

### 자동차 헤드라이트용 고압방전등의 전자식 안정기 개발

이인규\*, 이규찬\*\*\*, 조보형\*

\*서울대학교 전기공학부

\*\*효성중공업 기술연구소

### Development of a Ballast for an Automotive Headlight

I.K.LEE, K.C.LEE, B.H.CHO

\*School of Electrical Engineering, Seoul National Univ.

\*\*Hyosung Industry Co. Ltd

**Abstract** - This paper presents an adaptive control scheme of a ballast for HID lamp for an automotive headlight. A flyback converter is used for the voltage step-up and for the control. A full bridge inverter is used as a ballast topology. The proposed control method is an adaptive output power control with a charge control. The developed ballast satisfies the requirement of a fast warm up characteristics and operating stability for an automotive application.

#### 1. 서 론

메탈할라이드 방전등(Metal Halide Discharge Lamp)은 고효율, 긴 수명 및 자연색에 가까운 색감으로 인해 향후 다용도의 조명으로 각광 받을 것으로 예상되는 HID(High Intensity Discharge)램프이다. 특히 밝기 및 지향성 그리고 연색성(color rendering)이 뛰어나서 자동차용 전조등으로 이용가치가 큰 것으로 판단된다. 그러나 기존에 이용되고 있는 할로겐 램프와는 달리 메탈할라이드 방전등은 초기 점등시 정상상태 밝기에 이르는 데 긴시간이 소요되며 복잡한 점등 동작 모드를 거쳐 정상 상태에 도달하는 특성을 가진다. 이에 반해 기존의 안정기는 상용전원을 이용하고 점등시간이 긴 단점을 가진다. 또한 최근에 개발된 자동차 전조등용 안정기도 충분히 짧은 점등 시간을 갖지 못하는 상태이다.

또한 메탈할라이드 방전등은 점등시와 최대밝기에 도달한 정상상태에서 구동 전원의 주파수에 따라 Acoustic 공진을 일으킴으로써 원치 않게 소등되는 경우를 발생시키는 데, 이에 대해 안정기는 적절한 대책을 가져야한다. 또한 대부분의 방전등과 마찬가지로 직류로 구동하므로서 발생하는 전구의 흑화 현상과 수명단축을 피하기 위해 교류 구동이 요구된다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해 제안된 대책들을 살펴보면, 첫째로 정상상태 도달시간을 단축하기 위하여 초기 점등시 높은 개방전압을 인가 후, 정상상태의 동작 전력보다 약 두배의 전력을 공급하는 것이고, 둘째로 Acoustic 공진으로 인한 자연 소등을 피하기 위하여 램프 구동전원을 수십 kHz 대역에서 주파수 변조시켜 인가하거나 MHz 대역으로 구동시키는 방법 및 수백 Hz의 구형파로 구동시키는 방법들이다.[1,2,3,4]

이에 대해 본 연구에서는 빠른 점등시간과 안정된 동작 특성을 갖는 최적의 안정기를 개발하기 위하여 다음 사항에 중점을 두었다.

1. 점등에 필요한 개방전압 발생과 cold start시 점등 시간 단축에 필요한 대전력 공급을 효과적으로 할 수 있는 컨버터의 제어 방법.
2. Acoustic 공진현상과 전구 흑화를 방지하기 위한 안정된 동작특성을 갖는 램프 구동 전원 형태.
3. 본 연구는 삼성전자(경기도 부천시)와의 산학 협동 과제로 수행하였음.

3. 잡음에 대한 강한 내성을 가지며 부하변동폭이 큰 Topology에 대한 제어방식

본 연구에서 램프는 D2S-35W (Philips)를 사용하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 안정기 회로구성

메탈할라이드 방전등은 초기 구동시 점화용 고압(D2S-35W Lamp의 경우 cold start시 약 2kV, hot start시 약 25kV)과 높은 개방 직류 전압이 필요하다. 위와 같은 조건을 만족하기 위하여, 첫째로 hot start를 고려하여 25kV 점화용 고압 발생기를 적용하였다. 둘째로 자동차 축전지 전원(12Vdc)으로부터 개방 직류 전압(450Vdc)을 얻고, 점화용 고압 발생기 구동에 필요한 전압을 얻기 위하여 승압과 다중 출력이 용이한 flyback 컨버터를 적용하였다. 셋째로 컨버터 출력으로부터 얻어지는 직류를 교류로 변환하는 60Hz 구형파 발생 Full-bridge방식 인버터를 적용하였다(그림1).

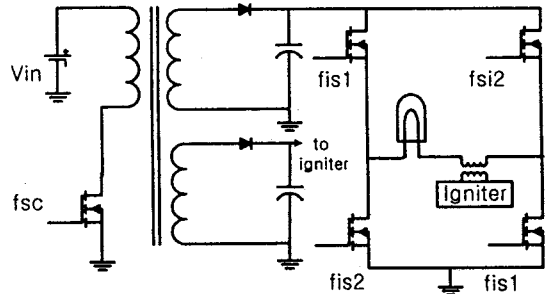


그림1. 안정기 Topology

##### 2.2 회로 제어방식 개발

메탈할라이드 방전관의 점등특성은 대부분의 방전관과 마찬가지로 관내 온도와 이에 따른 관내 압력에 큰 영향을 받으며, 이는 cold start시 현저히 느리게 켜지는 특성으로 나타난다. 이에 대한 대책은 점등시 충분한 전력을 공급함으로써 빠른 점등 특성을 구현하는 것인데, 이를 위하여 안정기는 적절히 제어되어야 한다. 본 연구에서는 메탈할라이드 전구의 점등특성에 적용된 제어방법을 적용한다.

##### 2.2.1 점화시의 개방전압 제어

점화시 램프는 적절한 개방전압이 요구된다. 이는 램프의 점화 후 과도상태의 방전 모드 이행을 위한 것이며, 이 전압이 충분히 높지 않으면 전등은 점화 후 방전 모드를 이행하지 못하고 소등되고 만다. 이에 대처하기 위하여 안정기는 부하 개방상태에서 필요 전압을 발생하

여 램프에 공급하여야 한다(그림2의 점화전 구간 참조). 이를 위해 그림3에서 점화시 컨버터가 전압 전원 모드(voltage source mode)로 동작하도록 비교기의 제어 전압을 전압제어루프로부터 얻도록 하였다( $V_{c1}$ ). 이때  $V_{c1} < V_{c3} < V_{c2}$  가 되어  $Tr1$  및  $D2$ 는 off 된다. 이 영역에서는 출력측 인버터의 스위칭은 램프의 인가 전압이 직류가 되도록 동작을 제한하였다.

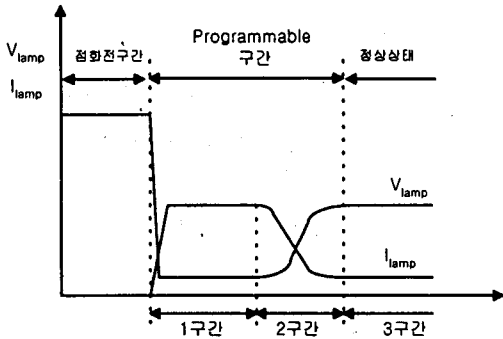


그림2. 램프의 전압 전류 과도특성

$V_{c3} < V_{c2} < V_{c1}$  가 된다. 또한 과도한 전류가 흘러들어가는 것을 방지하기 위하여 과전류 보호 회로(과전류가 흐르는 경우  $V_{c2} < V_{c3}$  가 되어  $V_{c2}$ 에 의해 출력전류는 제한됨)도 적용하였다.

### 2구간

전구의 온도가 상승함에 따라 램프의 전압이 상승하는 구간이다. 이 구간에서는 램프의 관내 압력을 빠르게 높이기 위하여 전압 상승 구간에서 정격보다 높은 전력을 공급함과 더불어 정상상태에서는 정격 전력이 되도록 하여야 한다. 하지만 공급전력의 불연속은 피해야 되는데, 이는 정격보다 높은 전력을 정상상태 도달시까지 계속적으로 공급한 후 순간적으로 정격 전력으로 변경할 경우 램프의 밝기에 불연속성(과도하게 밝아졌다가 순간적으로 약간 어두워짐)이 생기고 정상상태시의 전력 과잉공급으로 인한 램프의 수명이 단축될 우려가 있기 때문이다. 이에 따라 본 연구에서는 램프의 전압 상승에 적용하여 초기 과잉 전력을 정상상태시에 정격전력으로 되도록 램프 전압에 따라 제어를 행한다. 이에 대한 제어 블록은 그림3의 전력 제어 루프에 표시되어 있고, 램프 전압에 대한 제어 전력 레퍼런스( $V_{c3}$ )의 형태가 그림4에 표시되었다.

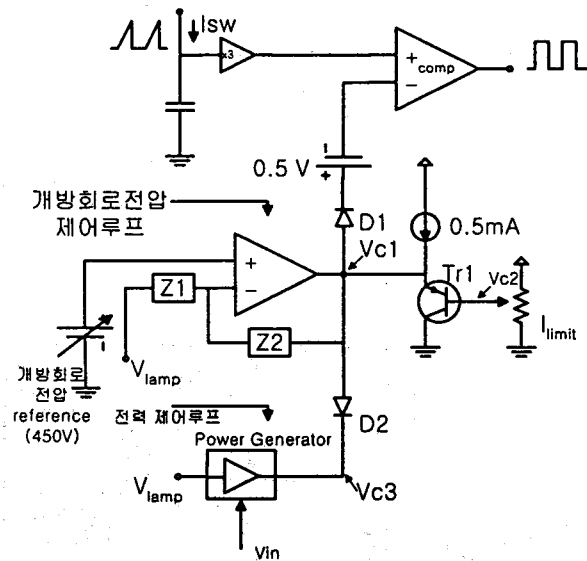


그림3. 안정기의 제어 블록

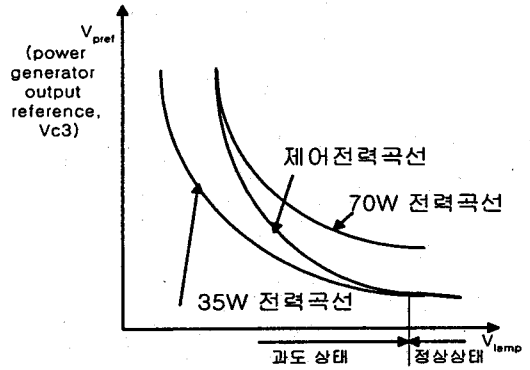


그림4. 과도 및 정상상태에서의 램프 전압과 제어전류의 관계

### 2.2.2 점화후 정상상태까지 적용전력 제어

점화 후 램프의 아크 방전상태에서 과도상태 시간을 짧게 하는 것은 램프의 정상상태에서의 전력 보다 큰 전력을 공급함으로써 가능하다. 이때 램프는 수초간 정전압 부하(15-20V)로서 동작하고(그림2의 1구간) → 그 후 시간의 경과에 따라 그 양단 전압을 서서히 올리는 특성을 갖으며(그림2의 2구간) → 정상상태에 도달하면 램프의 양단 전압은 램프의 특성에 의해 일정한 값으로 고정된다(그림2의 3구간). 이에 대해 램프의 정상상태 도달시간을 최소화하기 위해 다음과 같은 제어 방식을 적용한다.

#### 1구간

정상상태의 전력(35Watt)의 두 배 이상 되는 전력을 램프에 공급한다 이때 램프는 정전압 부하로 동작하므로 충분한 전류를 램프에 흘려줌으로서 전력 공급이 가능하다. 이의 제어 블록 동작은 그림3에서 제어기의 제어전압을 전력 제어루프로부터 얻도록 하였다( $V_{c3}$ ). 이때

### 3구간

정상상태에서 램프의 전압은 일정하지만, 사용시간의 경과에 따라 경시적인 변화가 생긴다. 또한 축전지 전압의 변동을 고려할 때 컨버터는 램프의 전력 변동을 조절하여 주어야 한다. 따라서 컨버터는 정상상태 전력이 변할 경우 이에 상응하는 제어동작을 하도록 하기 위해 그림3의 전력제어루프가 그림4의 정상상태 35W 전력곡선에서 동작하도록 한다.

### 2.2.3 스위치 전하 제어를 이용한 출력 전력 제어

적용된 전류 제어 방식은 스위치 전하제어 방식을 이용한 출력 전력 제어이다. 자동차용 안정기의 경우 낮은 전원전압(12V)으로부터 높은 램프 구동전압을 발생시켜야 하므로 컨버터 1차측 스위칭 전류가 크게 되는데, 이때 발생하는 스위칭 잡음이 커서 제어기에 큰 악영향을 미치기 쉽다. 또한 높은 승압비를 고려할때 은 듀티의 범위가 큰 제어 방식이 유리하다. 기존 안정기에 적용되고 있는 방식인 피크 전류모드 제어 방식은 잡음에 약하고, 램프와 보상의 경우 부하의 변동폭이 커서 램프와 설정에도 한계가 있다. 이에 반해 전하 제어 방식은 위의 문제에 둔감하며, 방식 자체의 문제인 경우부하시 불안정한 문제도 램프의 동작이 정상상태 부하보다 큰 범위에서 일어나므로 중부하 동작이 되어 자연스럽게 극복된다. 그림5에 정상상태에서의 스위칭 전류와 스위치 전하 제어 신호의 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

입력전류(5A/div.) CH2: 램프전압(50V/div.)  
CH4: 램프전류(0.5A/div.)

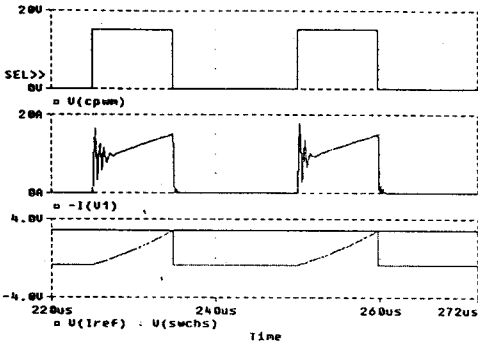


그림5. 전하 제어 모델 시뮬레이션 파형

### 2.2.4 풀브릿지 인버터를 이용한 교류 구동

메탈할라이드 램프는 혹화를 방지하기 위해 교류 구동이 필요하며 동시에 Acoustic 공진현상 발생을 방지해야 한다. 이를위해 본 연구에서는 안정기 출력단에 구형파 교류 발생용 인버터를 적용하였다. 출력 파형은 Acoustic 공진현상 발생 및 가청 주파수를 피하기 위하여 60Hz의 구형파를 적용하였다.

## 2.3 제안된 안정기에 대한 구현회로 실험파형

### 2.3.1.안정기 및 램프사양

#### 1) 안정기 사양

스위치 FET : IRFP150, 변압기: n =18  
다이오드 : BYT12P

#### 2) 램프 사양

형명 : D2S(Pilips), 35W±2W, 85±17V

### 2.3.2 실험파형

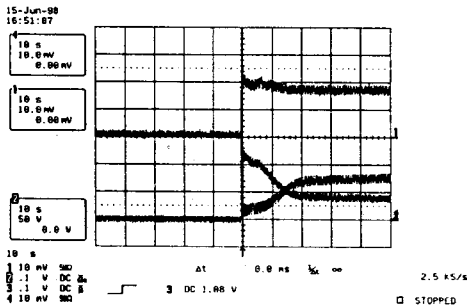


그림6. 정전력 제어시 점등특성[ CH1: 컨버터  
입력전류(2A/div.)CH2: 램프 전압  
(50V/div.) CH4: 램프전류(0.5A/div.)]

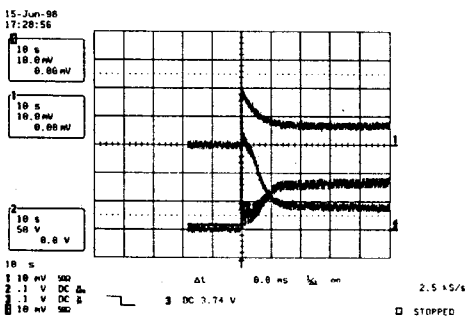


그림7. 적응 전력 제어시 점등특성[ CH1: 컨버터

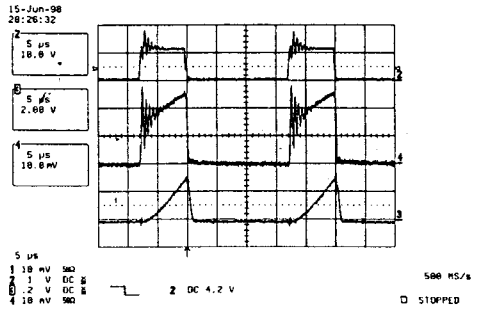


그림8. 전하제어 모델 실험파형[ CH2: 컨버터  
스위치 구동 전압(10V/div.) CH3:  
컨버터 스위치 전류(5A/div.) CH4: 제어  
전하 신호(2V/div.)]

실험결과 기존 정전력 제어시의 점등시간은 약 20초가 소요(그림6)되는데 반해 적응 전력 제어시 점등시간은 약12초로 단축된다(그림7). 그림8은 스위치 게이트 전압, 스위치 전류 및 제어용 스위치 전하 파형이며, 스위치 파형의 큰 ringing에도 불구하고 스위치 전하 파형에는 그 영향이 적음을 알 수 있다.

## 3.결 론

본 연구에서는 빠른 점등시간과 안정된 동작특성을 갖는 최적의 안정기를 개발하기 위하여 점등에 필요한 개방전압(450Vdc) 발생과 cold start시 점등시간 단축에 필요한 전력 공급을 효과적으로 할 수 있는 컨버터의 제어 방법을 제안한다.

이때 Acoustic 공진현상과 진구 혹화를 방지하기 위해 안정된 동작특성을 갖는 램프 구동 전원 형태를 고려하였으며 또한 전하제어 방식을 택함으로써 피크전류모드 제어 방식에서 일어날 수 있는 잠음문제를 개선하였다. 실제 35W Xenon 램프 안정기를 제작하여 시뮬레이션과 비교 분석한 결과 점등시간은 정전력 제어시의 20초에 비해, 제안된 제어기법을 적용한 결과 점등시간은 12초로 단축되었다.

### [참고 문헌]

- [1] H-J. Faehrnich and E. Rasch "Electronic Ballasts For Metal Halide Lamps", Journal of the Illuminating Engineering Society, pp.131-140, Summer,1988
- [2] M. Gulko and S. Ben- Yaakov, "A MHz Electronic Ballast for Automotive-Type HID Lamps ", PESC-97, pp.39-45, June 1997
- [3] E. Rasch and E. Statnic "Behavior of Metal Halide Lamps with Conventional and Electric Ballasts", Journal of the Illuminating Engineering Society,pp88-96,Summer,1991
- [4] C. L. Tsay, H. S. Chun, L. M. Wu, K. S. Kwanc "Development of the Versatile Electronic Ballast for Metal Halide Lamps with Phase-Shift Soft-Switching Control", IEEE IAS,pp2112-2119,1996