

# 정전류 초핑을 이용한 구형파 구동형 고압 수은 방전등용 전자안정기 설계에 관한 연구

(A Study on Constant Current Boosted Squarewave Driving Electronic Ballasts for High Pressure Mercury Arc Lamp)

丁華鑽\* · 池哲根\*\*

(Hwa-Jin Cheong · Chol-Gon Chee)

## 요 약

본 논문에서는 고압방전등 전자안정기의 제작시 발생하는 음향공진 현상을 방지하기 위해서 방전등에 55.5(Hz)구형파를 인가하였고, 이 경우 방전등의 부저항특성 및 방전등의 시동특성에 효과적으로 대응하기 위해 인버터에 공급되는 전원을 정전류 초핑에 의한 DC전압으로 하였다. 설계된 전자안정기는 220[V]AC전원 전압을 정류하고, 스위칭 주파수가 30[kHz]인 정전류 초핑으로 방전등의 관전압에 맞는 DC 전압을 인버터에 공급하며, 인버터에서 55.5(Hz)의 구형파를 방전등에 인가하도록 설계하였다. 설계한 전자안정기를 제작하여 실험한 결과, 비교된 재래식 안정기보다 효율이 향상되고, 플리커현상이 발생하지 않으며, 방전등 시스템의 정전력화 및 조광기능을 갖추고 있어서 탁월한 실용성을 입증하였다.

제작한 전자안정기의 용량은 300[W] 입력전압은 220[V]이며, 실험에 사용한 램프는 정격전력이 300[W]이며 관전압 135[V] 관전류는 2.0[A]로서 측정하였다.

## Abstract

There are many articles about the HID lamps about its characteristics and simulation methods for lamp design or ballast design. For the electronic ballasts of HID lamps, There are some problems caused by acoustic-resonance which destabilizes the arc of HID lamps. So, some studies suggest the methods to avoid it. For example, the methods suggested are high frequency driving over 100[kHz], and mixed frequency driving which alternates high frequency and low frequency, and squarewave driving etc. This study suggests the electronic ballast of HID lamps that solves the problems of acoustic-resonance, and can control the luminance

\*正會員 : 서울대 工大 大學院 電氣工學科 博士課程

\*\*正會員 : 서울대 工大 電氣工學科 名譽教授

接受日字 : 1994年 7月 15日

by constant current boostes chopper of which frequency is 30[kHz] and by the squarewave driving of which frequency is 55.5[Hz]. As follows, we have the good electronic ballast for HID lamps which has the characteristics of a light weight, and a function of luminance control and a high quality luminosity and which saves electrical energy.

### 1. 서 론

최근의 저압 방전등 안정기는 전자소자를 이용한 에너지 절약형 고효율 고주파 전자안정기가 실용화되고 있다. 그러나 고압 방전등 안정기의 경우에는 고주파 점등시 발생하는 음향공진에 의한 램프의 파괴, 아아크의 불안정 및 시동시와 정상상태에서의 심한 관전압, 관전류의 차이에 의해 전자안정기의 실용화가 늦어지고 있으며, 전자안정기는 소용량에 한하여 실용화되고 있다. 따라서 본 논문에서는 위와 같은 문제를 극복하고자 음향공진 현상을 제거하기 위한 방법으로 방전등의 전원 전압에 구형파를 인가하도록 하였고, 방전등의 부저항 특성 및 시동시의 과대 과전류의 제한, 낮은 관전압을 형성시켜주기 위하여 인버터에 공급되는 DC전원을 정전류 초평방식으로 제어한다. 따라서 제안된 제어방식으로 전자안정기를 제작할 경우에 기대되는 효과는 음향공진 현상 제거, 램프의 효율향상, 광출력이 직류점등시와 같이 전압주기 중에도 일정하며, 전류제어에 의한 조광기능을 갖도록 하였다.

### 2. 고압 방전등 전자안정기의 점등방식

이제까지 제안된 고압 방전등용 전자안정기의 점등방식은 주로 음향공진을 피하기 위하여 방전관의 디자인 및 시뮬레이션을 통하여 음향공진이 발생하지 않는 최적 주파수를 찾아내거나 음향공진을 일으키지 않는 다양한 전압 인가방식을 채택하였다. 그 구체적인 방법들은 공진을 일으키지 않는 주파수의 전압을 인가하거나 100[kHz] 이상의 주파수를 갖는 전압을 인가하여 음향공진 영역의 주파수대를 피하는 방식, 고주파 및 저주파 전압을 시분할로 인가하여 공진이 발생하지

않도록 하는 방식, 음향공진 영역의 전압주파수대를 피하며 램프에 흐르는 전류를 제어하여 조광기능을 갖도록 하는 정전류제어 방식 및 음향공진이 전혀 발생하지 않는 구형파 전압을 인가하는 방식 등이 있다.<sup>9)~8)</sup>

### 3. 고압방전등 전자안정기의 점등방식 제안 및 설계

2장에서 언급한 다양한 점등방식 중에서 그 장점을 취하여 조광기능을 갖으며, 음향공진을 피하고, 직류방전시와 같이 플리커현상이 발생하지 않으며, 전원전압의 변동에도 광출력이 안정된 전자안정기를 다음과 같이 제안하였다.

#### 3.1 구형파 구동방식

정전류제어시 램프에 흐르는 전류의 방향이 단일하여 전극의 열화로 인한 램프의 수명이 단축될 뿐만 아니라, 메탈 할라드 램프의 경우에는 음향공진영역이 수[kHz]에서 수십[kHz]까지 폭넓게 분포되어 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하여 다양한 HID램프 전자안정기에 적용하기 위하여 램프전압을 구형파 인가 방식으로 채택하였다. 구형파전압을 방전등에 인가할 경우에 그림 3.1의 인버터회로에서 전압 스위칭을 할 경우에 Q1, Q2소자가 동시에 단락구간이 발생하므로, 이를 방지하고자 데드타임(Dead Time)을 주고 있다.

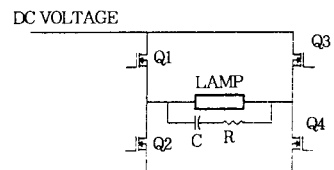
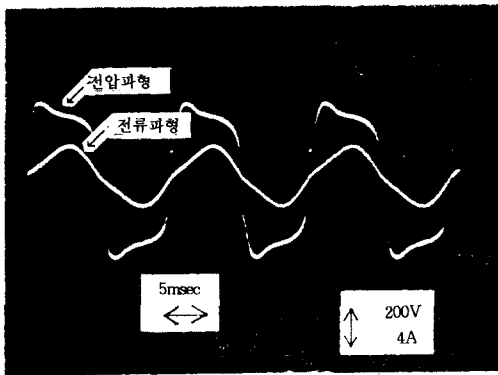
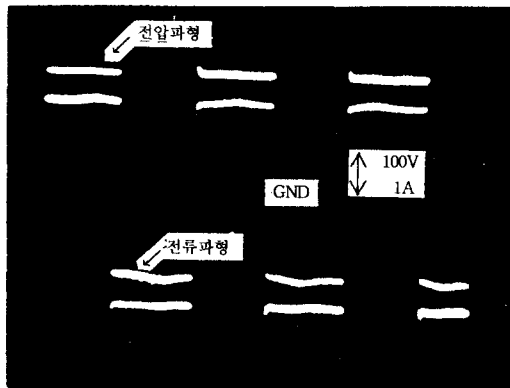


그림 3.1 인버터 회로구성  
Fig. 3.1 Inverter circuit which drives HID Lamp

그러나 데드타임 기간 중에 램프의 전류가 불연속이 되어 아크가 불안정해지는 것을 방지하기 위하여 인버터내에 방전등과 RC폐회로를 구성하고 있다. 방전등의 정상점등 상태에서 램프전원을 구형파로 인가할 경우, 방전등 모델링을 선형저항으로 할 수 있다. [2] 따라서 관전압/관전류 = 램프저항이므로  $135/2(V/A)=68(\Omega)$ 이라고 근사시키면, 폐회로의 저항은  $R=150+68=218(\Omega)$ ,  $C=0.1\mu F$ 이므로, 시정수  $\tau=21.8\mu sec$ 이며, 데드타임을 시제품에서는  $10(\mu sec)$ 를 인가하고 있어, 데드타임 기간 중에 램프의 전압 강하는  $85.3(V)$ 여서 방전 아크를 유지시키기에 충분함을 알 수 있으며, 방전등에 흐르는 전류는 각각 반사이클 기간에 직류와 근사함을 알 수 있다. 그림 3.2는 방전등에 인가되는 전압, 전류 파형이다.



(a) 재래식 안정기



(b) 전자안정기

그림 3.2 방전등에 인가되는 전압, 전류 파형

Fig. 3.2 The voltage and current waveforms added to the discharge lamp

### 3.2 정전류 초핑을 이용한 DC 전압 전원

방전등의 경우 부저항 특성을 갖기 때문에 재래식 안정기의 경우에는 인덕터를 한류소자로서 사용하였으나, 고압 대용량 램프의 경우에는 그 크기와 무게가 문제되어 소형화, 경량화시키는 것 및 효율을 향상시키는 것이 주요한 과제이다. 이 문제를 효과적으로 극복하기 위해 정전류 특성을 갖는 제어 방식을 채용하였다. <sup>1)</sup> 다음 그림 3.3은 안정기의 정전류 제어 회로 구성이다.

고압 방전 램프의 전기전도도는 관전압이 구형파일 경우에는 거의 선형적이다. <sup>2)</sup> 실험에 사용한 램프는 소비전력이 300(W)인 고압수은 방전등으로 정상 방전 상태 일 경우 램프의 관전압은 135(V) 관전류는 2.0(A)이다. 따라서 램프에 일정 전류가 흐르게 하고 회로를 수식 전개하여 보면 다음과 같다. 위의 회로도에서 L1에 흐르는 전류의 변화량을  $\Delta I$ 라 하면,

$$SW\ ON\ 기간\ \Delta I = \Delta I = \frac{V_i - V_o}{L} T_{on} \quad (3.2.1)$$

$$SW\ OFF\ 기간\ \Delta I = \frac{V_o}{L} T_{off} \quad (3.2.2)$$

전류가 연속일 경우, 식(3.2.1)(3.2.2)이므로, 출력전압은

$$V_o = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} V_i \quad (3.2.3)$$

따라서, 안정기 및 방전등의 특성을 전부하시  $V_i=282(V)$   $V_o=136.7(V)$   $I_o=2\ A$ ,  $L=1.82(mH)$   $T_{on}+T_{off}=33.9(\mu sec)$ 로 구성하면,  $T_{on}=16.0$

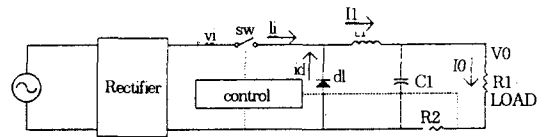


그림 3.3 정전류 제어 회로구성도

Fig. 3.3 The block diagram of constant current control circuit

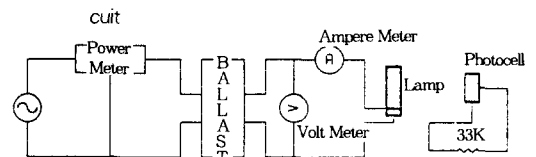


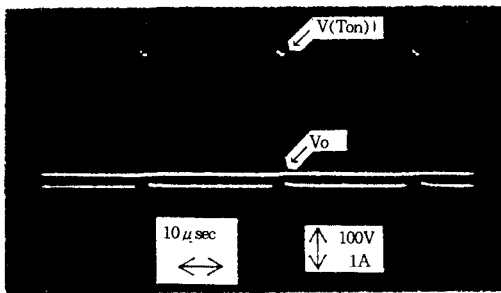
그림 3.4 초파회로의 입출력 전력 측정 회로구성

Fig. 3.4 Circuit diagram for input and output power measurement of chopping circuit

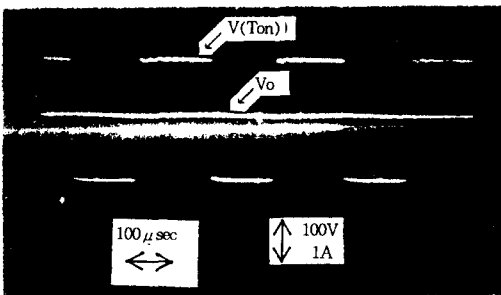
[ $\mu\text{sec}$ ]임을 알 수 있으며, 그림 3.5에서 입력전압과, Ton시간, 그리고 출력전압의 관계를 알 수 있다. 입력 전력 Pin과 출력 전력 Po의 관계는 스위칭 효율  $\eta$ 라고 할 때,  $P_{in}=P_o/\eta$ 이고, 그림 3.4와 같은 측정회로에서 실측한 입력전력이 300 [W], 방전등의 입력전력이 256.5[W]이므로 효율  $\eta$ 은 85.5[%]이다. 손실은 스위칭 소자에 의해 발생한 손실, 초크코일의 히스테리시스 손실 및 인버터의 전압강하로 인해 발생한 손실이다.

그림 3.5는 방전등의 관전압이 시동직후에는 10[V] 정상상태에서는 140[V]까지 상승하므로 초퍼회로의 Ton시간이 전류 부귀환에 의해서 변하는 것과 초크코일과 콘덴서로 평활하여 DC전원전압을 인버터에 공급하는 것을 보여주고 있다.

램프에 공급되는 전력은 전압과 전류를 조절함으로써 제어할 수 있으며 이 회로에서는 방전등의 부저항 특성 때문에 전류를 부귀환시킴으로써 방전등에 인가되는 전압을 조정하여 설정전류치에 도달하게 하여 전력제어를 행하고 있으며,



(a) 점등 후 20초 경과



(b) 정상 점등

그림 3.5 초퍼회로의 스위칭 특성

Fig. 3.5 The switching characteristics of chopping circuit

이로 인하여 조광기능이 부여되고 있다. 전류 제어회로의 구성은 그림 3.6과 같다.

### 3.3 정전류 제어형 구형파 점등

위의 두 가지 방식을 혼합하여 안정적이고 실용적인 고압 방전등용 전자안정기를 구성하였다. 전자안정기의 회로 구성은 다음의 그림과 같다.

그림 3.7에서 나타나듯이 정전류 초퍼를 분리하였기 때문에 방전등에 인가되는 전압 및 전류파형은 그림 3.2와 같고 그 주파수는 55.5[Hz]로 하였다. 또한 구형파 점등에서 방전 전류의 연속성은 재래식 안정기의 경우에 발생하는 재점등으로 인한 고압 펄스 전압에 의해 전극이 열화되어 램프의 수명이 단축되는 것을 피할 수 있다.<sup>3)</sup>

## 4. 전자 안정기의 성능 평가

위의 회로구성으로 안정기를 제작하여 실험한 성능은 재래식 안정기와 효율, 광출력의 리플율, 조광기능을 대비하여 평가하였다. 시험평가에 사용한 재래식 안정기는 입력 전압이 100[V], 입력 전력이 340[W], 2차 전압 220[V], 관전압이 135[V], 관전력은 300[W]이다. 조도측정은 상대적인 평가여서 셀레니움광전지에 33K의 저항을 연결하여 측정 하였다. 측정방법은 그림 4.1과 같이 구성하였다.

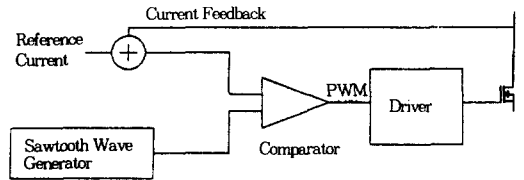


그림 3.6 전류 제어회로의 구성도

Fig. 3.6 The block diagram of current control circuit

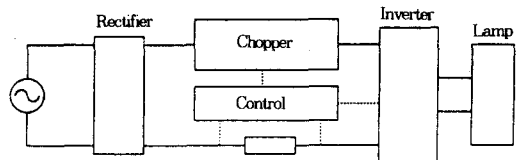


그림 3.7 전자 안정기의 구성

Fig. 3.7 Elements of electronic ballast

### 4.1 효율평가

정상상태에서 출력조도를 일정하게 유지하고 입력전력을 측정하여 비교하였다. 표 4.1을 보면 효율이 재래식 안정기에 대해 19.2[%] 향상되었음을 알 수 있다.

### 4.2 조도의 균일성 평가

재래식 안정기의 경우 전원 주파수 60Hz에 반응하기 때문에 초당 120번의 플리커가 발생한다. 고압 방전등의 경우에는 전압방전등보다 덜하지만 약 10[%]정도의 플리커가 존재한다. 그러나 시험제작한 안정기의 경우에는 거의 균일한 밝기를 유지함을 알 수 있다. 플리커는 광전지의 리플율을 기준으로 평가하였다. 표 4.2의 리플율에서 볼 수 있듯이 동일 광출력에서 약 350[%]정도로 현저하게 감박임이 감소하였음을 알 수 있다. 그림 4.2에서 광전지의 출력을 보이고 있다.

### 4.3 조광기능 평가

재래식 안정기의 경우 조광기능을 부여할 수 없으나, 시험제작한 전자안정기의 경우에는 220[V]전원전압에서 정상상태의 69[%]에서부터 100[%]까지 조광할 수 있다(그림 4.3 참조).

### 4.4 조명부하의 정전력성 평가

실험에 쓰인 램프의 관전압이 135[V]이기 때문에 시험 제작한 안정기의 경우에는 정류 콘덴서에 의해 130[V]의 전원전압에도 안정된 점등을 유지할 수 있다. 방전의 안정성은 광출력으로

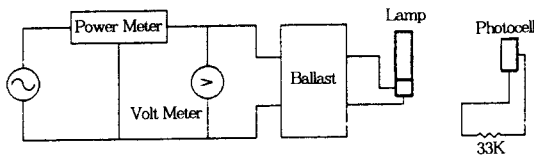


그림 4.1 조도 측정에 사용한 실험 장치 구성

Fig. 4.1 The experiment apparatus or measuring luminance

표 4.1 입력전력과 광출력의 비교

안정기	입력전력	광전지 전압	효율 비교
재래식	355W	254mV	100%
시제품	287W	254mV	119.2%

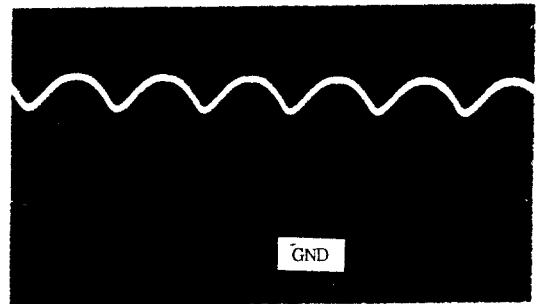
평가할 수 있으므로 정격 입력전력일 때의 광출력 및 전원 전압을 기준으로 각각에 대해 측정된 결과, 그림 5.4에서 나타나듯이 재래식 안정기의 경우에는 전원전압이 변동함에 따라 입력전력 및 광출력이 비례해서 변화하나, 시험제작한 전자안정기에서는 입력전압의 변동에도 일정한 광출력을 유지함을 알 수 있다. 이는 곧 정전력 안정기임을 나타내며 전원전압의 변동에 대한 부하의 안정성을 보여주고 있다. 각 데이터는 정격입력을 기준으로 한 비례치이다.

## 5. 결론

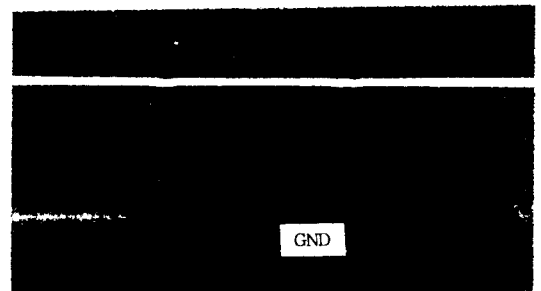
이상과 같이 정전류 제어형 구형과 점등방식의

표 4.2 광출력의 리플율 비교

안정기	입력전력	광전지 전압	리플전압	리플율
재래식	355W	254mV	21.3mV	8.39%
시제품	287W	254mV	0.6mV	0.24%



(a) 재래식 안정기



(b) 전자안정기 시제품

그림 4.2 동일 조도(실험치)에서 램프의 광출력 비교

Fig. 4.2 The comparison of luminous output power of lamp at the same luminance

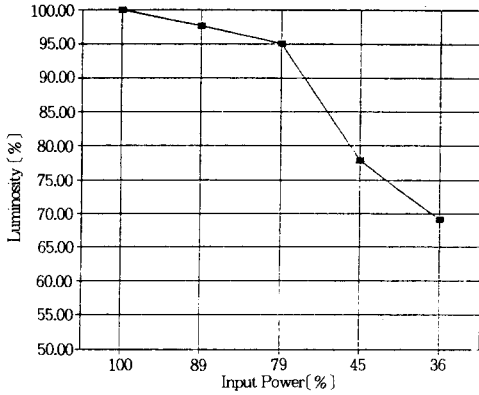


그림 4.3 입력전력과 광출력의 비교 (입력전압 : 220V)

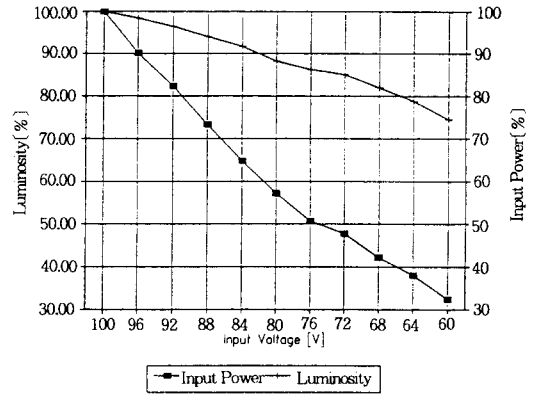
Fig. 4.3 The comparison of input power to illumination output of lamp

전자안정기를 제작하여 재래식 안정기에 비하여 동일한 광출력에서 19.2[%] 에너지가 절감되었으며, 직류점등시와 같이 플리커현상이 거의 없는 안정된 광출력을 얻음은 물론 넓은 범위의 조광 기능을 부여하였으며, 전원전압의 변동에 대해 광출력의 안정성이 우수함을 입증하였다.

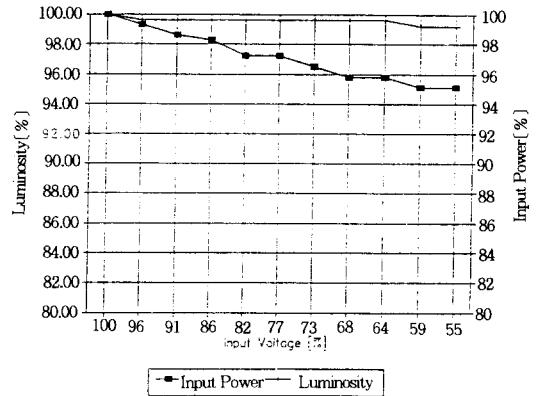
그러나 실용화를 위해서는 다음과 같은 사항이 보충되어야 할 것이다. 우선 최적의 스위칭 소자와 컨트럴 소자의 구성에 의해 단가를 낮추어야 하며, 시작품에서 평가하지 않은 EMI노이즈 문제에 대한 구체적 평가 및 대책이 강구되어야 한다. 램프의 수명에 대한 평가실험도 수행해야 하며 안정기의 역할을 개선하는 방법이 제시되어야 한다. 이들 문제는 회로 보장을 통해 해결이 가능하다.

### 참 고 문 헌

- 1) 지철근, 전기응용, 문운당, 1987.
- 2) Phillip R. Herrick, "Mathematical Models for high-Intensity Discharge Lamps", IEEE Tran, Ind. Appl., Vol.IA-16, No.5, pp.648-654, Sep/Oct 1980.
- 3) J.M. Davenport and R.L. Hansler, "Direct current operation of low wattage metal halide lamps", J. IES/OCTOBER, pp.274-282 1984.
- 4) EDWARD L.LASKOWSKI and JOHN F. DONOGHUE, "A Model of a Mercury Arc Lamp's Terminal V-I Behavior", IEEE Tran Ind. Appl., Vol.IA-17, No.4, pp.419-426, Jul/Aug 1981.



(a) 재래식 안정기



(b) 전자 안정기

그림 4.4 입력전압 변동에 대한 램프출력 비교 (계속)

Fig. 4.4 The comparison of output power of lamp with variation of input voltage

- 5) Haruo Nagase, Hiroshi Nishimura, Kiyooki Uchihasi and Tsutomu Shiomi, "Study of Electric Ballast for High Intensity Discharge Lamps", J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol. 72 No.2, pp.85-90, 1988.
- 6) Toshiaki Mizuno and Taro Ishikawa, "A New Metal Halide Lamp Ballast on Current-boost Chopper Circuit", J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol.66 No.4, pp-121-124, 1982.
- 7) Yasunobu Koshimura, nanjou Aoike, hisao Kobayashi and Osamu Nomura, "Several Ways for Stabilizing HID Lamps Operation on High Frequency Power", J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol.67 No.2, pp55-61, 1983.
- 8) Sen-ichiro Nakanishi, junichi Inoue, Hitoshi Komatsubara and Toyoji Himei, "High Frequency Operation of HID

정전류 초핑을 이용한 구형파 구동형 고압수은 방전등용 전자안정기 설계에 관한 연구

Lamps Beyond 100 kHz”, J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol.70  
Njo.2, pp62-66, 1986.

성 해석에 관한 연구”, 공학박사학위논문, 서울대학교,  
1988.

9) 김훈, “에너지평형식을 이용한 고광도 방전등의 교류특

◇ 著 者 紹 介 ◇



정 화 진(丁華鎭)

1964年 4月 24日生. 1989年 2月 서울대 工大 電氣工學科 卒. 1992年 2月 서울대 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 現在 서울대 大學院 博士課程.



지 철 근(池哲根)

1927年 7月 17日生. 1951年 서울대 工大 電氣工學科 卒. 1955年 서울대 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 1957年 美國케이스 工大 大學院 修了. 서울대 大學院 電氣工學科(博士). 1983年 大韓電氣學會會長. 現在 서울대 工大 電氣工學科 名譽教授, 湖西대 電氣工學科 教授, 技術士, 當學會長.