

고출력 무전극램프의 점등회로 설계를 통한 특성분석 및 최적화에 관한 연구

정영일*, 정대철*, 박대희*, 김용갑**

A Study on the characteristic analysis and optimization according to Ballast design of Induction Lamp

Young-Il Chung*, Dae-Chul Jung*, Dae-Hee Park*, Yong-Kab Kim**

요약 본 논문에서는 고출력 무전극 램프 시스템 개발에서 램프 내에 가스종류, 혼합비, 압력과 방전관 사이즈, 아말감 종류 및 혼합비, 페라이트코어의 특성등의 최적화를 통한 램프 설계 부분을 연구하였다. 또한 구동방식에 따른 점등회로의 역율 및 효율개선, 파형이나 인가 주파수에 따른 특성 분석을 통한 점등회로설계 부분 등을 고려하였으며, 최종적으로 주변 환경을 고려 무전극 등기구 설계를 수행 하였다. 고출력 무전극 램프용 점등회로의 설계를 통한 특성분석을 진행하여 개선 보완을 통하여 효율을 향상 시켰으며 점등회로의 구동주파수에 따른 무전극 램프의 광학적 특성 및 시스템 영향을 확인한 결과, 7~10℃ 정도 낮은 특성의 135kHz로 구동하는 점등회로를 최적화하였다. 실험적으로 Peak Noise 발생으로 인한 FET(Q3,Q4) damage 현상을 개선하였다. 최종적으로 무전극램프용 점등회로 최종 설계도를 통해 약 2~3배 이상의 수명을 확보함으로써 안정기의 신뢰성 및 무전극 램프 시스템의 효율이 높음을 알 수 있었다.

Abstract In this paper, we implemented for the development of a high output induction lamp system, which lamp design is optimized by gas type, mixing ratio, pressure and discharge tube size, amalgam type and mixing ratio, and characteristics of ferrite core in the lamp. It's the circuit design by improving the power factor and efficiency according to the driving method, which has analyzing the characteristics according to the waveform and frequency. Finally, luminaries design part for applying the optimal lighting system considering the surrounding environment, the characteristics of the lighting circuit for electrodeless lamp has analyzed and the improvement has been proceeded. In conclusion, the driving frequency has optimized at 135kHz with degrading 7~10℃ based on the results of the optical characteristics of the induction lamp on peak noise FET(Q3,Q4) damage.

Key Words : Induction Lamp, ICP(inductively coupled plasma), Ballast, FET(Q3,Q4) Damage

1. 서론

오늘날 사용되는 무전극 램프의 대부분의 원리인 RF제너레이터에 의하여 동작되는 ICP (Inductively 고압 아크광원의 연구는 19세기의 중반에 발견하였다. 광원의 개발은 실용적 관점에서 연구의 시작이 이루어진 것으로 볼 수 있다. H.

Davy로 시작되는 고압방전의 영역까지 확대되었고 Geissler의 방전관에 이어 탄소가스를 봉입한 백색광원, 질소가스를 봉입한 적황색광원이 개발되어 Moore 램프로서 실생활에 제공되었다[1]. 국내의 경우 수백 W까지 넓은 범위로 개발이 가능하며 긴 수명으로 주목받아 2000년도 중반부터 국산화에 사용 되어왔다. 하지만 현재 초기 가격 경쟁

*Department of Information and TeleCommunication Engineering, Wonkwang University

**Corresponding Author : Department of Information and TeleCommunication Engineering, Wonkwang University
(ykim@wku.ac.kr)

Received January 12, 2017

Revised February 02, 2017

Accepted February 20, 2017

력과 보급정책 등의 문제로 활성화가 지연되어 무전극 램프 개발에 있어서 기술적 문제는 국내의 램프제조 관련기술이 매우 취약하다는 점이다. 또한 무전극 램프의 형상 때문에 기존의 등기구를 호환하여 사용하는데 한계점이 있는 상황이다. 에너지의 효율적 사용측면에서 경제성과 안정성을 높이기 위한 지속적인 연구 개발이 이루어지고 있고, 특히 고성능 및 신기능 소재에 대한 기술개발이 활발히 이루어지고 있다[2]. 이러한 측면에서 무전극 램프 시스템은 수명이 다해 부품의 교체가 이루어지기 전까지 정격 수명은 약 100,000 시간 정도 사용이었다[3-4].

무전극 형광램프는 수백 kHz에서 수십 MHz의 고주파에 점등하므로 전자파에 의해 타 기기에 영향이 있다. 이러한 고주파 구동방식은 노이즈를 발생시키게 되고, 발생한 전자파 노이즈에 대한 대책이 필요하며 노이즈 발전 원인에 확실한 접지를 하여 노이즈를 줄이는 설계와 같은 대책이 필요하다[4-5].

LED 조명 설비가 가정, 사무실, 가로등, 신호등에 설치되어 저소비 전력 광원으로서의 역할을 하고 있다[6]. 무전극 램프 설비의 호환성이 부족하기 때문에 램프, 전용 점등회로 뿐만 아니라 전용 조명기가 통합된 하나의 시스템으로 설계 및 평가에 대한 연구가 필요하다.

고출력 무전극 램프 시스템 개발은 크게 세 가지 부분으로 나뉘어 질수 있다. 첫째, 램프 내에 가스종류, 혼합비, 압력과 방전관 사이즈, 아말감종류 및 혼합비, 페라이트코어의 특성 등의 최적화를 통한 램프 설계 부분과 둘째로는 구동방식에 따른 점등회로의 역율 및 효율개선, 파형이나 인가 주파수에 따른 특성 분석을 통한 점등회로설계 부분 있다. 세 번째는 주변 환경을 고려하여 최적의 조명 시스템을 적용하기 위한 등기구 설계 부분이 있다.

본 논문에서는 고출력 무전극 램프구동을 위한 점등회로 설계를 통한 최적화 및 구동주파수에 따른 무전극 램프 특성을 분석하였다.

2. 점등회로의 설계 이론

무전극 램프 내부에 에너지를 전달함으로써 주입된 가스와 전자간의 충돌을 통한 점화(firing or ignition) 즉, 점등을 이루기 위해서는 유도 코일의 양단에 방전개시전압을 넘는 수백 kHz~ 수 MHz 대역의 고주파 고전압이 인가되어야 방전을 이룰 수 있다. 이러한 고주파의 고전압을 인가하기 위해서는 LC 공진에 의해 방전개시전압 이상의 전압을 유도 코일의 양단에 인가함으로써 방전을 일으킬 수 있다. 따라서 이러한 점화방식에 의해 점등이 개시될 때까지 방전관은 페라이트 코어 때문에 인덕턴스 부하로 취급되는 한편, 방전 후에는 램프 전력에 따라서 변화하는 저항과 인덕터의 등가로 해석될 수 있다. 램프의 전력이 큰 경우 램프에서는 저항성분이 주요 성분으로 작용하게 된다.

이와 같은 방전램프와 점등회로간의 상호 의존적인 관계는 중요하다. 즉 현재의 무전극 시스템 개발을 위한 광원의 전반적인 영역에서의 기술적 수준은 비교적 취약하기 때문에 광원의 개발과 무전극 램프를 점등시키고 안정되게 동작을 유지하기 위한 점등회로 구현 기술 또한 개발이 시급한 분야이다.

무전극 램프의 안정적인 동작을 위해서 점등회로에서 요구되는 조건으로는 전자파 노이즈 성분을 제거하기 위한 필터회로(filter circuit), 교류전원을 정류하는 정류기(rectifier)와 전송 손실 및 왜곡을 감소시키기 위한 역률 개선 회로(PFC, Power Factor Correction), 직류 전원으로부터 고주파 스위칭을 통해 램프에 전력을 공급하기 위한 공진형 변환기(resonant convertor) 그리고 전체 시스템을 제어하기 위한 제어회로가 요구된다.

이와 같은 요구조건을 충족시킬 수 있는 점등회로의 설계는 방전램프의 전기적 등가회로에 대한 명확한 이해가 선행되어야 한다[7-13].

3. 점등회로 설계 및 측정평가

3.1 점등회로 설계 및 제작

무전극 램프용 전용점등회로 제작을 위해 설계된 회로 블록도는 그림 1과 같다.

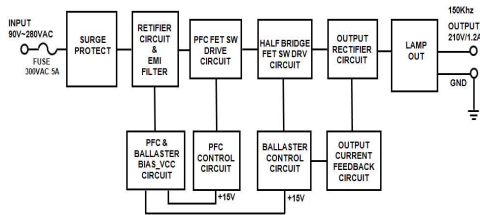


그림 1. 무전극 램프 점등회로 블록도
Fig 1. Induction lamp circuit block diagram

점등회로는 입력단의 서지보호회로, 정류회로, 전자자파 차폐회로를 거쳐 PFC회로, 공진회로를 통한 출력으로 구성된다. 입력단의 라인필터 설계와 PFC의 설계에 의하여 점등회로의 효율에 중용한 역할을 한다. 무전극 램프용 점등회로 PFC(Power Factor Correction) Inductor는 아래와 같이 설계를 진행하였다.

- Bobin : PQ4040_12Pin
- Inductance : 5,6 - 9,10 (LP_1.3mH) ± 10%
- PIN CUTTING : 1, 2, 4
- Start & Finish Wire Teflon Tube 삽입

무전극 램프용 점등회로 Main Power Inductor 는 아래와 같이 설계를 진행하였다.

- Bobin : PQ4040_12Pin
- Inductance : 8,9 - 10,11 (LP_150uH) ± 10%
- PIN CUTTING : 1, 3, 4, 7, 12
- Start & Finish Wire Teflon Tube 삽입

3.2 무전극 램프, 점등회로의 특성 분석

1무전극 램프 시스템의 가스, 방전과, 페라이트 코어, 아말감, 구동주파수 등 설계요소에 변화에 따라 램프를 구동 시켰다. 이때의 무전극 램프 시스템의 광학적, 전기적 특성을 알아보기 위하여 다음 그림 2와 같이 실험 장치를 구성하였다. 광학적 특성은 Everlight 사의 광학측정 시스템을 사용하여 광속, 연색성을 측정하였고, 전기적 특성은 Tektronix사의 오실로스코프를 사용하여 전력분석을 통하여 측정 하였다. 또한 유리관 및 페라이트 코어의 온도변화를 비교하기 위하여 Minolta 사의 적외선 카메라를 이용해 측정하였다.

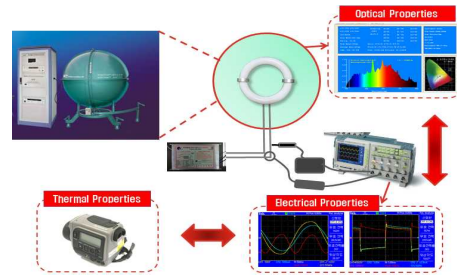


그림 2. 실험 개략도
Fig 2. Experiment diagram

4. 실험결과 및 고찰

4.1 고출력 무전극 램프용 점등회로 최적화

1차로 회로설계상에서 FET Q3, Q4 Damage 문제점을 발견하였고 이러한 현상을 개선하기 위하여 그림 3과 같이 N.C를 수정하고 D12 제거 및 회로결선을 수정하였으며 GND Pattern 회로를 수정하였다. PCB 패턴을 수정하여 인버터 회로부의 GND & VCC Pattern에서 불안정한 전류 Loop 가 형성되어 Turn On시 Peak Noise 발생으로 인한 FET(Q3,Q4) Damage 현상을 개선하였다.

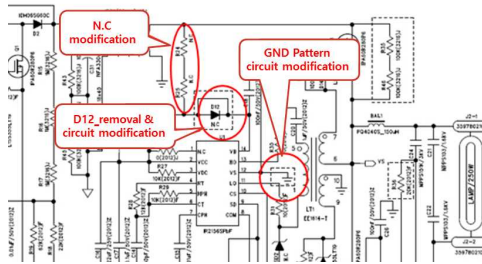


그림 3. 무전극 램프용 점등회로 1차 회로 설계도
Fig 3. primary circuit design of Induction lamp ballast

추가적으로 그림 4와 같이 Ballaster IC 보조전원 회로부를 수정하였고 C28, R40등을 설계 변경을 진행하였으며, 이를 통하여 Turn on/off시 정상 동작 하였고 run mode시 정상 파형이 output됨을 그림 5와 같이 확인할 수 있었다.

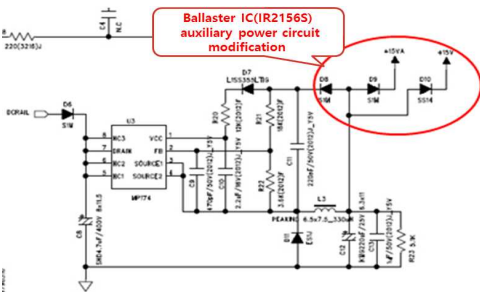


그림 4. 보조전원 회로부의 개선
Fig 4. Improvement of auxiliary power circuit

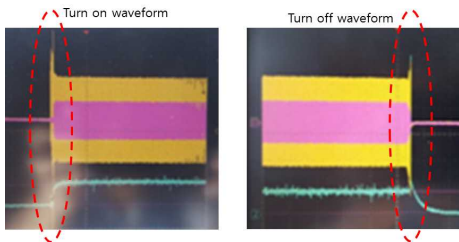


그림 5. 점등/소등 파형
Fig 5. TURN On/Off Waveform

최종적으로 LAMP 출력전력의 보다 안정적인 전력유지를 위해 출력 전류 Setting 회로부의 시정수를 변경하였으며 이를 반영한 최종회로 설계를 그림 6과 같이 완료하여 무전극 램프용 점등회로 제작을 진행하였다.

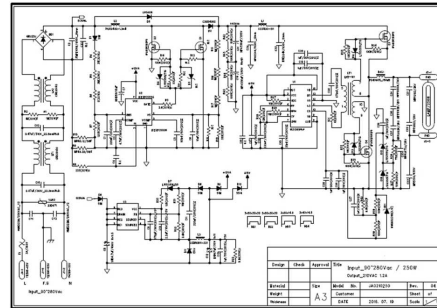


그림 6. 무전극램프용 점등회로 최종 설계도
Fig 6. Final circuit design of Induction lamp ballast

4.2 점등회로의 구동주파수에 따른 무전극램프 특성 분석

구동주파수에 따른 무전극 램프시스템의 광특성 및 온도 변화가 있는지를 확인하기 위하여 현재 일반적으로 양산되는 구동주파수 250kHz 무전극 램프용 안정기와 고출력 무전극 램프용으로 제작한 구동주파수 135kHz인 안정기로 입력전력을 동일하게 세팅하여 시험을 진행하였다.

아래 표 1과 같이 구동주파수에 따라 무전극 램프의 광효율 및 램프 유리관, 페라이트코어 부분의 온도는 차이가 없는 것으로 확인되었다. 이는 주파수가 낮아짐에 따라 무전극 램프 효율이 낮아지더라도 안정기효율이 높아짐에 따라 동일한 광효율을 가질 수 있는 것으로 판단된다.

표 1. 구동주파수에 따른 특성분석

Table 1. Characteristic analysis according to driving frequency

| driving frequency[kHz] | 250 | 135 |
|---------------------------------------|-------|-------|
| Luminous Flux[lm] | 15510 | 15660 |
| Input Power[W] | 245.5 | 247.2 |
| Luminous efficiency[lm/W] | 63.18 | 63.35 |
| Circuit enclosure temperature - 1[°C] | 50 | 42.3 |
| Circuit enclosure temperature - 2[°C] | 55.7 | 45.1 |

여기서 가장 중요한 부분은 안정기의 온도 특성

이다. 250kHz로 구동할 때보다 135kHz로 구동할 경우 안정기 외함의 온도가 7~10℃ 정도 낮은 특성을 보였다. 이는 안정기 내부의 저항, 인덕터, 콘덴서 및 반도체의 온도에 의한 수명을 증가시킴으로서 안정기의 신뢰성이 향상될 수 있을 것으로 사료된다.

일반적으로 전자식 안정기의 통상의 수명을 측정 할 경우는 사용 부품 중 직류를 평활하기 위한 메인 전해 콘덴서의 온도와 시간을 가지고 판단합니다. 일반적으로 무전극 램프용 전자식안정기에 사용하는 콘덴서의 경우(Tmax: 105℃/수명: 10,000 시간) 정도이다. 이를 아래 표 2와 같이 수명 계산식에 적용하여 수명을 예측할 수 있다.

표 2. 콘덴서 실사용 온도에 따른 예상수명
Table 2. Life expectancy of condenser depending on operating temperature

| Ta : condenser using temperature | T: life expectancy | $T = TP \times 2^{((T_{max} - T_a)/10)}$ T: life expectancy TP: 10,000hr [Condenser lifetime (Tmax:105℃)] Tmax: maximim using temperature Ta: actual using temperature |
|----------------------------------|--------------------|---|
| 100℃ 일 때 | 14,142hr | |
| 90℃ 일 때 | 28,284hr | |
| 80℃ 일 때 | 56,569hr | |
| 70℃ 일 때 | 113,137hr | |

때문에 외함의 온도 7~10도 정도 낮아진 만큼 안정기의 콘덴서의 구동온도는 낮아지게 된다. 이를 토대로 약 2~3배 이상의 수명을 확보함으로써 안정기의 신뢰성을 높아질 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 고출력 무전극 램프용 점등회로의 설계를 통한 특성분석을 진행하여 개선 보완을 진행하였다. 주파수가 낮아짐에 따라 무전극 램프 효율이 낮아지더라도 안정기효율이 높아짐에 따라 동일한 광 효율을 가질 수 있는 것으로 판단된다. 250kHz로 구동할 때보다 135kHz로 구동할 경우 안정기 외함의 온도가 7~10℃ 정도 낮은 특성을

보였다. 안정기 내부의 저항, 인덕터, 콘덴서 및 반도체의 온도에 의한 수명을 증가시킴으로서 안정기의 신뢰성이 향상될 수 있을 것으로 사료된다. 점등회로의 구동주파수에 따른 무전극 램프의 광학적 특성 및 시스템 영향을 확인한 결과를 토대로 135kHz로 구동하는 점등회로를 최적화하였다. 또한 PCB 패턴을 수정하여 인버터 회로부의 GND & VCC Pattern에서 불안정한 전류 Loop 가 형성되어 Turn On시 Peak Noise 발생으로 인한 FET(Q3,Q4) Damage 현상을 개선하였다. 최종적으로 약 2~3배 이상의 수명을 확보함으로써 안정기의 신뢰성 및 무전극 램프 시스템의 효율이 높아질 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Michio Takagaki, Takeshi Fukuyo, Shinchi Irisawa, "Mercury-Free Arc Tube for a Discharge," US Patent, No. 7,170,230,B2, 2007.
- [2] Hyun-seob Cho, "The study of induction heating apparatus with high efficiency" Journal of korea institute of information electronics and communication technology, Vol. 9, No. 2, pp185-189, Apr. 2016.
- [3] Ui-hyo Jeong, Jae-phil Hyung, "High Temperature Reliability Study of Low Frequency In-door Electrodeless Lamp", The Korean Reliability Society, Journal of Applied Reliability Vol.14, No.3,pp203-207, Sep 2014
- [4] Jae-hyun Kwon, Jun-myung Lee, "Thermal characteristics of the design on residential 13.5W COB LED down light heat sink", Journal of korea institute of information electronics and communication technology, Vol. 7, No. 1, pp20-25, Mar. 2014
- [5] Incandescent Sculpture of Dylan Kehde Roelofs, "Tesla's wireless 'sensitive brush' Bulbs <http://www.incandescent Sculpture.com/wordpress>

s/teslas-sensitive-brush-bulbs-orthe-invention-of-the-fluorescent-light/(2014-12-05)

[6] Jun-myung Lee, "A study on the LED-based media transmission mechanics VLC system module and efficiency", Journal of korea institute of information electronics and communication technology, Vol. 6, No. 1, pp51-56, Mar. 2013

[7] Sam Ben-Yaakov, Moshe Shvartsas and Jim Lester, "A Behavioral SPICE Compatible Model of an Electroless Fluorescent Lamp", IEEE, pp 948-951, 2002.

[8] Louis Robert Nerone, "Novel Self-Oscillating Class E Ballast for Compact Fluorescent Lamps", IEEE Trans. Power Electronics, Vol. 16, pp 175-183, 2001.

[9] Jae-yup No, Chin-Woo Yi, "A design of Self-Exciting Electronic Ballast Using the Simulation Method", J. Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 19, pp 8-12, 2005.

[10] Wang-Sik Kim, Jae-Hyun Han, Gye-Hyun Jo, Chong-Yeun Park, "Development of Self Oscillating Electronic Ballast for Fluorescent Lamp Using SEPIC Converter", J. Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 17, pp 20-25, 2003.

[11] Hyun-Moo Lee, Kang-Hun Koh, Hee-Seok Koh, (Hyun-Woo Lee, "A Design of PFC Circuit for Reducing the Harmonic in Constant Voltage-fed Electronic Ballast Circuit", J. Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 18, pp 41-48, 2004.

[12] Gi-Jung Kim, "Understanding electronic ballast circuits and characteristics for HID lamps", J. Korea Electric Engineers Association, pp 25-28, November 2001.

[13] S. Sagiroglu, I. Colak and R. Bayindir,

"Power fator correction technique based on artificial neural networks", Energy Conservation & Management, pp 3204-3215, 2006.

저자약력

정 영 일(Young-Il Chung) [중신회원]



- 1993년 7월 : 성균관대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 2016년 12월 : 원광대학교 대학원 정보통신공학 박사과정
- 1990년 3월 ~ 2000년 2월 : 금호전기(주) 선임연구원
- 2001년 12월 ~ 현재 : (주)이텍 대표이사

<관심분야> 정보경영, 정보통신, 조명시스템

정 대 철(Dae-Chul Jung) [정회원]



- 2016년 : 원광대학교 전기공학과 학사 과정

<관심분야> 전기기기, 전자회로, LED통신

박 대 희(Dae-Hee Park) [중신회원]



- 1979년 한양대학교 전기공학과 (공학사)
- 1983년 한양대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1989년 일본대관대학 전기전자공학 (공학박사)
- 2003년 - 현재 : 한국조명연구원 이사
- 2004년 - 현재 : 지식경제부 지정 전기응용기술연구센터 센터장
- 2009년 - 2011년 : 원광대학교 공과대학장

<관심분야> 고전압 및 진단기술, LED광원 및 조명기술

김 용 갑(Yong-Kab Kim)

[중신회원]



- 1988년 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 - 1993년 앨라배마 주립대학교 (공학석사)
 - 2000년 노스캐롤라이나 주립대 (공학박사)
 - 2003년~ 현재 원광대학교 정보통신공학과 정교수
 - 2006년~2013년 POST-BK21 사업단장
 - 2012년~2015년 원광대학교 창업보육 센터장
 - 2014년~2015년 원광대학교 창업지원단장
 - 2012년~현재 LED 인력양성사업단장(전북)
- 가시광통신시스템, 광메모리센서, 전력선통신, Nonlinear Optics

<관심분야>