

정전류 초핑을 이용한 구형파 구동형
고압수은방전등 전자안정기 설계에 관한 연구

A STUDY ON CONSTANT CURRENT BOOSTED
SQUARE WAVE DRIVING ELECTRONIC BALLASTS
FOR HIGH PRESSURE MERCURY ARC LAMPS

정 화 진* 염 정 덕 지 철 근
Cheong, Hwjin Youm, Jeongdeog Chee, Cholkon
서울대학교 대학원 전기공학과
Dept. of Electrical Eng. Seoul National University

ABSTRACT

There are many articles about the HID lamps about it's characteristics and simulation methods for lamps 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 100kHz, and mixed frequency driving which alternates high frequency and low frequency, and square wave driving etc. This study suggests the electronic ballast of HID lamps which solves the problems of acoustic resonance, and which can control the luminance by constant current boosted chopper of which frequency is 30kHz and by the squarewave driving of which frequency is 55.5Hz. 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 방전등 안정기는 전자소자를 이용한 에너지 절약형 고효율 고주파 전자안정기가 실용화 되고 있다. 그러나 고압 방전등 안정기의 경우에는 고주파 점등시 발생하는 음향공진 및 시동시와 정상상태에서의 심한 관전압 차이에 의해 전자안정기의 실용화가 늦어지고 있으며, 이의 해결책으로 다양한 방법들이 제시되고 있고 일부 고압방전등의 전자안정기는 소용량에 한하여 실용화 되고 있다. 따라서 본 논문에서는 위와 같은 문제를 극복하고 광출력이 직류점등시와 같이 전압주기중에도 일정하며 조광기능을 갖는 고압 방전등용 전자안정기를 제안하여 그 효용성 및 실용성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 고압 방전등 전자안정기의 점등방식

이제까지 제안된 고압 방전등용 전자안정기의 점등방식은 주로 음향공진을 피하기 위하여 방전관의 디지인 및, 시뮬레이션을 통하여 음향공진이 발생하지 않는 최적 주파수를 찾아내거나 음향공진을 일으키지 않는 다양한 전압 인가방식을 채택하였다. 그 구체적인 방법들은 공진을 일으키

지 않는 주파수의 전압을 인가하거나 100KHz이상의 주파수를 갖는 전압을 인가하는 방식, 고주파 및 저주파 전압을 시분할로 인가하여 공진을 피하는 방식, 램프에 흐르는 전류를 제어하여 조광기능을 갖도록 하는 정전류제어 방식 및 구형파 전압을 인가하는 방식등이 있다. [5][6][7][8]

2.2 고압 방전등용 전자안정기의 설계

2.1장에서 언급한 다양한 점등방식중에서 그 장점을 취하여 조광기능을 갖으며, 음향공진을 피하고, 직류방전시와 같이 플리커기 발생하지 않으며, 전원전압의 변동에도 광출력이 인정한 전자안정기를 다음과 같이 제안하였다.

(1) 정전류 제어 특성

방전등의 경우 부저항 특성을 갖기 때문에 재래식 안정기의 경우에는 인덕터를 한류소자로서 사용하였으나, 고압 대용량 램프의 경우에는 그 크기와 무게가 문제되어 소형화, 경량화 시키는 것이 주요한 과제로 대두되어, 이 문제를 효과적으로 극복하기 위해 정전류 특성을 갖는 제어 방식을 채용하였다. [1] 다음 그림 2.1은 안정기의 정전류 제어 회로구성이다.

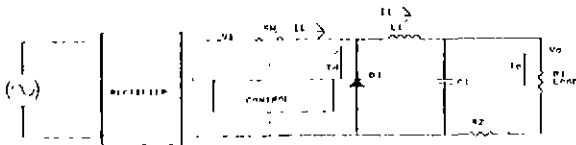


그림 2.1 정전류 제어 회로구성도
Figure 2.1 The block diagram of constant current control circuit

고압 방전 램프의 전기진도도는 거의 선형적이다. [2] 실험에 쓰인 램프는 소비전력이 300W인 고압수은 방전등으로 정상 방전 상태일 경우 램프의 관전압은 135 V, 관전류는 2.0 A이다. 따라서 램프에 일정 전류가 흐르게 하고 회로를 수식 전개하여 보면 다음과 같다. 위의 회로도에서 L1에 흐르는 전류의 변화량을 ΔI라 하면,

$$\text{SW ON 기간 } \Delta I = \frac{V_i - V_o}{L} T_{on} \quad (2.1)$$

$$\text{SW OFF 기간 } \Delta I = \frac{V_o}{L} T_{off} \quad (2.2)$$

전류가 연속일 경우, 식 (2.1) = (2.2) 이므로, 출력전압은

$$V_o = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} V_i \quad (2.3)$$

따라서, 인정기 및 방전등의 특성을 전부하시 Vi = 282 V, Vo = 136.7 V, Io = 2 A, L = 1.82 mH, Ton + Toff = 33.9 μsec 로 구성하면, Ton = 16.0 μsec 임을 알 수 있으며, 그림 2.3에서 입력전압과, Ton 시간, 그리고 출력 전압의 관계를 알 수 있다. 입력전력 Pin과 출력 전력 Po의 관계는, 스위칭 효율이 η 라고 할 때, Pin = Po/η 이고, 그림 2.2와 같은 측정회로에서 실측한 입력전력이 300 W, 방전등의 입력전력이 256.5 W 이므로 효율 η 은 85.5 % 이다 손실은 스위칭 소자에 의해 발생한 손실, 초크코일의 히스테리시스 손실 및 인버터의 전압강하로 인해 발생한 손실이다.

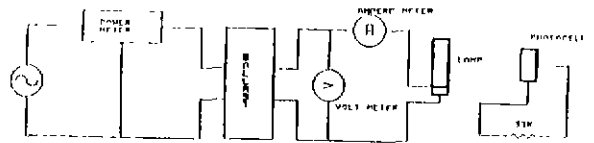
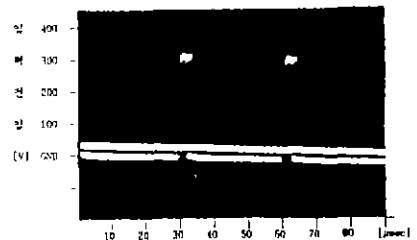
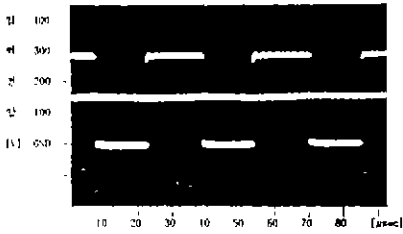


그림 2.2 초퍼회로의 입출력 전력 측정 회로구성
Figure 2.2 Circuit diagram for input and output power measurement of chopping circuit

그림 2.3은 방전등의 관전압이 시동직후에는 10 V, 정상상태에서는 140 V 까지 상승하므로 초퍼회로의 Ton 시간이 전류 부귀환에 의해서 변하는 것을 보여주고 있다.



(a) 점등 후 20초 경과



(b) 정상 점등

그림 2.3 초퍼회로의 스위칭 특성

Figure 2.3 The switching characteristics of chopping circuit

램프에 공급되는 전력은 전압과 전류를 조절함으로써 제어할 수 있으며 이 회로에서는 방전등의 부저항 특성때문에 전류를 부귀환 시킴으로서 방전등에 인가되는 전압을 조정하여 설정 전류치에 도달하게 하여 전력제어를 행하고 있으며, 이로인하여 조광기능이 부여되고 있다. 전류 제어 회로의 구성은 그림 2.4와 같다

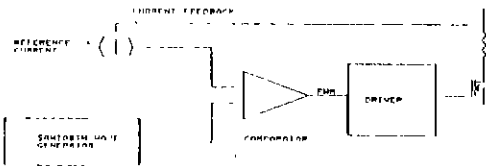


그림 2.4 전류 제어회로의 구성도

Figure 2.4 The block diagram of current control circuit

(2) 구형파 점등

정전류제어시 램프에 흐르는 전류의 방향이 단 일하여 전극의 열화로 인한 램프의 수명이 단축 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 구형파 인가 방식을 채택하였다. 구형파를 램프에 인가할 경우에 인버터에서 Q1, Q2 소자가 동시에 단락구간이 발생하므로, 이를 방지하고자 데드타임을 주고 있다 그러나 데드타임(Dead Time) 기간중에 램프의 전류가 불연속이 되어 이크가 불안정해지는 것을 방지하기 위하여 인버터내에 방전등과 RC 폐회로를 구성하고 있다 방전등의 정상점등에서 램프저항을 $135/2 [V/A] = 68\Omega$ 이라고 근사시키면, $R = 150 + 68 = 218 \Omega$, $C = 0.1 \mu F$ 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 전류의 근사함을 알 수 있다

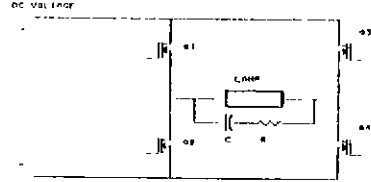


그림 2.5 인버터 회로구성

Figure 2.5 Inverter circuit which drives HID lamp

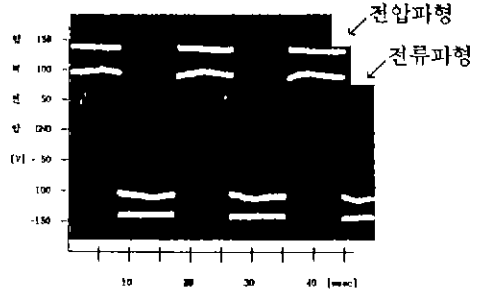


그림 2.6 방전등에 인가되는 전압, 전류 파형

Figure 2.6 The voltage and current waveforms added to the discharge lamp

(3) 정전류 제어형 구형파 점등

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

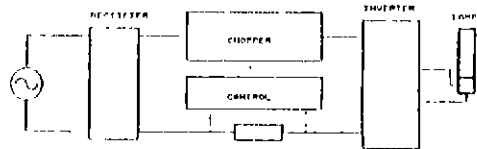


그림 2.7 전자 안정기의 구성

Figure 2.7 Elements of electronic ballast

그림 2.7을 보면 정전류 초퍼를 분리하였기 때문에 방전등에 인가되는 전압 및 전류파형은 그림 2.6과 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 단축 되는 것을 피할 수 있다 [3]

2.3 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 220V, 관전압이 135V, 관 전력은 300 W 이다. 조도측정은 상대적인 평가여서 셀레니움 광진지에 33K 의 저항을 연결하였다. 시험방법은 그림 2.8과 같이 구성하였다.

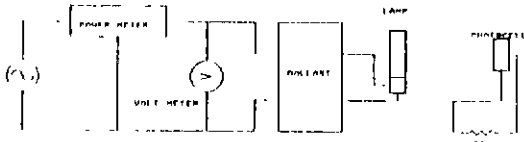


그림 2.8 조도 측정에 사용한 실험 장치 구성
Figure 2.8 The experiment apparatus for measuring luminance

1) 효율 평가

정상상태에서 출력조도를 일정하게 유지하고 입력전력을 측정하여 비교하였다 표 2.1을 보면 효율이 재래식 안정기에 대해 19.2% 향상되었음을 알 수 있다

표 2.1 입력전력과 광출력의 비교

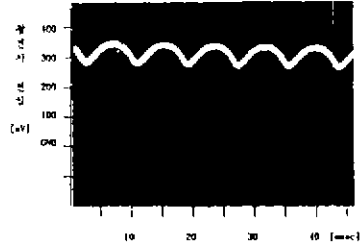
안정기	입력전력	광전지 전압	효율비교
재래식	355 W	254 mV	100 %
시제품	287 W	254 mV	119.2 %

(2) 광출력의 리플율 평가

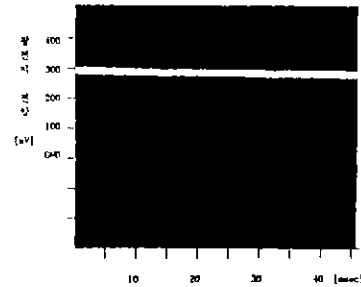
재래식 안정기의 경우 전원 주파수 60Hz에 반응하기 때문에 초당 120번의 플리커가 발생한다. 고압 방전등의 경우에는 저압방전등보다 덜하지만 약 10% 정도의 플리커가 존재한다 그러나 시험제작한 안정기의 경우에는 거의 균일한 밝기를 유지함을 알 수 있다. 플리커는 광전지의 리플율을 기준으로 평가하였다. 표 2.2의 리플율에서 볼 수 있듯이 동일 광출력에서 약 350% 정도로 현저하게 깜박임이 감소하였음을 알 수 있다. 그림 2.9에서 광전지의 출력을 보이고 있다.

표 2.2 광출력의 리플율 비교

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



(a) 재래식 안정기



(b) 전자안정기 시제품

그림 2.9 동일 조도(실효치)에서 램프의 광출력 비교

Figure 2.9 The comparison of luminous output power of lamp at the same luminance

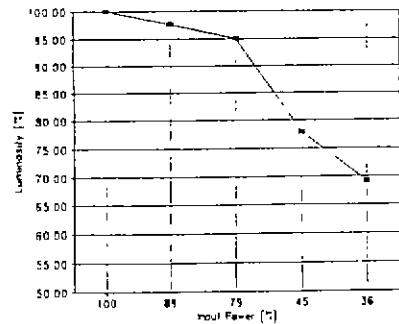


그림 2.10 입력전력과 광출력의 비교

(입력전압 : 220 V)

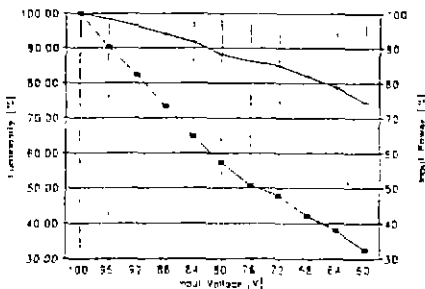
Figure 2.10 The comparison of input power to illumination output of lamp

(3) 조광기능 평가

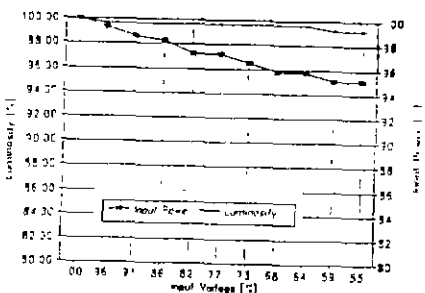
재래식 안정기의 경우 조광기능을 부여할 수 없으나, 시험제작한 전자안정기의 경우에는 220V 전원전압에서 정상상태의 69 % 에서부터 100 % 까지 조광할 수 있다. 그림 2.10 참고

(4) 전원전압 변동에 대한 광출력의 안정성

실험에 쓰인 램프의 관전압이 135 V 이기 때문에 시험 제작한 안정기의 경우에는 정류 콘덴서에 의해 130V 의 전원전압에도 안정된 점등을 유지할 수 있다 방전의 안정성은 광출력으로 평가할 수 있으므로 정격 입력전력일 때의 광출력및 전원 전압을 기준으로 각각에 대해 측정한 결과, 그림 2.11에 나타내듯이 재래식 안정기의 경우에는 전원전압이 변동함에 따라 입력전력및 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 기준으로한 비례치이다.



(a) 재래식 안정기



(b) 전자 안정기

그림 2.11 입력전압 변동에 대한 램프출력 비교
Figure 2.11 The comparison of output power of lamp with variation of input voltage

3. 결론

이상과 같이 정전류 제어형 구형파 점등방식의 전자안정기를 제작하여 재래식 안정기에 비하여 동일한 광출력에서 19.2 % 에너지가 절감되었으며, 직류점등시와 같이 플리커가 거의 없는 안정된 광출력을 얻음은 물론 넓은 범위의 조광기능을 부여하였으며, 전원전압의 변동에 대해 광출력의 안정성이 우수함을 입증하였다.

그러나 실용화를 위해서는 다음과 같은 사항이 보충되어야 할 것이다. 우선 최적의 스위칭 소자와 컨트롤 소자의 구성에 의해 단가를 낮추어야 하며, 시제품에서 평가하지 않은 EMI 노이즈 문제에 대한 구체적 평가및 대책이 강구되어야 한다. 또한 안정기의 역할을 개선하는 방법이 제시되어야 한다 이들 문제는 회로 보장을 통해 해결이 가능하다.

4. 참고문헌

- (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.
- (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, pp121-124, 1982

(7) Yasunobu Koshimura, nanjou Aoike, hisao Kobayashi and Osamu Nomura, "Several Ways for Stabilizing HID Lamps Operation on High Frequence Power", J. Illum. Engng. Inst Jpn Vol.67 No 2, pp55-61, 1983

(8) Sen-ichiro Nakanishi, junichi Inoue, Hitoshi Komatsubara and Toyoji Himej, "High Frequence Operation of HID Lamps Beyond 100 kHz", J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol.70 No 2, pp62-66, 1986