

# 형광램프용 Dimming형 전자식 안정기 및 원격제어시스템의 회로설계

( Design of an electronic dimming ballast circuit for a fluorescent lamp  
and its remote control system )

송상빈\* · 곽재영\*\* · 여인선\*\*\*

(Sang-Bin Song · Jae-Young Gwark · In-Seon Yeo)

## 요 약

이 논문에서는 현재 사용되고 있는 Dimming형 IC의 특성에 최적인 전자식 안정기의 인버터내 회로상수를 결정하여 Dimming형 전자식 안정기를 제작하였고, 제작된 전자식 안정기를 이용하여 형광램프의 전기적 특성과 광출력 특성을 비교하여 회로상수 선정법의 타당성을 증명하였다. 또한 제작된 Dimming형 전자식 안정기를 마이크로프로세서를 이용하여 수동조작 뿐만 아니라 PC를 통한 원격 자동제어가 가능하도록 하였고, 램프의 동작 상태, 주위온도, 전자식 안정기의 이상유무를 PC의 화면상에 표시되도록 프로그램하여 원격제어시스템을 구축하였다.

## Abstract

This paper is to present a selected method of circuit parameters in the inverter part of the electronic dimming ballast for fluorescent lamps, that is adequate to use with the prevailing dimming controller IC. Through the experiment result using the prototype of the electronic dimming ballast produced by this method, its validity is verified from the electrical and light output characteristics on fluorescent lamps. Also, it is feasible to remote automatic and passive control for dimming electronic ballast as using a microprocessor, and we easily recognize the lamp condition owing to make a program indicate abnormal behavior for fluorescent lamp at PC screen

## 1. 서 론

- 
- \*정회원 : 전남대학교 전기공학과 박사과정
  - \*\*정회원 : 전남대학교 전기공학과 객원교수
  - \*\*\*정회원 : 전남대학교 전기공학과 및 RRC 교수
  - 접수일자 : 1999년 2월 10일

현재 형광램프는 형광관의 세관화와 고효율화의 추세에 따라 전자식 안정기의 사용이 증가하고 있으며, 특히 그 사용이 늘고 있는 고주파 점등형 전자식 안정기의 인버터 스위칭 주파수를 제어함으로써 형광램프가 효과적으로 Dimming 제어되어 그 효율성

이 증가되고 있는 실정이다. 이러한 추세에 따라서 주파수 제어에 의한 Dimming을 보다 간단하고 편리하게 할 수 있는 Dimming용 IC가 개발되면서, 이에 대한 관심과 연구가 활발히 전개되고 있다[1]. 그러나 Dimming용 IC에 의한 형광램프의 Dimming 제어는 광출력의 비선형적인 제어와 최저 광속 Dimming시에 램프의 점등 상태가 유지되지 않는 문제, 그리고 사용자가 보다 편리한 제어가 이루어지도록 해야 하는 연구과제가 남아있다[2].

따라서 이 논문에서는 Dimming용 IC를 이용하여 전자식 안정기를 제작하는 데 있어서, 형광램프와 Dimming형 IC의 특성에 부합되는 전자식 안정기의 인버터부내 회로상수를 결정하여 주파수에 대한 광출력의 비선형적인 문제와 최저 Dimming시의 점등 유지 문제를 해결하는 데 있다. 이를 위해 형광램프와 IC의 주파수의 특성을 분석하고 PSpice 시뮬레이션을 수행하여 최적의 회로상수 값을 산출하였고, 그 타당성을 실험을 통해 증명하였다.

또한 사용자가 Dimming용 IC를 제어하여 형광램프를 Dimming하는 데 있어서 제어가 편리하고 램프 상태 및 전자식안정기의 이상유무를 감지할 수 있도록, 마이크로프로세서를 이용한 센서회로 및 제어회로를 구현하였다. 그리고 이 시스템을 PC의 시리얼 포트에 연결하여 프로그램을 통한 원격제어가 가능하도록 하였다.

## 2. 형광램프 및 Dimming용 IC의 특성

### 2.1 주파수 제어에 의한 형광램프의 특성

이 논문에서는 전자식 안정기의 인버터부에 Half-bridge방식을 채용하였고, Dimming형 IC의 특성에 따라 시동시 필라멘트에 충분한 예열전류를 공급하기 위하여 동작주파수의 변화에 의한 예열방식을 채용하였다.

형광램프는 예열 동작시 거의 무한대의 임피던스를 나타내므로, Half-bridge방식 전자식 안정기의 인버터부는 SLR 인버터 회로로 표현할 수 있다. 또한, 정상 점등시 형광램프는 등가적으로 저항( $R_{lamp}$ )과 커패시터( $C_{lamp}$ ) 성분으로 나타낼 수 있으며 전자식 안정기의 인버터부는 직렬 커패시터가 약 1uF이하로 충분히 작다면 SPLR 인버터 회로로 표현할 수 있고, 만일 직렬 커패시터가 충분히 크다면 PLR 인버터회

로 표현할 수 있다. 주로 직렬 커패시터는 1uF이하로 설계하기 때문에, 이 논문에서는 형광램프가 정상 점등시에 그림 1과 같은 등가회로(SPLR 인버터회로)로 치환할 수 있다[3].

이러한 램프의 정상 점등시의 등가회로에서 입력과 출력의 관계를 나타내는 전달함수는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{V_{out}(j\omega)}{V_{in}(j\omega)} = \left\{ \left[ 1 + \frac{C_p}{C_s} - \left( \frac{\omega}{\omega_o} \right)^2 \left( \frac{C_p}{C_s} \right) \frac{1 + \omega^2 R_{lamp}^2 C_p (C_p + C_s)}{1 + \omega^2 R_{lamp}^2 C_p^2} \right] + jQ \right. \\ \left. \left[ \left( \frac{\omega}{\omega_o} \right) \frac{1}{(1 + \omega^2 R_{lamp}^2 C_p^2)} - \left( \frac{\omega}{\omega_o} \right) \frac{1}{1 + \omega^2 R_{lamp}^2 C_p (C_p + C_s)} \right] \right\}^{-1}$$

위의 식을 이용하여 주파수 특성을 알아보면, 동작주파수의 변화에 따라 램프의 전압이 변화됨을 알 수 있다. 또한 인버터 회로 상수  $C_p/C_s$ 에 따라서 주파수에 의한 전압이득의 변화가 달라짐을 알 수 있다[4].

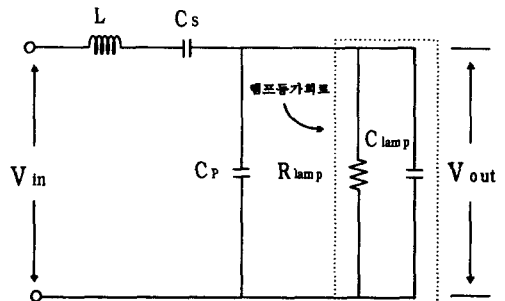


그림 1. 형광램프와 전자식안정기 인버터부의 등가회로  
Fig. 1. Equivalent circuit of the inverter for fluorescent lamp and electronic ballast

### 2.2 Dimming용 IC의 특성

이 논문에서 사용한 Dimming용 IC는 A301-QA100(Digital Electronic Dimming Ballast Controller)를 사용하였으며, 이 IC의 주요 기능을 표 1에 나타내었다.

이 IC의 특징으로는 동작주파수의 변화에 의한 예열시동방식(54kHz)을 채택하였으며, 예열 후 단계적으로 최대 광속을 나타내는 주파수(45kHz)에 도달함으로써 소프트 스타트하게 되어 있고 일정시간 후

에 원하는 Dimming 주파수로 변환된다. 또한 다양한 보호기능과 보다 세분화된 Dimming범위(255단계)를 가지고 있다. 그러나 IC 자체에 많은 기능들이 수반되어 있어서 필요 이상의 전력을 소비하고, 최적의 인버터부의 설계가 이루어지지 않으면 최저 광속 Dimming시 램프전압이 점등유지 전압이하로 되어 램프의 점등상태가 불안정한 상태로 되는 단점이 있다. 따라서 인버터부의 회로상수를 최적의 값으로 설정할 필요가 있다[5].

표 1. Dimming IC (A301-QA100)의 주요 특징  
Table 1. Main characteristic of Dimming IC (A301-QA100)

기능	내용
동작주파수 범위	45~65[kHz]
예열주파수	54[kHz]
주파수 변화	54[kHz] → 45[kHz] → 선정된 Dimming 주파수
예열시간	0.3~1.2sec
가능한 제어신호	RS232, Manchester Code, Analog 신호
보호기능	· No Lamp Detection · Emergency Shut Down · 이상 온도 Protection
RS232C 이용 Dimming제어신호	256단계(0단계:OFF신호)

### 3. 시뮬레이션에 의한 회로상수 결정

주어진 Dimming용 IC의 주파수 출력에 대하여 20[W] 형광램프의 특성이 만족할 수 있도록 회로상수를 결정하는 데 있어서 고려해야 할 내용을 순서적으로 나타내면 다음과 같다.

(1) 형광램프의 시동시 등가회로(SLR 인버터회로)와 그에 관계된 식을 이용하여, 램프 시동시 점등 주파수에서 충분한 시동전압을 공급함으로써 형광램프가 충분히 점등하도록 하는 회로상수를 구한다.

(2) 이렇게 구해진 회로상수 중에서 3가지의 조건(램프 예열시, 최저 Dimming시, 최대 Dimming)에 대한 PSpice 시뮬레이션을 수행하여 최적의 회로상수를 결정한다.

#### 3.1 램프시동특성에 따른 회로상수 값

램프시동시 램프의 등가회로는 SLR 인버터회로로

표현할 수 있으며, 이에 따른 공진주파수와 Q값을 다음과 나타낼 수 있다.

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L\left(\frac{C_s C_p}{C_s + C_p}\right)}} \quad (2)$$

$$Q = \frac{\omega_o L}{R_f} = \frac{1}{\sqrt{\omega_o\left(\frac{C_s C_p}{C_s + C_p}\right)R_f}} \quad (3)$$

단,  $R_f$  = 필라멘트 저항

여기서 점등주파수 45[kHz]에서 안정된 시동전압을 공급하기 위해  $QR_f$ 의 값을 충분히 큰 값(300~600)으로 변화시키고  $C_s/C_p$ 의 비를 Dimming시에 적당한 값 2로 선정하여, 각각의  $QR_f$ 의 값에 대하여 각각의 회로상수  $L, C_s, C_p$ 값을 구하였다[6].

#### 3.2 PSpice를 이용하여 회로상수 값 결정

이렇게 구한 값을 20[W] 형광램프 특성에 적합한 최적의 값을 선정하기 위해 PSpice 시뮬레이션에 수행하였으며, 이 회로도를 그림 2에 나타내었다.

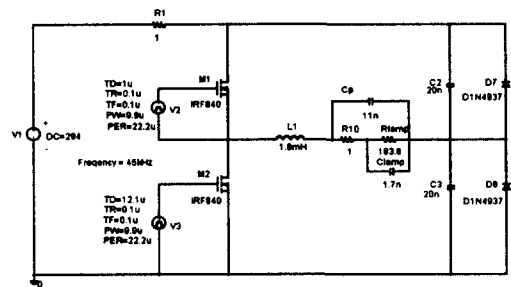


그림 2. PSpice 시뮬레이션 회로도  
Fig. 2. Inverter circuit for PSpice simulation

이 회로는 회로상수 선정시 고려해야 할 특성에 따라서 3개의 회로로 구성하였고, 그 내용으로는 (1) 우선 최대 Dimming시 45[kHz]에서 램프 최대 광출력과 발광효율을 나타내야 하고, (2) 예열 주파수 54[kHz]에서 램프전압이 시동전압이하로 선정되어야 하며 그와 함께 충분한 예열전류를 제공해야 한다. 또한 (3) 최저 Dimming시 약 61[kHz]에서 형광램프가 최저 광속(최대 광속의 5%이내)을 나타내어야 하고, 램프전압이 최저점등유지전압(약 71V) 이내로

유지되어야 한다. 이러한 PSpice 시뮬레이션을 수행하기 위해 고려해야 할 조건을 표 2에 나타내었다.

표 2. PSpice 시뮬레이션에서 고려하여 할 조건  
Table 2. Considerable conditions at PSpice simulations

램프상태	램프 등가회로	고려사항 조건
램프 예열시 (54[kHz])	Zlamp = ∞	Vpeak = 300V이하
최대Dimming시 (45[kHz])	Rlamp = 184Ω Clamp= 1.7nF	램프전력 : 19W
최저Dimming시 (61[kHz])	Rlamp = 683Ω Clamp = 1.6nF	램프전력 : 5W이상 램프전압 : 71V

이렇게 하여 선정된 값은  $L = 1.8mH$ ,  $C_s = 20nF$ ,  $C_p = 11nF$ 이다.

#### 4. 전자식안정기 회로 설계

시뮬레이션을 통하여 구한 회로상수 값을 이용하여 전자식 안정기의 인버터부를 제작하였으며, Dimming용 IC를 사용하여 스위칭 소자의 주파수를 제어하였다. 또한 램프 및 전자식 안정기 보호회로인 No Lamp 감지회로, 과전류 보호회로, 이상온도 보호회로를 구성하여, 이상 동작시 스위칭 소자의 동작을 멈추게 하였다. 이에 대한 전체적인 회로구성을 그림 3에 나타내었다.

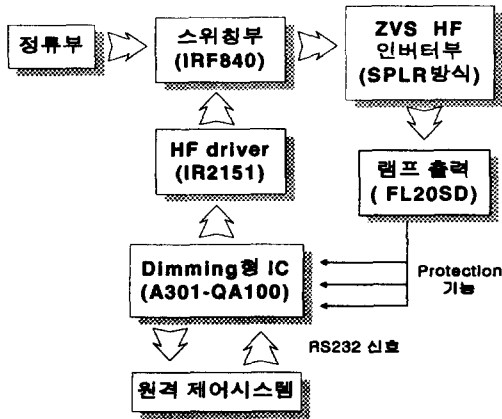


그림 3. Dimming형 전자식 안정기의 회로 구성  
Fig. 3. Block diagram of Dimming electronic ballast

#### 5. 원격제어시스템의 설계

##### 5.1 원격제어시스템의 구성

Dimming용 IC의 주파수 출력을 제어하는 방법으로는 수동소자에 의해 Analog 신호(0~5[V])를 인가하는 방법이 있고, 통신을 이용하는 방법으로 RS232C와 Manchester code방식이 있다. 여기서는 PC와의 원격제어를 위해서 RS232C를 이용하는 방법을 사용하였다.

본 논문에서는 PC에서 원격제어가 가능하면서 수동 조치가 동시에 가능하게 하도록 하기 위해 마이크로컨트롤러를 사용하였으며, 특히 PC와 Dimming용 IC가 양방향 통신이 가능하도록 하게 하여 PC에서 램프 출력 제어 뿐만 아니라 램프의 상태를 쉽게 나타낼 수 있는 회로를 구성하였다.

그림 4는 원격제어시스템의 구성을 나타내었으며, 8비트 마이크로컨트롤러(PIC16C73)를 사용하여 PC에서 나오는 제어 신호와 수동조작에 의해 나오는 신호를 RS232C신호로 변환하여 Dimming용 IC에 전달한다. 또한 Dimming용 IC의 램프 및 안정기 이상 상태(No lamp 상태, 과전류 상태, 이상온도 상태) 감지 회로의 입력신호가 마이크로프로세서에 전달되고, 이 신호는 PC 232C 포트에 정확히 전달할 수 있도록 하여 PC상에 Display하게 된다.

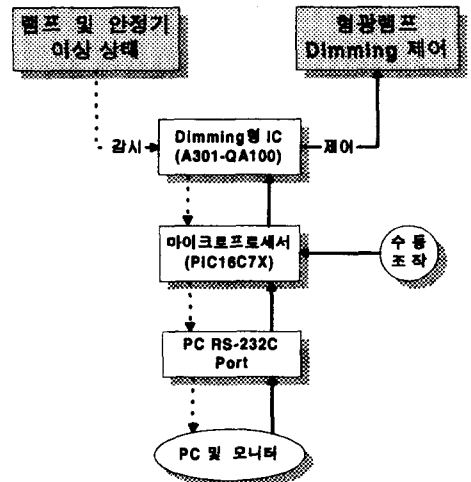


그림 4. 원격제어시스템의 구성  
Fig. 4. Sequential diagram of remote control system

## 5.2. RS232C 통신신호 및 프로그램

PC의 RS232C 포트를 통하여 8비트(256개)의 단계로 Dimming 신호를 보내면, 마이크로프로세서에서 이 신호를 받아서 Dimming용 IC에 신호를 보내게 된다. 또한 수동조작에 의한 신호를 마이크로프로세서가 RS232C신호로 변환하여 Dimming용 IC에 공급하여 제어한다.

이 제어신호는 8비트의 신호로 구성되어 있으며, 최하위비트(0)에서는 오프상태이고, 최상위 비트(255)에서는 가장 밝은 상태가 된다.(2400 BPS, 1 start bit, 8 data bit, 1 stop bit)

그림 5에서는 명령 데이터가 A5H일 경우의 출력 파형을 보여주고 있다.

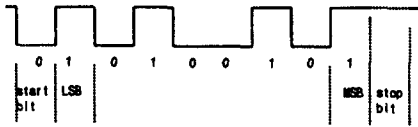


그림 5. RS232C 출력 파형  
Fig. 5. Output waveform of RS232C

그리고 램프의 이상 상태와 Dimming 제어신호를 PC와 마이크로프로세서가 주고 받아서 PC 모니터 상에 출력을 할 수 있는 프로그램을 제작하여 보다 쉽게 제어가 가능하도록 하였다. 그림 6은 프로그램을 실행하여 나타나는 화면을 보여주고 있다. 오른쪽 위에는 사용자가 램프 출력을 제어할 수 있고 아래에는 램프의 점등상태, 램프의 유무, 그리고 결선상태와 이상온도상태를 표시하고 있다.

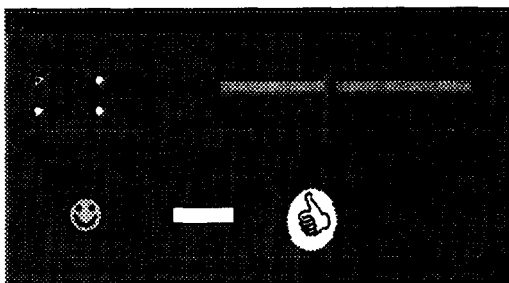


그림 6. 원격제어시스템의 프로그램에 의한 화면 출력  
Fig. 6. Screen output by the program of remote control system

## 6. 실험 결과 및 고찰

주위온도를 25[°C]상태에서 램프의 전압, 전류 및 광출력을 측정된 결과, 그림 7에서 보이는 것과 같이 광출력 특성은 약 5[%]까지 Dimming이 가능하였고 최저 Dimming시까지 점등불안 현상이 나타나지 않았다. 그러나 54[kHz] 이하에서 램프의 광출력이 비선형성을 띄고 있어서 이에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 IC가 소비하는 전력을 뺀 입력전력은 최대 19W에서 최소 6W 범위까지 변화하고 있다.

그림 7은 주파수 변화시의 입력전력과 램프의 광출력을 나타내고 있다. 여기서 동작 주파수가 증가함에 따라 입력전력과 램프의 광출력이 감소되어 램프 Dimming이 이루어짐을 알 수 있다.

그리고 그림 8에서는 주파수 및 RS232C 출력에 따른 발광효율을 보이고 있는 데, 주파수 57[kHz]에서 매우 빠르게 떨어지고 있으며, 저 Dimming시 갈수록 매우 빠르게 효율이 떨어진다. 이는 주파수가 증가하면서 공진주파수와 멀어짐으로서 스위칭 소자의 손실과 공진소자(L, C<sub>s</sub>, C<sub>p</sub>)의 손실 및 열이 발생하여 이러한 현상이 두드러지게 나타난다. 이에 대한 연구가 앞으로 진행되어야 할 것이다.

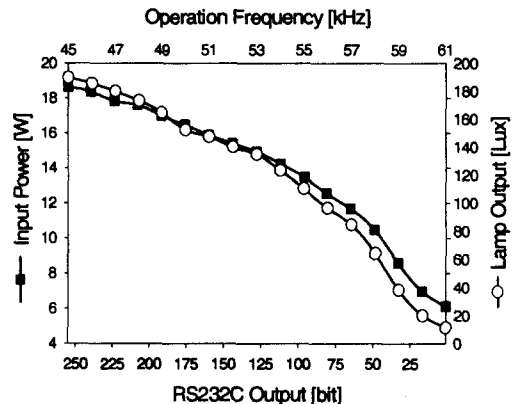


그림 7. 동작주파수 및 RS232C 출력에 따른 광출력 및 입력전력

Fig. 7. Lamp output and input power according to the variation of operation frequency or Output of RS232C

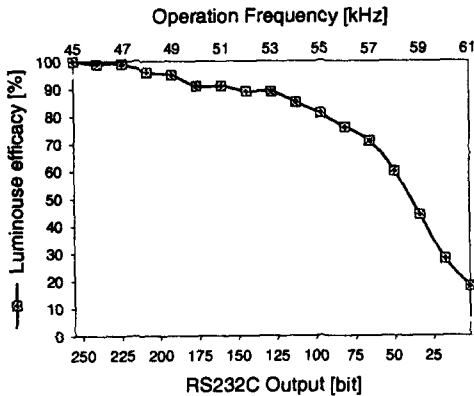


그림 8. 동작주파수 및 RS232C 출력에 따른 발광효율  
Fig. 8. Luminous efficacy according to the variation of operation frequency or output of RS232C

그림 9는 동작주파수 및 RS232C 출력이 변화했을 경우의 램프전압과 전류의 변화를 나타내고 있다. 여기서 동작주파수가 증가함에 따라 램프전압은 상승하고 램프전류가 감소하여 Dimming이 이루어짐을 알 수 있다.

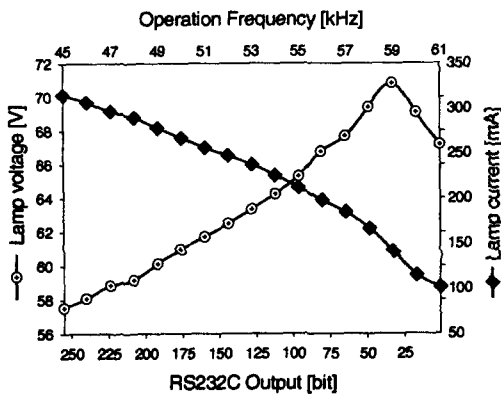


그림 9. 동작주파수 및 RS232C 출력에 따른 램프전압과 램프전류  
Fig. 9. Lamp voltage and lamp current according to the variation of operation frequency or Output of RS232C

## 7. 결 론

Dimming용 IC의 특성과 형광램프의 Dimming 특성을 만족하는 회로를 구성하기 위해 램프 예열시와 최대 Dimming시, 최저 Dimming시로 구분한 각각의 회로에 대해서 PSpice 시뮬레이션을 수행하여 인버터의 회로상수를 구하였다. 그리고 마이크로프로세서를 이용하여 램프상태 및 전자식안정기의 이상유무를 감지하고 제어할 수 있는 시스템을 구축하였고, PC를 통한 원격제어를 실현하였다.

이러한 형광램프를 Dimming하는 전자식 안정기와 제어시스템을 제작하고 실험한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 동작 주파수를 제어하여 Dimming이 가능한 전자식안정기를 설계할 수 있었으며, 시동시에 충분한 예열전류를 공급할 수 있었고, 45~60kHz의 범위에서 적절한 Dimming 특성을 나타내었다.
2. Dimming형 IC가 제공하는 전자식 안정기의 동작 주파수 조건에 대한 회로상수 값의 선정법을 제공하였다.
3. 마이크로프로세서를 사용하여 보다 편리한 감시 및 Dimming 제어를 실현할 수 있었으며, RS232C 통신을 통하여 PC상에서 Dimming제어가 가능하였다.
4. 램프의 이상 상태와 램프의 현재 동작 상태, 그리고 램프의 Dimming 제어를 PC 화면상에서 쉽게 접할 수 있는 프로그램을 제작하였다.

앞으로 Dimming형 IC를 이용하여 전자식 안정기를 설계할 경우, 주파수 변화에 따른 램프의 광출력의 비선형성을 해결하는 문제와 시동시 주파수에 의한 예열 방식에 대한 보다 구체적인 연구가 필요하다. 또한 Dimming용 IC와 제어시스템 간에 양방향 통신방법에 의해 램프의 현재 상태에 따라, 즉 주위 온도의 영향이나 램프의 이상유무에 따라 자동제어가 가능해야 하고, 형광램프의 Dimming제어에 있어서 주파수제어의 단점인 발광효율의 저하를 해결하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] T. J. Ribbarich and J. J. Ribbarich, "A New Control Method for Dimmable High-Frequency Electronic Ballasts," IEEE-IAS Conf. Rec., Vol.3 of 3, pp. 2038-2043, 1998
- [2] T.-f. Wu, T.-H. Yu, J.-C. Hung, and H.-P. Yang, "Analysis and Design of Dimmable Electronic Ballasts for Fluorescent Lamps Using Fuzzy Controller," Proc. APEC'94, Vol. 2, pp. 648-654, 1996.
- [3] R. M. Nelms, T.D Jones, and M.C. Cosby, "A comparison of resonant inverter topologies for HPS lamp ballasts," IEEE Ind. Appl. Soc. 28th Annual Meeting, Vol. 3, pp. 2317-2322, 1993.
- [4] G.-C. Hsieh, C.-H. Lin and Y.-A. Soun, "Modeling and Estimation of the Fluorescent Lamp and Its Pre-heating Control," Proc. LUX PACIFICA '97, pp. B113-B119, 1997.
- [5] Lee Geun, "A301-QA100 Digital Electronic Dimming Ballast Controller," ANAm S&T Co. DOKEB1, pp. 1-27, 1997
- [6] 여인선, 광재영, 송상빈, "콤팩트 형광램프용 Dimming형 전자식 안정기의 회로점수 결정," 조명·전기설비학회지, Vol. 9, No. 2, pp. 29-34, 1995.

◇ 저자소개 ◇

송상빈 (宋相彬)

1969년 10월 1일생. 1994년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 전남대학교 대학원 전기공학과 박사과정 및 고품질전자전자부품및시스템연구센터(RRC) 연구조원.

광재영 (郭宰榮)

1963년 11월 12일생. 1989년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 전남대학교 공과대학 전기공학과 객원교수

여인선 (呂寅善)

1957년 6월 11일생. 1979년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 2월 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 8월 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 전남대 공대 전기공학과 및 고품질전자전자부품및시스템연구센터(RRC) 교수, 당학회 평의원 및 편수이사.