

메탈 할라이드 램프용 전자식 안정기의 고주파 변조 방식에 관한 연구

문태환, 오덕진, 김희준, 조규민
한양대학교, 유한대학

A Study on The High Frequency Modulation Method for The Metal Halide Lamp Elec

Moon Tae Hwan, Oh Duk Jin, Kim Hee Jun, Cho Kyu Min
Hanyang University, Yuhan College

Abstract - This paper presents the considerations of the high frequency modulation method for the metal halide lamp electronic ballast. The acoustic resonance phenomenon is occurred, if the metal halide lamp is driven at constant high frequency. The frequency modulation method, therefore, is used to avoid the acoustic resonance phenomenon, but the crest factor of lamp current is increased. In this paper, the driving characteristic of the metal halide lamp according to the waveshape and frequency variations of modulating signal is considered with a viewpoint of crest factor.

1. 서론

스포트 라이트 등 매우 밝은 조명이 요구되는 장소에 HID(High Intensity Discharge) 램프들이 많이 이용 있다. 특히 메탈 할라이드 램프는 뛰어난 연색성과 높은 광효율을 가지고 있어 그 채용이 날로 증가하고 있는 추세다. 또한, 최근에는 기존의 자기식 안정기가 갖는 크기, 중량, 효율, 설치 장소의 제한 및 작업효율 등의 여러 단점을 극복하기 위하여 이의 전자식 안정기의 적용도 더불어 증가하고 있다. 그러나 현재 적용되고 있는 메탈 할라이드 램프용 전자식 안정기는 수백 Hz의 구동 주파수를 갖는 저주파식이다. 이는 램프를 고주파로 구동할 경우 일어나게 되는 공명현상(Acoustic Resonance Phenomenon)으로 인하여 고주파 구동이 용이하지 못기 때문이다. 이는 고압 방전 램프들이 갖는 공통적 특징이지만 그 중에서도 특히 메탈 할라이드 램프의 경우가 공명현상이 가장 문제시 되는 이유는, 메탈 할라이드 램프의 관내 압력 파동의 고유 공명 주파수가 통상 수십 kHz대인 고주파 안정기의 구동 주파수 대역에 조밀하고도 넓게 분포되어 있기 때문이다. 사실 방전 램프들을 고주파로 구동하는 경우 램프의 수명, 광효율의 측면에서 저주파로 구동하는 경우 보다 유리한 점이 많다. 뿐만 아니라 전자식 안정기의 크기와 중량을 더욱 감소시킬 수 있다는 장점도 있다. 따라서 최근의 메탈 할라이드 램프용 전자식 안정기에 관한 연구의 대부분은 공명현상을 제거하는 데 그 초점을 두어 연구가 수행되고 있다.⁽¹⁻⁴⁾

메탈 할라이드 램프를 고주파로 구동시키면서 공명현상을 회피할 수 있는 방법은 크게 나누어 다음과 같이 구분할 수 있다.

첫째, 수십 kHz대의 일정한 고주파로 램프를 구동하되 공명현상이 일어나지 않는 주파수를 선정하여 구동하는 방법

둘째, 공명현상이 일어나지 않는 MHz대에 이르는 주파수로 램프를 구동하는 방법

셋째, 고주파 변조 방법을 이용하는 방법

상기의 방법 중 첫 번째 방법의 경우, 메탈 할라이드 램프의 종류에 따라서는 고유 공명 주파수의 분포가 매우 조밀한 것도 있기 때문에 공명현상을 일으키지 않는 주파수를 선택하기란 매우 어렵다. 특히 공명현상은 등기구의 설치 방법, 램프의 온도에도 민감하게 반응하며 램프의 종류나 경년 변화에 따라 고유 공명 주파수 분포가 변하기 때문에 실시간으로 공명현상을 회피하는 알고리즘을 적용하지 않는 한 이 방법으로 범용의 메탈 할라이드 램프를 구동시키는 것은 현실적으로 거의 불가능한 것으로 판단된다. 필자들이 주파수를 가변시키며 공명 현상이 일어나지 않는 주파수를 찾는 실험을 수행해 본 결과, 일시적으로는 공명현상이 없는 실용은 있었으나 시간이 지나거나 혹은 램프의 각도를 달리하였을 경우 여지 없이 공명현상을 나타냄을 확인하였다. 결국 이 방법은 위에서 언급한 바와 같이 실시간 공명현상 회피 알고리즘을 적용한다 하여도 만일 공명현상 회피 알고리즘이 매우 빈번하게 작동되게 되는 경우 이에 의하여도 빛이 어른 거리게 되는 현상을 초래할 가능성도 있을 것으로 판단된다. 그리고 두 번째 방법인 MHz대의 주파수에서 램프를 구동시키는 방법은 근본적으로 저주파로 구동하는 경우와 마찬가지로 램프의 고유 공명 주파수대역을 피하여 램프를 구동시키는 방법이다. 그러나 이 경우 스위칭 손실이 증가하게 된다는 점과 더불어 안정기가 발생하는 전자파 노이즈의 영향이 커진다는 점이 단점으로 지적된다. 따라서 이 방식은 이러한 단점을 극복하기 위하여 기존의 소프트 스위칭 기술보다 더욱 우수한 성능의 소프트 스위칭 기술의 적용이 요구된다. 그러나 이 방법은 스위칭 손실의 증가에 따른 안정기의 효율을 고려하지 않는다면 가장 확실하게 공명현상을 일으키지 않는 고주파 전자식 안정기의 구동 방법이 될 것이다. 끝으로 세 번째 방법은 삼각파 등의 일정한 주파수를 갖는 변조신호를 이용하여 램프의 구동 주파수를 변조시키는 방법과 화이트 노이즈 등의 불규칙한 변조신호를 이용하여 램프의 구동 주파수를 변조시키는 방법으로 대별된다. 만일 일정 주파수의 변조신호를 사용하는 경우 이 변조 신호의 주파수 혹은 이의 고조파가 램프의 고유 공명 주파수의 서브하모닉과 일치하게 되는 경우 이에 의하여도 공명현상이 발생하기도 하므로 변조 신호의 주파수 선정에 주의할 기술여야 한다. 이의 단점을 극복하기 위한 방법으로써 불규칙한 변조신호를 이용하는 방법이 된다. 그러나 대표적으로, 화이트 노이즈를 첨가하는 경우에 있어서도 첨가하는 노이즈의 중심 주파수 및 노이즈 주파수 대역폭 선정에 있어 효과적인 방법이 구체적으로 검토되어야 하는 것과 제어기에 화이트 노이즈 발생기를 탑재시켜야 하므로 이에 따르는 안정기 가격 상승 요인을 어떻게 극복할 것인가가 해결해야 할 과제로 판단된다.

필자들은 본 연구에 앞서 메탈 할라이드 램프용 고주파 전자식 안정기로서 일정 주파수의 삼각파형으로써 램프 구동 주파수를 변조하는 방식의 안정기를 검토한 바

있으며, 이의 제어를 디지털화 시킴과 동시에 전기적 방법에 의하여 실시간으로 램프의 공명현상을 검출하는 방법을 적용하여 전술한 바와 같이 변조신호의 주파수와 램프 고유 공명 주파수의 서브하모닉에 의하여 공명현상이 발생하는 경우 변조신호의 주파수를 변경하는 방식의 메탈 할라이드 램프용 고주파 변조방식 전자식 안정기를 제안한 바 있다. 그러나 기 제안된 안정기의 경우 램프 구동 주파수를 대략 20kHz에서 100kHz사이에서 변조 시킴에 따라서 공명현상을 용이하게 해결하기는 하였지만 램프 전류의 파고율이 매우 큰 것이 단점으로 지적된다.^(5, 6)

본 논문은 선행된 연구를 지속하여 발전시키기 위한 것으로, 변조신호의 개형 및 주파수 변조폭에 따른 램프 구동특성을 램프의 파고율을 지표로 고찰하고자 하였다. 변조신호는 삼각파형태를 취하는 것이 제어기 구성이 용이하다는 장점이 있으므로, 본 논문에서는 변조신호의 개형을 삼각파의 대칭성에 변화를 주어 이에 따른 램프 전류의 파고율을 검토하였으며, 공명현상을 일으키지 않는 범위 내에서 변조 주파수의 폭을 변화시켜 이에 따른 파고율을 검토하였다.

실험은 OSRAM사의 HQI-TS 150W NDLUVS 램프로 수행되었으며, 그 결과로써 주파수 변조폭이 작은 높은 주파수의 톱니파형을 변조 신호로 적용하는 경우가 보다 작은 파고율을 가질 수 있음을 알 수 있었으며, 1.9 이하의 파고율을 충분히 얻을 수 있음을 확인하였다.

2. 본론

2.1 실험 장치 구성

그림 1에 본 실험을 위한 안정기용 인버터 주회로를 나타내었다. 통상의 경우 전자식 안정기에는 직류링크 분압용 커패시터를 사용하지 않고, 직류 블로킹 커패시터를 사용한 부하 공진형 인버터가 적용된다. 그러나 기존 회로의 경우 부하의 공진 양호도가 크기 때문에 구동 주파수에 따른 전류의 크기 변화가 매우 심하다. 특히, 공명현상을 일으키지 않도록 하기 위하여는 주파수 변조폭이 클수록 유리하게 되므로 공명현상 발생의 억제, 전력제어의 용이함 등을 이유로 주회로를 그림 1과 같이 구성한 것이다.

실험에 적용된 주요 회로 정수는 표 1에 나타난 것과 같다. 표 1에서, ω_r 은 기동전의 램프 임피던스를 무한대로 가정한 부하 고유 공진 주파수로, 이에 약간 상회하는 주파수로 인버터를 구동시켜, 이에 유기된 고압을 이용하여 램프를 기동시킬 수 있다. 따라서 기동을 위한 별도의 이그타이터는 필요 없다. 그러나 램프가 없는 경우 혹은 가열된 상태 등 램프단에 이상이 있을 경우 상기 주파수로 인버터를 계속 운전시키는 경우 지속되는 과전류로 인하여 스위칭 소자가 파괴된다. 따라서 제어기에서는 최초 인버터 구동 시점에서부터 램프 기동이 가능한 시점에서 v_L 의 크기를 최초로 판단된 점등 여부에 따라 인버터 동작 정지 또는 정상 운전을 결정하여야 한다. 통상의 경우 램프단의 전압 또는 램프 전류를 직접 검출하여 점등 여부를 판단하지만, 그 보다는 공진용 인덕터에 걸리는 전압의 크기로 점등 여부를 판단하는 것이 보다 안정적이다.

상기의 기동 시퀀스를 포함한 고주파 변조 제어기의 기본 구조는 그림 2에 나타난 바와 같다. 그림 2에서, 변조 신호의 레벨을 가감함에 의하여 램프 전력을 일정으로 제어하도록 하였고, 이 전력 제어는 직류단 전류를 제어함으로써 간접적으로 램프 전력을 제어하는 구성이다. 구동 주파수의 변조는 전압 제어 발진기를 이용하였으며, 기동 또는 정상 운전시의 변조신호를 선형 멀티플렉서 회로로 선택적으로 입력함으로써 기동 및 주파수 변조 구동을 수행할 수 있도록 전체 제어기를 구성하였

다. 또한 직류 전류의 변동 성분을 지표로 공명현상 유무를 판단하는 공명현상 검출기를 설치, 실험과정에서 공명현상의 발생 여부를 판단하고자 하였다.

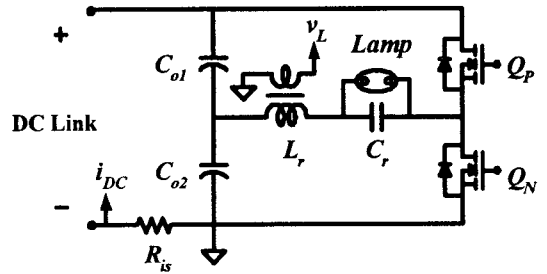


그림 1 주회로 구성

표 1 주요 시스템 정수

V_{dc}	380 V
C_{o1}, C_{o2}	470 μ F
L_r	400 μ H
C_r	30 nF
ω_r	45.9 kHz

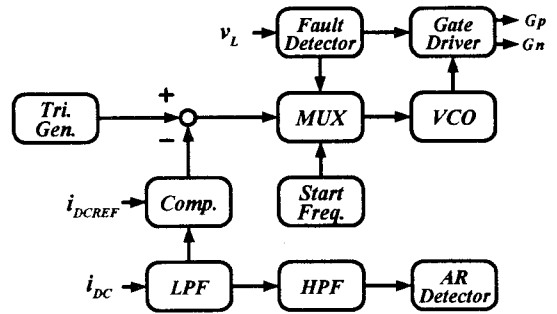


그림 2 제어 블록도

2.2 변조 신호 개형에 따른 램프 구동 특성 고찰

그림 3은 변조 신호로서 1.2kHz 삼각파형의 대칭비를 0%(감소형 톱니파, 이하 역톱니파라 칭한다)부터 100%(증가형 톱니파, 이하 톱니파라 칭한다)까지 10% 단위로 변화를 주었을 경우 변조 신호 및 램프의 전압, 전류 파형의 변화추이를 나타내는 것이다. 주파수 변조에 따른 전압, 전류의 크기 변화의 측면에서 볼 때, 변조 신호가 톱니파 형태일 경우가 가장 그 크기의 변화가 작음을 볼 수 있다. 변조 신호 개형에 따른 램프 전류의 파고율 크기를 측정하여 이를 그림 4에 도시하였다.

그림 4의 경우 전반적으로 램프 전류의 파고율이 다소 높음을 알 수 있는데, 이는 변조 신호의 개형에 따른 램프 전압, 전류의 변화 추이를 보다 확실하게 하기 위하여 최저 구동 주파수를 22.5kHz, 최고 구동 주파수를 70kHz 정도로 설정하여(주파수 변조폭 47.5kHz) 실험을 수행하였기 때문이다. 그러나 이 실험의 결과로

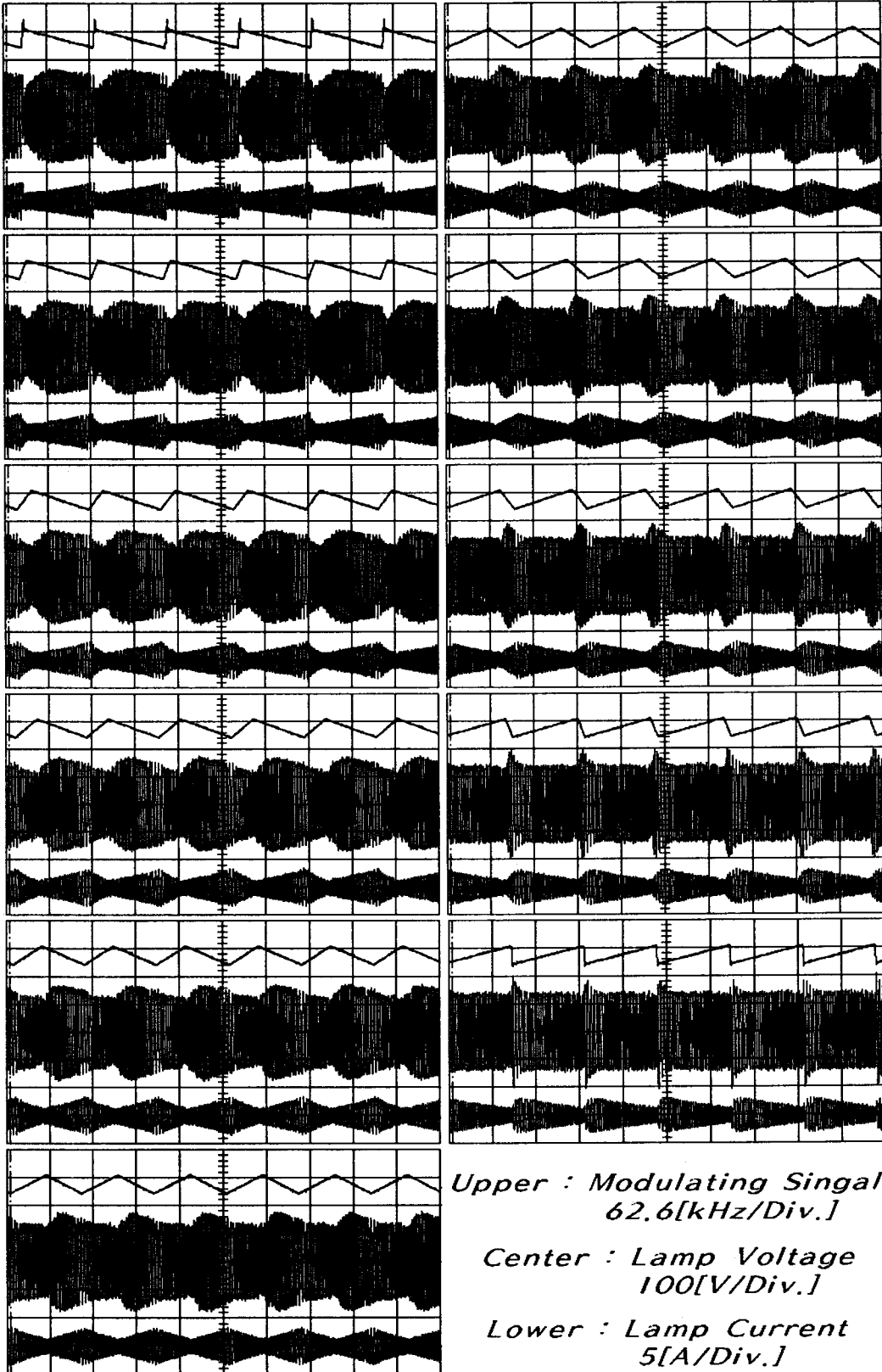


그림 3 변조 신호 개형에 따른 램프 전압, 전류 파형

써, 완전한 대칭적인 삼각파형 보다는 파형의 모양이 우측으로 완전히 기울어진 톱니파형의 변조 신호를 적용하는 것이 램프 전류의 파고율을 낮출 수 있음을 알 수 있다. 뿐만 아니라 램프 양단의 전압 파형도 톱니파형의 변조 신호를 적용하는 것이 변화의 폭이 작음을 알 수 있다.

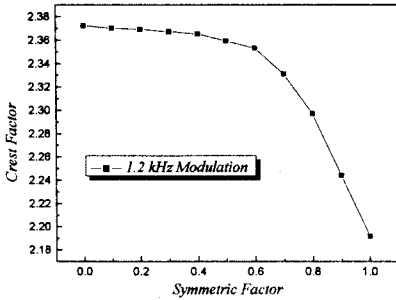


그림 4 대칭비에 따른 파고율 변화

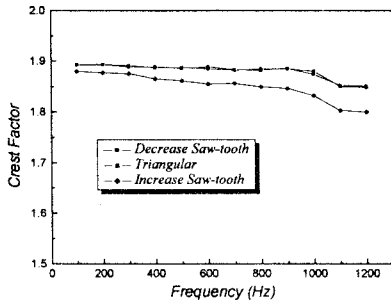


그림 5 변조 신호 주파수에 따른 파고율 변화

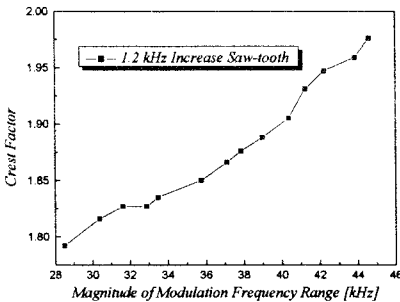


그림 6 주파수 변조폭에 따른 파고율 변화

2.3 변조 신호 주파수에 따른 램프 구동 특성 고찰

다음은 변조 신호로서 각각 톱니파, 삼각파, 역톱니파를 적용한 경우, 변조 신호의 주파수 변화에 따른 램프 전류의 파고율의 변화에 대하여 살펴 보기로 한다.

그림 5에 변조 신호의 주파수를 100Hz에서 1.2kHz 까지 증가 시키며 측정된 램프 전류 파고율의 변화 추이를 나타내었다. 그림 5에서, 변조 신호 개형에 관계없이 변조 신호의 주파수가 높을수록 파고율이 점차 낮아지는 경향을 살필 수 있으며, 역톱니파와 삼각파의 경우 파고율의 변화 추이는 거의 비슷하게 변조 신호의 주파수가 높아짐에 따라 약간씩 파고율이 작아짐을 알 수 있다. 그러나 톱니파의 경우에는 변조 신호의 주파수에 관계없이 항상 다른 파형에 비하여 전반적으로 작은 파고율을 가짐과 동시에 변조 신호 주파수의 증가에 따른 파고율의 감소 비율도 다소 커지는 경향을 볼 수 있다.

그림 5는 주파수 변조폭을 35kHz로 설정하여 실험을 수행한 것이기 때문에 그림 4에 비하여 전반적으로 파고율이 작게 나타났다.

2.4 주파수 변조폭에 따른 램프 구동 특성 고찰

그림 6에 주파수 변조폭에 따른 파고율의 변화를 나타내었다. 이는 중심 주파수를 45kHz로 하여 그림에 도시한 변조폭을 가지고 주파수 변조되는 경우에 대한 램프 전류 파고율의 변화 추이를 보여주는 것이다. 주파수 변조폭의 크기에 거의 비례하여 파고율이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 주파수 변조폭이 클수록 램프 전류 크기의 맥동이 커짐에 따라 발생되는 당연한 결과이다. 이러한 측면에 있어서는 주파수 변조를 통하여 공명 현상을 일으키지 않는 최소의 주파수 변조폭으로 램프를 구동하는 것이 가장 램프 파고율을 낮게 유지하는 방법이라고 할 수 있으나, 그 만큼 공명현상을 일으킬 가능성도 높아지므로 먼저 유지하고자 하는 램프 전류의 파고율 상한치를 설정한 후 이를 넘지 않는 한 주파수 변조폭을 가능한한 크게 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 논문에서는 메탈 할라이드 램프용 전자식 안정기의 고주파 변조 방식에 관한 연구로서, 삼각파 형태의 변조 신호를 이용하는 고주파 변조 방식으로 메탈할라이드 램프를 구동할 때 변조 신호의 개형, 변조 신호의 주파수 및 크기에 따른 램프의 동작 특성 고찰을 램프 전류의 파고율을 지표로 고찰하였다.

변조 신호의 개형에 있어서는 점진적으로 증가하는 파형인 톱니파를 사용하는 것이 램프 전압, 전류의 맥동을 줄여 가장 양호한 램프 전류의 파고율이 유지 가능함을 확인하였다. 또한 변조 신호의 주파수가 높을수록, 또한 변조 신호의 폭을 작게하여 주파수 변조폭을 작게 할수록 램프 전류의 파고율이 낮아짐을 알 수 있었다.

이상의 결과로서, 메탈 할라이드 램프용 고주파 변조 방식 전자식 안정기의 경우에 있어도 현재 적용되고 있는 방전 램프용 안정기의 램프 전류의 파고율 기준치인 1.9 이하를 충분히 충족 시킬 수 있음을 확인하였다.

향후 연구 과제로는 삼각파형 이외의 파형을 변조신호로 사용하는 경우에 대한 램프 구동 특성 고찰 및 보다 효과적인 새로운 변조 방식을 개발하는 것 등이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Wei Yan, et al. "Investigation on Methods of Eliminating Acoustic Resonance in Small Wattage HID Lamps", Industry Applications Conference 2000, Vol.5, pp. 3399-3406, 2000.
- [2] Laszlo Laskai, et al. "White-Noise Modulation of High-frequency High-Intensity Discharge Lamp Ballasts", IEEE Transactions On Industry Vol.5, pp. 3399-3406, 2000.
- [3] H. Peng, S. Ratanapanachote, P. Enjeti, I. Pitel, "Evaluation of Acoustic Resonance in Metal Halide (MH) Lamps And An Approach to Detect Its Occurrence" Industry Applications Conference, 1997, Thirty-Second IAS Annual Meeting, IAS '97., Vol. 3, pp. 2276 -2283, 1997.
- [4] 김기정, 박종연 "메탈 할라이드 방전과 내의 음향 공명을 감소시킨 전자식 안정기 설계" 전력전자학회 논문지, 제4권, 제5호, pp. 405-412, 1999.
- [5] 문태환 외 3인, "메탈 할라이드 램프용 고주파 변조 방식 전자식 안정기", 전력전자학회 하계학술대회논문집, pp. 589-593, 2001.
- [6] 문태환 외 3인, "메탈 할라이드 램프 안정기의 디지털 제어기 개발", 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 1113-1116, 2001.