

# 마이크로컨트롤러를 이용한 자동차용 고압방전등 안정기의 조광제어

論 文  
54B-1-8

## Dimming Control of Microcontroller-based Automotive HID Lamp Ballast

李 在 鶴<sup>†</sup> · 金 倫 鎬<sup>\*</sup>  
(Jae-Hak Lee · Yoon-Ho Kim)

**Abstract** - This paper presents dimming control system for automotive 35W metal halide discharge(MHD) lamp electronic ballast. HID lamp demands a highly efficient ballast and very complex control circuitry that can control complex transient state in applying to automotive. Therefore, in this paper, a microcontroller-based digital control method for the HID lamp ballast is presented for optimal control that can adapt complex transient state, steady state and various environments. In developed dimming system, the system is designed to control the lamp output voltage step by step(continuous) using microcontroller according to CdS sensor. Therefore the designed dimming control system give good driving condition to diver and realize the power control effectively. The results of the proposed system is verified through various experiment results.

**Key Words** : Dimming Control System, HID Lamp, Ballast

### 1. 서 론

고휘도 방전램프의 한 종류인 메탈헬라이드 HID 램프는 고압 수은등에 금속할로겐화합물을 첨가하여 연색성과 효율, 수명등을 향상시킨 방전등으로 최근 Green Round와 에너지 절약에 대한 세계 각국의 현안에 의해 이 분야에 대한 관심과 연구가 집중되고 있는 가운데 실내 조명용 및 자동차 전조등 등 그 적용범위가 급속도로 확산되고 있다[1][2]. 메탈헬라이드 HID 램프는 또한, 뛰어난 연색성과 고정된 지향성 빔 특성 때문에 자동차용 램프로써 가치가 클 것으로 기대된다[3].

하지만, 메탈헬라이드 HID 램프는 특별한 과도특성을 갖고 있기 때문에 이들을 제어하기 위해서는 매우 복잡한 구조의 안정기 회로가 필요하다. 또한 메탈헬라이드 HID 램프와 같은 HID램프를 자동차 헤드라이트에 적용하기 위해서는 점등 시간을 짧게, 즉, 정격 광출력의 80%에 이르는 시간이 4초 이내가 되도록 해야 하는 데, 이것은 램프 가동시 정격전력의 몇 배에 해당하는 적당한 전력을 램프에 공급해서 이룰 수 있고, 안정상태에서 일정전력 동작을 유지하는 것이 중요하다[3][4][5][6]. 본 논문은 여러 가지 장점에도 불구하고 복잡한 과도특성을 갖는 메탈헬라이드 HID 램프를 최적으로 제어하여 자동차에 적용하기 위해 마이크로컨트롤러를 이용한 디지털 제어방식의 전자식안정기를 설계하였으며, 또한, CdS 센서를 이용하여 주변의 빛의 세기에 따라 램프의 양단

전압을 단계별로 가변 제어하여, 운전자에게는 보다 효율적인 운전여건을 만듦과 동시에 한정된 에너지를 가진 배터리로 운전하는 자동차에서 효율적인 전력제어가 되도록 하였다. 설계된 안정기에 대한 동작 특성을 실험을 통해 확인하였다.

### 2. 자동차용 HID 램프의 특성

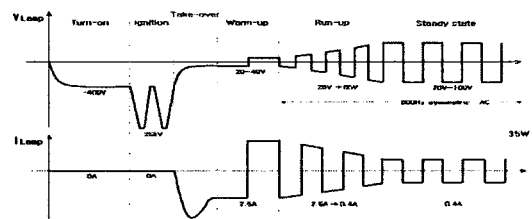


그림 1. 동작 구간별 V-i 특성 곡선  
Fig. 1 Lamp v-i profile in all operation

램프의 동작을 6개의 모드로 나누어 정리하면 다음과 같다 [3][4].

- 1) 개방회로 전압발생 단계(turn-on stage)
- 2) 점화용 고압펄스 발생 단계(ignition stage)
- 3) 상태전이 단계(take-over stage)
- 4) 워업 단계(warm-up stage)
- 5) 가속 단계(run-up stage)
- 6) 안정화 단계(steady state)

그림 1은 램프 동작을 6개로 나누어 보았을 때, 램프의 전

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 順天青巖大學 디지털 電氣通信科 助教授  
E-mail : pelectro@scjc.ac.kr

<sup>\*</sup> 正會員 : 中央大學 電子電氣工學部 教授 · 工博  
接受日字 : 2004년 10월 29일  
最終完了 : 2004년 12월 2일

압 전류 과형 형태를 보여주는 것으로 램프의 이러한 동작특성에 적합하도록 안정기 시스템이 설계돼야 한다[4].

### 3. 조광제어용 고효율 전자식 안정기 회로의 구조

본 논문에서 자동차용으로 개발한 조광제어용 고효율 전자식 안정기 회로의 블록도를 그림 2에 나타내었다. 그림 2와 같이 제안된 시스템은 자동차 주변의 밝기에 따라 CdS 셀(cell)에 입력되는 빛의 강도에 따른 신호를 MCU(micro-controller unit)에서 단계별로 구분하여, Flyback 컨버터의 MOSFET의 Gate 신호를 PWM 제어하여, LAMP 양단의 전압을 제어하여, 조광제어를 하는 구조로 되어있다. CdS 셀(Cell)에 입력되는 빛의 강도에 따른 신호의 제어시에 히스테리시스 제어를 통해 안정기의 조광제어시의 민감도를 감소시켜 조광제어시의 안정화를 실현하였다. 또한 조광제어시의 LAMP의 균일한 조도를 유지하기 위해 인버터 단에서 전압과 전류를 실시간으로 MCU로 읽어 들여 제어하였다.

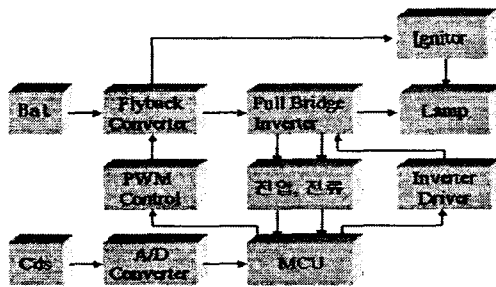


그림 2. 제안한 전자식 안정기의 전체블록도  
Fig. 2 The block diagram of proposed electronic ballast

### 4. 안정기 회로의 분석

그림 3의 회로에서 배터리 입력전압은 9~12V 이며, 이 전압이 승압되어 램프와 점화기에 공급된다. 본 논문에서 채택한 Flyback 컨버터는 변압기의 1차와 2차 코일이 서로 역방향으로 감겨져 있으며, 다중의 출력을 쉽게 만들 수 있다. 그림 3에서 커패시터  $C_2$ 는 점화 전에 충전 저항  $R_1$ 을 통해 전류를 충전하고, 점화 후에 램프가 즉시 글로우 방전상태에서 아크 방전상태로 전이하도록, 방전저항  $R_2$ 를 통해 전류를 방전한다[3][4]. 본 논문은 여러 가지 장점에도 불구하고 복잡한 과도특성을 갖는 메탈헬라이드 HID 램프를 최적으로 제어하여 자동차에 적용하기 위해 마이크로컨트롤러를 이용한 디지털 제어방식의 전자식안정기를 설계하였다. 또한, 제안된 시스템은 램프의 조광제어를 위해, 자동차 주변의 밝기에 따라 CdS 셀(Cell)을 이용하여 입력되는 빛의 강도에 따른 신호를 센싱하여, MCU(micro-controller unit)로 보내고, MCU에서는 센싱된 신호를 단계별로 구분하여, Flyback 컨버터의 MOSFET의 Gate 신호를 PWM 제어하여, 램프 양단의 전압을 제어하였다. 또한, 조광제어시 CdS 셀(Cell)에 입력되는 빛의 강도에 따른 신호를 히스테리시스 기법을 이용하여 제어함으

로써, 조광제어시의 안정화를 도모하였고, 조광제어시 램프의 균일한 조도 유지를 위해 인버터단에서 전압과 전류를 실시간으로 MCU로 읽어 들여 제어하였다.

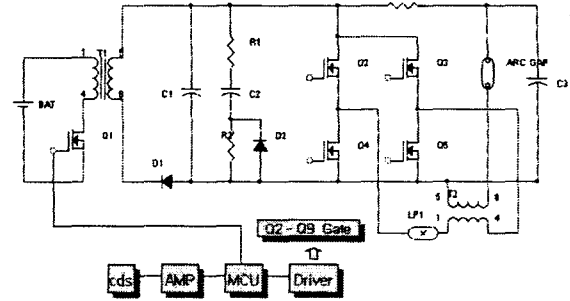


그림 3. 제안한 조광제어용 고효율 전자식 안정기 회로  
Fig. 3 The high efficiency electronic ballast circuit for proposed dimming control

그림 4는 램프를 점등하기 전의 안정기의 동작회로를 나타내고 있다[7]. 초기 점등이전에는 400V의 아크갭(arc gap)이 동작될 수 있도록 Flyback 컨버터의 2차단의 전압을 상승시켜야 한다. 이 전압이 400V 이상이 되어 아크갭이 동작되면, 고압변압기 T2의 2차측에 순간적인 고전압이 발생되어 HID 램프의 절연이 파괴되는 순간까지의 상태이다.

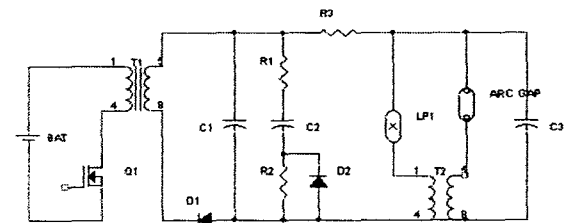


그림 4. 전자식 안정기의 점등전 동작회로  
Fig. 4 The ballast operating of the before ignition

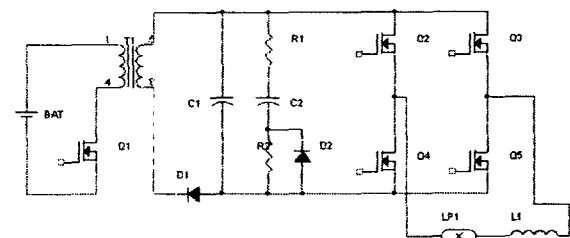


그림 5. 전자식 안정기의 점등 후 동작회로  
Fig. 5 The ballast operating of the after ignition

그림 5는 안정기가 점등이 된 후의 정상상태에서 인버터 동작에 의한 점등유지 상태를 나타낸다[7]. 앞의 그림 4의 상태에서 점등이 개시된 후에 계속 아크상태를 유지하기 위해서는 Flyback 컨버터에서는 MOSFET (Q1)의 게이트 신호를 제어하여, 컨버터의 2차측에 전류를 공급해 주면서, 인버터를 구동하는 동작을 수행한다. 초기점등이전에 상태에서 사용된 아크갭의 회로는 이 동작에서는 사용되지 않는다.

### 5. 이그나이터(Ignitor) 회로

아크갭(arc gap)이 동작하는 전압까지 상승하게 되면, 400V의 고전압이 아크갭의 동작과 함께 점화용(ignition) 변압기 T2의 1차측에 유기된다. 그러면 점화용 변압기 T2의 2차측에는 변압기의 턴비에 의해 약 26,000V의 고전압이 유기되어 램프의 절연을 파괴하여 방전을 일으키게 되어 점화동작을 수행한다. 이때 사용되는 점화용 변압기는 순간적인 전류의 흐름을 원활히 하도록 알루미늄 호일을 재질로 사용하는 권선을 사용하였다.

### 6. 마이크로컨트롤러에 의한 디지털제어

메탈헬라이드 HID 램프등과 같은 고압방전등을 자동차에 적용시 빠른 점등/재점등 특성, 정상상태에서 안정된 광출력 특성이 요구되지만, 시동에서 정상상태에 이르기 까지 복잡한 V-I 특성을 가지고 있는 고압방전등을 기존의 아날로그 제어기로는 최적의 상태로 제어하는 것이 용이하지 않고 한다고 하더라도 회로가 복잡해진다[4]. 따라서 상에서 언급한 제어목적을 만족시키기 위해 마이크로컨트롤러를 이용해보다 유연한 기능을 가진 디지털 제어방식을 적용할 필요가 있다

#### 6.1 마이크로컨트롤러

본 논문에서는 ATMEL사의 Mega 시리즈 AVR 중 하나인 ATMEGA48을 사용하였다. AVR시리즈는 기존에 다른 마이컴에 비해 처리속도가 매우 빠르고, SPI(system program interface)기능을 가지고 있어, 보드에 취부되어 있는 상태에서도, 프로그램의 수정이 가능한 장점을 가지고 있다. 또한 원칩(one chip) 마이컴이 가지는 최대한의 장점을 가진 마이컴으로 내부에 8채널의 10bit A/D(Analog to Digital) 컨버터를 내장하고 있으며, 시스템의 안정성을 향상 시킬수 있는 WDT(watch dog timer)기능을 내장하고 있다.

#### 6.2 디지털 제어 단계

단계	램프 동작 상태	디지털 제어 모드
1단계	Turn-on Stage	전압 피드백 제어 모드
2단계	Warm-up Stage	전류 피드백 제어 모드
3단계	Run-up/Steady Stage	전력 피드백 제어 모드

그림 6. 디지털 제어 모드  
Fig. 6 Digital control mode

제어기는 램프 상태에 따라 전압 피드백, 전류 피드백, 전력 피드백등 3개의 동작모드로 구성될 수 있다[4][8].

#### 1) 1단계: 전압 피드백 제어모드(Voltage Feedback Control Mode)

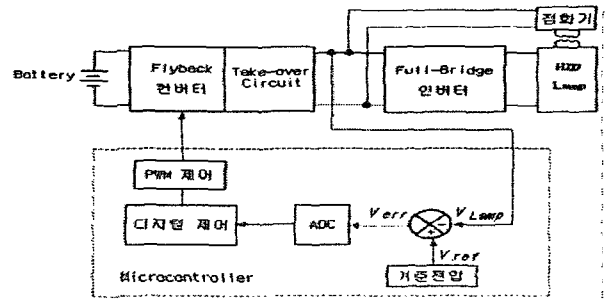


그림 7. 전압 피드백 제어모드  
Fig. 7 Voltage feedback control mode

2.1절의 분석에서 안정기는 서로 다른 여러 가지 동작 상태에서 각기 다른 모드로 동작할 필요가 있음을 알 수 있다.

특히 turn-on 단계에서 안정기는 적당한 출력전압을 발생시키고, 점화기가 점화펄스를 만들어 낼 때까지 이 전압을 유지해야 한다. 따라서 출력전압을 피드백 하여 제어하는 모드로 동작되어야 한다.

#### 2) 2단계: 전류 피드백 제어모드(Current Feedback Control Mode)

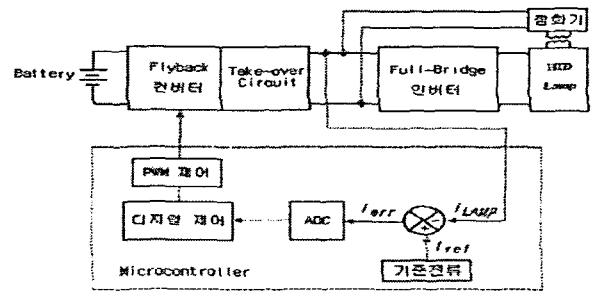


그림 8. 전류 피드백 제어모드  
Fig. 8 Current feedback control mode

warm-up 단계에서 안정기는 각 반파에 대해 전류 적분값이 정해놓은 일정값에 도달할 때까지 램프전류와 전류의 적분값을 제어해야 한다. 따라서 램프전류를 피드백하여 제어하는 모드로 동작되어야 한다.

#### 3) 3단계: 전력 피드백 제어 모드(Power Feedback Control Mode)

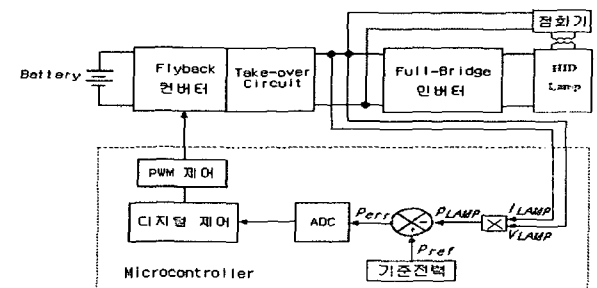


그림 9. 전력 피드백 제어모드  
Fig. 9 Power feedback control mode

마지막으로 Run-up 및 Steady State 상태에서 안정기는 램프전력을 적절하게 제어해야 한다. 우선, 전력이 75W를 초과할 수 없고, 전류는 2.6A를 초과할 수 없다. 따라서, 만약 초기 전압이 30V 미만이면 안정기는 램프전력이 75W에 이를 때까지 출력전류를 허용 가능한 최대 값으로 제한해야 하고, 이때까지는 전류 피드백 제어모드로 동작한다. 전력이 75[W]에 도달하면 안정기는 정전력제어를 수행하도록 프로그램 되어야 하고, 이 일정전력은 전압이 50V에 도달할 때 까지 유지되어야 한다. 다음에 램프전력은 점차적으로 35[W]로 감소한다. 상기에서 언급한 전압, 전류, 전력 피드백 제어에 따른 제어된 전압, 전류, 전력의 파형을 그림 10에서 보여주고 있다. 램프의 전압과 전류는 DC Link 단에서 검출될 수 있으므로 DC 값으로 나타내었고, 전류값의 제어치에 주목할 필요가 있다. 이상의 경우는 램프가 초기 점등 모드(cold start)에서 구동할 경우의 값이고, 램프가 가열된 후 재점등 모드에서는 점화 후에 즉시 높은 초기 전압을 갖게 되므로 다른 제어 방식을 가져야 한다.

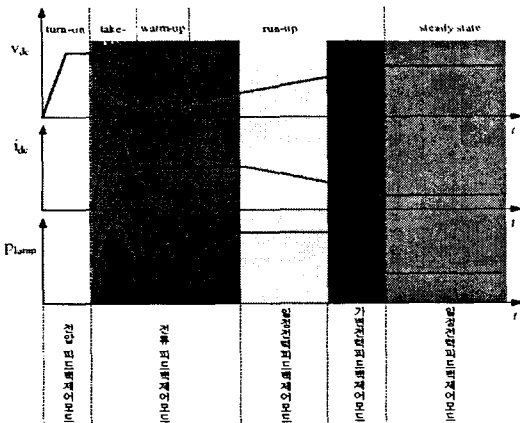


그림 10. 램프의 전압, 전류 및 전력 제어 흐름도  
Fig. 10 Lamp voltage, current, and power control sequence

## 7. 조광제어시스템

### 7.1 조광제어 개념

본 논문에서는 제안된 시스템은 램프의 조광제어를 위해, 자동차 주변의 밝기에 따라 CdS 셀(cell)을 이용하여 입력되는 빛의 강도에 따른 신호를 센싱하여, MCU(Micro-Controller Unit)로 보내고, MCU에서는 센싱된 신호를 단계별로 구분하여, Flyback 컨버터의 MOSFET의 Gate 신호를 PWM 제어하여, 램프 양단의 전압을 제어하였다. 또한, 조광제어시 CdS 셀(Cell)에 입력되는 빛의 강도에 따른 신호를 히스테리시스 가법을 이용하여 제어함으로써, 조광제어시의 안정화를 실현하였고, 조광제어시 램프의 균일한 조도 유지를 위해 인버터 단에서 전압과 전류를 실시간으로 MCU로 읽어들이어 제어하였다. 그림 11은 디지털제어와 조광제어를 위해 본 논문에 적용된 마이크로컨트롤러 주변의 제어 및 감지회로를 블록 다이어그램으로 나타낸 것이다. Flyback 컨버터의 제어는 컨버터의 높은 주파수에 적절하게 제어될 수 있는 전용의 PWM 제어회로를 외부에 취부 하였으며, 내장된 AD 컨버터에서는

램프전압과 전류 그리고 조광제어를 위한 CdS 센서의 전압값을 받아들여, 정전력제어와 주변의 조도에 따른 조광제어를 수행하도록, Flyback 컨버터의 게이트의 제어신호를 만드는 데 이용된다. 본 시스템에서 마이크로컨트롤러는 초기 점등시에는 컨버터의 게이트 펄스를 100% 듀티비로 동작시키고, 점등 후 일정시간 동안에는 램프의 양단전압과 전류의 값을 A/D 컨버터로 읽어 들여 정전력으로 제어하도록 Flyback 컨버터의 스위칭을 제어하면서 인버터를 구동하여 점등을 유지한다. 그리고 램프가 정전력(35W)으로 구동이 시작되면, CdS 센서에서 읽여진 외부의 조도에 따라 조광제어 기능을 수행한다.

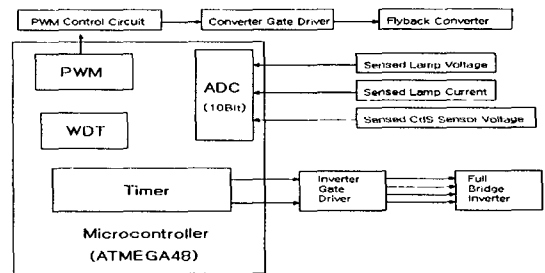


그림 11. 마이크로컨트롤러와 주변 감지회로  
Fig. 11 Microcontroller and interface circuits

### 7.2 조광제어 프로그램

그림 12는 조광제어를 위한 프로그램의 플로우차트이다.

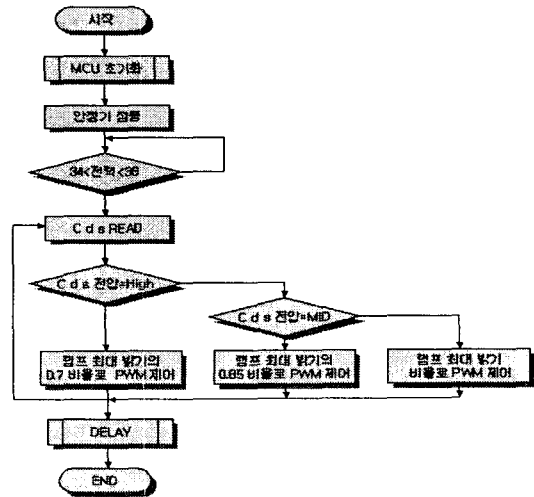


그림 12. 제안한 조광제어시스템의 순서도  
Fig. 12 The flow chart of proposed dimming control system

앞에서도 언급했듯이 안정기에 전원이 공급되면 먼저 MCU가 초기화되고, 안정기 점등을 위한 최대의 듀티비로 점등을 시작한 후에 정전력이 될 때까지 점등을 진행한다. 정전력 구간에 이르게 되면, CdS 센서에서 입력된 신호에 의해서 다른 신호레벨로 이산적으로 구분하여, 조광제어를 실시한다.

8. 실험 결과

실험에 사용된 자동차용 안정기의 설계치는 표 1과 같다.

표 1. 실험에 사용된 자동차용 안정기 설계치

Table. 1 Parameter for experimental

$V_{IN}$	12V	$C1$	4.7 $\mu$ F
$Q1$	IRF3710	$R1$	120k $\Omega$
$f_{Q1}$	125KHz (0.5 duty)	$T1$	권수비 1:7
$Q2 \sim Q5$	IRF840	$C2$	0.47 $\mu$ F
$f_{Q2}$	250Hz	$R2$	10k $\Omega$

그림 13은 과도상태에서의 램프양단의 전압을 나타낸다. 그림 13에서 보는바와 같이 초기에 램프 양단의 절연을 파괴하기 위한 아크갭의 동작에 의해 25KV의 고압이 걸리는 것을 확인할 수 있고, 절연파괴 후에는 출력단의 인버터에 걸리는 램프의 정격전압으로 양호하게 동작함을 확인할 수 있다.

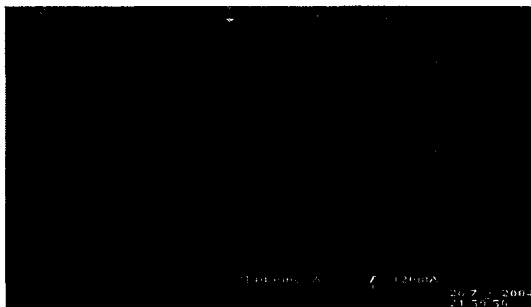


그림 13. 과도 상태 램프전압  
Fig. 13 The transient lamp voltage

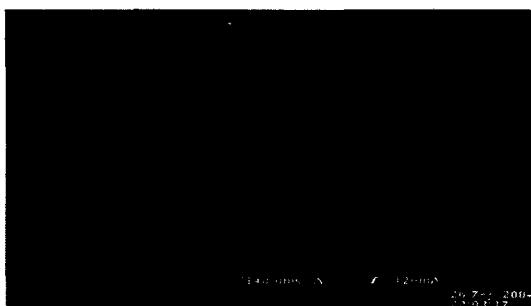


그림 14. 과도상태 램프전류  
Fig. 14 The transient lamp current

그림 14는 과도상태에서의 램프전류 파형을 보인다. 그림 14에서 보는 바와 같이 초기에 램프의 절연이 파괴되기 전에는 전류가 흐르지 않다가 절연이 파괴되는 순간 전류가 흐르는 과도상태가 진행되다가 그림 15의 파형과 마찬가지로, 정상상태의 파형을 유지함을 볼 수 있다.

그림 15는 정상상태에 도달하였을 때의 램프 양단전압과 전류파형을 나타낸다.

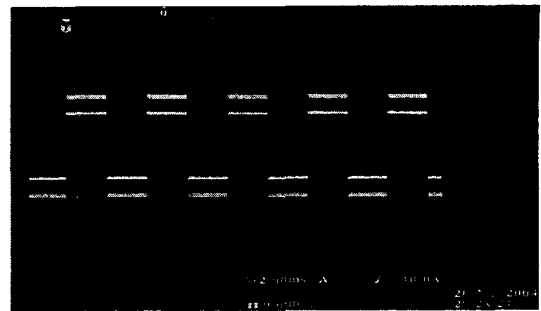


그림 15. 정상상태 램프의 전압 및 전류  
Fig. 15 The steady state lamp voltage and current

그림 16은 램프최대 밝기의 100% 비율로 조광제어시의 램프 전압과 전류를 나타내고 있다.

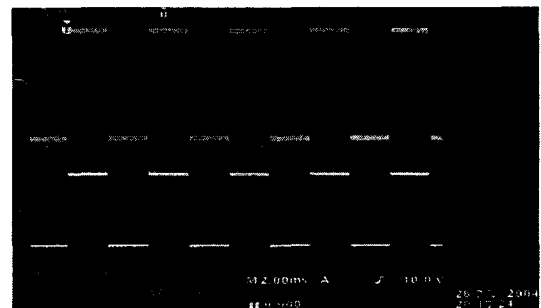


그림 16. 램프최대 밝기로 조광제어시 램프 전압 및 전류  
Fig. 16 The lamp output voltage, current in lamp maximum brightness dimming

그림 17은 램프최대 밝기의 0.85배 비율로 조광제어시 램프 전압과 전류를 나타내고 있으며, 그림 16과 비교시, 램프의 출력전압과 전류가 줄어든 것을 확인할 수 있다. 즉 조도제어에 의한 입력 값의 변화에 따른 컨버터의 게이트의 제어신호의 가변에 의한 조광제어가 잘 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

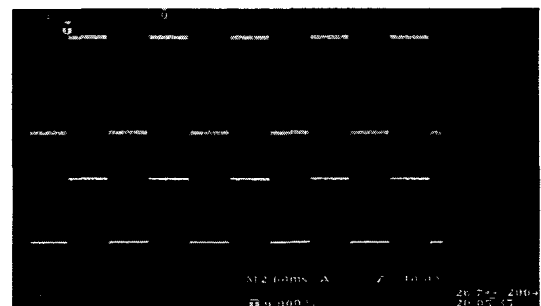


그림 17. 램프최대 밝기의 0.85배 비율로 조광제어시 램프전압 및 전류  
Fig. 17 The lamp output voltage, current in 0.85 ratio of lamp maximum brightness dimming

그림 18은 램프최대 밝기의 0.7배 비율로 조광제어시 출력 전압과 전류 파형을 볼 여 주고 있다.

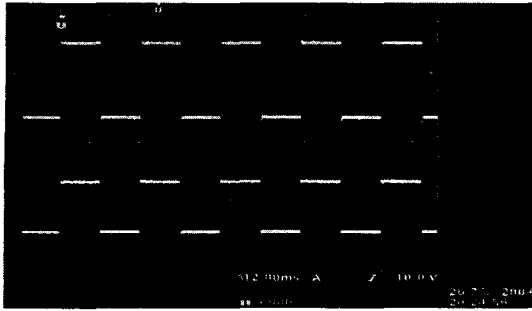


그림 18. 램프최대 밝기의 0.7배 비율로 조광제어시 램프전압 및 전류

Fig. 18 The lamp output voltage, current in 0.7 ratio of lamp maximum brightness dimming

표 2는 제안한 조광제어용 안정기의 입력전력 변화 상태를 보여주고 있다. 표 2에서 볼 수 있듯이 차량의 주변 밝기에 따라 조광제어를 하는 경우에 입력전력의 비효율적인 소모를 상당히 줄일 수 있어, 차량용 배터리의 효율적인 전력제어를 도모하는 것이 가능하다.

표 2. 제안한 조광제어용 안정기의 입력전력 변화 비교

Table. 2 Comparison of Input power Variation by proposed dimming control Ballast

	입력전압	입력전류	입력전력	입력전력 %
100% 조광제어	13.5[V]	3.15[A]	42.5[W]	100%
85% 조광제어	13.5[V]	2.73[A]	36.9[W]	86.7%
70% 조광제어	13.5[V]	2.31[A]	31.2[W]	73.4%

### 9. 결 론

마이크로컨트롤러를 이용한 자동차용 35W급 메탈할라이드 HID 램프용 전자식 안정기의 고효율 조광제어시스템을 설계하였다. 본 논문에서는 밝기, 연색성, 광효율, 수명등에서 기존의 할로겐 램프에 비해 우수한 특성을 가지고 있지만 복잡한 과도특성을 가지고 있는 메탈할라이드 HID 램프를 자동차에 적용하기 위해 마이크로컨트롤러에 의한 디지털 제어방식을 전자식 안정기에 적용하여 주변환경에 최적으로 적용할 수 있도록 전자식 안정기를 설계하였다. 또한, CdS 센서를 이용하여 주변의 빛의 세기에 따라 램프의 양단전압을 단계별로 가변 제어하여, 운전자에게는 보다 효율적인 운전여건을 만들며 동시에 한정된 에너지를 가진 배터리로 운전하는 자동차에서 효율적인 전력제어를 실현하였다. 개발된 안정기에 대한 동작 특성을 실험을 통해 확인하였다. 실험 결과 본 논문에서 제안한 안정기가 과도상태에서 안정 상태까지 자동차용 고압 방전등의 설계조건에 잘 부합됨을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] 이재언, “고압수은등, 메탈 할라이드 램프”, 대한영상 시스템 건축전 설비 기술사 II, pp. 253-257.
- [2] K.D.G ENG(주), <http://www.newparts.co.kr/>.
- [3] In-Kyu Lee, Sung-Jin Choi, Kyu-Chan Lee, Bo H. Cho, “Modeling and Control of Automotive HID Lamp Ballast”, PEDS’99, July 1999, Hong Kong, pp. 506-510.
- [4] Yongxuan Hu, “Analysis and Design of High-Intensity-Discharge Lamp Ballast for Automotive Headlamp” 2001.
- [5] H. J. Faehnrich and E. Rasch, “Electronics ballasts for metal halide lamps”, Journal of the Illuminating Engineering Society, pp. 131-140, Summer, 1998.
- [6] M. Sugiura, “Review of metal-halide discharge lamp development 1980-1992”, IEE Proceedings-A, vol.140, No.6, pp.443-449, November, 1993.
- [7] Kyu-Chan Lee and Bo H. Cho, “Design and Analysis of Automotive HID Lamp Ballast System Using Auxiliary Winding”, 2000, IEEE.
- [8] Tsoring-Juu Liang, Wen-Bin Shyu, Chun-An Cheng, Chia-Ming Chuang, Jiann-Fuh Chen, “Investigation on Transient and Steady-State Characteristics with Electronic Ballast of Automotive HID Lamps”, 2002, IEEE.

### 저 자 소 개



#### 이 재 학(李在鶴)

1965년 3월 29일생 1989년 중앙대학교 전기공학과 졸업, 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 동 대학원 전기공학과 졸업예정(공학박), 1990년~1996년 (주)이화전기 기술연구소, 1996년~1998년 Han-Tech, 1999년~현재 순천청암대 디지털전기통신과 조교수



#### 김 윤 호(金倫鎬)

1949년 6월 20일 생 1974년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 미국 Texas A & M 대학 졸업(공학박). 2003년 사단법인 전력전자학회 회장역임. 현재 중앙대 공대 전자전기공학부 교수