

## 고효율 펄스스타트 메탈할라이드램프(MH200W)의 음향공명현상감소

(Reduction of Acoustic Resonance Phenomena in Pulse Start MetalHalide Lamp (MH200W))

김기정\*

(Gi-jung Kim)

### 요 약

메탈할라이드램프는 고효율, 고연색성이며 집광능력이 좋다. 그러나 메탈할라이드 램프의 단점은 아크튜브내에서 음향공명현상이 발생하는 것으로 알려져 있다.

이러한 음향공명은 점등상태의 불안정과 기체의 심한 파동을 일으킨다. 심한 파동 과 불안정한 점등으로 아크가 소멸되는 부위는 전압이 상승되고, 방전관내벽에 근접된 아크는 국부의 과열로 튜브를 금가게한다.

이 연구의 목적은 펄스스타트 메탈할라이드램프 MH200[W]의 아크튜브내에서 음향공명을 감소시키는 것이다. 음향공명현상을 감소시키기 위하여 전자식안정기가 84.6[kHz]에서 94.2[kHz] 대역내에 있는 89[kHz]의 단독주파수인 정현고주파를 램프에 공급하기 위하여 설계되었다. 실험결과 고효율 펄스스타트 MH200[W] 램프의 방전관내에 음향공명 현상이 없었다.

### Abstract

MetalHalid lamps have good efficiency, good color rendition and good focusing capability. But the shortcoming of metalhalid lamps is known as acoustic resonance phenomena in the arc tube.

Such acoustic resonance produce annoying fluctuations in the intensity and distribution of the emitted light, they can raise the voltage to the point where the arc is extinguished, and they can move the arc close enough to the wall to cause local overheating and tube cracking.

The objective of this research is to reduce acoustic resonance in the arc tube of the Pulse Start MetalHalide lamp(MH200[W]). To reduce the acoustic resonance phenomena, the electronic ballast was designed for high frequency operation with the constant frequency sinusoidal wave of 89[kHz] in the 84.6[kHz]~94.2[kHz] range.

Experimental results show that the acoustic resonance phenomena are not in the arc tube of Pulse Start MetalHalide lamp(MH200[W]).

key words : Half-bridge inverter, PFC IC, ARF, IR2151, MH200[W]

### 1. 서 론

\* 정회원 : 하이록조명기술연구소소장

Fax : 971-7989

접수일자 : 2001년 10월 9일

1차심사일 : 2001년 10월 9일 2차심사일 : 11월 2일

심사완료일 : 2001년 11월 16일

기존의 HID(High Intensity Discharge) 램프용 자기식 안정기는 대부분 인덕터와 커패시터를 사용한

수동소자회로이며 상용전원 60[Hz]에서 그 부피가 커짐은 물론 중량이 무거워서 설치에 제약 조건이 많고, 램프고장으로 무부하 상태가 될 때 이그나이터 전압이 계속 구동되어 회로가 차단되지 않는 상태에서 안정성이 보장되지 않는다. 또한 자기식안정기로 400[W] 이상의 메탈헬라이드 램프를 점등시킬 때 방전관의 음향공명 주파수대역이 60[Hz]에 있으므로 음향공명(Acoustic resonance)이 발생 될수있다. 이와 같은 음향공명 현상을 감소시키고 램프고장시 이그나이터 전압을 차단시켜 회로를 보호하기 위해서는 전자식안정기가 필요하다. 현재 우리나라에서는 HID 램프용 전자식안정기가 옥내용으로 MH39[W], MH70[W]가 안정인증을 받았고, UL 규격도 취득하여 시판하고 있으며, MH175[W], MH250[W] 및 NH150[W], NH250[W]도 안정인증을 취득하고 KS 기준을 준비하는 중이다 외국제품으로는 AROMAT(사)가 MH150[W] 이하 규격을 시판하고 있다. 메탈헬라이드는 방전관속에 수은(Hg)과 아르곤(Ar)가스 외에 스칸듐(Sc), 토륨(Th), 나트륨(Na)등의 알카리 금속원소를 할로겐원소와 화합시킨 금속 할로겐화물이 봉입되어 있고 주발광체는 금속원소들이다[1].

이들 금속원소들은 램프의 광효율을 높일뿐 아니라 연색성을 높여준다[2]. 그러나 메탈헬라이드 램프는 고압방전할 때 방전관내에서 고유진동이 발생한다. 이러한 물질적인 고유진동을 가진 방전관에 램프 전원 주파수가 공급될 때 상호 일치되면 공명이 발생되어 아크의 불안정을 초래하게 된다[3]. 이러한 공명현상을 감소시키기 위하여 램프전원의 주파수를 공명주파수 대역이 아닌 저주파대역이나 고주파대역을 공급하여야 한다. 램프전력이 저출력일때는 공명주파수대역이 고주파쪽에 있고 고출력일때는 저주파쪽에 있다[4]. 저출력(MH70[W])인 경우 램프 구동주파수를 저주파인 120[Hz] 정도의 구형파를 사용하고 중출력(MH200[W]) 이상에서는 일반적으로 정현고주파를 사용하거나 또는 음향공명주파수대역을 벗어난 고주파대역이 너무 높을 때에는 음향공명 주파수대역의 주파수를 어쩔 수없이 사용하되 음향공명을 피하기 위하여 램프전원 공급주파수를 공명이 일어나기전에 바꾸어주는 정현고주파변조방식을 채택한다 [5]. 그러나 본연구에서는 공명주파수 대역내에 비공명주파수 대역폭이 넓은 경우 이 비공명주파수중 단독 비공명주파수를 사용하면 램프내의 아크가 안정

되며 효율이 향상된다. 그러므로 고효율 펄스스타트 MH200[W] 램프의 구동을 이와같은 단독 비공명주파수를 사용하였고 또한 이 램프는 기존의 메탈헬라이드램프의 방전관 모양과는 달리 성형(formed body type)으로서 방전관 주변의 균살을 모두 제거하여 불필요한 열방출을 줄였다.

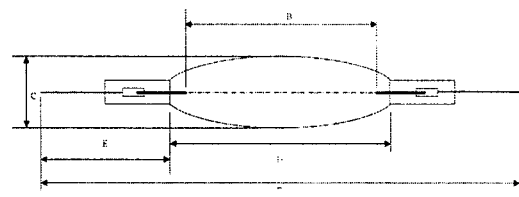


그림 1. 고효율펄스스타트메탈헬라이드램프의 방전관  
Fig. 1. Arc tube of Pulse Start MH lamp with high efficacy

표 1. 방전관 크기  
Table 1. Size of arc tube

구 분	크기[mm]	
B	극간길이	26.4
C	외경	16
D	내용적길이	48
E	BTL	52
F	LTL	152

## 2. 펄스스타트 메탈헬라이드램프의 특성

그림 1과 같이 고효율 펄스스타트 메탈헬라이드 램프(MH200[W])의 방전관(arc tube)은 석영유리로 되어있고 기존의 메탈헬라이드 램프의 방전관 모양과는 달리 성형(formed body type)으로서 방전관 주변의 균살을 모두 제거하여 불필요한 열방출을 줄였다. 방전관내에는 수은(Hg)과 아르곤(Ar)가스 외에 스칸듐(Sc), 토륨(Th), 나트륨(Na)등의 알카리 금속원소를 할로겐원소와 화합시킨 금속 할로겐화물이 봉입되어 있으며 수은의 주입무게를 늘리거나 전극간 거리를 크게할 때 램프의 동작전압은 높게되고 방전관의 크기를 늘리면 동작전압은 낮게된다. 방전관의 제원은 표 1과 같으며, 고효율 펄스스타트 메탈

헬라이드 램프 (MH200[W])의 전기적 특성은 표 2와 같다.

표 2. PSL (MH200 [W]) 특성  
Table 2. Specific of PSL (MH200 [W])

구 분	특 성
소비전력[W]	200
램프전압[V]	130±15
Lumens[lm]	20,500
효율[lm/W]	103
색온도[K]	4000±200
수명[Hr]	12,000
시동시간[Min]	1~2
재시동시간[Min]	2~4

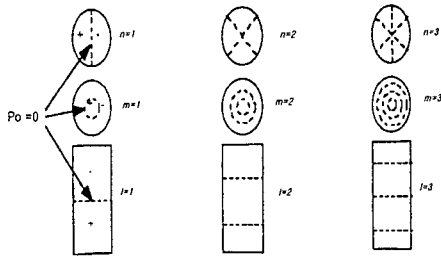


그림 2. 방전관내의 압력변화  
Fig. 2. Pressure distributions in tube

표 3. 공명주파수의 산출공식  
Table 3. Formula of resonance frequency

Resonance Freq.	Formula
Basic longitudinal	$f_{l01} = \frac{Cs}{2L}$
Basic radial	$f_{r10} = \frac{3.83 \cdot Cs}{2\pi R}$
Basic azimuthal	$f_{l00} = \frac{1.84 \cdot Cs}{2\pi R}$
radial-longitudinal	$F_{l1i} = f_{l10} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi \cdot R \cdot i}{3.83L}\right)^2}$
azimuthal longitudinal	$f_{l0i} = f_{l00} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi \cdot R \cdot i}{1.84L}\right)^2}$
Subharmonics	$\left(\frac{1}{6}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}\right) \times \text{Basic freq.}$
	Cs= Sound speed in tube
	L = arc length
	R = radial
	i = variable (1~8)

### 3. 음향공명현상

방전관의 형태에 따른 고유진동수는 압력변화에 따라 그림 2와 같이 길이(longitudinal)방향, 반경(radial)방향, 방위각(azimuthal)방향이며 이것들은 단독으로 그리고 복합된 고유진동수로 존재한다[6]. 그림 2에서 경계선의 압력변화는 0이다. 방전관이 작고 가는 것은 고유진동수가 높다. 즉, 작은 방전관은 고유진동수가 고주파대역에 존재하므로 램프전원 주파수를 저주파로 동작하게하고, 큰 방전관은 고유진동수가 저주파 대역에 존재하므로 램프전원주파수를 고주파로 동작하게하여 음향공명을 피한다[7] [8].

방전관내의 공명주파수(고유진동수)의 종류는 표 3과 같다. 표 3에서  $f_{nml}$ 의 f는 주파수이고 첨자 n은 방위각방향, 첨자 m은 반경방향, 첨자 l은 길이방향의 압력들을 나타낸다. l의 값이 1~8까지 변하는 변수를 i로 표시하였다. 전자식안정기설계에 사용한 고효율 펄스스타트 메탈헬라이드 램프는 MH200[W]로서 방전관의 극간길이는 26.4[mm]이고, 반지름이 8[mm]이다. 표 3의 공식에 의해 구한 공명주파수는 표 4와 같다. 제안된 안정기에서 이그나이터 트랜스의 크기를 결정하기 위한 램프구동 주파수의 적당한 크기는 100[kHz] 이하이므로 표 4에서 40[kHz]~100[kHz] 사이의 공명주파수를 검토한 결과 84.6[kHz]~94.2[kHz] 대역이 공명주파수가 없는 대역으로서 가장 넓은 부분이었다. 이 대역의 중간 값인 89[kHz]의 정현파를 램프구동주파수로 선정하였다. 여기서 기체방전관내의 음향속도는 500[m/s]이며, 공명주파수에 영향을 미치는 부고조파(subharmonics)는 기본파의  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{6}$  값이고 고조파는 2,3,4차이다. 길이방향 압력 분포와 합성하여 생긴 「방위각방향-길이방향」, 「반경방향-길이방향」의 기본파는 i의 값이 1~8 까지 변화한 값이다[3].

### 4. 음향공명을 감소시킨 전자식안정기 설계

#### 4.1 안정기 회로의 기본구성

고효율 펄스스타트 메탈헬라이드 램프(MH200[W])용 전자식안정기에서 음향공명현상을 감소시키기 위

표 4. 공명주파수값 단위 : (kHz)  
Table 4. Values of resonance frequency

RF	basic	subharmonics			harmonics		
		1/2	1/4	1/6	2nd order	3rd order	4th order
longitudinal	9.5	4.75	2.39	1.58	19	28.5	38
radial	38	19	9.5	6.3	76	114	152
azimuthal	18.3	9.15	4.57	3.05	36.9	54.9	73.2
azimuthal-longitudinal	20.59	10.3	5.16	3.43	41.18	61.77	82.36
	26.31	13.15	6.57	4.38	52.62	78.93	105.24
	33.75	16.87	8.43	5.62	67.5	101.25	135
	42.01	21	10.5	5.25	84.02	126.03	168.04
	50.69	25.34	12.67	6.33	101.38	152.07	202.76
	59.61	29.8	14.9	7.45	119.22	178.83	238.44
	68.6	34.3	17.15	8.57	137.2	205.8	274.4
radial-longitudinal	39.1	19.55	9.77	4.88	78.2	117.3	156.4
	42.3	21.15	10.57	5.28	84.6	126.9	169.2
	47.1	23.55	11.77	5.88	94.2	141.3	188.4
	53.2	26.6	13.3	6.65	106.4	159.6	212.8
	60	30	15	7.5	120	180	240
	67.5	33.75	16.87	8.43	135	202.5	270
	75.4	37.7	18.85	9.42	150.8	226.2	301.6
	83.6	41.8	20.9	10.45	167.2	250.8	334.4

하여 제안된 음향공명 감소용 주파수 변환회로를 구현하였고 이와 같은 목적으로 설계한 주요회로는 입력되는 전압에 따라 정출력이고 고역률을 유지하기 위한 PFC(Power Factor Correction) 회로와 PFC로부터 출력되는 전압을 램프에 공급하기 위한 하프브리지 (half-bridge) 인버터회로, 그리고 램프를 점등시키기 위한 이그나이터회로 및 EMI(Electro Magnetic Interference) 필터 등으로 그림 3과 같이

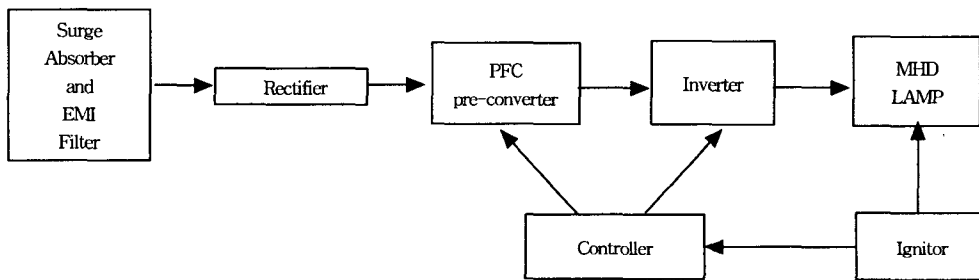


그림 3. 전자식안정기의 구성도  
Fig. 3. Construction of electronic ballast

구성하였다.

## 4.2 회로 구성

### 4.2.1 EMI필터

전원측으로부터 낙뢰나 순간적인 전원계통의 과도 현상에 의한 임펄스성 노이즈가 입력될 경우 이를 제거하기 위한 써지 흡수기를 사용하고 MOSFET의 빠른 스위칭 동작으로 발생하는 고조파노이즈가 전원측으로 역류하지 않도록 EMI필터를 사용한 회로 설계는 그림 4와 같다.

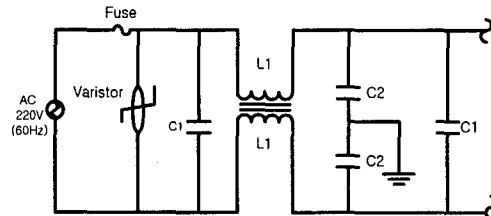


그림 4. 전자파장해방지용 필터회로  
Fig. 4. EMI filter circuit

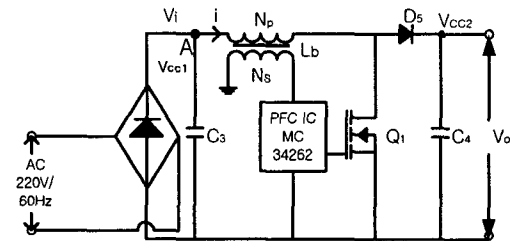


그림 5. 역률개선용 승압초퍼컨버터회로  
Fig. 5. A boost power factor correction circuit

4.2.2 PFC 회로

역률개선을 위한 회로는 그림 5와 같이 수동필터의 평활콘덴서 대신에 비절연 형태의 인덕터에너지 축적형인 승압형 초퍼컨버터(boost converter)를 부가한 것이며 이는 입력전압보다 출력전압을 높게 하는 DC-DC 컨버터의 일종이다.

4.2.3 인버터회로

고효율 펄스스타트 메탈헬라이드 램프에 비공명정현고주파를 공급할 수 있도록 그림 6과 같이 타력식 하프브리지를 구성하였다.

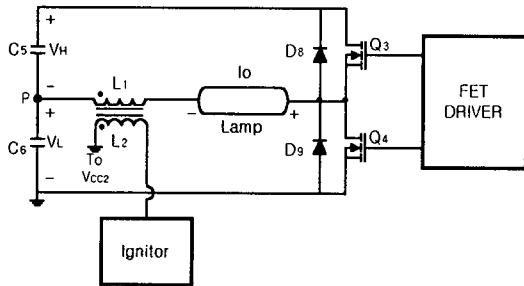


그림 6. 하프브리지 인버터회로  
Fig. 6. Inverter circuit of half-bridge

단상 하프브리지 인버터의 교류 출력 전압의 형태는 MOSFET Q3, Q4의 제어 방법에 따라 정해진다. 스위칭 소자인 MOSFET가 Q3, Q4로 2개이지만 MOSFET의 드레인 소스간에 다이오드가 내장되어 있으므로 4개의 전력 반도체 스위치가 있는 형태이다. 동작모드는 다음과 같다.

모드 1 : 전류가 VH → Q3 → IO → VH의 순서로 흐른다.

모드 2 : 전류가 IO → VL → D9 → IO의 순서로 흐르며, 이 모드에서는 비록 Q4가 ON이 되어도 Q4에는 IO가 흐르지 못하므로 Q4의 ON-OFF에 상관없이 이 모드는 지속된다.

모드 3 : 전류가 VL → IO → Q4 → VL의 순서로 흐른다.

모드 4 : 전류가 IO → D8 → VH → IO의 순서로 흐른다.

전력 전달의 과정에서 보면 모드 1, 모드 3과 같이 전원에서부터 부하에 전력이 공급되는 전력공급모드와 모드 2, 모드 4와 같이 부하로부터 전원으로 다이

오드를 통하여 전력이 되돌려지는 회생모드로 나누어진다. 고효율 펄스스타트 메탈헬라이드 램프(MH200W)의 방진관내 공명주파수 대역이 1.58[kHz]~334.4[kHz]이고 이 대역중 40[kHz]~100[kHz] 범위내에서 공명주파수가 포함되지 않은 대역중 가장 넓은 대역이 84.6[kHz]~94.2[kHz]이므로 이대역의 중간값인 89[kHz]의 단독주파수를 램프점등 정현고주파로 만들기위해 그림 6의 전자식안정기 인버터회로 구동부분을 그림 7과 같이 IR2151 IC칩을 이용하여 설계하였다.

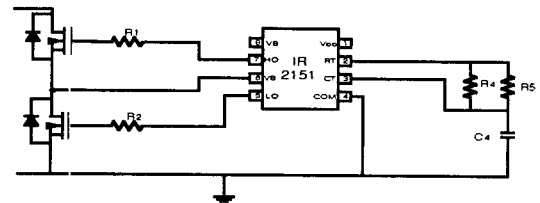


그림 7. 구동주파수 발생회로  
Fig. 7. Oscillating circuit of operating frequency

그림 7에서 2, 3번 단자에 연결된 R4, R5 및 C4로 그림 6의 Q3, Q4를 구동하기 위한 주파수 f는 식(1)에 의하여 구하여 진다.

$$f = 1/1.4 \times (RT + 75[\Omega]) \times C4(HZ) \quad (1)$$

여기서 RT는 R4, R5의 병렬합성 저항이다.

5. 실험결과 및 검토

5.1 입출력 특성

제안된 고효율 펄스스타트 메탈헬라이드 램프(MH200[W])용 전자식안정기의 입력과 출력의 특성을 PM. 3000[A]로 측정된 결과는 표 5와 같다.

표 5. 입출력 특성  
Table 5. Specific of input and output

측정항목	입력	출력
전력(W)	213.06	196.5
전압(V)	219.7	136.2
전류(mA)	981.2	1456
역률	0.991	
전류고조파 함유율 THD(%)	9.8	
램프 전류 파형 파고율(CF)		1.55

측정결과를 검토하면 역률은 99% 이상으로 고역률이 되었고 전류고조파 함유율은 10% 이하로서 낮은 고조파 함유율을 나타낸다. 또한 램프전류파형 파고율은 1.55 정도로 안정적인 전류가 공급된다.

### 5.2 정현고주파 램프 입력파형

그림 8은 오실로스코프로 램프의 정상점등 상태에서 램프의 전압과 전류를 측정된 파형이다. 전압, 전류 모두 89.686[kHz]의 정현고주파로서 표 1에 의한 계산치 89.4[kHz]와 거의 일치된 값으로서 제안된 전자식안정기가 본연구에서 요구한 램프구동 단독주파

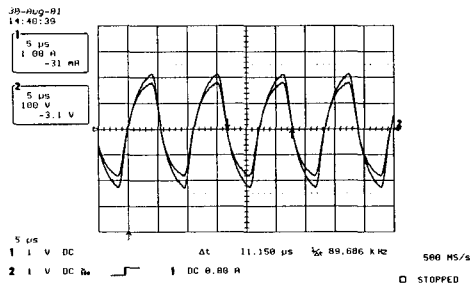


그림 8. 램프 전압, 전류파형  
Fig. 8. Lamp waveforms of voltage and current

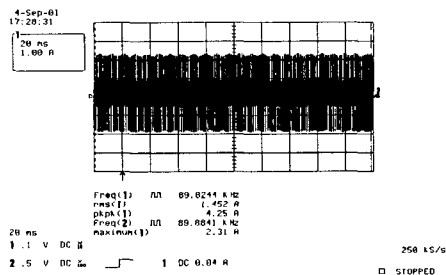


그림 9. 방전관내의 비공명주파수 전류파형  
Fig. 9. Current wave of NRF in arc tube

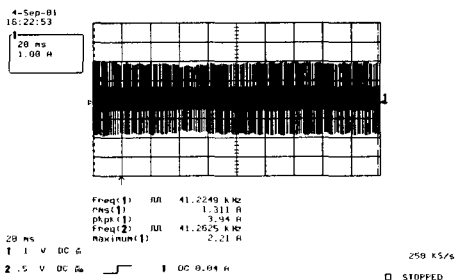


그림 10. 방전관내의 공명주파수 전류파형  
Fig. 10. Current wave of RF in arc tube

수 발생을 실현하였고 그림 9와 같이 비공명주파수가 공급된 방전관내의 전류파형은 거의 일정한 형태로 음향공명이 감소 되었음을 알 수 있고 그림 10과 같이 공명주파수가 공급된 방전관내의 전류파형은 불균일하므로 공명현상이 발생되고 있음을 알 수 있다.

## 6. 결 론

고효율 펄스스타트 메탈헬라이드 램프(MH200[W])를 음향공명(acoustic resonance)현상없이 전자식안정기로 점등시키기 위하여 램프의 공명주파수를 계산한 결과 공명주파수 대역이 1.54[kHz]~334.4[kHz]이었고 이 대역중 40[kHz]~100[kHz]의 범위에서 비공명주파수가 포함된 가장 큰 대역은 84.6[kHz]~94.2[kHz]사이이므로 이 대역의 중간주파수인 89.686[kHz] 정현고주파를 램프구동주파수로 사용한 결과 음향공명현상이 거의 없었다. 이와같이 증출력 이상의 고압방전관의 공명주파수 대역이 광대역이어서 공명주파수 대역을 피한 정현고주파를 램프구동주파수로 사용하기 곤란한 경우 40[kHz]~100[kHz]의 공명주파수 대역내 비공명주파수 대역이 10[kHz] 정도일 경우 이 대역의 중간값을 단독 구동주파수로 하여 램프를 점등하게 되면 방전관내의 전류파형이 균일하게 되어 음향공명이 거의 없음이 판명되었고, 또한 실제의 조명상태에서 육안으로도 광원의 흔들림현상이 거의 없었다.

## 참 고 문 헌

- [1] Michael Gulko and Sam Ben-Yaakov, "A MHz Electronic Ballast for Automatic-Type HID Lamps." 1997 IEEE, pp.39-45.
- [2] Sam Ben-Yaakov, Michael Gulko and Alex Giter, "The Simplest Electronic Ballast for HID Lamps," 1996 IEEE, pp.634-640.
- [3] Harald L.witting, "Acoustic Resonance in Cylindrical High-Pressure Arc Discharge", J.Appl.Phys., Vol.49, NO.5,May,1978.
- [4] Hans-Juergen Faehnrich and Erhard Rasc."Electronic Ballast For Metal Halide Lamps." Journal of the Illuminating Engineering Society. Summer. 1988, pp.131-140.
- [5] Jaros Melts presents "Electronic Ballast Design for HID Lamps", 1988, pp.1-6.
- [6] H, Nishimura, H, Nagase, "A New Electronic Ballast for HID Lamps" Journal of the Illuminating Engineering Society, Summer 1988, pp. 70-76.
- [7] J.WDenneman. "Acoustic Resonance in High Frequency

- Operated Low Wattage Metal Halide Lamps." Philips Journal of Research. Vol.38. No.4/5, 1983, pp.1074-1084.
- (8) R.Schaferand H.P.stormberg "Investigations on the fundamental longitudinal acoustic resonance of high pressure discharge lamps." J.Appl.Phys. 53(5), May, 1982, pp.3476-3438.

◇ 저자소개 ◇

---

김 기 정 (金奇貞)

1952년 3월13일생. 1989년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1995년 강원대학원 졸업(석사). 2000년 강원대학원 졸업(박사). 1996년 건축전기설비 기술사 취득. 1977~1997 대한주택공사 근무. 1998~현재 (주)도화종합기술공사 상무이사. 1999~현재 서울산업대학교 전기정보공학부 시간강사. 2001~현재 하이룩스조명기술연구소장.