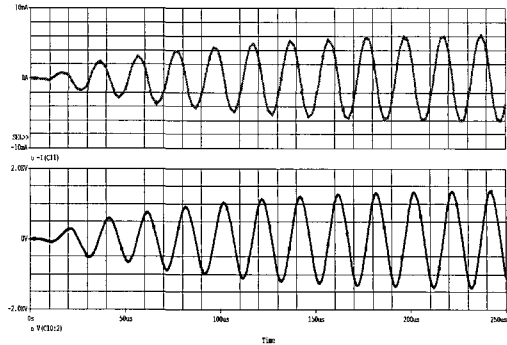


그림 6 압전 변압기를 이용한 Push-Pull 인버터 PSpice 모델  
 Fig. 6 PSpice Model of the Push-Pull Inverter Using Piezoelectric Transformer

본 논문에서 선정한 Push-Pull 방식을 동일하게 적용하였으며, 스위칭 소자의 주파수는 압전 변압기와 공진을 위하여 듀티비 0.5로 딜레이 시간을 가지고 스위칭 주파수 48[kHz]로 사용하였으며, 그림 7(a)는 시뮬레이션을 수행 하였을 때 스위칭 동작을 하는 MOSFET의 파형이다.<sup>[8]</sup>



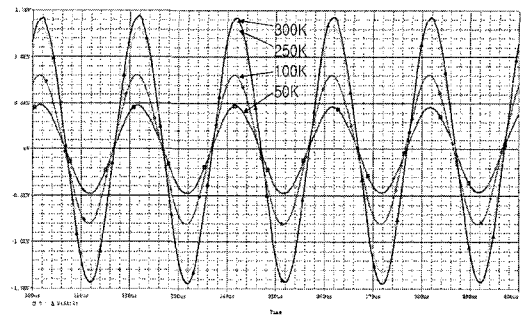
(a) Switching Waveforms



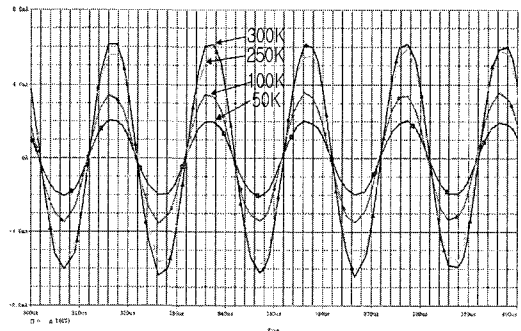
(b) Output Current (상) and Output Voltage (하)

그림 7 Push-Pull 인버터의 시뮬레이션 파형  
 Fig. 7 Simulation Waveforms of Push-Pull Inverter

그림 7의 EEFL인 경우 외부 전극으로 인한 커패시터 성분 때문에 기존의 CCFL일 때의 저항으로만 구성되어지지 않고 직병렬로 커패시터를 부착하여 시뮬레이션을 하였다.<sup>[9]</sup>



(a) Waveforms of Output Voltage



(b) Waveforms of Output Current

그림 8 부하 저항 변동에 따른 출력 전압·전류 파형

Fig. 8 Output Voltage · Current Waveforms with Load Resistor Variation

그림 8은 부하변동에 따른 EEFL 출력 파형으로써 그림 8(a)의 구형파에 의해 스위칭되어 생성된 정현파가 EEFL을 구동하여 (b)의 램프 전압, 전류 파형을 확인 할 수 있다. 또한 EEFL의 특성인 고전압 저전류 구동과 전류가 전압보다 90도 앞선 형태로 확인하였다.

### 4.2 Dimming Control

화면의 밝기 조정은 LCD 백라이트용 인버터의 필수 요건중 하나이며, 제어는 램프에 흐르는 전류의 양을 조절함으로써 램프의 밝기가 조정되며 전체적인 인버터 효율을 유지하도록 전류의 변화를 센싱하는 기본적인 방식을 사용한다. 휘도조절 제어방식은 PWM 신호를 이용하여 기준전압과 비교함으로써 펄스폭인 듀티비에 따라 제어하는 PWM 기법을 사용한 버스트(Burst)방식과 밝기 조절을 위해 직류 기준 값을 조정하는 것으로 매우 간단하나 수동소자인 가변저항을 사용한 아날로그 방식이다.

본 논문에서는 그림 9에서와 같이 펄스폭에 따라 전류를 가변하는 버스트 제어 방식을 사용하였다. 버스트 제어방식은 가변 펄스폭 방법으로 인버터의 온/오프를 디지털적으로 제어하며 보편화되어 있다.<sup>[10]</sup>

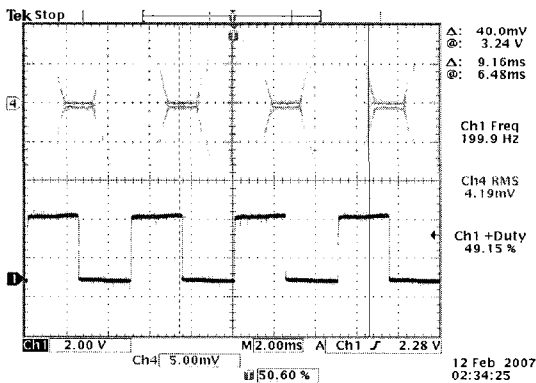


그림 9 버스트 디밍 제어(Dim 50%)  
Fig. 9 Burst Dimming Control (Dim 50%)

### 4.3 실험 결과

설계된 인버터에서 부하 EEFL의 관경 4.0mm, 관장 740mm인 경우 구동전압은 약 1700~1790[V], 램프전류는 약 7.40~7.51[mA]정도이며 방전관의 저항은 대략 100K[Ω]정도이다.

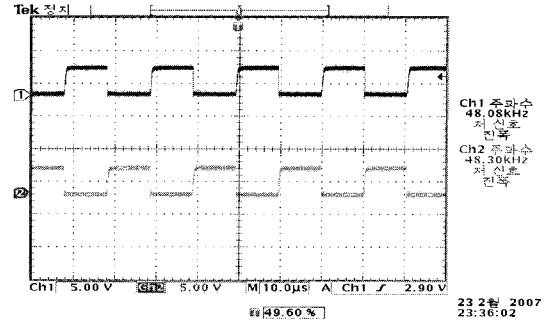
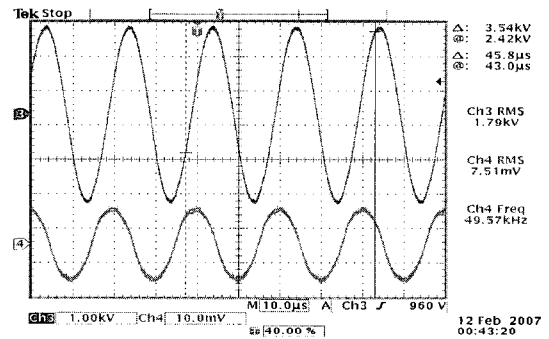
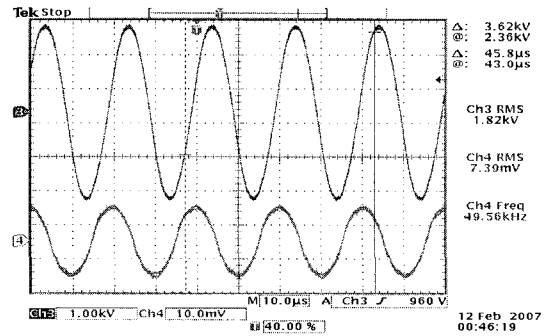


그림 10 스위칭 전압 파형  
Fig. 10 Switching Voltage Waveforms



(a) Master Voltage(상) and Current(하)



(b) Slaves Voltage(상) and Current(하)

그림 11 EEFL 출력파형  
Fig. 11 Output Waveforms of The EEFL

그림 10은 입력 스위칭 전압 파형이며, 그림 11은 High-High 램프 구동방식을 이용한 EEFL 구동용 인버터의 출력 전압, 출력 전류 파형으로써 안정적인 정현파 구동이 잘 이루어지고 있음을 관찰할 수 있다. 그리고 High-High 램프 구동방식을 이용 시 무리 없이 각각의 램프가 발광하였으며, 공진주파수 48[kHz]대역에서 구동되어 압전 변압기와의 매칭도 잘되고 있음을 확인할 수 있다.

### 5. 결 론

본 논문은 EEFL의 전기적인 특성을 분석하였으며, 압전 변압기를 이용하여 32인치급 대화면 LCD 백라이트를 위한 EEFL 구동용 인버터를 제작하였으며, 전자 회로 해석 프로그램인 PSpice를 이용하여 EEFL 구동용 압전 인버터의 시뮬레이션을 통한 검증을 하였다.

설계, 제작된 압전 인버터는 Push-Pull 방식으로 ZVS를 함으로써 고효율을 꾀하고 있으며, 압전 변압기의 사용으로 인버터와 LCD 패널간의 불필요한 간섭현상(EMI)을 줄일 수 있다. 주로 소형 LCD 백라이트 인버터에 적용되었던 압전 인버터를 High-High 방식을 적용함으로써 32인치 이상 대형 LCD 백라이트로 적용 가능성을 검증하였다.

현재 압전 변압기의 용량 증에 대한 문제가 시급한 문제이므로 고용량의 압전 변압기가 확보가 된다면 향후 사용하고 있는 권선형 변압기를 대체할 것으로 보이며, Full-Bridge 타입 등의 다양한 토폴로지 적용으로 보다 낮은 구동 전압과 전류와 효율 개선이 가능할 것으로 기대된다.

이 연구에 참여한 연구자는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았음.

### 참 고 문 헌

- [1] 조미령, "LCD 후면 광원용 형광 램프에서 EEFL 임피던스의 최적화에 관한 연구", 광운대학교 대학원, 2002.
- [2] Doo-Oh Hur, Tae-Ku Kang, Cheol-Hwan Cho, Hae-Min Lee, Hyung-Keun Ahn, Deuk-Young Han, "Design and Fabrication of Piezoelectric Ceramic Transformer for the LCD Backlight, Properties and Applications of Dielectric Materials", Proceedings of the 5th International Conference, Vol.2, pp.843-846.1997.
- [3] J. H. Han, Y. C. Lim, S. H. Yang, G. H. Kweon, "Design of the Backlight Inverter for Multi-lamp Driving", ICPE-2001, pp.80-83
- [4] L. Gyugyi, "Solid-State Control of AC Power Transmission," EPRI workshop on the Future in High Voltage Transmission, Cincinnati, Ohio, November 1990.
- [5] 류주현, 이용우, 윤광희, 정희승, 정영호, 박창엽, "집중 등가 회로를 사용한 압전 변압기의 승압비 및 효율 해석", Journal of the Korea Institute of Electrical and Electronic Material Engineers. Vol. 11, No.10, pp.849-854, 1998.
- [6] 조성구, 임영철, 양승학, "압전 변압기를 기반으로한

LCD 구동 인버터 설계", 전력전자 추계 학술대회 논문집, 2003, pp 197-201.

- [7] 권기현, 조성구, 임영철, 양승학, 윤석진, "압전 변압기 구동을 위한 인버터 회로 설계", 전력전자 하계학술대회 논문집, 2003, pp 616-620.
- [8] H. L. Chang, L. Ying, J. P. Pai, "Digital-Dimming Controller with Current Spikes Elimination Technique for LCD Backlight Electronic Ballast", IEEE APEC 2004, pp. 153-158.
- [9] Lak-Hoon Hwang, Moon-Taek Cho, and Ik-Soo Ahn, "A Study on the PSPICE Modeling of CCFL Drive Circuit Using a Piezoelectric Transformer", 전력전자학회 논문지 제8권 제2회 2003, pp.180-191.
- [10] 조성구, 임영철, 양승학, "압전 변압기를 이용한 멀티램프 구동용 인버터 설계", 전력전자학회 논문지, 2005, 제 10권 제2호, pp 130-137.

### 저 자 소 개



#### 박홍순(朴洪鎔)

1980년 3월 26일생. 2006년 호남대 공대 전기공학과 졸업. 2006년~현재 전남대 대학원 전기공학과 석사과정.



#### 양승학(梁承學)

1958년 12월 6일생. 1982년 전남대 계측공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 일본 동경대 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박). 현재 호남대 전기공학과 부교수. 테크노파크 지원센터장. 호남대 전자 RIS 지원 사업 단장. 당 학회 총무이사.



#### 임영철(任永徹)

1953년 4월 23일생. 1975년 전남대 전기공학과 졸업. 1977년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1997년 호주 모나시대학 Visiting Scholar. 현재 전남대 전기공학과 교수. 전남대 산학연구처장 겸 산학협력단장. 당 학회 평의원.



#### 한근우(韓勤牛)

1978년 9월 28일생. 2004년 대불대 전기공학과 졸업. 2006년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 LG 이노텍(주) 연구원.