

250 Watt 메탈할라이드 램프용 전자식 Dimming 안정기 개발

(The Development of Dimmable Electronic Ballast for 250W Metal Halide Lamp)

박종연 · 정광현* · 신동석 · 박영길

(Chong-Yeon Park · Kwang-hyun Jung · Dong-suk Shin · Young-gil Park)

Abstract

In this paper, the dimmable electronic ballast for the 250W metal halide lamp was realized by three stage structure. We developed stable the dimming ballast by using a Micro-controller, and measured the output wattage in the dimming range(illumination) from 100% to about 20%. Under the 35% dimming level, it is possible to cause the redution of lamp's life. The dimming performance can reduce the light system's wattage but can reduce the luminance efficiency (lux/watt).

1. 서론

메탈할라이드(MH) 램프는 최근 좋은 연색성 때문에 조명분야에서 관심의 대상이 되고 있고[1], 에너지 절약과 관련하여 불 밝기 조절에 대한 관심 또한 높아 지고 있다[2].

본 논문에서는 250W 메탈할라이드 램프용 안정기 중 boost, buck, full-bridge의 3단 구조를 가지고 있는 안정기를 실현하여, 디밍회로를 구성하였다. 불 밝기 제어는 전력을 컨트롤 하고 있는 Buck Converter의 듀티비를 조절하여 제어 하였으며, 구동 주파수는 120kHz의 구형파 형태의 저주파수를 사용하였다. 구형파형태의 저주파수를 사용하는 방법은 메탈할라이드 램프의 문제점인 음향공명현상을 피하는 한 방법이다.[5] 또한 고주파수로 구동 시에는 최종 인버터 단에 있는 스위칭 소자들의 손실이 증가하여 스위칭소자들의 스트레스가 심하므로 저주파수로 구동하는 것이 바람직하다.[3]

2. 본론

메탈할라이드 램프용 전자식 안정기는 고주파수로 동작하는 LCC 공진형태의 안정기[7], 저주파수로 동작하는 형태의 안정기로 크게 두 가지 형태로 분류 할 수 있다.[2][3]

본 논문에서 제작한 안정기의 구조 및 회로는 후자로서 구조는 복잡하지만 안정된 동작을 위하여 DC/DC 컨버터인 Buck Converter로써 전력을 제어 하도록 구성 하였다. Buck Converter가 없는 2 단구조의 경우

스위칭 소자들이 PFC 단에서 Boost 된 400V의 스트레스를 그대로 받게 되므로, 완충기 역할로써의 Buck converter가 존재하는 3 단 구조가 더욱 안정적이다.[2] 따라서 디밍방식은 공진형태의 주파수 가변방식[7]이 아닌 Buck converter의 듀티를 가변하는 방식을 사용하였다. 또한 정확한 인버터 스위칭과 외부에서의 향후 조광 제어 시스템 연결을 위하여 Micro-Controller 를 사용하였다.

이그니션은 간단한 구조의 LC 댐핑현상을 이용한 점화기를 사용하여 다른 방식들에서 사용되는 추가 소자들을 줄였다.[8]

2.1. 안정기의 구조 및 동작원리

안정기 구조의 블록다이어그램은 다음의 그림 1과 같다

안정기의 역률을 개선하기 위하여 능동역률 개선회로를 사용하였다. 전파 정류된 전압은 역률 개선용 IC에

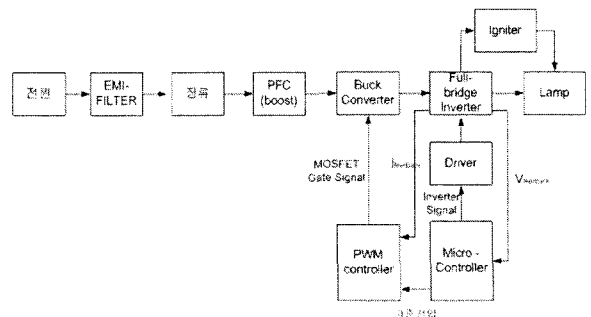


그림 1. 안정기의 구조
Fig.1.The structure of the electronic ballast

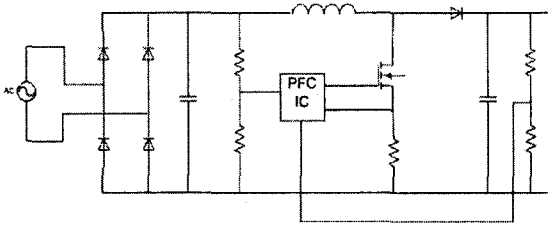


그림 2. 역률 개선단의 회로
Fig.2. The circuit of PFC stage

전파 정류된 모양과 전류의 모양을 비교하여 스위칭을 하게 되고 입력전류는 입력전압의 모양을 따라가게 되어, 역률이 개선된다. 또한, PFC 단의 형태가 Boost Converter의 형태를 가지므로 PFC의 출력단 전압은 400V 까지 상승하게 된다. PFC IC는 Motorola사의 MC33262를 사용하였다.

램프의 관 전압은 140V(rms) 이고, AC 전압, 전류의 형태가 필요하다. PFC 단의 출력전압은 400V 이므로, 램프의 관 전압에 맞게 하기위하여 강압할 필요가 있다. 따라서, Buck Converter 로써 전압을 140V(rms)로 낮추며, 정출력 유지를 위한 전력제어의 역할을 하도록 하고, Full-Bridge Inverter로써 램프에 AC 전압 및 전류를 공급하도록 구성하였다.

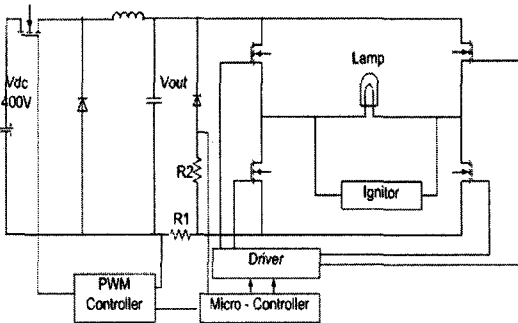


그림 3. Buck converter 및 Full-bridge inverter 단의 회로
Fig.3. The circuit of Buck and Full-bridge stage

램프의 점등전압 형성을 위한 점화기(Ignitor)의 구조는 다음의 그림4와 같다.

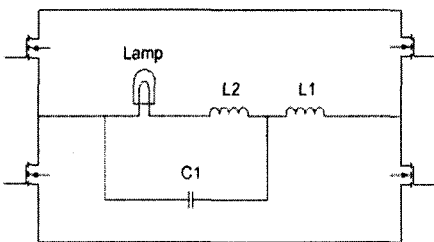


그림 4. 점화기의 구조
Fig.4. The structure of Ignitor

점화기의 동작은 점등 전 램프의 저항이 무한대로 증가 되는 때에 L1, C1의 공진에 의한 댐핑(damping) 현상을 이용한 것이다.

램프 점등 전 램프의 저항이 무한대이면 전류루프는 C1, L1로 형성되고, Full-bridge 동작에 의해 마치 LC 직렬 공진회로에 스위치가 인가된 것처럼 동작하게 된다. 따라서 LC에 의한 댐핑현상이 생기게되고 이것은 L1과 L2의 턴수비에 의해 고전압이 램프에 인가되게 된다. 이것에 대한 시뮬레이션 회로는 그림 5.a와 같고 결과는 그림 5.b과 같다. 시뮬레이션시 점등 전 램프의 등가인 저항은 100 Mega 옴으로 등가 하였으며, 각 소자들의 값은 다음과 같다.

$$L1 = 5\mu\text{H}, C1 = 47\text{nF}, L2 = 1.2\text{mH}$$

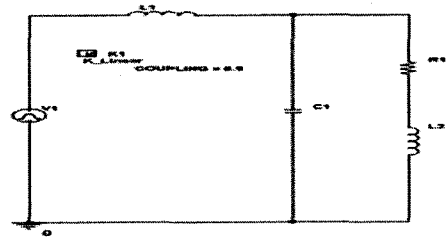


그림 5.a 댐핑응답을 보기위한 시뮬레이션 회로
Fig.5.a Simulation circuit for damped response

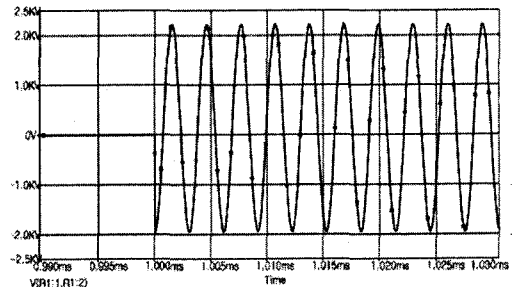


그림 5.b 시뮬레이션 결과
Fig.5.b The result of simulation

따라서 Full-bridge 동작에 의해 구형파가 서로 교번할 시에 직접적인 회로의 동작에 따른 시뮬레이션을 위한 회로가 그림6.a에 있으며 그 결과 그림6.b와 같다.

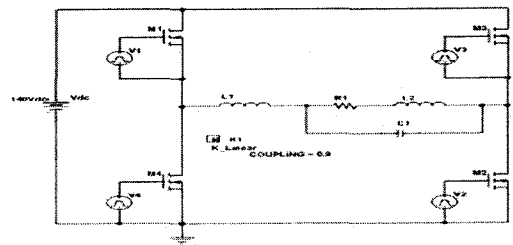


그림 6.a 이그니션 전압을 보기위한 시뮬레이션 회로
Fig.6.a Simulation circuit for ignition

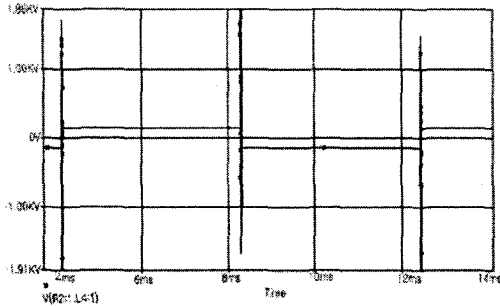


그림 .6.b 시뮬레이션 결과
Fig.6.b The result of simulation

2.2. 전력의 제어

그림3에서 보듯이 Feedback 으로서 Buck converter의 DC-Link 전압과 출력전류를 센싱 받으며, 이 정보로 인하여 정출력을 유지하도록 한다. Buck Converter의 DC - Link 전압과 출력 전류는 인버터를 통하여 램프에 바로 인가가 되므로, 램프의 전압 전류를 센싱받는 것과 같게 된다.

안정기의 전력의 제어는 PWM Controller의 듀티비를 조절하여 제어하고 있다. 센싱받은 DC-Link 전압은 Micro-controller의 입력이 되고, 이 정보를 이용하여 PWM controller로 일정한 DC 기준전압을 형성해 준다. 또한, 이 기준전압은 센싱받은 전류와 합이 형태로 PWM Controller에 기준전압을 형성하게 되고, PWM Controller는 그림8 처럼 내부의 삼각파와 비교하여 Buck Converter의 Gate 신호를 형성한다.

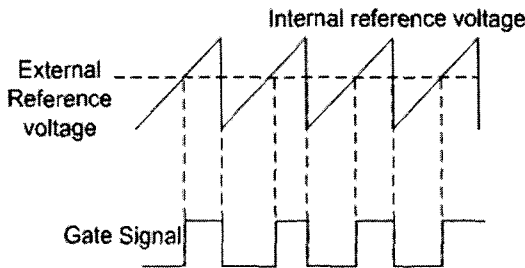


그림 7. PWM Controller의 Gate signal 생성
Fig.7. The making process of the gate signal of PWM Controller

2.3. Dimming Control

2.2 절에서 설명하였던 전력제어의 방법을 간단한 블록 다이어그램으로 다음의 그림8에 나타내었다.

Micro-Controller에서 PWM Controller에 기준전압은 그림9와 같은 회로로 PWM을 제어하므로써 기준전압을 조절할 수 있다. 이 방법은 PWM 듀티에 따라 선

형적으로 DC Level을 변환하는 효과적이고 간단한 방법이다. 이러한 방법을 이용하여 외부 up, down 신호 입력이 들어오면, Micro - Controller 에서 PWM의 듀티를 조절에 의한 기준전압 변경으로 Buck Converter의 듀티비를 조절 할 수 있다.

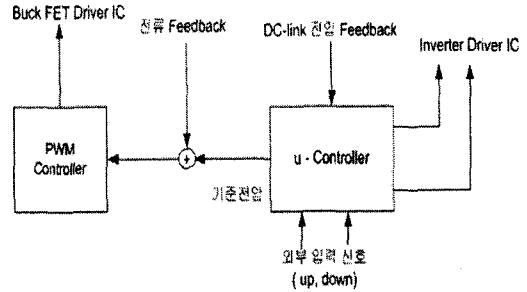


그림 8. Feedback 루프의 블록 다이어그램
Fig.8. The block diagram of Feedback loop

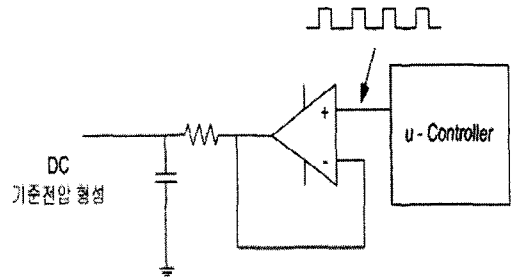


그림 9. 기준전압을 발생시키기 위한 회로
Fig.9. The circuit for generating reference voltage

2.4. 프로그램

프로그램 구성은 크게 두 가지로 나눌수 있다. 하나는 출력에 과전압이 형성되었는지를 체크하여 조절하는 부분과 조도조절에 관한 부분이다.

상태 체크 부분의 경우 DC-Link, 전압의 피드백을 2가지 형태로 나누었다. 즉, Feedback 1은 램프의 관전압 140V 보다 많이 클때, Feedback 2는 적게 클 때로 나누어 두 가지의 Feedback을 통한 과전압 방지를 하고 있다. Feedback 2의 신호가 들어올 경우에는 Buck controller의 듀티를 신호가 들어오지 않을 때 까지 조금씩 감소시키게 되며, Feedback 1의 신호가 들어올 30초 마다 한 번씩 체크하여 6분이 경과하였을 시에는 안정기를 off 하도록 구성되어있다.

조도조절 부분의 경우 up, down 신호가 들어오는지 체크하여 Buck Controller로의 기준전압을 조절하고 있다. 또한, 상한과 하한의 최고의 레벨에 도달하였을 때에는 더 이상 조도조절이 되지 않도록 하고 있다. 그림

10은 디밍을 위한 프로그램을 플로우 차트로 나타내었다.

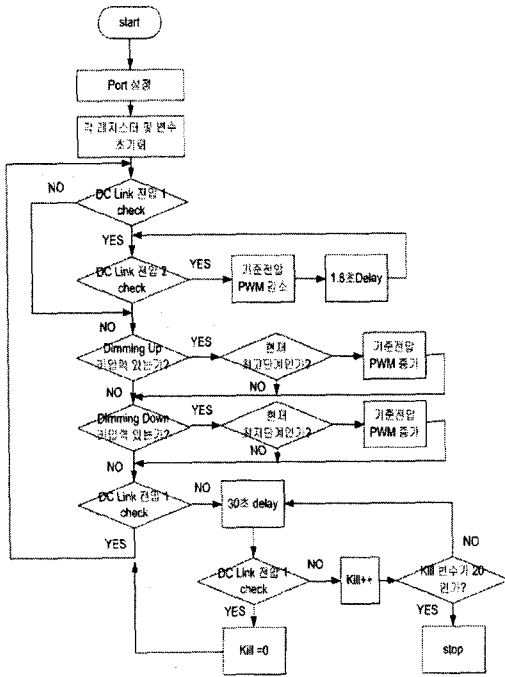


그림 10. 플로우 차트
Fig.10. The flowchart

2.5. 실험결과

조도조절시의 입출력 특성을 파악하기 위하여 오실로스코프 및 전력 분석기를 사용하였다.

그림 11은 정 출력일 경우의 파형이며, 램프의 전압은 135V(rms), 전류는 1.77A(rms) 이다.

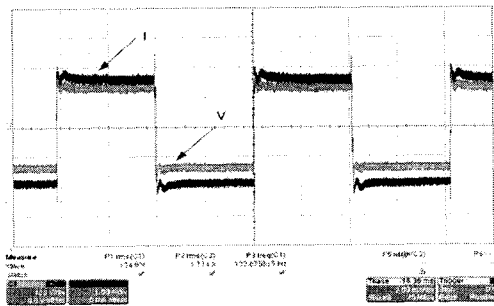


그림 11. 정 출력시 전압 전류 파형 (100V,1A / 2ms div.)
Fig.11. Waveforms of lamp voltage and current at full-load

조도를 기준하였을 때, 75%때의 파형은 그림12와 같으며, 램프의 전압 전류는 135V(rms), 1.5A(rms) 이다.

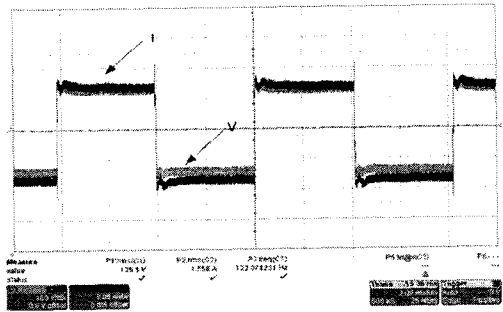


그림 12. 75% 조도시 전압 전류 파형 (100V,1A / 2ms div.)
Fig.12. Waveforms of lamp voltage and current at 75%

정상조도의 50%일때 램프의 전압 전류는 그림12와 같으며, 130V(rms), 1.3A(rms) 이다.

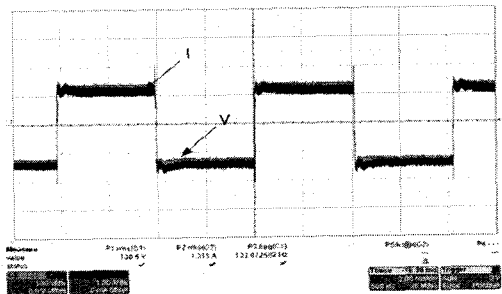


그림 13. 조도 50%시 전압 전류 파형 (100V,1A / 2ms div.)
Fig.13. Waveforms of lamp voltage and current at 50%

정상조도의 50%일때 램프의 전압 전류는 그림13과 같으며, 130V(rms), 1.07A(rms) 이다.

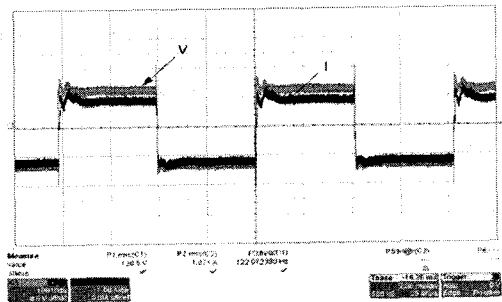


그림 14. 조도 35%시 전압 전류 파형 (100V,1A / 2ms div.)
Fig.14. Waveforms of lamp voltage and current at 35%

정상조도의 35%시 출력 전압전류의 파형에서 보듯이 조도가 35%이하로 내려가기 시작하면, 출력의 전압전류 파형이 일그러지기 시작한다. 실질적으로 램프에 flickering이 시작되는 때는 조도 20% 때이지만, 출력파형을 보았을 시 35%정도까지 디밍하는 것이 적당하다.

측정된 입출력 전압 전류 및 전력의 데이터를 정리하면 표1과 같다.

표 1. 측정된 결과

Table 1. The result of measured data

조도	입력(rms)			출력(rms)		
	전력 (W)	전압 (V)	전류 (A)	전력 (W)	전압 (V)	전류 (A)
100%	253	220	1.16	239	135	1.77
75%	220	220	1.0	211	135.5	1.55
50%	184	220	0.84	171	130.5	1.31
35%	151	220	0.69	139.8	130	1.07

디밍 제어 단계별로 입력 전력의 변화를 보았을 때의 그래프는 그림15와 같으며, 단계별 조도의 변화 및 출력 전력의 백분율은 그림 16과 같다.

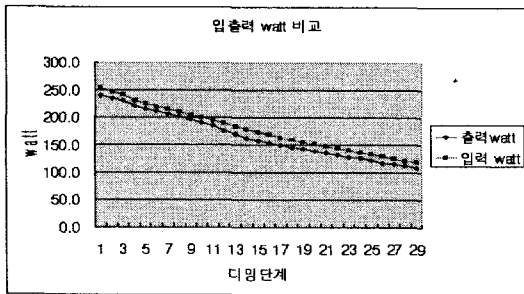


그림 15. Dimming 단계에 따른 입·출력 watt 비교
Fig.15. The comparison input and output wattage according to dimming level

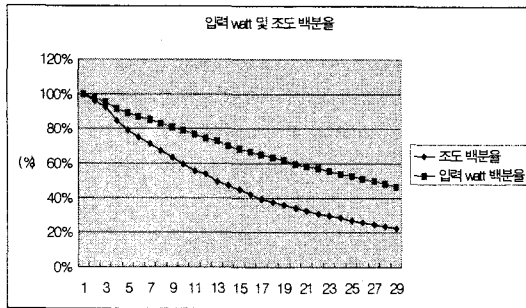


그림 16. Dimming 단계에 따른 입력 watt 및 출력조도 백분율
Fig.16. The input and illumination percentage according to dimming level

그림 16에서 디밍 단계가 증가함에 따라 입력 watt 백분율 보다 조도 백분율이 급격하게 떨어지는 것으로 측정되었다.

3. 결론

250Watt 메탈할라이드 램프용 전자식 안정기를 실현하여 정상 조도의 20% 까지 Micro-Controller에 의한 조도조절을 실험하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

Buck converter의 듀티 조절에 의한 직접적인 watt 조절 방식은 선형적으로 출력을 제어하여 안정적으로 조도조절이 가능하다. 그러나 조도가 35%이하가 될 때에는 출력 파형이 일그러져 램프의 수명에 악영향을 줄 수 있다.

그림 16의 그래프에서 램프의 디밍단계를 높일수록 조도의 백분율이 입력 전력 백분율 보다 급격히 감소하는 것을 확인하였다. 이것은 디밍단계를 높여 갈수록 입력전력 당 조도(lux/watt) 즉, 광 효율이 떨어지는 것을 의미한다. 따라서 광효율을 고려하지 않을시 비효율적인 전력소모를 할 수 있다. 그러나, 전체적인 조광제어 시스템에서 필요하지 않은 조도를 내는 것 또한 낭비이므로, 전체적인 시스템 면에서의 조도조절은 전력을 절감하는 효과를 가져 올 수 있다. 따라서 조광제어 시스템 적용 시에는 이점을 고려하여 적재적소에 적용하는 것이 중요하다.

감사의 글

본 논문은 강원대학교 정보통신 연구소의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] G. Kanai, T. Inagaki, Y. Takeji and H. shibata "Technological trends and prospects of HID lamps and low pressure sodium lamps", Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan, vol. 74, NO. 5, pp. 279~285, 1990.
- [2] 박종연, 박영길, 정동열, 김한수 "250W MHL용 Buck Tyoe 전자식 안정기 및 Dimming 시스템 개발", 전력전자 학회 논문지, 제7권 1호 pp.30~40. 2002. 2
- [3] Jong-Yeon Park and Don-Youl Jung, "Electronic Ballast with Constant Power Output Controller for 250W MHD Lamp", 2001 IEEE International Symposium on Industrial Electronics Proceedings. vol. 1 pp.46~51. June 12-16, 2001
- [4] Sam Ben-Yaakov, Michael Gulko and Alex Giter, "The Simplest Electronic Ballast for HID lamps", IEEE, pp. 634 ~ 640. 1996
- [5] 김기정, "메탈할라이드 램프의 음향공명현상을 감소시킨 전자식 안정기의 개발", 강원대학교 전기공학과 대학원 공학박사학위 논문. 2. 2000.
- [6] Samuel S.M. Chan, Henry S.H. Chung, S.Y.R. Hui "A lamp power control scheme for dimmable electronic ballast to minimize the temperature effect on the lamp brightness", IEEE power electronics.vil 3, no 1. march. 2005
- [7] Xiaohong Cao, S.Y. Hui, Henry Shu-Hung "Dimming Control and Characteristics of High-Frequency Operated Metal Halide Lamps", IEEE Transactions on power electronics, vol 19, no 3, may 2004
- [8] 조계현 "HD 램프 수명 연장을 위한 고온 순시 재 점등용 점화기 개발", 강원대학교 전기공학과 대학원 공학박사학위 논문. 8. 2004