

6배압 정류기를 이용한 고전압 전원장치에 관한 연구

(A Study of the High Voltage Power Supply using a Sixfold Voltage-Multiplying Rectifier)

안태영* · 길용만**

(Tae-Young Ahn · Yongl-Man Gil)

Abstract

This paper presents design, fabrication, and performance evaluation of a high voltage power supply for Carbon Nano Tube-based planar light sources. The proposed power supply employs an LLC resonant half-bridge converter and a sixfold voltage-multiplying rectifier. Steady-state characteristics of the voltage-multiplying rectifier are analyzed and used to derive the input-to-output voltage conversion ratio of the power supply. The input-to-output frequency response characteristics of the LLC tank circuit are analyzed and utilized in designing a proto-type power supply which produces a 15 KV output using a 400 V input source. The high-voltage transformer is fabricated using a sectional bobbin structure with an epoxy impregnation, in order to provide sufficient insulation for high voltage operations. The performance of the proposed power supply is confirmed with stable and reliable operations at the 15 KV output from no load to nominal load conditions. The proposed power supply is well suited as an electric ballast required stable operations of Carbon Nano Tube-based planar light sources.

Key Words : CNT Flat Light Source, High Voltage Converter, LLC Resonant Half Bridge, Multiply Rectifier

1. 서 론

CNT(Carbon Nano Tube) 면광원은 얇은 유리 2장으로 구성되며 안정기의 고전압에 의해 하판의 CNT로부터 전자를 방출시켜 형광체에 고속 충돌시킴으로

써 빛을 내는 신개념의 광원으로 그 자체가 두께가 얇은 면광원으로 에너지 효율과 연색성이 뛰어나며, 형광체 배합과 구역 분할에 따라 다양한 색상의 조명을 만들 수 있는 특징을 가지고 있다[1]. 또한 CNT 면광원은 전극 구조와 구동 방식에 따라 다이오드형 또는 3단자(Triode)형으로 구분되고, 다이오드형은 캐소드와 애노드 2개의 전극으로 구성되어 있다. 애노드 전극에 고전압이 가해지면 캐소드 전극에 위치한 CNT의 에미터에서 전자가 방출되고 방출된 전자가 애노드 전극의 고전압에 의해 가속되어 애노드 상의 형광체와 충돌함으로써 발광하는 방식이다. 따라서 10kV

* Main author : Dept. of Electronics Eng., Cheongju Univ.

** Corresponding author : Dept. of Electronics Eng., Cheongju Univ.

Tel : 043-228-8439, Fax : 043-229-8461

E-mail : rlfydaks@nate.com

Received : 2014. 8. 7

Accepted : 2014. 12. 3

이상의 고전압을 발생시켜야 하므로 안정된 고전압 펄스 및 고정밀 전압 구동회로가 필요하며 기존의 고압용 전원장치와는 다르게 설계 초기에 고려해야 할 요소가 많아지게 된다[2].

CNT 면광원용 캐소드 전압을 공급하기 위한 고전압 발생용 안정기는 제조 가격과 사이즈, 높이 등 다양한 기준으로 설계가 될 수 있지만 10kV 이상의 특고압 발생 회로를 위해서 적합한 회로선정과 절연방법 등을 고려한 회로설계가 기술적으로 어려운 현실이다. 특히 변압기 2차측에 고전압을 직접 발생시키는 경우에는 고전압을 직접 견딜 수 있는 주요 소자의 최적 설계가 중요한 과제이기도 하다[3].

본 논문에서는 CNT를 이용한 면광원용 캐소드 전압을 공급하기 위한 고전압 발생용 안정기 회로방식으로 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터를 적용하였으며, 변압기의 절연전압 문제를 해결하기 위해서 변압기의 2차측에 6배압 정류기를 사용하여 절연문제를 해결하였다. 또한 배전압 정류기를 고려한 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터의 주파수 특성을 정상상태 해석을 통하여 수행하였으며, 해석결과를 이용하여 회로의 주요 소자인 공진소자 및 변압기의 설계에 적용하였다. 또한 15kV급 초고압 전원장치의 실험회로를 구성하고 정상상태 특성을 시험을 통하여 CNT 면광원 부하와 연동하여 조명용 안정기로서 정상 동작 하는지 검토하였고, 그 시험 결과를 보고하였다.

2. CNT 면광원의 구조와 특징

그림 1에는 CNT를 이용한 면광원의 기본 구조를 나타내었다. 그림에서 상판과 하판은 유리로 구성되며, 양 옆은 프레임으로 밀봉되었다. 하판에는 게이트와 캐소드 전극이 인쇄되었으며 각각의 전극 위에는 전자의 방출을 용이하게 하기 위해 CNT로 미세한 점모 형태로 전극을 구성하였다. 상판에는 형광체가 입혀진 애노드 단자가 구성되며 하판에서 방출된 전자가 형광체와 충돌하여 상판 전체가 발광하게 된다. 그림 2에는 CNT 면광원의 등가회로를 나타내었다. 특히 본 논문에서 검토하고 있는 면광원은 게이트와 캐소드가 외부에서 인가되는 펄스의 극성에 따라 역할

이 바뀌게 되고 따라서 캐소드로 빠지는 정전류 IAK는 주기적으로 캐소드에서 애노드로 방향이 전환된다. 그림 3에는 CNT 면광원의 구동회로를 나타내었다. 구동회로는 애노드에는 고압의 직류전압 VHV가 연결되고, 면광원의 오른쪽으로 노출된 2개의 단자는 4개의 스위치로 구성된 브릿지 회로와 연결되어 스위치의 조합에 따라 애노드와 캐소드의 역할을 할 수 있도록 하였다. 특히 캐소드와 게이트의 접합용량 때문에 직류전압이 인가되면 피크전류가 커지는 것을 방지하기 위해서 직렬 인덕터를 삽입하여 전류가 공진하도록 하였다. 그림 4에는 CNT 면광원의 동작파형

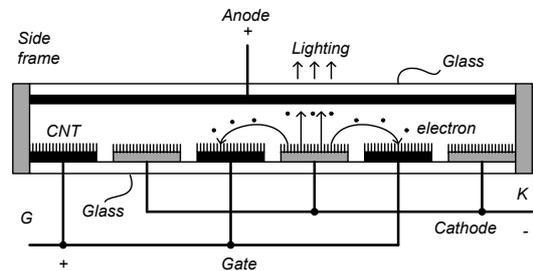


그림 1. CNT 면광원의 기본구조
Fig. 1. Basic structure of CNT flat light source

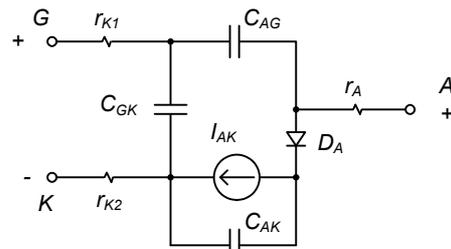


그림 2. CNT 면광원의 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of CNT flat light source

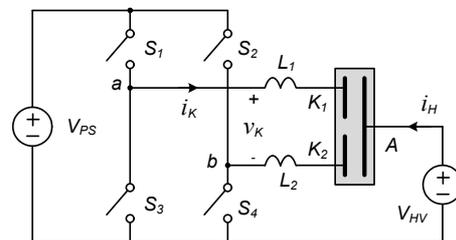


그림 3. CNT 면광원의 구동회로
Fig. 3. Driving circuit of CNT flat light source

을 나타내었다. 두 개의 단자 전압 V_K 는 스위치 조합에 따라 전압의 극성이 일정한 주기로 달라지며 공진 전류에 의해 피크전류가 저감되는 것을 알 수 있다.

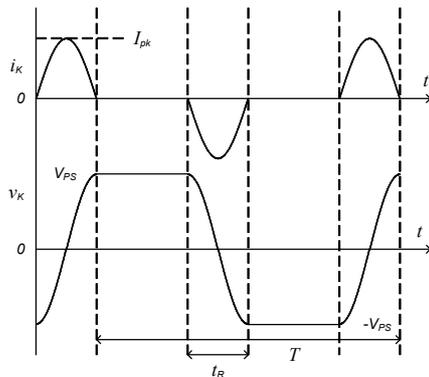


그림 4. CNT 면광원의 동작파형
Fig. 4. Operating waveform of CNT flat light source

3. 고전압 발생 전원장치

3.1 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터

그림 5에는 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터의 기본 회로가 나타나 있다. 그림의 좌측에 직류 입력이 있으며, 두 개의 스위치를 직렬로 구성하고 두 개의 스위치를 번갈아 스위칭 하여 입력전압을 공진회로에 펄스 상태로 순차적으로 인가하는 역할을 한다. 공진 전류를 발생시키는 공진 소자는 한 개의 커패시터와 두 개의 인덕터를 이용하며 변압기는 두 번째 인덕터와 병렬로 구성하게 된다. 특히 두 개의 인덕터는 변압기를 구성할 때 필요한 누설 인덕터와 자화 인덕터를 이용하여 구성 할 수도 있기 때문에 실제 필요한 소자의 수량을 저감시키는 효과가 있다. 변압기의 2차측은 전압을 정류하여 일정한 직류전압으로 변환시켜주는 정류기를 구성하는데 일반적으로 스위칭 전원장치에서 적용되는 배전압 정류기, 배전류 정류기, 전파정류기 중에서 비교적 자유롭게 적용 할 수 있어서 회로의 다양성이 보장되는 회로방식으로 알려져 있다[4-7].

그림 6은 그림 5의 기본회로를 등가회로로 나타낸 것이다. 그림에서 입력전압과 직렬로 구성된 두 개의

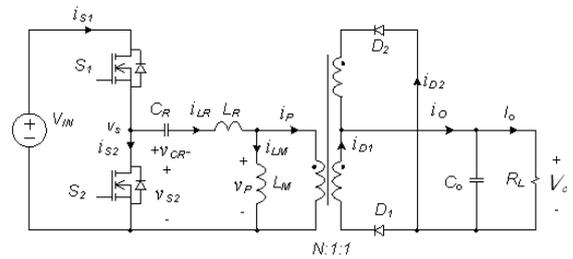


그림 5. LLC 공진형 하프브릿지 컨버터 기본회로
Fig. 5. Basic circuit of LLC half bridge converter

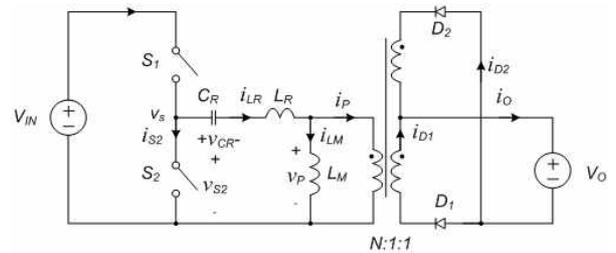


그림 6. LLC 공진형 하프브릿지 컨버터 등가회로
Fig. 6. Equivalent circuit of LLC half bridge converter

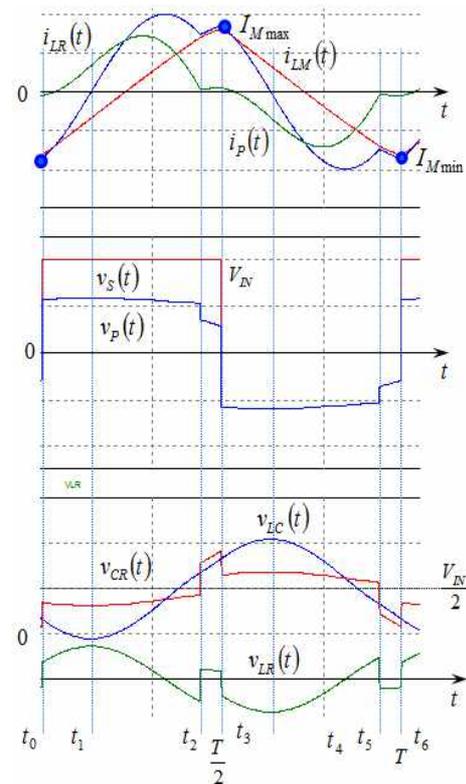


그림 7. 정상상태 동작파형
Fig. 7. Operating waveform of steady state

MOSFET 스위치는 이상적인 스위치로 등가 하였으며 내부 커패시턴스와 온저항 등은 무시하였다. 또한 정류기의 다이오드는 이상적인 보조 스위치로 동작한다고 가정하였으며 다이오드 양단의 전압이나 전류에 따라 스위치 동작을 수행하게 된다. 그림 7은 컨버터의 정상상태 동작파형을 나타낸 것이다. 두 개의 스위치가 일정한 주파수와 50%의 시비율에서 온과 오프를 반복할 때 한 주기를 확대한 파형이다. 상단의 파형으로부터 공진전류와 자화인덕턴스 전류 및 변압기 1차측 전류를 나타낸 것이고, 그림의 중앙 부분은 두 개의 스위치 중앙의 전압, 즉 공진 소자에 인가되는 입력전압과 변압기의 1차측 전압을 같은 축으로 비교하여 나타내었다. 하단 부분은 두 개의 공진 소자, 즉 공진 커패시터와 공진 인덕터의 전압을 나타내었다.

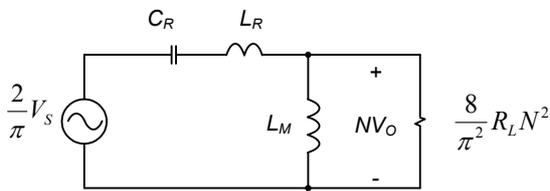


그림 8. AC 등가 회로 모델
Fig. 8. AC equivalent circuit model

그림 8에는 컨버터의 AC 등가 모델이 나타나 있으며, 식 (1)은 등가 모델에 대한 입출력 전압이득을 함수로 나타내었고 식으로부터 전압이득은 스위칭 주파수로 조절 가능하다는 것을 알 수 있다[4]. 그림 9는 컨버터의 주파수 이득 특성을 그래프로 표현한 것이다. 그래프에서 각각의 실선은 부하저항에 반비례하는 Q값의 변화에 따라 다르게 나타낸 것이다[8-9].

$$M = \frac{2NV_o}{V_s} = \frac{\omega_n K_L}{\sqrt{K_L^2 (1 - \omega_n^2)^2 Q^2 + \omega_n^2 \left(K_L + 1 - \frac{1}{\omega_n^2} \right)^2}} \quad (1)$$

$$K_L = \frac{L_M}{L_R} \quad \omega_n = \frac{\omega_s}{\omega_o} = \frac{f_s}{f_o} \quad \omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_R C_R}}$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{L_R}{C_R}} \quad R_{AC} = \frac{8N^2}{\pi^2} R_L \quad Q = \frac{Z_o}{R_{AC}}$$

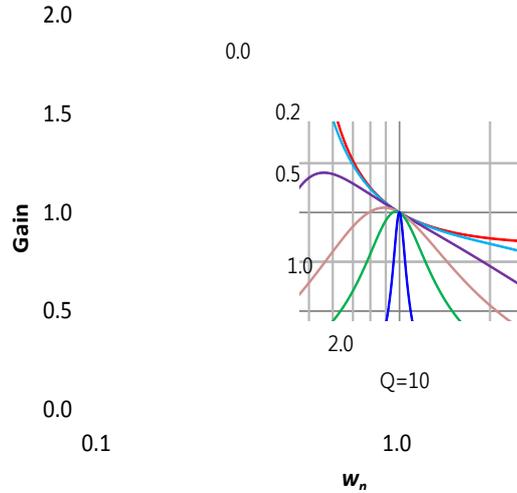


그림 9. 컨버터의 주파수 이득 특성
Fig. 9. Frequency gain characteristics of converter

3.2 6배압 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터

본 논문에서는 높은 전력변환 효율을 유지하면서 15kV 이상의 고전압을 발생시키기 위해서 앞 절에서 설명한 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터를 이용하였다. 그림 10에는 6배압 정류기를 적용한 LLC 하프브릿지 컨버터의 기본회로가 나타나 있다[10-11]. 그림에서 변압기는 권선 구조를 단순하게 하기 위해 단권선으로 하였고 이후 부하 사이에 배압용 다이오드와 평활용 커패시터를 배열하였다. 그림 11에는 정상상태에서 동작하는 경우 컨버터의 등가회로를 나타내었으며, 배압용 커패시터는 일정전압으로 가정하였다. 6배압 정류기를 적용한 컨버터의 전압 이득 특성을 유도하기 위해서 변압기와 부하저항 사이의 6배압 정류기의 등가회로를 그림 12에 나타내었다. 그림에서 변압기에 가까운 배압 커패시터만 제외하고 나머지 커패시터는 출력전압의 1/3의 전압이 충전되며, 변압기 2차측은 1/6전압이 걸리고 있다. 그림 13에는 정상상태에서의 변압기 1차측 전압파형을 나타내었다. 변압기의 1차측 전압이 펄스상태이고, 전류는 공진에 의해 정현파 상태가 된다면 그림과 같은 정상상태 파형으로 표현된다. 정류기의 다이오드 특성에 의해서 도통구간에 따라 정현파 전류의 파형이 구간에 따라 전파 또는 반파의 형태로

나타난다는 것을 알 수 있다. 특히 변압기 1차측 전압파형의 푸리에 변환에서 기본파 항만 적용한 간이 해석을 하였다. 그림 14에는 변압기에서 들여다본 등가부하저항을 나타낸 것이며 아래와 같이 구할 수 있다.

$$v_p(t) = \left(\frac{2NV_o}{3\pi} \right) \sin \omega t \quad (2)$$

$$i_p(t) = \frac{2\pi}{N} I_o \sin \omega t \quad (3)$$

$$R_{AC} = \frac{v_p(t)}{i_p(t)} = \frac{\left(\frac{2NV_o}{3\pi} \right) \sin \omega t}{\left(\frac{2\pi I_o}{N} \right) \sin \omega t} = \frac{N^2 R_L}{3\pi^2} \quad (4)$$

컨버터의 주파수 특성을 분석하기 위해서 그림 15와 같은 AC 등가모델을 구성하였고, 등가모델로부터 아래와 같은 전압이득 식을 구할 수 있었다.

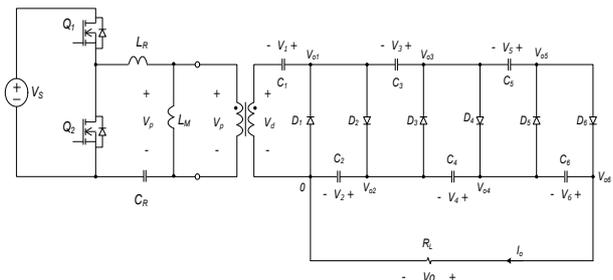


그림 10. 6배압 정류기 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터
Fig. 10. Basic circuit of the LLC half bridge converter with a sixfold voltage-multiplying rectifier

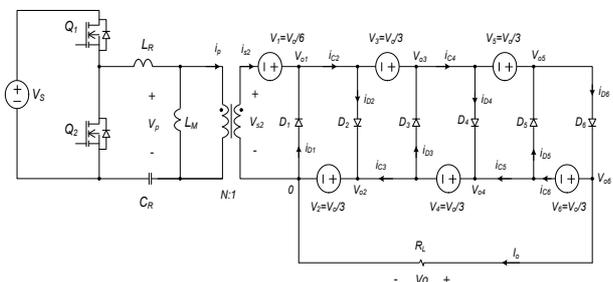


그림 11. 컨버터 등가회로
Fig. 11. Equivalent circuit of the converter

$$M = \frac{NV_o}{3V_s} = \frac{\omega_n K_L}{\sqrt{K_L^2 (1 - \omega_n^2)^2 Q^2 + \omega_n^2 \left(K_L + 1 - \frac{1}{\omega_n^2} \right)^2}} \quad (5)$$

이때 식 (5)에 사용된 변수는 식 (1)의 변수와 같다. 식 (5)로부터 6배압 정류기를 적용한 LLC 하프브릿지 컨버터의 주파수 특성은 전압이득만 제외하면 기존의 주파수 특성과 동일하다는 것을 알 수 있었고, 출력전압 기준으로 전압이득은 기존에 비해 6배 증가했고, 등가저항은 1/24로 줄었다는 것을 알 수 있었다.

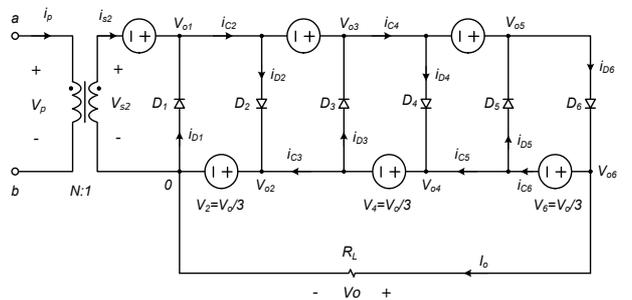


그림 12. 6배압 정류기 등가회로
Fig. 12. Equivalent circuit of a sixfold voltage-multiplying rectifier

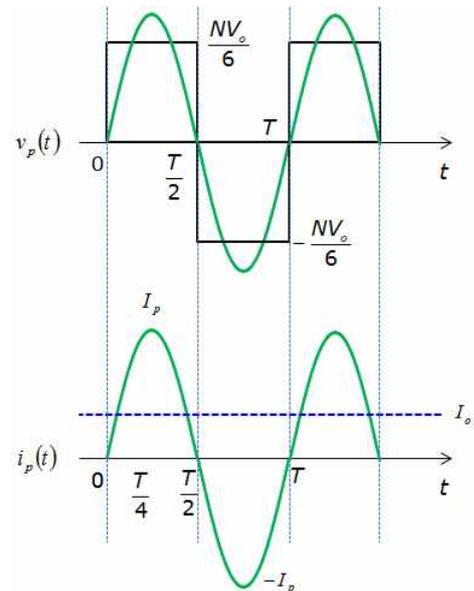


그림 13. 정류기의 전압 및 전류파형
Fig. 13. Current and voltage waveform of the rectifier

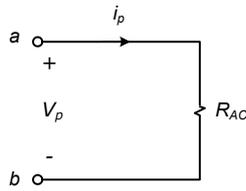


그림 14. 6배압 정류기 등가저항
Fig. 14. Equivalent resistor of a sixfold voltage-multiplying rectifier

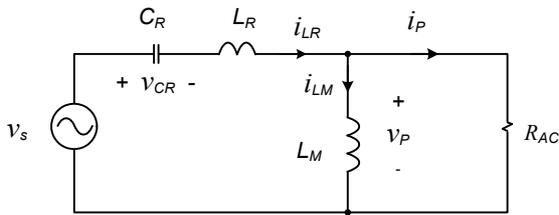


그림 15. AC 등가 회로모델
Fig. 15. AC equivalent circuit model

4. 시험 결과

앞 절에서 설명한 6배압 정류기를 적용한 LLC 컨버터의 고압전원장치 성능을 검토하기 위해서 CNT 면광원의 애노드 전원용 기본회로로 적용하였다. 표 1에는 시제품용 고전압 전원장치의 전기적 사양을 나타내었다. 입력전압은 AC-DC 정류과정에 역률개선회로가 적용된다는 가정 하에 직류 400V로 하였고 출력전압은 최대 16kV, 최대 전류는 10mA로 하였다. 변압기의 권선비는 식 (5)의 결과를 이용하면 아래와 같이 계산된다.

$$N = \frac{3MV_s}{V_o} = \frac{3 \times 1 \times 400}{15000} = 0.08 \quad (6)$$

즉 변압기 2차측 권선은 1차측의 12.5배로 설계된다. 표 2에는 고압 변압기의 전기적 사양이 나타나 있다. 코어의 형상은 높이를 낮추기 위해 EFD3030으로 정하였고, 1차측 권선수가 100턴, 2차측 권선수가 1,295턴으로 하였다. 특히 고압에서 전기적 절연을 확보하기 위해서 섹션보빈을 사용하였고, 공진 인덕터는 변압기의 누설인덕턴스를 활용하였다. 그림 16에는 고전압 정류기 모듈의 사진을 나타내었다. 사진에서 고

압커패시터는 10kV급이며 다이오드는 15kV 25mA급을 적용하였다. 그림 17에는 시제품 시험회로를 나타내었다. 그림 18에는 15kV 고압용 LLC 하프브릿지 컨버터의 시제품 사진이 나타나 있다. 그림에서 좌측에 교류를 입력으로 하는 입력단자가 있으며 역률개선과 정류기 동작을 위한 역률개선회로를 구성하였고 우측 상단에 고압압 변압기 및 6배압 정류기를 구성한 고압회로가 위치하고 있다 고압회로는 주변회로에 영향을 미치지 때문에 고압전용 절연용 밀봉함침 하였으며 하단에는 보조전원과 펄스 구동회로를 위치하였다.

표 1. 고전압 전원장치 정격
Table 1. Specifications for high voltage power supply

Parameters	Value	Unit
Input voltage range	350 - 400	Vdc
Output voltage range	11.5 - 16	kVdc
Output current range	0 - 10	mA
Switching frequency	55 - 75	kHz

표 2. 고압 변압기 사양
Table 2. Specifications of high voltage transformer

Parameters	Value	Unit
Core size	EFD3030	-
Core material	PL-7	-
Primary winding turns	100	Turn
Secondary winding turns	185×7	Turn
Magnetizing inductance	14	mH
Leakage inductance	700	uH
Bobbin section number	7	-

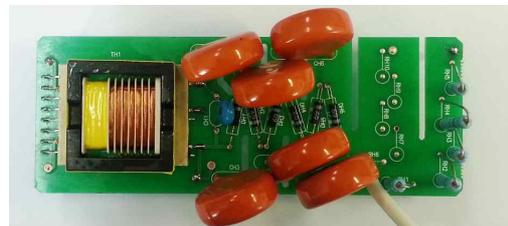


그림 16. 6배압 정류기 모듈
Fig. 16. a sixfold voltage-multiplying rectifier module

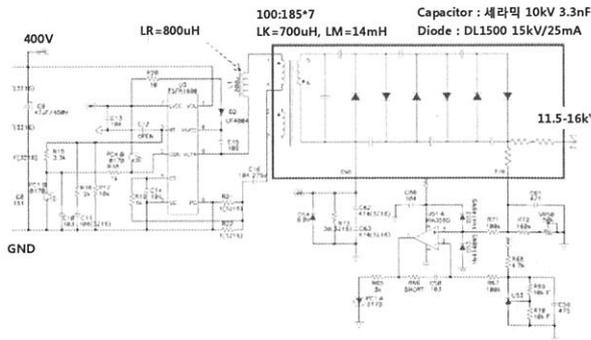


그림 17. 고전압 전원장치 실험 회로
 Fig. 17. Experimental circuit for high voltage power supply

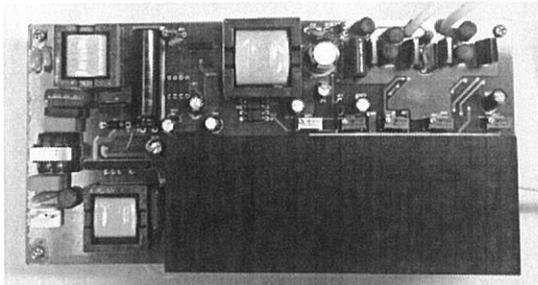
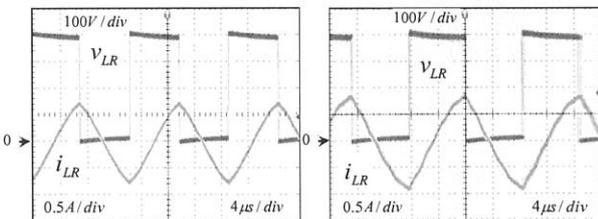


그림 18. 고전압 전원장치 실험 회로
 Fig. 18. Experimental circuit for high voltage power supply

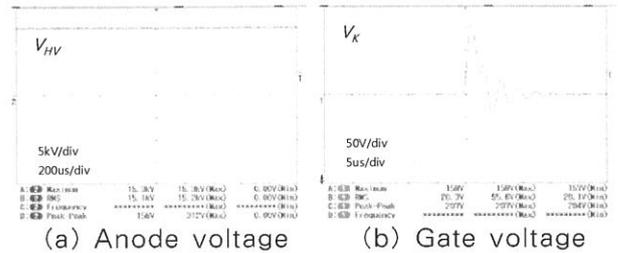


(a) No load condition (b) Lamp load condition

그림 19. 고전압 전원장치의 동작파형
 Fig. 19. Operational waveform for high voltage power supply

그림 19에는 정상상태에서 공진전류 및 전압 파형을 나타낸 것이며 그림 19 (a)에는 무부하인 경우 1차측 전류와 전압파형이 나타나 있으며, 그림 19 (b)에는 면광원 부하인 경우 1차측 전류와 전압파형이 나타나 있다. 시험 제작된 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터의 정상상태 파형에서 알 수 있듯이 공진전류가 안정적으로 동작하고 있다. 무부하 동작과 CNT 면광원 부하를

연결한 경우 동작에는 큰 차이가 없었으며 부하전류가 상대적으로 적기 때문이라고 판단된다. 그림 20에는 면광원의 애노드 전압과 게이트 전압을 나타낸 것이다. 출력전압은 정상상태에서 약 15kV를 유지하였으며 펄스부하에서도 리플 전압이 크지 않았고 면광원의 특성도 안정적으로 유지되었다는 것을 확인하였다. 그림 21에는 고압 전원장치 시제품을 CNT 면광원에 적용한 구동 사진을 나타내었다. 그림에서 시제품과 면광원 사이에 애노드, 캐소드, 게이트로 구성된 3선이 결선되었으며 CNT 면광원용 안정기로서 안정적 특성을 나타내고 있었다.



(a) Anode voltage (b) Gate voltage
 그림 20. 정상상태 동작파형
 Fig. 20. Operational waveform for steady state

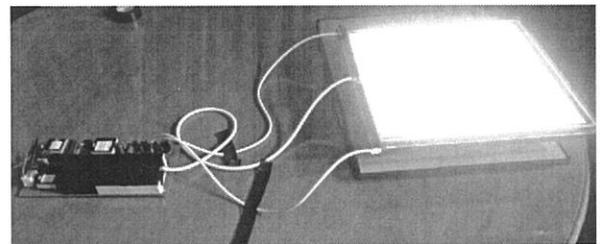
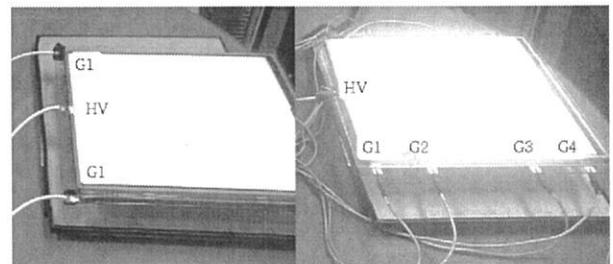


그림 21. CNT 램프 구동 사진
 Fig. 21. Driving picture for the CNT lamp



(a) Single gate drive (b) Double gate drive

그림 22. CNT 램프의 게이트 구동 방법
 Fig. 22. Gate driving method for CNT lamp

그림 22에는 램프를 두 개의 구간으로 분할하여 게이트와 캐소드를 분할 구동시킨 실험 사진이다. 사진에서도 단일 구동뿐만 아니라 분할 구동에서도 양호한 구동 특성을 얻을 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터를 이용하여 CNT 면광원용 초고압 전원장치를 구성하고 그 시험결과를 보고하였다. 고전압 출력을 위해서 6배압 정류기를 적용하여 설계하였다. 6배압 정류기에 대한 상세한 정상상태 해석을 수행하였으며, LLC 공진형 하프브릿지 컨버터에 적용하여 기본 설계에 필요한 입출력 전압비를 유도하였다. 또한 주파수 특성에 대한 정상상태 특성식을 해석하였으며 실제 시제품 설계에 적용하여 검증하였다. 시험 제작된 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터는 입력전압을 400V, 출력전압을 15kV로 설계 하였다. 특히 고압 변압기는 색선 보빈과 에폭시 함침을 이용하여 절연하였고 6배압 정류기와 함께 모듈 함침을 하였다. 시험결과 시제품은 정상상태에서 무부하 동작과 CNT 면광원 부하를 연결한 경우 안정된 동작과 광원용 안정기로서 문제가 없다는 것을 확인하였다. 부하특성 시험결과 출력전압은 정상상태에서 약 15kV를 유지하였으며 면광원의 특성도 안정적으로 유지되었다.

이 논문은 2014년도 청주대학교 연구장학 지원에 의한 것임.

References

- [1] Chang-Hua Lin, Min-Hsuan Hung, Chien-Ming Wang "Analysis and implementation of a high voltage pulse driver with energy recovery circuit for CNT-HE lamp", Power Electronics and Drive Systems, 2009. PEDS 2009.
- [2] Jong-Hyun Kim, Myung-Hyo Yoo, Dong-Wook Yoo, Hye-Man Jung, Seok-Jin Ha, "Hybrid ballast for field emission lamp with CNT emitter", Power Electronics, 2007. ICPE '07.
- [3] S. D. Johnson, A. F. Witulski, and R. W. Erickson, "Comparison of Resonant Topologies in High-Voltage DC Applications," IEEE Trans. of Aerospace and Electronic

- systems, Vol. 24, No. 3, pp. 263-274, May 1988.
- [4] Bo Yang, F. C. Lee, A. J. Zhang, Guisong Huang "LLC resonant converter for front end DC/DC conversion," Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2002. APEC 2002. Seventeenth Annual IEEE, Vol. 2, pp.1108 – 1112, 2002.
- [5] J. Liu, L. Sheng, J. Shi, Z. Zhang, and X. He, "LCC Resonant Converter Operating under Discontinuous Resonant Current Mode in High Voltage, High Power and High Frequency Applications," in Proc. APEC02 pp.1482-1486, February 2009.
- [6] Jee-Hoon Jung, Joong-Gi Kwon "Theoretical analysis and optimal design of LLC resonant converter," 2007 European Conference of Power Electronics and Applications pp.1-10, Sept 2007.
- [7] F. Canales, P. Barbosa, F. C. Lee "A wide input voltage and load output variations fixed-frequency ZVS DC/DC LLC resonant converter for high-power applications" in Conf Rec Industry Applications 2002, Vol. 4, pp. 2306-2313, 13-18 Oct 2002.
- [8] A. Gopiyani, V. Patel, M. T. Shah "A novel half-bridge LLC Resonant Converter for high power DC power supply" in Conf IPEC 2010, pp. 34-39, 27-29 Oct. 2010.
- [9] L. S. Senthamil, P. Ponvasanth, V. Rajasekaran "Design and implementation of LLC resonant half bridge converter," ICAESM 12, pp. 84-87, March 2012.
- [10] J. Budnick, T. Bertuccio, K. Kirk, M. Sewell, G. Brown "Reliability improvements for Cockroft-Walton high voltage multipliers," Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 1991., Conference Record of the 1991 IEEE, Vol.2, pp.974-978 2-9 Nov, 1991.
- [11] M. Rentsch, F. Fleisberg, H. Guldner "Closed Analytical Model of a 20 kV Output Voltage, 800W Output Power Series-Parallel Resonant Converter with Walton Cockroft Multiplier," IEEE-PESC2008, pp.1923-1929, 15-19 June 2008.

◇ 저자소개 ◇



안태영 (安泰榮)

1961년 3월 25일생. 1984년 한양대 전자공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 큐슈대 전자공학(박사). 1995년 일본 세이코 전기선임연구원. 1996년 삼성전자 반도체선임연구원. 1997년~현재 청주대 전자정보공학부 교수.



길용만 (吉容滿)

1989년 1월 13일생. 2007년 청주대 전자공학과 졸업. 2013년 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 2013년~현재 동대학원 전자공학과 박사과정.