

CNT를 이용한 무수은 면광원 안정기 개발

朴東赫^{*}, 河石鎭^{**}, 鄭惠萬^{**}, 金鍾賢[†], 白周元^{***}, 俞東旭^{***}, 宋義鎬[§]

The Ballast for Field Emission Lamp with CNT Emitter

Dong-Hyuck Park, Seok-Jin Ha, Hye-Man Jung, Jong-Hyun Kim, Ju-Won Baek,
Dong-Wook Yoo and Eui-Ho Song

요 약

본 논문에서는 전계방출 원리를 이용하여 이미터로서의 성능이 뛰어난 탄소나노튜브 (Carbon Nano Tube)를 이용한 전계방출 면광원용 안정기를 제안한다. 안정기는 고전압 직류전압 부분과 양극의 펄스를 생성하는 부분으로 구성되어 있다. 탄소나노튜브를 이용한 전계방출 램프는 3가지의 전극 (애노드, 게이트, 캐소드)으로 구성되어 있는데, 애노드와 게이트 사이에는 직류 고전압이 공급되고 게이트와 캐소드 사이에는 양극의 펄스가 공급된다. 램프 및 안정기를 보호하기 위하여 과전류, 과전압, 과온도에 대한 보호 기능을 추가하였고, 실험을 통하여 제안된 방식이 탄소나노튜브를 이용한 램프 구동을 위한 적합함을 검증하였다.

ABSTRACT

Hybrid ballast for field emission lamp with CNT (carbon nano tube) emitter is proposed. Hybrid ballast consists of a high voltage dc part and bi-polar pulse generation part. Field emission lamp with CNT lamp is composed of three electrodes (anode, gate, and cathode). High voltage dc part is for anode and gate and bi-polar pulse generation part is for gate and cathode in CNT triode respectively. The experimental results demonstrate that the proposed topology is good for driving CNT lamp. To protect the lamp and ballast, OCP (Over Current Protection), OVP (Over Voltage Protection), and OTP (Over Temperature Protection) are added and the experimental results demonstrate that the proposed method is good for driving field emission lamp with CNT emitter.

Key Words : CNT, Field emission, Fly-back, Bi-polar pulse, Frequency Control

1. 서 론

고효율과 고휘도를 가지는 새로운 발광원에 대한 연

구는 활발하게 진행되고 있고, 그 중 FED는 평판 디스플레이에서 가장 전도유망한 면광원중의 하나이다^[1,2]. 특히 CNT 이미터를 사용하는 FED (Field emission display)는 새로운 발광원 시장에서 가장 많이 시도되고 있다.

Spindle형태의 물리브덴을 사용한 이미터 기술은 현장에서 3년 이상 사용되어 오면서 신뢰성과 그 가능성을 입증 받았다^[3]. 큰 사이즈의 CNT FED 패널은 개발 중에 있는데, FED는 작거나 중간 크기의 패널 등에 응용 될 뿐만 아니라 큰 크기의 패널에도 사용 될

[†]교신저자 : 정회원, 전기연구원 선임연구원
E-mail : kimjh@keri.re.kr

^{*}학생회원, 창원대 대학원 제어계측공학과 석사과정

^{**}정회원, 에어텍시스템 전임연구원

^{***}정회원, 전기연구원 책임연구원

[§]정회원, 창원대 제어계측공학과 교수

접수일자 : 2008. 8. 14 1차 심사 : 2008. 10. 1

심사완료 : 2008. 11. 6

것이다.

이러한 CNT 신광원은 원리상 저소비 전력형 고효율 광원으로 적합함은 물론이고, 기존의 형광등과는 달리 전압인가 즉시 발광이 가능하며, 전압 또는 전류의 조절에 의해 발광의 조절이 유용하며, 수은을 함유하고 있지 않아 향후 에너지 절약과 친환경 측면에서 강화되어가고 있는 국제 환경 규제에 능동적인 대응이 가능한 친환경적 광원으로 기대를 얻고 있다.

FED의 핵심인 전계방출은 전기장이 진공상태에서 뾰족한 팁 모양의 이미터들에 가해지면 전자가 방출되는 원리이다. 이때 CNT가 FED에 이미터로 사용되면 우수한 특성을 나타낸다^[45].

현재 CNT FED를 구동하는 방법에 있어서는 직류 고전압 모드, 고주파 인버터모드, 그리고 고주파 펄스 인버터 모드 등이 있다. CNT 이미터 전계방출을 적용한 새로운 발광원의 경우, 직류 고전압 모드만 이용되어왔다. 그러나 이런 경우 효율과 CNT 램프의 짧은 수명측면에서 많은 단점이 있다^[6,8]. 따라서 효율과 CNT램프의 짧은 수명을 향상시키기 위하여 3극 구조인 CNT램프에서 게이트와 캐소드 사이에 펄스 전압을, 애노드와 캐소드 사이에는 고전압 직류전압을 공급하는 방식을 적용하였다^[9]. 본 논문에서 제시한 CNT 이미터를 가진 전계방출 램프용 안정기는 그림 1에서 보듯이 3극진공관 CNT 램프를 구동시키기 위해 안정기는 애노드와 캐소드 사이에는 높은 직류 전원 공급원으로 직류 전압을 공급되고, 게이트와 캐소드 사이에는 양극 펄스 전압을 공급하였다. 즉, 애노드를 통해 공급되는 높은 직류전압과 게이트를 통해서 공급되는 양극의 펄스 전압을 하나의 안정기에서 동시에 공급하였다.

2. CNT를 이용한 전계방출 램프를 위한 안정기

그림 1에서 CNT이미터를 가진 전계방출 램프용 안정기의 전체적인 블록 다이어그램을 보여준다. 안정기는 고전압 직류부분과 양극의 펄스를 생성하는 부분으로 구성되어 있다. 이 두 부분들은 AC-DC 부분을 통과한 선간 전압으로부터 세 전극을 위한 직류 고전압과 양방향 펄스를 얻을 수 있다. 역률 개선 회로를 포함한 AC-DC 부분은 역률을 향상시키고 고조파를 감소시킨다.

2.1 직류 고전압 부분

그림 2에서 직류 고전압 부분의 그림을 보여준다.

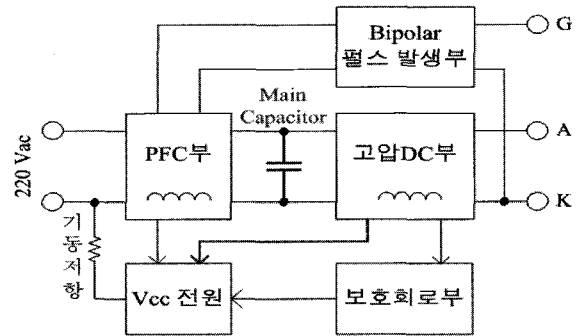


그림 1 CNT를 이용한 전계방출 램프를 위한 안정기의 구성도
Fig. 1 Block diagrams of the hybrid ballast for field emission lamp with CNT emitter

그림 2에서 볼 수 있듯이 V_{in} 은 220Vac 단상으로부터 얻어지는 역률개선회로의 출력전압이다.

1차 측에서부터 2차 측까지의 에너지를 효율적으로 변환하기 위해서 병렬 공진 하프브리지컨버터를 적용하였고, 주파수 제어 방법을 이용하여 출력직류 전압을 제어하였다.

애노드와 캐소드를 구동하기 위한 최대 15kV의 출력전압을 고전압 변압기와 전압 배압(Cockroft-Walton)회로로부터 얻을 수 있었다. 15kV의 고전압을 얻기 위하여 변압기의 1차 측과 2차 측 사이의 비는 약 32:230이고, 이 비는 2차 측에서의 2.5kV의 승압을 가능하게 하였다. CNT부하에 적용된 6배의 승압 회로에서 최종적으로 15kV의 출력전압을 얻을 수 있었다.

출력 전압을 원하는 값으로 만들기 위해서는 배압회로 외에 고압 플라이백 회로를 사용하여 원하는 출력을 얻을 수도 있으나, 출력 커패시터, 주 변압기, 주 스위치, 출력 다이오드 등에 걸리는 내압이 배압회로 사용 시 보다 더 높은 내압을 견뎌야 하므로 소자들의 비용이 높아짐과 동시에 전압부담에 커지게 된다. 따라서 배압회로를 사용하는 것이 보다 경제적이다.

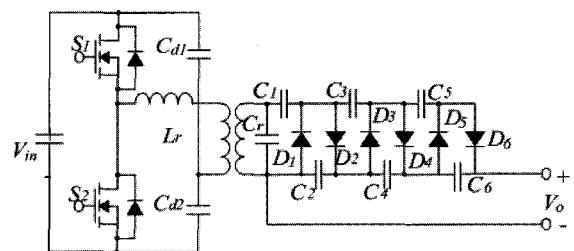


그림 2 고압 직류 전원부
Fig. 2 High voltage dc part

그림 3에서는 고압 직류부의 LC 공진 등가 회로를 나타낸 것이다. 고압 직류부의 LC 공진 등가 회로를 통하여 안정기를 설계함에 있어서 각 파라미터 값을 정확하게 된 원인과 그에 따른 결과를 시뮬레이션 함으로써 실제의 결과를 예측 할 수 있다.

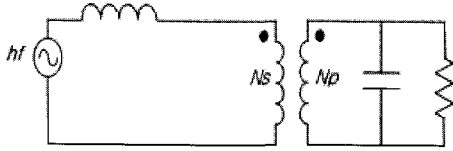


그림 3 LC공진 등가회로
Fig. 3 LC resonance equivalent circuit

여기서 인덕터 값은 752uH, 출력 커패시터의 값은 7.425nF 그리고 부하는 15kΩ이다. 이 값을 이용하여 전압 이득과 특성임피던스, 공진 주파수 값을 구 할 수 있다. 인덕터와 출력 커패시터, 권선비를 이용하여 구한 전압이득의 식은 식 (1), (2)와 같다.

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}, Q_p = R_i/Z_0, \omega_n = f_s/f_0 \quad (1)$$

$$|M| = \left| \frac{V_o}{V_{IN}} \right| = \frac{Q_p}{\sqrt{\left\{ \frac{\pi^2}{8} Q_p (1 - \omega_n^2) \right\}^2 + \omega_n^2}} \quad (2)$$

위의 파라미터를 이용하여 구한 공진 주파수는 식 (3)을 통하여 알 수 있다.

$$f_o = \frac{\omega_o}{2\pi} = 67.35 \text{ kHz} \quad (3)$$

특성임피던스는 식 (4)를 통하여 구할 수 있다. 이 특성 임피던스를 이용하여 전체적인 전압 이득을 구 할 수 있다.

$$Z_0 = \sqrt{L/C} = \sqrt{752\mu\text{H}/0.007425\mu\text{F}} = 318.24\Omega \quad (4)$$

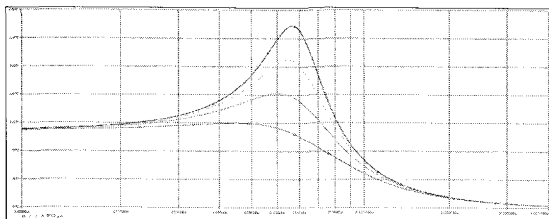


그림 4 전압이득 곡선
Fig. 4 Voltage gain curve

그림 4는 식 (1), (2)에서 구한 식과 각각의 파라미터를 이용하여 P-Spice 시뮬레이션을 이용하여 구한 전압이득 곡선이다. 시뮬레이션을 수행한 파형을 보았을 때, 식 (3)을 이용하여 구한 공진 주파수 구간에서의 전압 이득 곡선이 최고치를 이루는 모습을 볼 수 있다. 그리고 전압이득 곡선을 보았을 때, 공진 주파수의 오른쪽 부분에서는 주파수가 증가할 수록 전압이득이 떨어지는 모습을 관찰 할 수 있으며, 이를 통해 주파수를 이용한 출력전압 제어가 가능함을 알 수 있다.

2.2 양극 펄스 발생 부분

3극관 유형에서 CNT 3극관의 캐소드와 애노드 사이에 고전압 직류가 공급되고 게이트와 캐소드 사이에는 양극의 펄스가 공급된다.

CNT 램프 구동을 위한 3극 구조형 펄스전원은 애노드와 캐소드 양단에 고압 직류 전원을 인가하고 게이트와 캐소드 사이에 펄스 전원을 인가하게 된다. 이를 위하여 게이트와 캐소드 사이에 양과 음의 펄스 전원을 인가하는 양방향 구동 펄스전원 방식을 채택하였고, 이 방식을 적용하게 되면 게이트와 캐소드 사이에 양과 음의 펄스전원이 인가되므로 CNT 램프의 수명이 증가되고, CNT 램프에 흐르는 주 전류가 게이트와 캐소드 사이의 펄스전원에 따라 애노드와 캐소드 또는 애노드와 게이트 사이에서 흐르기 때문에 CNT 램프의 발광 효율이 상승하는 장점이 있다.

그림 5는 양방향 펄스 발생기의 구조를 보여주고 있으며, 그림 6은 양극의 펄스 발생 부분의 신호를 보여 준다. 양극의 펄스 발생 시스템에서, +Vr은 스위치 S1과 S4가 동시에 켜질 때 나타나고, -Vr은 스위치 S2와 S3이 동시에 켜질 때 발생한다. VAB는 변압기를 사용하여 Vpulse로 옮겨진다. 변압기의 누설 인덕턴스 성분과 CNT 램프의 게이트와 캐소드 사이의 커패시터 성분 때문에, Vpulse는 VAB의 사각파형에서 사인곡선 파형을 가지게 된다.

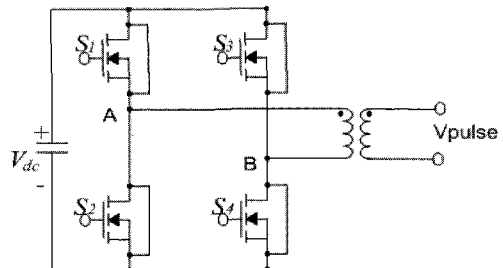


그림 5 양극 펄스 발생부
Fig. 5 Bi-polar pulse generation part

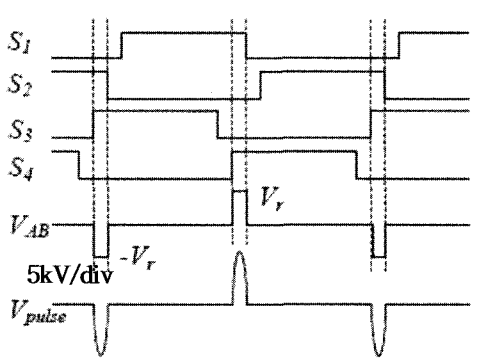


그림 6 양극 펄스 발생부의 신호
Fig. 6 Waveform of Bi-polar pulse generation part.

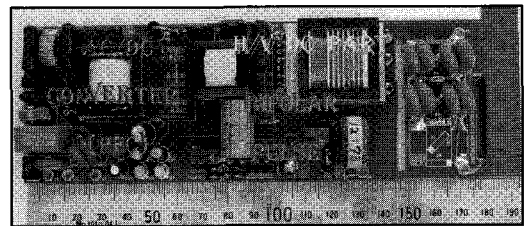
3. 실험결과

본 논문에서 제안한 CNT 이미터를 가진 전계방출 램프를 위한 안정기의 실제모습은 그림 7에서 보는 바와 같이 구성된다. 전체 구성의 입력, 출력의 값들을 살펴보면, 역률개선행부의 AC/DC 컨버터 입력은 220V_{AC}이며 출력은 390V_{DC}, 50W의 출력을 가진다. 고전압 직류부의 입력은 390V_{DC}이며 출력의 전압은 15kV_{DC}, 전류는 3mA_{rms}, 400mA_{peak}, 동작주파수는 65kHz전후로 나타난다. 그리고 양방향 펄스발생부의 입력은 80V_{DC}이며 출력은 350V_{peak}, 6.88A_{peak}, 1.06A_{rms}, 동작주파수는 1kHz이다.

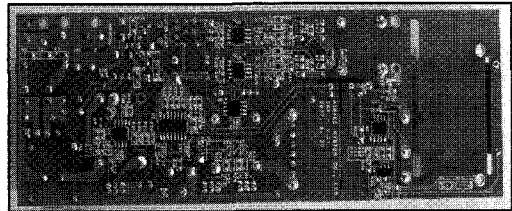
그림 8(a)의 그림은 입력전압과 전류에 대한 파형이다. 입력전압은 220V_{rms}이며, 전류는 280mA_{rms}이다. 입력 전류는 사인파형이며, 위상은 입력전압의 파형과 동일하며, 현재 역률은 0.98이다. 그림 8(b)는 전류의 고조파 성분들을 보여주고 있다.

그림 9는 주파수 변화에 따른 출력 전압의 변화의 파형이다. 그림 9(a)의 주파수는 85.7kHz이고, 출력전압은 8.0kV_{rms}이다. 그림 9(b)의 주파수는 77.4kHz이고, 출력전압은 10.0kV_{rms}이다. 그림 9(c)의 주파수는 71.2kHz이고, 출력전압은 12.0kV_{rms}이다. 그림 9(d)의 주파수는 64.4kHz이고, 출력전압은 15.0kV_{rms}이다. 이 실험 파형에서 알 수 있듯이 주파수가 커짐에 따라 출력전압이 감소하는 모습을 알 수 있다. 이는 실제 안정기를 구동하는 주파수가 공진 주파수보다 큰 값을 가지게 됨으로써, 시뮬레이션을 통하여 알게 된 전압 이득 곡선의 공진 주파수의 오른쪽 부분의 결과인 주파수가 증가함에 따라 전압 이득이 줄어드는 모습과 일치하는 것을 볼 수 있다. 이때의 실험 조건은 부하로 저항을 달아 실험 한 것으로 효율은 약 85% 이다.

그림 10은 제작된 안정기를 이용하여 실제 CNT 램프와 연계하여 출력 파형을 관찰한 모습이다. 그림 10(a)는 램프 연계된 안정기의 출력 전압 파형이며, 애노드와 캐소드 사이의 전압인 직류 고전압은 15.1kV_{rms}, 게이트와 캐소드 사이에 공급 되는 최대 344V전압의 파형 모습이고 그 주파수는 1kHz이다. 그림 10(b)는 출력 전압과 전류의 파형을 확대 시켜놓은 모습이다. 그림 11은 안정기를 이용하여 구동시킨 CNT 이미터를 가진 전계방출 램프의 사진이며, 이때의 입력전력은 36 [W]이고 출력 광도는 5500 [cd/m²]이다.



(a) 위
(a) TOP

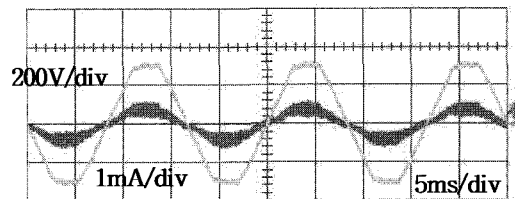


(b) 밑
(b) BOTTOM

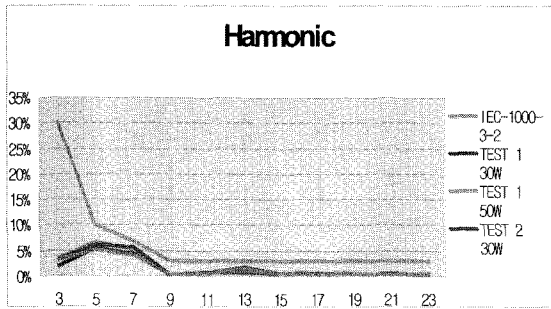


(c) 옆
(c) Side

그림 7 안정기의 사진
Fig. 7 The photograph of the hybrid ballast

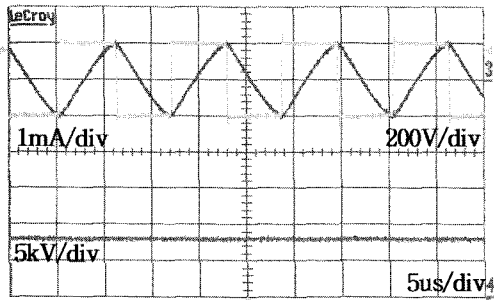


(a) 입력 파형
(a) Input waveform

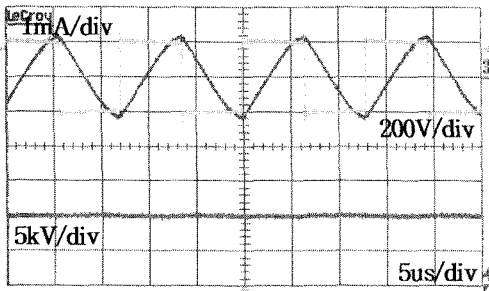


(b) 전류의 고조파 성분
(b) Harmonic components of current

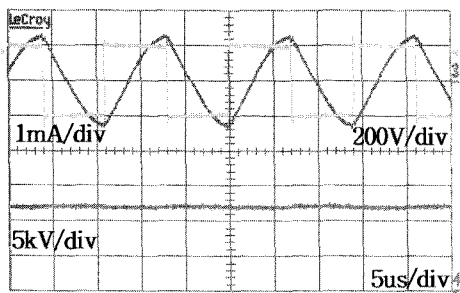
그림 8 안정기의 고조파 성분과 입력 파형
Fig. 8 Input waveform and harmonic components of the hybrid ballast



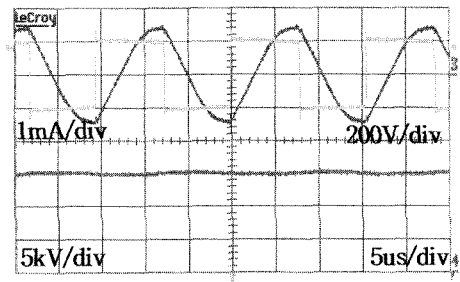
(a) 8kV, 85.7kHz



(b) 10kV, 77.4kHz

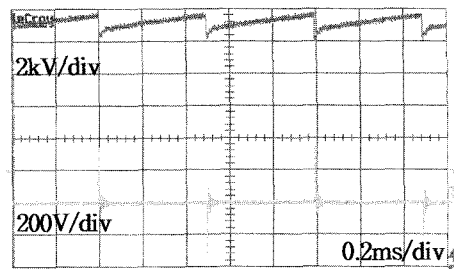


(c) 12kV, 71.2kHz

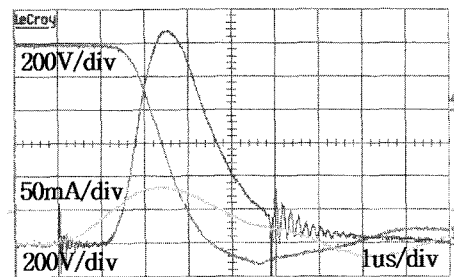


(d) 15kV, 64.4kHz

그림 9 주파수변화에 따른 출력전압의 파형
Fig. 9 Frequency amplitude modulation



(a) 출력 전압
(a) output voltage waveform



(b) 확대한 출력 전압
(b) enlarge output voltage waveform

그림 10 안정기의 출력 파형
Fig. 10 Output waveform of the hybrid ballast.

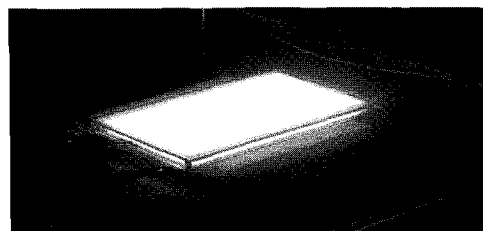


그림 11 CNT를 이용한 램프의 구동모습
Fig. 11 The photograph of field emission lamp with CNT emitter

4. 결 론

본 논문은 CNT 이미터를 가진 전계방출 램프를 위한 안정기를 제시하였다. CNT를 가진 전계 방출 램프는 3개의 전극으로 구성되고 이를 구동시키기 위한 안정기는 크게 고전압 직류부분과 양극의 필스를 발생시키는 부분으로 이루어져있다. 애노드와 게이트 사이에는 고전압 직류가 공급되고, 게이트와 캐소드 사이에는 양극의 필스가 공급된다. 고전압 직류부에서는 설계 시 필요한 각각의 파라미터 값들을 가지고 L-C공진 등가 회로를 P-Spice 시뮬레이션을 이용하여 전압이득곡선의 결과와 실제 안정기를 제작하여 구동시킨 공진 주파수와 전압이득 등의 결과가 일치 하는 모습을 관찰 할 수 있었다. 또한, 개발된 안정기에 보호회로를 추가하여 면광원 및 안정기를 보호하여 신뢰성과 수명을 향상을 기대할 수 있다. 이 연구는 CNT 면광원의 상업적인 이용을 위한 초기단계이며 현재 시스템 효율과 완성도를 높이는 작업을 하고 있다.

참 고 문 헌

[1] Lee Young-hee, "The Physical Property and Application of Carbon Nanotube", Sae Mulli (The Korean Physical Society), Vol.51, No. 2, pp. 84-144, August 2005.

[2] Cho Jae-chul, Kim Ji-seoung, and Gu Hal-bon , "Recent Trend of FED (Field Emission Display)", The Journal of The Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 9, No. 9, pp. 964-968, 1996.

[3] R.H. Baughman et al, "Carbon Nanotubes-the route toward application", Science 297, pp. 787-792, 2002.

[4] Park Chong-yun, Lee Yang-doo, Ju Byung-kwon, and Jeon Young-jin, "Development of new lighting source with high efficiency using carbon nanotube", The 18th Workshop of Energy Saving Technology, November 2003.

[5] Choi Won-bong, Lee Nae-sung and Kim Jong-min, "The Field Emission Display using Carbon Nanotube", The Journal of The Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 13, No. 5, pp. 44-48, 2003.

[6] Chun-tao Lee, Yung-Chiang Lan, Bing-YuoTsui, and Cheng-chung Lee, "New driving method for triode CNT-FED", Technical digest of IVM 2003, Vol. 05, No. 3, pp. 45-46, 2003.

[7] Sang-su Kim, Yong-bae Kim, Sin-du Lee, and

Jong-duk Lee, "Display Engineering", 2nd Edition, pp. 426-486, March 2000.

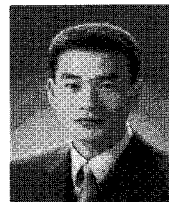
[8] Myung-hyo Ryu, Ju-won Baek, Jong-hyun Kim, and Dong-wook Yoo, "A study on the pulse generator for CNT lamp driving", IECON2006, pp. 2683-2687, 2006.

저 자 소 개



박동혁(朴東赫)

1981년 11월 12일생. 2007년 창원대 공대 제어계측공학과 졸업. 2007년~현재 동 대학원 제어계측공학과 석사과정.



하석진(河石鎭)

1974년 5월 6일생. 2001년 창원대 공대 제어계측공학과 졸업. 2005년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2006년~현재 (주)에어텍시스템 전임연구원



정혜만(鄭惠萬)

1982년 11월 30일생. 2005년 경남대 공대 전자전기공학과 졸업. 2005년~현재 (주)에어텍시스템 전임연구원



김중현(金鍾賢)

1968년 4월 18일생. 1991년 경북대 전자공학과 졸업. 1994년 포항공대 대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박). 1998년~2002년 삼성전기(주) 선임연구원. 2002년~현재 전기연구원 고집적전원연구그룹 선임연구원



백주원(白周元)

1967년 1월 2일생. 1990년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2004년 Virginia Tech 방문연구원 IEEE 정회원, Reviewer of IEEE Trans. of P.E., V.T., I.A., and P.S. 현재 전기연구원 재료응용연구단 책임연구원.



유동욱(俞東旭)

1959년 11월 3일생. 1983년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 성균관대 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2005년 Michigan State Univ 방문연구원. 2004년 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템 부문회 협동이사. 2001년~현재 전력전자학회 학술이사. 2005년 전력전자학회 학술대회 위원장. IEEE 정회원, Reviewer, IEEE Trans. of Power Electronics, Vehicle Technology and Industry Application, IEE Electronics Letters, 현재 전기연구원 전력연구단 책임연구원.



송의호(宋義鎬)

1962년 11월 23일생. 1988년 부산대 전자공학과 졸업. 1990년 포항공대·대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(공박). 1993년~1996년 삼성전기(주)선임연구원. 1996년~현재 창원대 공과대학 제어계측공학과 교수.