

# 마이크로 컨트롤러를 이용한 가변출력형 전자식 안정기의 설계 및 제어

(Design and Control of a Multi-Output Electronic Ballast Using Microcontroller)

곽재영\* · 여인선\*\*

(Jae-Young Gwark · In-Seon Yeo)

## 요 약

이 논문에서는 형광램프용 가변출력형 전자식 안정기의 설계방법 및 제어방법을 제안하였다. 마이크로 컨트롤러를 이용한 인버터회로의 주파수제어에 의하여 여러가지 출력의 형광램프를 점등시킬 수 있는 시제품을 제작하였다.

이 가변출력형 전자식 안정기는 정류회로, 인버터회로, 그리고 여러가지 출력의 램프에 이용되는 최적의 주파수를 결정하는 주파수 제어회로로 구성되어 있다.

제안된 설계방법의 적합성을 증명하기 위해 11[W], 15[W] 콤팩트 형광램프와 20[W] 형광램프에 적용하여 가변출력형 전자식 안정기의 시제품을 제작하였다. 램프의 전압과 전류를 관찰한 결과, PSpice 시뮬레이션 결과와 거의 일치하였다. 또한 발광효율은 다른 전자식 안정기와 거의 동일하였다. 그러므로 제안된 가변출력형 전자식 안정기의 설계 및 제어방법이 타당함을 입증하였다.

## Abstract

This paper proposes a new approach for the design of a multi-output electronic ballast for fluorescent lamps of different outputs and control method. At first, a standard-output electronic ballast is constructed and then fluorescent lamps with different outputs are lighted by the frequency control of inverter circuit using MCU.

This multi-output electronic ballast consists of a rectifier circuit, an inverter circuit, and a frequency control circuit to determine the optimal frequency for the lamps of different output.

In order to verify the proposed design method, a prototype of a multi-output electronic ballast for 11

\*정회원 : 전남대 공대 전기공학과 강사

접수일자 : 1997. 3. 31

\*\*정회원 : 전남대 공대 전기공학과 부교수

[W], 15[W] compact fluorescent lamps and 20W fluorescent lamp is constructed. Results of observing the voltage and current characteristics of lamps are in accord with those of PSpice simulation.

Also its efficacy is nearly the same as the other electronic ballasts. From the result, therefore, validity of the proposed design method of a multi-output electronic ballast for fluorescent lamps is verified.

## 1. 서론

전자식 안정기는 램프출력에 따라 각각 다르게 설계 제작되어야 하며, 수명이 다한 램프의 교체시에 반드시 안정기에 적합한 정격의 램프로 교체해야 하는 불편이 있다. 따라서 이 논문에서는 각각 다른 출력의 형광램프를 하나의 안정기로 점등시킬 수 있는 가변출력형 전자식 안정기의 설계방법을 제안하였다. 제안한 설계방법은 기준 출력의 전자식 안정기를 구성하고, 구성된 안정기 인버터회로의 주파수 제어를 통하여 출력이 다른 램프도 점등시킬 수 있도록 하였고, 마이크로 컨트롤러를 이용하여 이를 구현 하였다.

제안된 설계방법의 타당성을 증명하기 위하여 11[W], 15[W]의 콤팩트 형광램프와 20[W] 직관형 형광램프를 대상으로 등가저항법과 PSpice 시뮬레이션<sup>1)</sup> 이용하여 인버터회로를 설계하고, 인버터회로의 최적 주파수값을 결정 하였다. 이 각각의 주파수값은 마이크로 컨트롤러를 사용하여 각기 다른 램프를 제어 점등할 수 있게 하였다. 제작된 가변출력형 전자식 안정기의 램프 전압과 램프 전류 파형, 발광효율등을 관측하여 제안된 가변출력형 전자식 안정기 설계방법 및 마이크로 컨트롤러를 이용한 제어의 타당성을 증명하고자 하였다.

## 2. 인버터회로부 설계

### 2.1 설계 개요

제안된 가변출력형 전자식 안정기의 설계는 주파수 변환에 의한 인버터회로의 공진전압을 변화시키는 방법에 의하여 램프의 출력 전압과 출력 전류를 제어할 수 있도록 하였다. 설계순서는 기준 출력을 정하고 인버터회로를 결정한 후 등가회로로 변환하여 PSpice 시뮬레이션을 이용하여 회로상수를 구한

다음, 출력이 다른 램프를 구동할 수 있는 주파수값을 구한다. 이를 위하여 각 램프가 정상상태일 때의 전압·전류의 값으로부터 램프의 등가저항을 구하여, 시뮬레이션시 회로의 해석을 용이하게 하였다<sup>2, 3)</sup>. 표 1에는 11[W]와 15[W] 콤팩트 형광램프와 20[W] 직관형 형광램프의 등가저항 예를 나타낸다. 그림 1에는 인버터회로의 등가회로를 보여주고 있는데,  $V_i$ 는 인버터회로의 입력전압,  $V_o$ 는 램프전압을 나타내고 있으며, 램프의 등가저항인  $R_{lamp}$ 와 램프와 병렬로 연결된 캐패시터  $C_1$ , 그리고 공진회로 구성을 위한  $L$ 과  $C_2$ 으로 구성되어 있다. 그림 2는 가변출력형 전자식 안정기의 설계 알고리즘을 나타내고 있다.

표 1. 형광램프의 등가저항  $R_{lamp}$   
Table 1. Equivalent Resistance  $R_{lamp}$  of Fluorescent Lamps

Lamp power output	11 [W] (FDX 11)	15 [W] (FDX 15)	20 [W] (FL 20)
Item			
Lamp voltage [V]	46.5	71.1	61.2
Lamp current [mA]	215	210	349
Lamp equivalent resistance [ $\Omega$ ]	216	339	175

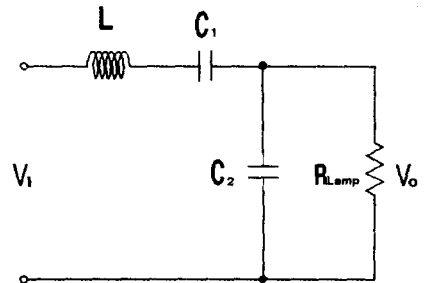


그림 1. 인버터회로의 등가회로  
Fig. 1. Equivalent circuit of an inverter circuit

### 2.2 PSpice 시뮬레이션

형광램프 등가저항 값  $R_{15[W]} = 339[\Omega]$ 과 공진

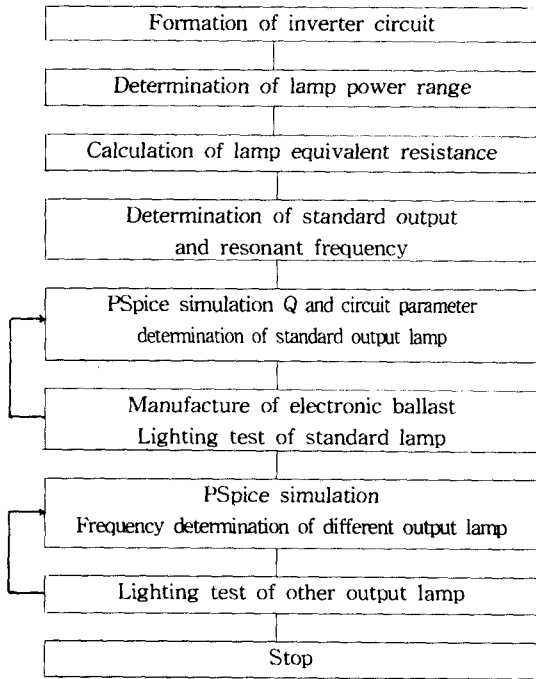


그림 2. 가변출력형 전자식 안정기의 설계 알고리즘  
Fig. 2. Flow chart of the multi-output electronic ballast design

표 2. 최적의 Q값 선정 (15[W])  
Table 2. Selection of Most Appropriate Values for Q Factor (15[W])

Q	L [mH]	C <sub>1</sub> [nF]	C <sub>2</sub> [nF]	V [V]	I [mA]
2.000	1.96	12.8	6.41	76.7	228
2.025	1.99	12.7	6.34	76.0	225
2.050	2.01	12.5	6.26	75.2	223
2.075	2.03	12.4	6.18	74.1	220
2.100	2.06	12.2	6.11	73.4	217
2.125	2.08	12.1	6.04	72.4	215
2.150	2.11	11.9	5.97	71.6	212
2.175	2.13	11.8	5.90	70.8	209
2.200	2.16	11.7	5.83	70.1	206

표 3. PSpice 시뮬레이션 결과 (11[W])  
Table 3. Results of PSpice Simulation (11[W])

Lamp output Frequency [kHz]	11 [W]	
	Voltage [V]	Current [mA]
56.0	47.4	219
56.7	46.6	215
57.0	46.1	214

주파수 55[kHz]를 대입하고 Q값( $\omega L/R_{lamp}$ )을 0.025간격으로 단계적으로 변화시켜, Q값에 따른 L, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> 값을 구하였고, 그 결과와 그림 1의 회로도를 이용하여 PSpice 시뮬레이션을 행하여 15[W] 출력 전압과 출력 전류 값에 가장 근사한 Q값을 구하였으며, 그 결과를 표 2에 나타내고 있다. Q값이 2.175일 때의 램프 전압과 램프 전류 값이 최초의 등가저항 산출시 15[W] 램프 전압과 전류 값에 가장 가까운 것을 알 수 있다.

표 1의 11[W]와 20[W] 램프의 등가저항 값 ( $R_{11[W]}=216[\Omega]$ ,  $R_{20[W]}=175[\Omega]$ )과 표 2의 15[W]에서 Q가 2.175일 경우의 회로상수를 이용하여, 다시 PSpice 시뮬레이션을 행하여 구동주파수 변화에 따른 램프 전압과 램프 전류의 변화를 계산하였다. 그 결과 11[W]와 20[W]를 구동시킬 수 있는 주파수 값을 구할 수 있었으며, 표 3과 표 4에 나타냈듯이 전체 주파수 범위는 41.2~56.7[kHz]의 범위였다.

표 4. PSpice 시뮬레이션 결과 (20[W])  
Table 4. Results of PSpice Simulation (20[W])

Lamp output Frequency [kHz]	20 [W]	
	Voltage [V]	Current [mA]
40.2	62.9	359
41.2	61.0	351
42.2	58.3	334

### 3. 회로구성 및 실험방법

그림 3은 가변출력형 전자식 안정기의 전체 블럭 선도를 나타내고 있다.

#### 3.1 인버터회로

그림 4는 가변출력형 전자식 안정기의 인버터회로를 나타내고 있다. 제안된 인버터회로는 정류된 DC 전압을 고주파 AC로 전환하기 위하여, 저압방전램프에 적합하고 고역률인 하프브리지 공진형 인버터 방식을 채택하였다<sup>4)</sup>. 스위칭소자는 고주파에 적합한 MOSFET IRF840을 이용하였다.

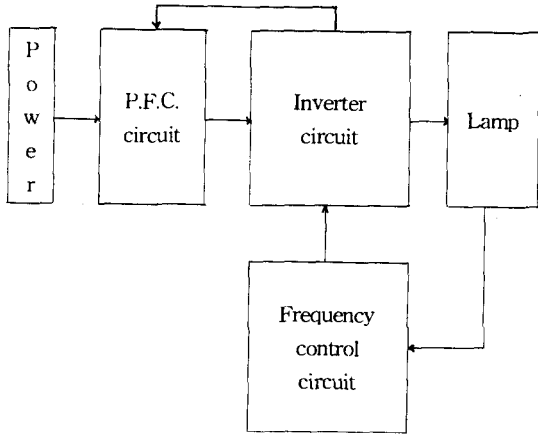


그림 3. 가변출력형 전자식 안정기의 전체 블럭선도  
Fig. 3. Block diagram of an electronic ballast of multi-output.

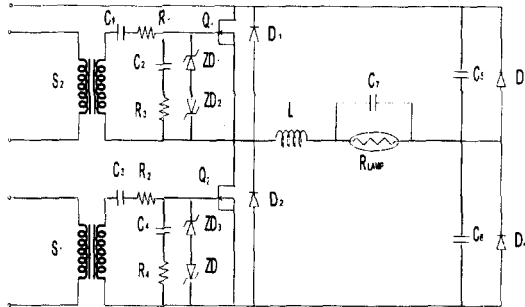


그림 4. 인버터회로  
Fig. 4. Inverter circuit.

### 3.2 주파수 제어회로

기존의 전자식 안정기의 게이트 트리거방식은 대부분 자려식인데 반하여, 제안된 가변출력형 전자식 안정기를 구동시키기 위해서는, 동작주파수를 램프의 정격에 맞게 변화시켜 주어야 하므로 타려식이 가장 적합하다.

주파수 제어회로는 세개의 부분으로 구성되어 있는데, 전압감지회로와 주파수 결정회로 그리고 주파수 출력회로로 구성된다. 전압감지회로의 구현을 위하여 비교기(LM324)를 이용하였고, 주파수 결정회로의 구현을 위하여 MCU(COP8782CJ)를 이용하였으며, 그리고 주파수 출력회로의 구현을 위해서

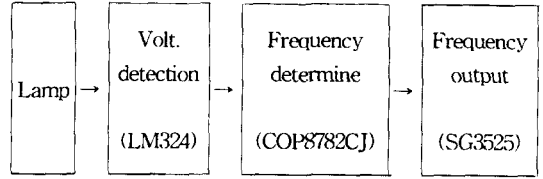


그림 5. 주파수 제어회로의 블럭도  
Fig. 5. Block diagram of frequency control circuit.

PWM IC(SG3525)를 이용하였다. 그림 5에 주파수 제어회로의 블럭도를 나타내고 있다.

사용된 MCU(COP8782CJ)는 20핀 IC로서 저가의 8비트 마이크로컨트롤러(Micro-controller)이고, 내부에 ROM과 RAM이 내장되어 있어서 사용자가 원하는 프로그램을 작성하여 내장시킬 수 있게 되어 있다<sup>5, 6)</sup>.

주파수 결정을 위하여 MCU에 내장된 소프트웨어는 크게 3가지 부분으로 나뉘어진다. 첫째 전압인식 부분, 둘째 데이터처리 부분, 셋째 트리거신호 출력 부분이다.

전압인식 부분은 기기의 특성상 고속의 변환이 필요하므로 병렬 비교기 방식을 이용하여 구현하는 것이 적합하다. Op-Amp를 이용하여 입력 전압과 기준전압을 비교하여 Op-Amp의 출력에 연결되어 있는 MCU의 4개의 입력 PORT들(L0, L1, L2, L3)로부터 값을 입력받는다. 이때 낮은 전압에서 높은 전압의 순으로, 입력 PORT에 신호가 감지되어 원하는 검출 전압 값을 알 수 있다. 이러한 방식으로 검출된 전압은 MCU에 미리 결정된 데이터와 비교하고, 이에 해당하는 주파수 값으로 변환하여 외부의 주파수 출력회로를 구동하는 트리거 신호를 발생하게 된다.

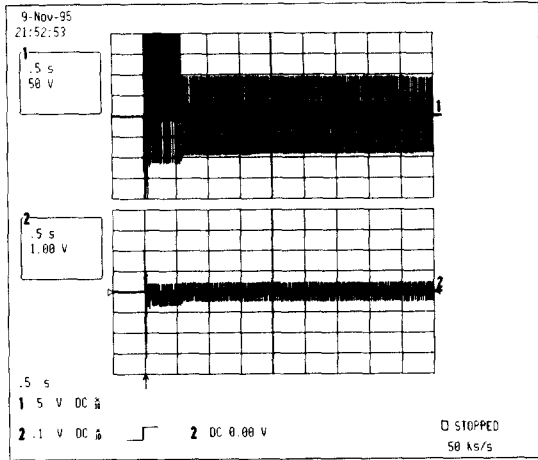
## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 시동 특성

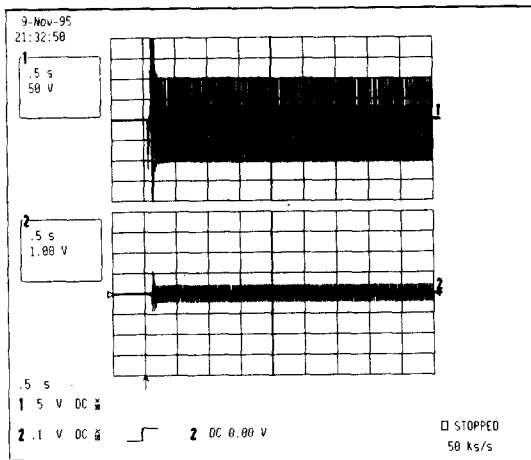
제작된 가변출력형 전자식 안정기의 시동 특성 평가를 위하여, 기존의 전자식 안정기를 이용한 경우와 제안된 가변출력형 전자식 안정기를 이용한 경우

의 시동시의 전압 전류 파형을 측정하였다.

그림 6(a)는 기존의 전자식 안정기를 이용하여 20[W] 콤팩트 형광램프를 시동한 경우의 램프 전압 및 램프 전류 파형을 나타내고 있는데, 램프 전압 파형에서 시동시간이 약 600[ms]정도 소요됨을 알 수 있고, 램프 전류 파형에서는 초기에 높은 전류 값이 나타나고 있다. 그림 6(b)는 가변출력형 전자식 안정기를 사용한 경우의 파형을 나타내고 있는데, 시동시간이 약 200[ms]정도 소요되고, 전류 파형은 시동시에 피크치가 나타나지 않음을 알 수 있다. 그러므로 20[W]의 경우에도 제안된 가변출력형 전자식



(a)



(b)

그림 6. 전자식 안정기의 시동특성 (20[W])  
Fig. 6. Starting characteristics of electronic ballasts (20[W])

안정기를 이용한 경우가 시동시간이 더 빠름을 알 수 있고, 시동시에 전류의 피크치도 적게 나타나고 있음을 알 수 있다.

실험에서 살펴본 결과 가변출력형 전자식 안정기를 사용한 경우가 기존의 전자식 안정기를 사용한 경우보다, 세개 모든 램프에서 시동시간이 더 빨라졌고, 20[W]의 경우에는 시동시에 전류의 피크치도 더 적게 나타나고 있어서, 시동시에 램프의 필라멘트에 가해지는 전체적인 전압과 전류 값이 감소하였다. 전체적으로 제안된 전자식 안정기를 제안한 경우가 시동시간은 짧아졌고, 11[W]와 15[W] 램프 시동초기의 전류치 저감에 대해서는 앞으로 연구가 더 진행되어야 하겠다.

## 4.2 전압 및 전류 특성

제작된 가변출력형 전자식 안정기가 시뮬레이션에서 얻어진 전압 및 전류 값과 동일한지, 또한 시뮬레이션 결과의 타당성을 입증하기 위하여, 제안된 가변출력형 전자식 안정기를 이용하여 램프 전압 및 전류 파형을 측정하였다.

그림 7은 20[W] 직관형 형광램프를 점등한 경우의 램프 전압 및 램프 전류 파형을 나타내고 있는데, 램프 전압과 램프 전류 파형이 동상이며, 41.5[kHz]에서 램프 전압이 62.0[V]로 나타나고 있다.

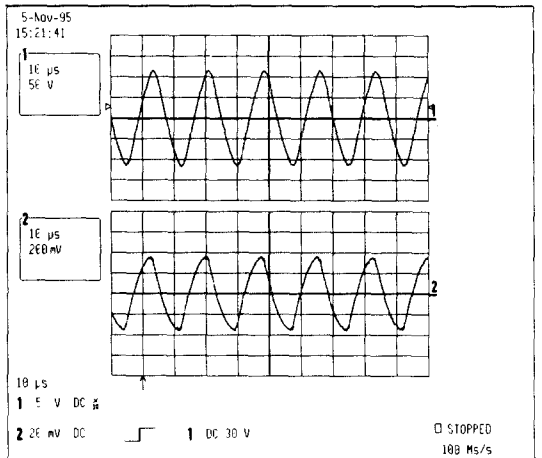


그림 7. 램프의 전압과 전류의 파형 (20[W])  
Fig. 7. Waveforms of lamp voltage and lamp current (20[W])

시뮬레이션 결과와 비교하여 보면 램프 전압이 1V 정도 높게 나타나고 있으며, 이 차이는 측정시 오차에 기인한 것으로 생각된다.

실험에서 살펴본 바와 같이 가변출력형 전자식 안정기를 이용하여 세개 램프의 전압과 전류 파형을 측정하였는데, 모든 램프가 결정된 동작주파수에서 동작되었고, 전압과 전류 파형은 시뮬레이션 결과보다 약간 높게 나타났으나 거의 일치하고 있다. 또한 실제의 전압 전류 값과도 거의 일치된 값을 보여주고 있어서 시뮬레이션 결과의 타당성이 입증되었다.

### 4.3 광출력 특성

가변출력형 전자식 안정기를 이용하여, 각각의 11[W], 15[W], 20[W] 램프가 시동하여 정상상태에 도달할 때 광출력 측정을 행한 결과, 표 5에서처럼 전체적인 시간영역에서 광출력 특성이 상승되었다. 이는 기존 전자식 안정기보다 제안된 전자식 안정기의 출력전력이 상승됨으로 인한 것이다. 측정된 출력전력이 11[W] 램프의 경우에는 1.1[W], 15[W] 램프의 경우에는 1.3[W] 상승되었으며, 20[W] 램프의 경우에는 0.3[W] 상승되었다. 이와 같이 전력이 높아진 것은 인버터회로 설계시 수동소자 값의 오차에 기인한 것으로 생각된다. 또한 각 램프에서의 발광효율은 출력전력의 상승으로 인하여 약간 감소되었으나, 세개 램프에서 모두 전용의 안정기를 사용한 경우와 거의 비슷하였다.

표 5. 출력과 효율

Table 5. Output Power and Efficacy

Type	Conventional ballast			Proposed ballast		
	Rated power [W]	Output power [W]	Light output [lm]	Efficacy [lm/W]	Output power [W]	Light output [lm]
11	10.8	583	54.0	11.9	638	53.6
15	14.6	822	56.3	15.9	834	52.5
20	18.2	1185	65.1	18.5	1200	64.9

## 5. 결론

MCU(마이크로컨트롤러)를 이용하여 한개의 전

자식 안정기로 출력이 다른 형광램프를 점등시킬 수 있는 가변출력형 전자식 안정기의 설계방법을 제안하고, 실제 11[W]와 15[W], 그리고 20[W] 형광램프를 점등시키도록 설계 제작한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전자식 안정기의 인버터회로부 해석을 위해 등가저항과 등가회로 개념을 도입하고, PSpice 시뮬레이션을 수행하여 15[W] 형광램프를 점등시키기 위한 하프브리지 인버터회로부의 최적의 회로상수를 구하였으며, 11[W]와 20[W] 형광램프를 점등시킬 수 있는 주파수 값을 구하였다.

2. 가변출력형 전자식 안정기의 램프 전압 및 램프전류를 측정된 결과, 각 출력의 램프에서 시뮬레이션 결과와 거의 동일한 램프 전압 및 램프 전류 특성을 나타내고 안정되게 동작되어, 제안된 가변출력형 전자식 안정기 설계방법의 타당성을 입증하였다.

3. 가변출력형 전자식 안정기와 기존의 전자식 안정기를 이용하여 시동시의 램프 전압 및 램프 전류의 특성을 비교 분석한 결과, 제안된 전자식 안정기가 기존의 전자식 안정기보다 모든 램프에서 크게 필라멘트 손상없이 빠른 시간에 점등되었고, 20[W]의 경우에는 시동시에 전용의 전자식 안정기보다 전류의 피크치가 줄어들었다.

4. 가변출력형 전자식 안정기의 발광효율은 세개의 램프에서 모두 전용안정기를 사용한 경우와 거의 비슷하였다.

5. 전자식 안정기에 MCU(마이크로컨트롤러)를 이용하게 됨에 따라 회로의 유연성 및 설계의 폭이 넓어졌으며, 다양한 기능을 별도의 회로를 구성하지 않고 프로그램에 의하여 제어 가능하게 되었다.

앞으로 더 많은 램프에 대한 데이터를 구하여 점등시킬 수 있는 램프의 수를 늘리고, 더욱 다양하고 저가의 마이크로컨트롤러의 개발로 인한 보다 간단한 제어회로의 설계에 더 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) Y. Sun, "PSpice modeling of electronically ballasted compact fluorescent lamp systems," IEEE Ind. Appl. Soc. 28th Annual Meeting, Vol. 3, pp. 2311-2316, 1993.
- 2) 여인선, 곽재영, 송상빈, "콤팩트 형광램프용 Dimming 형 전자식 안정기의 회로정수 결정," 조명 전기설비학회지, Vol. 9, No. 2, pp. 29-34, 1995.
- 3) A.K.S. Bhat, "Analysis, selection, and design of resonant inverters for electronic ballasts," IEEE PESC -Taipei, Vol. 1, pp.796-804, 1994.
- 4) 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.
- 5) National Semiconductor Co., Microcontroller Development Support User's Manual, National Semiconductor Co., 1994.
- 6) National Semiconductor Co., COP8 Databook, National Semiconductor Co., 1994.

◇ 著 者 紹 介 ◇



곽 재 영(郭宰榮)

1963年 11月 12日生. 1989年 全南大 工大 電氣工學科 卒. 1991年 全南大 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 1996年 全南大 大學院 電氣工學科 卒(博士). 現在 全南大 工大 電氣工學科 時間講師.



여 인 선(呂寅善)

1957年 6月 11生. 1979年 서울大 工大 電氣工學科 卒業. 1981年 서울大 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 1989年 서울大 大學院 電氣工學科 卒(博士). 現在 全南大 工大 電氣工學科 副教授, 當學會 評議員 및 編修理事.