

2000년도 대한전기학회 전문대학교육연구회 하계학술대회 논문집 2000. 7. 7-8

출력 스위치의 열화를 고려한 주파수 가변 구동 방식의 전자식 안정기 설계

°오성근*, 최명호**
전주공업대학 전기과* 국립의사대학 전기과*

Design of Electronic Ballasts applied with Variable Frequency Driving Technique with regard for Thermal Degradation of Output Switches

°Sung-Keun Oh*, Myoung-Ho Choi**
Dept. of Electricity, Chunju Tech. College*, Dept. of Electricity, Iksan National College**

Abstract-The electronic ballasts for low pressure discharge lamps are produced and commercialized. However, the electronic ballasts for high pressure lamps are now in progress because of poor reliability and high cost.

The major case of troubles with electronic ballasts are thermal destruction of semiconductor output switches due to non ideal i-v characteristics of switch. The loss converts to heat and rises the temperature of switch and it increases proportionally to switching frequency and value of current and voltage.

This study shows the variable frequency ballasts which can suppress the heating of switches efficiently. It is used for the limitation the switch current and the rising temperature of switch by impedance variation of lamp inductor. As a result, initial warm-up time of the proposed ballasts was faster than that of magnetic ballasts about 90 msec. Power factor of tested ballasts follow as : input and output average of magnetic ballasts are 93 [%] and 86 [%], respectively, And proposed ballasts are 97 [%] and 99 [%], respectively.

1. 서 론

일반적으로 전자식 안정기의 수명실험을 통한 사고원인 분석결과는 전원으로부터 유입되는 높은 임펄스 전압이나 출력 전류·전압증가에 의한 출력용 트랜지스터의 파괴가 대부분을 차지하고 있다. 그러므로 출력 전류·전압증가에 의한 출력용 트랜지스터 보호를 위한 보호회로 기술개발은 현재 대부분의 전자식 안정기의 문제점인 수명에 큰 영향을 미친다.

본 논문에서는 안정기의 출력 스위칭 소자에 발생하는 열의 증가를 억제하기 위한 가변주파수 구동방식의 전자식 안정기를 설계하였다. 온도 및 광특성, 그리고 에너지 효율 향상의 효용성을 비교하기 위하여 우선 고압나트륨 램프용 고정주파수 구동방식의 전자식 안정기, 그리고 KS마크를 획득하여 시판되고 있는 동출력의 고효율 자기식 안정기를 제안된 전자식 안정기와 비교하여 신뢰성 확보의 타당성을 증명하였다.

2. 고정 주파수 구동형 전자식 안정기

안정기는 램프시동 및 램프의 부자항(負抵抗) 특성으로 인한 전류제한 동작 및 점등시 초기 램프의 양단저항은 무한대 이므로 기체방전 조건을 만족하는 고압발생 기능이 요구된다.

표 1은 glow-arc 전이를 위한 250[W] 고압나트륨 램프의 안정 출력전압을 나타내고 있다.

아크 개시전압 이상의 고압 펄스를 얻기 위한 공진부에 인가되는 주파수는 스위칭 주파수에 의하여 결정되고 이를 시동 용 출력 공진주파수 f_r 로 결정한다.

초크코일의 설계를 위하여 관전압, 관전력을 고려하여 인덕턴스를 결정하면 코어를 결정한 후 권선수를 결정할 수 있다.

표 1 글로우에서 아크로의 전이를 위한 전압, 전류
Table1 Required voltage and current for glow
to arc transition (단 $L=2 \times 10^{-3}$ H)

Lamp	Secondary emission coefficient [γ]	Ionization coefficient [η]	Open circuit peak voltage [V]	Lamp peak voltage [V]	Required peak current [A]
250W HPS	0.035	0.023	169.34	106	1.37

식 (1)과 (2)을 통하여 초크의 인덕턴스와 캐패시터의 크기를 결정할 수 있다.

$$L = \frac{DV_i V_{LAMP}}{4\pi^2 f_r^2 P_{LAMP}} \quad (1)$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 L} \quad (2)$$

단, V_{LAMP} 는 램프양단 전압, P_{LAMP} 는 램프 전력, 그리고 D 는 뷰티비(duty ratio)이다.

시동 및 점등유지를 위한 안정기의 고주파 전압을 출력하기 위한 인버터는 단상 하프브리지 방식으로 설계하였다. 그림 2 와 그림5는 본 논문에서 설계된 전자식 안정기의 기본 회로도와 상세 회로도를 나타내고 있다. 설계된 안정기는 정류부와 주파수 제어회로, 그리고 직렬 공진 인버터부로 구분되며 Q_1 과 Q_2 를 통하여 출력 주파수를 제어 할 수 있다. L_c , C_2 는 램프전류의 무한대 증가를 제한하며 C_1 은 시동과 방전유지에 사용된다.

안정기의 해석을 용이하게 하기 위하여 그림 3과 같이 램프를 등가저항으로 치환한 후 등가회로로 변환하였다. 인버터 회로의 전압이득은 램프저항 R_{LAMP} 의 값이 시동시와 점등시에 변화하기 때문에 식(3), (4)과 같이 각각 나타낼 수 있다.

① 램프저항 $R_{LAMP} = \infty$ (시동시)

$$\left| \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{(C_s - C_1(\frac{\omega}{\omega_o})^2)^2 + Q^2(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_0}{\omega})^2}} \quad (3)$$

$$\text{단, } 1 + \frac{C_1}{C_2} = C_s, \quad \omega_o = \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{LC_1 C_2}}, \quad Q = \frac{\omega_o L}{R_{LAMP}}$$

② 램프저항 $R_{LAMP} = \text{full load}$ (점등중)

$$\left| \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{1}{C_R}\right) - \frac{1}{C_R} \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} \quad (4)$$

$$\text{단, } \frac{C_1}{C_2} = C_R, \quad \omega_o = \sqrt{\frac{1}{LC_1}}, \quad Q = \frac{\omega_o L}{R_{LAMP}}$$

식 (3)과 (4)는 그림 3의 등가회로가 램프저항의 크기에 따라 L , C_2 의 병렬공진과 L , C_1 의 직렬공진을 병행할 수 있는 회로임을 나타낸다. C_1 은 램프 시동시 출력값을 보정할 수 있고 C_1 과 C_2 의 비율로서 램프 점등시 출력특성을 제어할 수 있어 동작전류와 동작전압이 다른 종류의 램프에도 간단히 적용할 수 있는 회로임을 나타낸다.

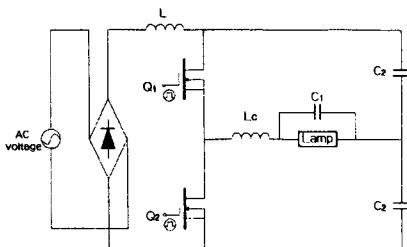


그림 2 전자식 안정기의 기본회로
Fig. 2 Basic circuit of the electronic ballast

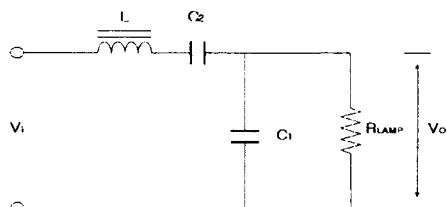


그림 3 인버터부의 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit of the inverter

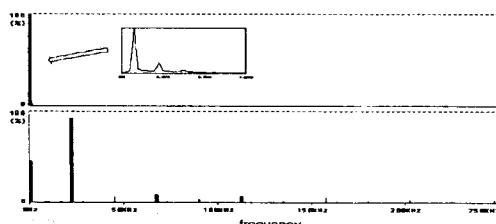


그림 4 제안된 전자식안정기의 고조파 스펙트럼
Fig. 4 Harmonic spectrum of the proposed electronic ballast

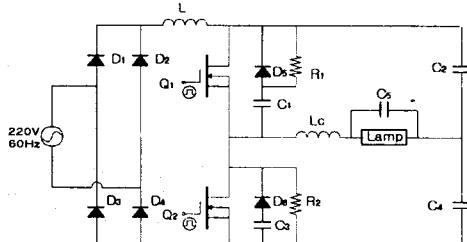


그림 5 제안된 전자식 안정기
Fig. 5 Circuit of the proposed electronic ballast

그림 4는 모의실험 결과로서 3차 고조파만 나타나며 전압은 60 [Hz]와 동작주파수 22.5 [kHz]가 중첩되어 음향적 공명현상을 적극적으로 억제할 수 있는 회로임을 나타내고 있다.

3. 주파수 가변형 전자식 안정기

계속되는 과전압이 인가될 때 반도체의 온도는 상승하게 되고 금속과 달리 부저항 특성을 갖는 반도체의 특성에 의하여 동작범위를 초과하는 온도에 도달하면 안정기로서의 동작이 불가능하여진다. 이러한 사고원인을 분석하여 볼 때 전자식 안정기의 신뢰성 제고를 위하여 반도체의 온도상승을 방지하기 위해서는 전원의 상태에 관계없이 램프 출력전류를 정격으로 유지할 수 있는 부가적 회로가 요구된다. 본 논문에서는 출력반도체 스위치의 온도를 검출, 온도 변화에 따른 주파수 가변방식을 전자식 안정기에 적용하였으며 스위치 구동회로

에 온도센서와 전압-주파수 변환기를 추가함으로서 회로보호의 기능을 수행할 수 있도록 설계하였다.

제안된 주파수 가변 구동회로는 출력주파수의 전원전압과 출력 반도체 스위치의 온도변화를 가변요인으로 주파수가 조된다. 주파수 가변회로의 기본구조는 그림 6과 같이 구성된다.

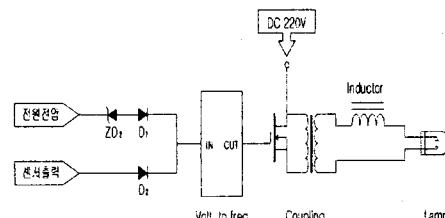


그림 6 주파수 가변형 안정기의 구성
Fig. 6 Composition of variable frequency driver

스위치 온도가 설정범위 내에서 안정적으로 동작시 다이오드 D₂를 통한 센서출력측의 전압은 제너레이트 ZD₂와 다이오드 D₁으로 출력되는 전원측 입력전압보다 항상 낮으므로 다이오드 D₂는 강제전류되어 전압-주파수 변환기에는 전원전압의 출력만이 유입된다. 전압-주파수 변환기는 기준전압에서 출력스위치에 임의의 일정한 스위칭신호를 공급하며 출력주파수를 결정하게 된다. 외부 전압변동이 발생하여도 전압-주파수 변환기에 인가되는 기준전압은 제너레이트에 의하여 항상 일정한 정전압이 인가되어 램프 정출력 기능도 부가적으로 기대할 수 있다. 시간의 경과에 따라 램프 입력전류가 증가되고 반도체 스위치소자의 표면온도가 상승하게 되면 온도상승과 비례하여 센서의 출력전압이 증가하게 되고 증가된 출력전압이 기준전압 이상이 되면 다이오드 D₂를 통한 센서출력측의 전압은 제너레이트 ZD₂와 다이오드 D₁의 출력전압보다 높게되어 전원전압측 다이오드 D₁를 강제전류시키고 다이오드 D₂를 통한 센서출력측의 전압만이 전압-주파수 변환기에 유입된다. 설정된 기준전압 이상의 센서출력전압과 비례하여 전압-주파수 변환기의 출력 전압의 주파수가 높아지므로 인버터 스위치의 스위칭주파수도 높아져 출력주파수를 가변 시킬 수 있다. 출력반도체의 온도에 따른 주파수 가변회로를 그림 7과 같이 설계하였다.

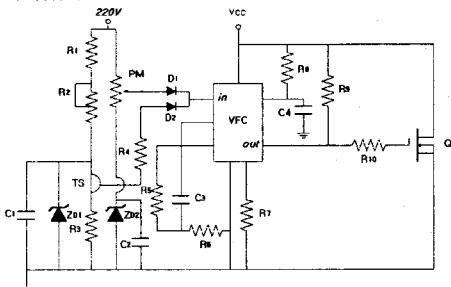


그림 7 주파수 가변회로
Fig. 7 Circuit of the variable frequency driver

4. 실험 결과

4.1 시동특성

250(W) 고압나트륨등의 V-I특성은 선형적으로 비례한다. 그러므로 임피던스 변화는 선형적 등가저항으로 나타낼 수 있다. 전자식 안정기의 시동회로는 자기식 안정기에 비하여 작은 인덕터와 캐패시터를 사용하므로 단시간내에 고주파 전압에 의한 공진전압을 발생시킬 수 있어 보다 빠른 펄스의 인가가 가능하다. 그림 8은 초기에 안정기에 따른 램프 시동전압의 크기 및 방전 개시 시간을 나타내고 있다. 그림 9는 초기 램프전류의 변화를 나타낸다. 초기에 시동전압에 의하여 기체 방전이 시작되면 램프에는 공히 (-)의 펄스성 전류가 흐르게

되며 고압펄스가 정지되면 램프전류는 점차 감소되고 램프전압은 증가하는 특성을 보인다.

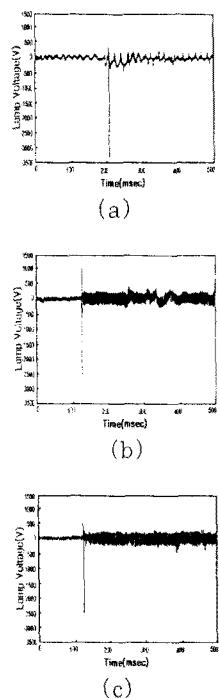


그림 8 시동시 램프 전압 파형

- a) 자기식 안정기
- b) 전자식 안정기
- c) 주파수 가변형 전자식 안정기

Fig.8 Voltage waveforms of the lamps at start-up
a) magnetic ballast (SM)
b) electronic ballast (EB)
c) variable frequency electronic ballast(FV)

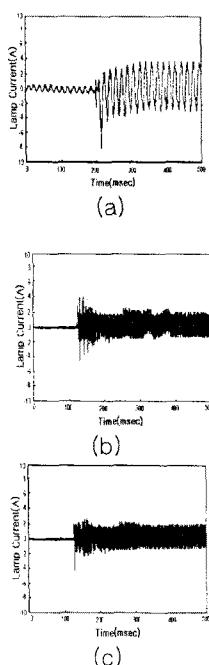


그림 9 시동시 램프 전류 파형

- a) 자기식 안정기
- b) 전자식 안정기
- c) 주파수 가변형 전자식 안정기

Fig. 9 Current waveforms of the lamps at start-up
a) magnetic ballast (SM)
b) electronic ballast (EB)
c)variable frequency electronic ballast (FV)

4.2 완전점등시 특성

그림 10은 완전점등시 램프에 인가되는 전압의 파형을 나타내고 있으며 음향적 공진 대역인 22.5[kHz]를 사용하고 있으나 피크치까지의 전압상승시간은 약 3[μ sec]를 나타내며 하강시간은 약 5[μ sec]를 나타내고 있어 램프에 음향적 공명 현상은 나타나지 않는다.

그림 11은 램프에 인가되는 전류파형을 나타내고 있다. 출력전류는 램프 출력단의 대용량 인덕터로 인하여 메인 주파수 60[Hz]의 출력전류가 램프에 인가된다.

이러한 전류의 인가방식은 기체 전리를 위한 전류의 교변비도가 작아지므로 방사효율을 높일 수 있으며 또한 램프 전극이 한쪽으로만 소모하는 것을 방지할 수 있는 부가적 장점이 있다. 파형 (b)(c)는 메인주파수 60[Hz]에 제 3고조파 22.5[kHz]가 중첩되어 있는 형태를 나타내며 모의실험 결과와 일치하고 있다.

표 2는 완전 절등시 안정기의 입력특성을 나타내며 표3은 완전점등시 안정기의 램프측 특성을 나타내고 있다.

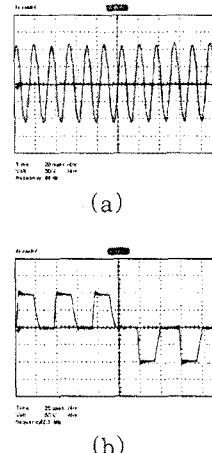
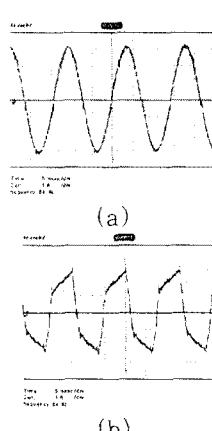
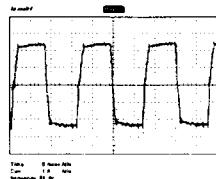


그림 10 완전점등후 램프의 전압 파형

- a) 자기식 안정기
- b) 전자식 안정기
- c) 주파수 가변형 전자식 안정기

Fig. 10 Voltage waveforms of the lamps at lamp-on
a) magnetic ballast (SM) b) electronic ballast (EB)
c) variable frequency electronic ballast (FV)





(c)

그림 11 완전점등후 램프의 전류 파형

- a) 자기식 안정기
- b) 전자식 안정기
- c) 주파수 가변형 전자식 안정기

Fig. 11 Current waveforms of the lamps at lamp-on

- a) magnetic ballast (SM)
- b) electronic ballast (EB)
- c) variable frequency electronic ballast (FV)

표 2 완전점등시 안정기의 1차측 특성

Table 2 Primary input characteristics of ballasts at lamp-on

Items	Type of ballast	SM	EB	FV
Input voltage [V]		220	220	220
Input current [A]		1.38	1.24	1.25
Input power [W]		282	269	267
Power factor [%]		93	98	97

표 3 완전점등시 안정기의 램프측 특성

Table 3 Lamp input characteristics of ballasts at lamp-on

Items	Type of ballast	SM	EB	FV
Lamp voltage [V _{peak}]		114	107	106
Lamp current [I _{peak}]		3.1	2.4	2.4
Lamp power [w]		213	226	226
Power factor [%]		86	99	99

표 4 램프 완전 점등후 광속 비교

Table 4 Comparison of luminous flux at lamp-on

Items	Type of ballast	SM	EB	FV
Lamp power [w]		213	226	226
Luminous flux [lm]		18,200	23,500	23,300
Luminous efficacy [lm/w]		85.8	95.9	95.1

동적성능을 나타내는 광속의 비교결과를 표 4에 나타내었다. 23 [W]의 입력 전력 차이에 비하여 전광속에서 전자식 안정기가 5,000[lm] 이상의 높은 광발산도를 나타내었다. 그러므로 동일조건 아래서 제안된 전자식 안정기는 우수한 광속유지 특성을 갖는다고 할 수 있다.

발광효율은 고정 주파수 전자식 안정기가 가장 우수한 특성을 나타내며 95.9 [lm/W]를 나타낸다.

4.3 출력스위치 온도 특성

출력 스위치의 온도억제 특성을 실험하기 위하여 주변온도는 항온조를 이용하여 25[°C]로 정하였으며 안정기는 봉합되지 않은 상태에서 실험을 행하였다. 그림 12는 각 안정기에 의하여 캠프를 점등한 후 출력스위치의 온도상승 정도를 관찰, 비교한 값이다. 자기식 안정기는 출력 스위치가 사용되지 않고 주로 외함과 콘덴서의 온도가 표시됨으로 직접적 비교가 어려워 제외하였다. 방열판은 Al 300 * 40 * 1 [mm]의 판형(plate style)을 채용하였으며 출력스위치의 허용최대온도 범위까지 동작시켰다.

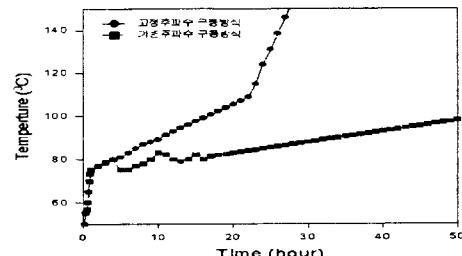


그림 12 안정기 인버터 출력스위치의 온도 변화

Fig. 12 Temperature variation of inverter switches

관찰결과 전자식 안정기는 시간에 비례하는 온도상승율을 나타내며 10시간 후에는 89[°C]를 나타낸다. 24시간이 경과되면 출력스위치 온도도 110[°C]부터 급격히 커지는 것을 알 수 있었다. 이는 과도한 장시간의 가열로 인한 반도체의 특성변화에 따른 전류의 증가에 기인한다. 주파수 가변형 안정기의 온도억제 특성은 50시간 경과후에도 82.3[°C]에 불과하였으며 전류량의 변화에 따라 미소 온도의 구배가 나타나고 있다. 그러나 주파수 가변형 안정기 역시 완만한 상승 기울기를 갖고 있고 주파수 가변시 아크방전이 불안하여지는데 이는 주파수가 5 [kHz/°C]의 상당한 크기로 변화하기 때문인 것으로 여겨진다. 그러나 주파수 변화폭을 작게 설정할 경우 온도억제 특성도 약화되므로 주파수-전압변화의 새로운 토플로지가 요구된다.

5. 결 론

본 논문에서는 안정기의 고장원인중 가장 빈도가 높은 출력스위치의 열적 파괴를 감소기킬수 있는 새로운 전자식 안정기를 제작하여 타당성을 증명하였다. 개발된 안정기와 기존의 자기식 안정기의 특성을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1 램프시동시 방전개시 시간, 시동시 전극에 주는 부담 등에서 제안된 안정기는 우수한 특성을 나타내었다. 또한, glow-to-arc 전이 전압도 자기식 안정기에 비하여 낮은 값이 투입되며 이는 고주파 전압에 의한 재전리에너지(reionization energy)에 기인한다.

2 완전 점등시간은 제안된 전자식 안정기가 자기식 안정기보다 각각 1/2로 감소하였으며 완전 점등시 소비전력은 제안된 전자식 안정기의 낮은 입력전류 값에 비하여 자기식 안정기에서 크게 나타나며 이는 인덕터와 캐패시터의 철손 및 동손 증가에 기인한다.

3 역률은 자기식 안정기가 입력평균 93[%], 출력평균 86[%]이고 제안된 전자식 안정기는 입력역률 98[%]이상, 출력역률 99~95[%]의 고역률을 나타내고 있어 안정기 소비전력의 절감을 가져온다.

4 램프의 동적특성에서 전광속은 고압나트륨램프의 경우 자기식 18,200 [lm], 발광효율은 85.8 [lm/W] 제안된 전자식 안정기는 23,500~23,300 [lm], 그리고 발광효율은 95.9~95.1 [lm/W]를 나타낸다.

5 스위치 온도특성을 비교한 결과 표준 전자식 안정기에 비하여 주파수 가변형 안정기는 우수한 특성을 보여주었으며 특히 10시간 이상의 장시간 점등시에는 주파수 가변성이 우월함을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- W.M. Keeffee, "Recent Progress in Metal Halide Discharge Lamp Research", IEE Proc., Vol. 127, Part A, pp.181~189, 1980
- 中道昌夫, 井原實, "HID LAMP 照明器具の電子的技術の傾向", J. of Illum. Eng. Inst. Jpn Vol. 77 No. 5, pp. 233~237, 1993
- 神谷明宏, "光原別點燈回路", J. of Illum. Eng. Inst. Jpn Vol. 80 No. 8B, pp.586~592, 1996
- P. L. Denbigh, "Experimental Approach to High -Pressure Sodium Lamp Design", Lighting Research & Technology, Vol.

- 10, No. 1, pp. 28~32, 1978
- (5) C. Hirayama, K. F. Andrew and R. L. Kleinosky, "The Vapor Pressures of Sodium and Mercury over Sodium Amalgams of HPS Lamp Operating Temperatures", J. of IES, pp.66~69, 1983
- (6) L. S. Frost and R. W. Liebermann, "Composition and Transport Properties of SF₆ and their use in a Simplified Enthalpy flow arc model", Proc. of IEEE, Vol. 59, No. 4, pp. 474~485, 1971
- (7) Y. Koshimura, N. Aoike, H. Kobayashi and O. Nomura, "Several Ways for Stabilizing HID Lamps Operation on High Frequency Power", J. of Illum. Eng. Inst. Jpn, Vol. 67, No. 2, pp. 55~61, 1983
- (8) J. H. Campbell, "High-Intensity Discharge Lamps on High-Frequency Power", Illuminating Engineering, Vol. 64, No. 12, pp.713~722, 1969
- (9) Charles F. Scholz, "Characteristics of Acoustical Resonance in Discharge Lamps", Illuminating Engineering, pp.713~715, 1970
- (10) E. Rasch and E. Stanic, "Behavior of metal halide lamp with conventional and electronic ballasts", J. of IES, summer, pp.88~96, 1991