

인버터 구동신호의 주파수 변조에 의한 HID 램프의 음향 공명 감소 기법

論 文
57-11-14

Acoustic Resonance Reduction Technique in HID-lamps by the FM Driving Signal for the Inverter

朴 鐘 演* · 崔 賢 熙** · 林 起 勝†
(Chong-Yun Park · Hyueon-Hui Choe · Ki-Seung Lim)

Abstract - This paper proposed one of various acoustic resonance reduction technique for three kinds of ceramic lamps (CDM 150, HCI-150, CMH-150). To reduce the acoustic resonance in the HID lamps, the researched results showed that the frequency modulated signal with the triangle waveform is very effective in order to drive th LCC type half-bridge inverter for HID lamp. Experimental results proved that the acoustic resonance could be rejected, if the adequate switching frequency band is selected and the driving signal frequency is modulated with a triangle waveform.

Key Words : Metal Halide Lamp, LCC Resonant circuit, FM(frequency modulation), Acoustic resonances

1. 서 론

메탈 헬라이드 램프는 높은 광 효율과 좋은 연색성, 긴 수명 등의 장점을 가지고 있기 때문에 많이 활용되고 있다.[1][2] 또한 메탈 헬라이드 램프 용 전자식 안정기는 자기식 안정기와 비교하여 에너지가 절약되고, 부피가 작으며, 무게가 덜 나가기 때문에 더욱 필요하다. 그러나 메탈 헬라이드 램프에서 발생 하는 음향 공명 현상은 빛의 플리커링, arc 불안정 상태를 야기 하며, 심할 경우에는 램프를 파손시킬 수 있기 때문에 안정기 개발에 많은 제약이 있다.

그래서 음향 공명 제거를 위한 연구가 다각도로 진행되고 있고 현재까지 발표 된 음향 공명 제거 방법은 원리에 따라 몇 가지로 나눌 수 있다. 첫 째, 음향 공명 대역을 피하여 구동하는 방법으로 실제 음향 공명이 발생하지 않는 저주파 대역(< 1kHz)를 활용하여 Ballast를 구성하며, 이 Ballast는 저주파 구동으로 인해 사이즈가 커지게 되는 단점이 있다.[3] 그리고 같은 회사라도 음향 공명 주파수 대역이 다르며, 램프의 Aging 시간에 따라 음향 공명 주파수 대역이 변하기 때문에 주의를 요한다. 또한 실제 음향 공명이 발생하지 않는 고주파 대역(> 500kHz)을 이용하여 Ballast를 할 수 있지만 너무 높은 스위칭 주파수로 인하여 능동소자에 열을 많이 발생시켜 안정기 제작을 어렵게 한다.[4][5]

둘 째, 고조파 첨가 방법이 있으며 이것은 램프로 전달되는 전력을 일정하게 유지하기 위해 기본 사인파형에 고조파를 첨가하여 구형파와 비슷한 형태를 만드는 방법이다. 하지만 첨가되는 고조파가 음향 공명 현상을 발생 시킬 수

있다.[6][7]셋 째, 고주파 구형파 구동방법은 시간에 따라 램프에 일정한 전력을 공급하기 때문에 음향 공명 현상을 피할 수 있지만 고주파수에서 구형파를 구현하려면, 스위칭 손실, EMI 노이즈 발생 등의 문제가 따른다.[8]

네 째, 램프에 인가되는 에너지를 주파수에 따라 분배하는 방법으로 램프에 인가되는 에너지를 주파수에 따라 적절히 배분하여 음향 공명의 발생 가능성을 최소화하기 위해 사용되며, 시간에 따라 램프의 구동 주파수를 변하게 하여 각각의 주파수에 대해 램프로 인가되는 전력을 음향 공명을 일으키는 임계값 이하로 낮추는 방법이다.[9][10][11][12]

이러한 방법 중에 화이트 노이즈에 의한 주파수 변조(Band-Limited White noise modulation)방법은 적정 주파수 범위에 램프 전류의 파워스펙트럼을 균등하게 분포 시켜 음향 공명을 최소화 한다. 그러나 white noise 발생 회로를 구성하는 것은 매우 복잡하여 기피 하고 있다. [9]

본 논문에서는 음향 공명을 제거하는 방법 중에 현재까지 발표 된 주파수 변조 방법을 고찰하고, 메탈 헬라이드 램프 중에서 높은 조도와 뛰어난 연색성, 그리고 긴 수명을 가지고 있는 150W-세라믹 램프에 적용함으로써 램프가 가장 안정적인 동작을 하기 위한 주파수 변조 방법을 제시하였다.

2. 150W- 세라믹(CDM,HCI,CMH) 램프의 음향 공명 주파수 계산.

음향 공명은 아크 튜브에 흐르는 전류에 의한 입력 에너지의 주기적인 변화에 의해 발생한다. 인가되는 에너지는 아크 튜브 내 압력을 변화시키고 이 압력 변화는 정재파를 만들게 된다. 아크 튜브 내에 인가되는 에너지와 정재파의 주파수가 일치하게 되면 압력 변화는 증폭되어 음향 공명 현상을 발생시키게 된다. 음향 공명 현상은 아크를 불안정하게 하고 때로는 아크 튜브를 깨지게 한다. 이때의 아크를 통해 흐르는 전류, 전압은 불규칙적임을 실험을 통해 확인할

* 正 會 員 : 江 原 大 學 電 氣 · 電 子 工 學 科 教 授 · 工 博
** 學 生 會 員 : 江 原 大 學 電 氣 · 電 子 工 學 科 碩 士 課 程
† 교신저자, 學生會員 : 江 原 大 學 電 氣 · 電 子 工 學 科 碩 士 課 程
E mail : kjk2379@naver.com
接受日字 : 2008年 6月 10日
最終完了 : 2008年 10月 2日

수 있다.[13][14]

우리가 실험에 사용한 150W-세라믹 램프는 원통형의 아크 튜브이며 압력 P의 변화는 식 (1)로 표현 할 수 있다.

$$\nabla^2 p = \frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (1)$$

아크 튜브에서의 acoustic wave equation과 음향 공명 주파수에 대한 논의는 기존 논문에 나타나 있으며[14], 음향공명이 발생할 수 있는 메탈 헬라이드 램프의 음향공명 주파수를 식(2)에서 나타 내었다.

$$f_{xyz} = \frac{C}{2} \sqrt{\left(\frac{z}{L}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_{xy}}{R}\right)^2} \quad (2)$$

여기서 C는 effective sound speed 이고 x는 number of nodal diameter, y는 number of nodal circles, z는 length of arc tube, R은 radius of arc tube이다. 표 1에 3종류 램프의 아크 튜브에 대한 radius 및 length를 나타내었고, Length는 아크가 형성되는 길이를 나타낸 값이다. 이 값들을 가지고 세 종류 램프(CDM, HCI, CMH)에 대해 110kHz까지의 계산된 음향공명 주파수와 고조파를 그림 1에 나타내었다.

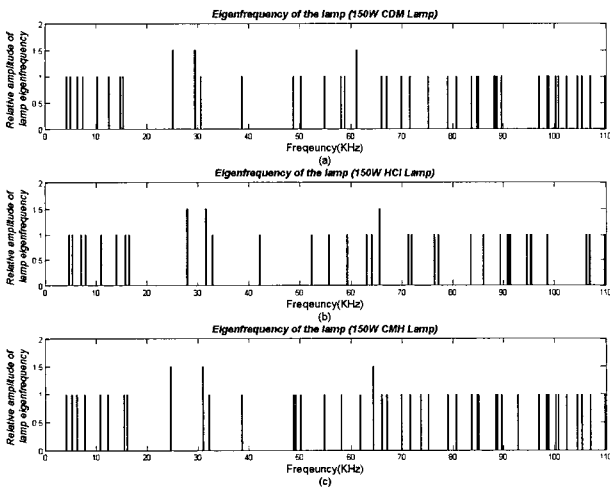


그림 1 150W-(a) CDM (b) HCI (c) CMH 램프에 대한 계산된 음향 공명 주파수.

Fig. 1 Calculated acoustic resonance frequency for 150W-(a) CDM (b) HCI (c) CMH.

그림 1에서 볼 수 있듯이 각각의 램프에 대한 음향 공명 주파수는 다르지만 거의 비슷한 대역에서 분포하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 약간의 음향공명 주파수를 포함하는 대역(slight band), 많은 공명 주파수를 포함하는 대역(serious band)으로 구분하여 중심주파수를 기준으로 FM 변조 신호에 의한 구동 효과를 MATLAB 시뮬레이션 및 실험을 하였다.

표 1 램프의 반지름과 길이.

Table 1 The radius and length of lamp

Lamp	Radius (mm)	Length (mm)
MasterColor CDM TD 150W/942 RX7s T7	5	10
POWERSTAR HCI-TS 150W/942 NDL	4.6	9
CMH 150 TD UVC 942 RX7s-24	4.7	10.2

표 2 음향 공명이 발생하는 두 가지 주파수 대역

Table 2 Two Bands of generating acoustic resonance

중심 주파수 (kHz)	대역폭 (kHz)	계산된 음향 공명 주파수 대역.
55	10	약간의 음향 공명 주파수 대역.
100	10	심한 음향 공명 주파수 대역.

3. 음향 공명 최소화 및 안정기.

3.1 주파수 변조에 의한 음향 공명 최소화 원리.

본 논문에서는 적정 주파수 범위에서 전력을 고르게 분포시켜 아크를 안정적으로 동작하게 하는 임계값(arc stable Threshold) 이하로 낮추는 방법을 도입하였으며, 이 원리는 음향 공명의 damping 과 excitation을 고려한 수식에 의존한다.[10][15][16]

그림 (2)의 (a)는 단일 주파수로 구동 시 적정 주파수에서의 램프 전력이 어떤 threshold 값을 초과함으로써 음향 공명 발생 가능성이 매우 높다는 것을 표현한다. 그림 (2)의 (b)는 주파수 변조 방법을 적용 했을 경우 램프 전력 스펙트럼 밀도가 적정 주파수 범위에 낮게 분포되어 음향 공명 발생 가능성이 매우 작아 진 것을 표현한 것이다. 이 threshold 값들은 실험으로써 확인 할 수 있으며, 각각의 램프마다 다르기 때문에 명시되기가 매우 어렵고 얼마만큼의 변조 지수(modulation index)를 사용하느냐는 항상 중요한 문제이다. 실험적으로 주파수 변조 방법에 의한 음향공명현상 제거효과를 보기위해서는 25이상의 변조 지수가 필요하다는 것이 보고되어 왔다.[10][15][16]

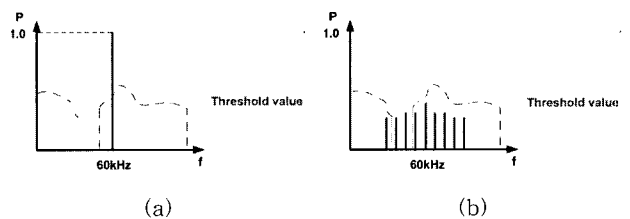


그림 2 주파수 변조를 통한 음향 공명 제거의 원리.

Fig. 2 Principle of acoustic resonance elimination by frequency modulation.

3.2 주파수 변조에 의한 램프 전류 스펙트럼.

주파수 변조된 신호가 LCC 공진 커브를 통과하지 않을 경우에 램프에 인가되는 전력은 매우 순수한 주파수 변조의 결과를 출력 한다. 주파수 변조 방법을 적용하기 위한 기본 수식을 표현하면 다음과 같다. [19][20]

$$v(t) = A_c \cos 2\pi [f_c \times t + A_m k_f \int_0^t m(\tau) d\tau] \quad (3)$$

- f_c 중심 주파수 (center frequency)
- A_m 변조 신호의 진폭 (amplitude of modulation signal)
- k_f 주파수 민감도 (sensitivity of frequency) [Hz/v]
- $m(t), (-\infty < t < \infty)$ 변조 신호 (modulation signal)

식 (3)은 주파수 변조된 출력 신호이며 최대 주파수 편이 (Δf)는 $A_m k_f$ 이고, 변조 신호($m(t)$)의 주파수를 f_m 로 할 경우, 변조지수(modulation index) β_f 는,

$$\beta_f = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (4)$$

과 같다.

식(3)의 $m(t)$ 를 정현파, 구형파, 삼각파로 설정하여 주파수 변조를 Matlab을 이용하여 시뮬레이션 한 결과는 그림 3과 같다. 이때, 캐리어 주파수 f_c 는 60kHz, 변조지수 β_f 는 30으로 설정하였다

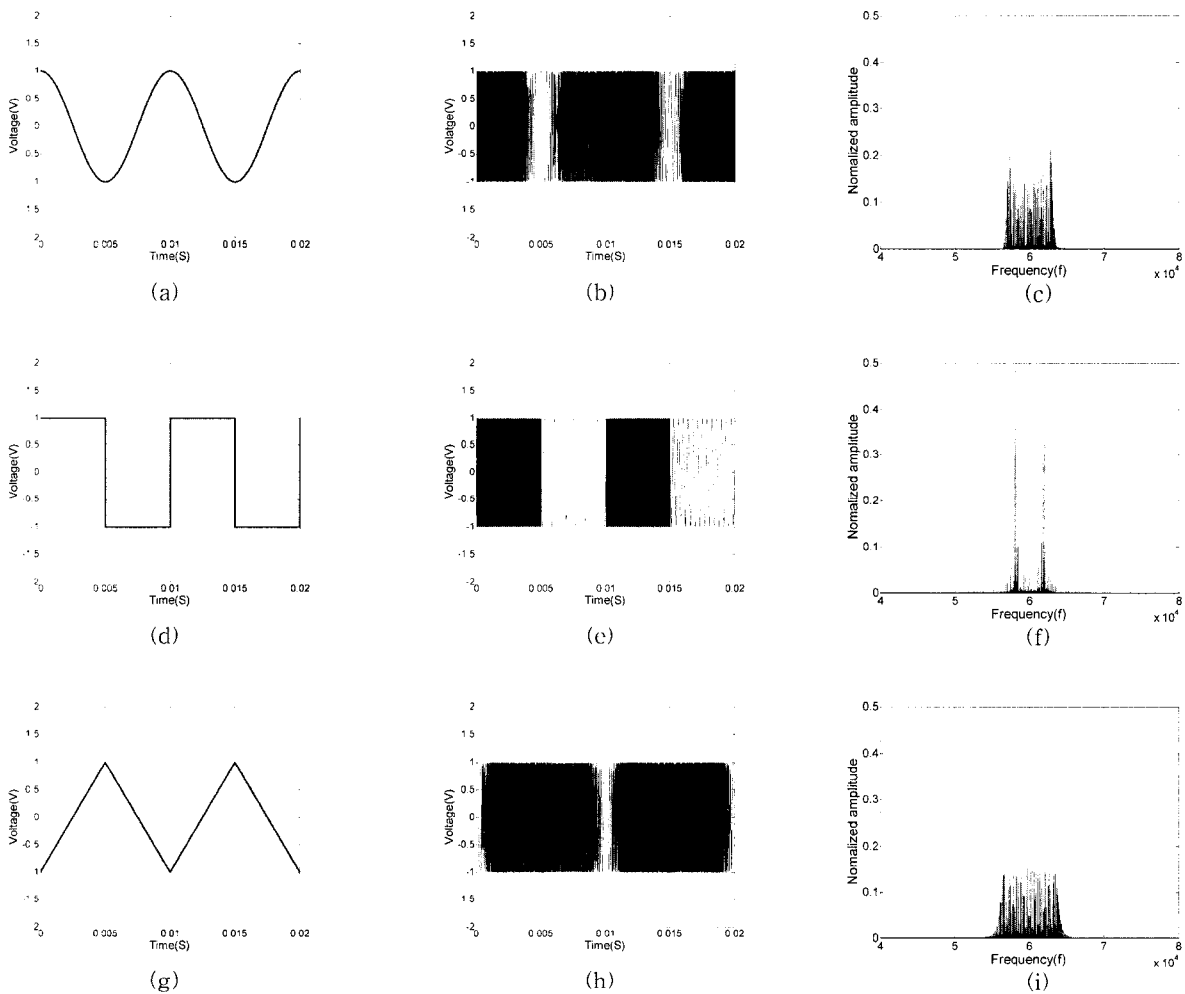


그림 3 (a) 정현파 (b) 정현파에 의해 변조된 신호 (c) 정현파에 의해 변조된 신호의 정규화된 스펙트럼 (d) 구형파 (e) 구형파에 의해 변조된 신호 (f) 구형파에 의해 변조된 신호의 정규화된 스펙트럼 (g) 삼각파 (h)삼각파에 의해 변조된 신호 (i) 삼각파에 의해 변조된 신호의 정규화 된 스펙트럼.

Fig. 3 (a) Sinusoidal wave (b) modulated signal by Sinusoidal wave (c) Normalized amplitude spectrum of modulated signal by Sinusoidal wave (d) Square wave (e) modulated signal by Square wave (f) Normalized amplitude spectrum of modulated signal by Square wave. (g) Triangle wave (h) modulated signal by triangle wave (i) Normalized amplitude spectrum of modulated signal by triangle wave.

3.3 주파수 변조를 위한 전자식 안정기.

주파수 변조된 구동회로를 적용하기 위한 전자식 안정기는 LCC 공진형의 Half-Bridge 인버터로 제작 하였으며, 이는 펄스 스타트 방식의 세라믹 램프를 점화시키기에 충분한 전압을 램프에 공급한다. 또한 Soft start-up technique을 적용하여 이그니션 시 전류의 과도한 공급을 제한하여 인버터의 신뢰성을 향상 시켰다.[21]

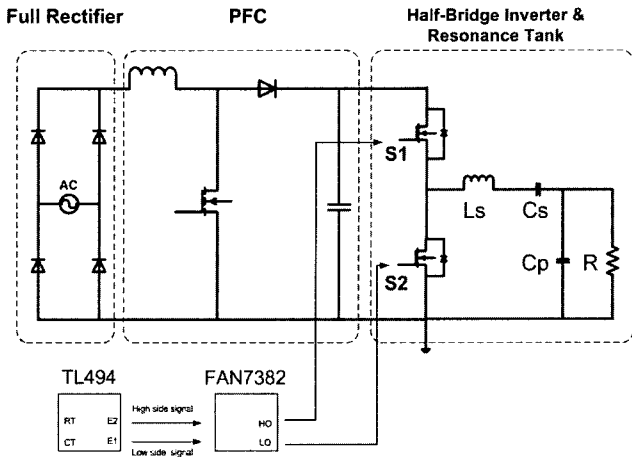


그림 4 전자식 안정기의 구조
Fig. 4 The structure of electric ballast.

그림 4는 주파수 변조를 적용하기 위한 전자식 안정기의 구조를 보여주고 있다. 전파 정류 회로, PFC(power factor collection), Half-bridge 인버터, LCC 공진 탱크로 구성되어 있다. 인버터 구동 회로는 TL494와 FAN7382로 구성하였다. LCC 공진 커브에 의한 주파수별 램프의 입력 전압은 그림 5와 같다. 램프의 입력 전압은 주파수에 따라 변하는 것을 볼 수 있다.

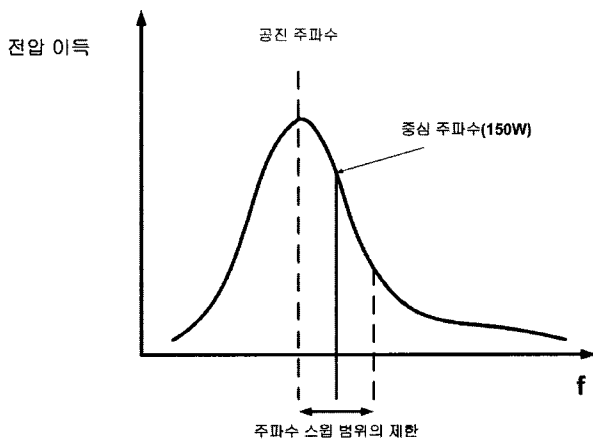


그림 5 LCC 공진 커브 특성으로 인한 주파수 스위칭 범위 제한.
Fig. 5 The limitation of Frequency sweep range with LCC resonance curve characteristic.

3.4 주파수 변조 회로 설계.

주파수 변조를 위한 회로는 그림 6과 같으며 TL494의 RT단의 전류를 제어하여 스위칭 주파수의 가변이 이루어진다.

음향 공명 주파수 대역에서 주파수 변조를 실행하였으며, 변조 신호인 정현파, 구형파, 삼각파 발생을 위한 회로를 구성하였다. 주파수 변조 방법 중에서 White noise에 의한 주파수 변조의 경우 구현이 매우 까다롭고, 그 효과가 삼각파에 의한 주파수 변조의 결과와 같기 때문에 본 논문에서는 제외시켰다.[9][10] 각 회로는 중심 주파수를 설정하기 위해 DC전압 분배를 이용 하였고, 주파수 스위칭 범위는 정현파, 구형파, 삼각파의 전압 크기를 조절하여 설정하였으며 변조 신호의 주파수는 대략 120Hz로 하였다.

주파수 변조 동안 각각의 주파수에 대해 정현파를 출력해야 하기 때문에, Ls, Cs, Cp 각각의 값은 높은 Q(첨예도)를 전제로 설계 되었으며 이 값들을 표 3에 나타내었다. 그림 5는 정출력을 하는 중심 주파수를 중심으로 공진 주파수까지 주파수 스위칭 범위에 제한이 있음을 나타낸다. Ls, Cs, Cp 값은 대략 13kHz의 주파수 밴드를 허용한다.

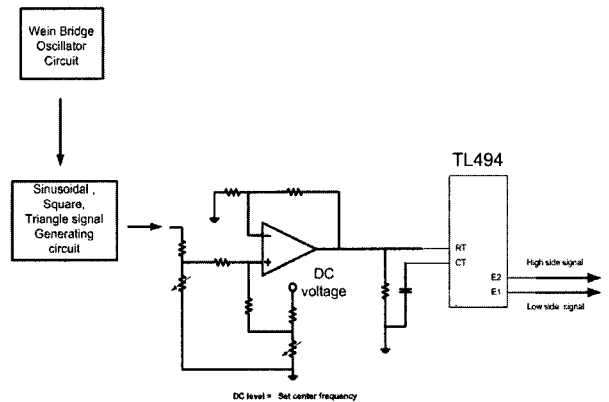


그림 6 정현파, 구형파, 삼각파 발생 회로.
Fig. 6 The generating circuit of sinusoidal, square and triangle signal.

표 3 두 가지 주파수 대역에 대한 LCC 값.
Table 3 LCC values for two frequency bands.

계산된 음향 공명 주파수 대역	주파수 스위칭 범위(kHz)	Ls (uH)	Cp (nF)	Cs (nF)
약간의 음향 공명 주파수 대역	5~65	781	1	15
심한 음향 공명 주파수 대역	95~105	525	1.5	5.5

주파수 변조의 대역폭을 결정하기 위해 TL494의 RT단에 인가해주는 전압에 따른 스위칭 주파수의 변화를 실험적으로 알아보았다. 이 실험 과정에서 $k_f(\text{Hz/V})$ 는 65000정도의 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. f_m 는 120Hz의 값을 갖기 때문에 인가되는 변조파형의 진폭에 따른 변조지수 β_f 값은 수식(4)에 의해, $\beta_f = A_m 65000/120 = 541.67 A_m$ 이고, 또한 Carson의 근사 법칙에 의하여 변조된 신호의 대역폭은,

$$BW \approx 2(\beta_f f_m + f_m) \quad (5)$$

와 같이 표현 할 수 있다.[19][20]

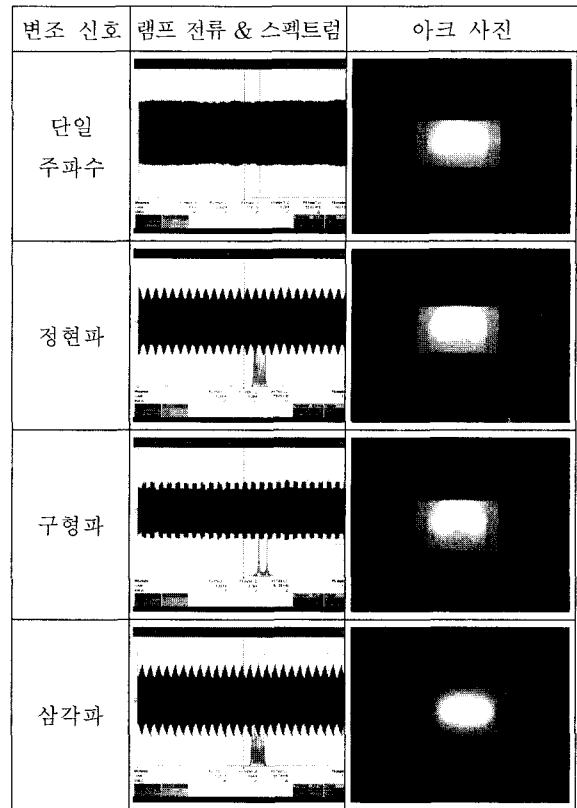
따라서 음향 공명 제거를 위해서 변조지수 β 의 하한 값은 25이상이고, 상한 값은 LCC 공진 주파수를 고려하여 55 미만이 되어야 한다. 변조신호의 진폭 $A_m = \beta_f / 541.67$ 이므로, 이며 식(6)에 의해 $6.2\text{kHz} \leq BW \leq 13.4\text{kHz}$ 이 된다.

4. 실험 결과 및 검토

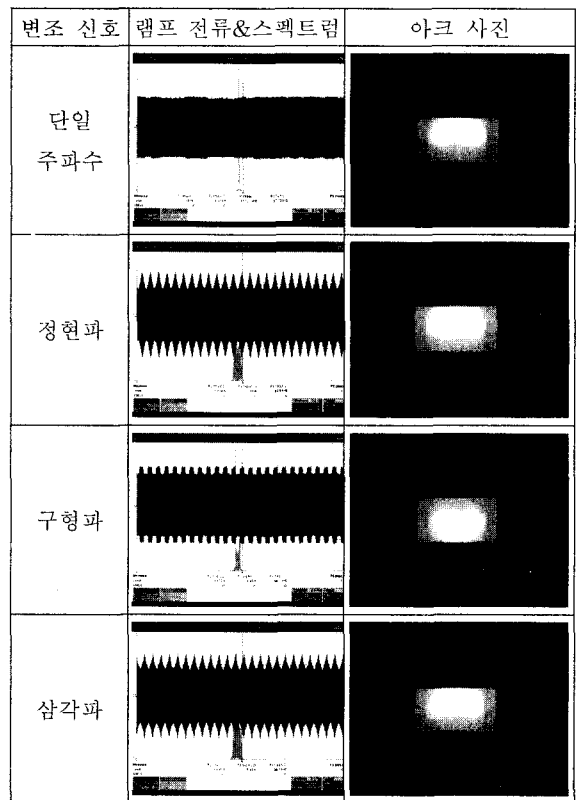
150W CDM 램프에 대해 주파수 변조를 실행한 결과는 그림 7와 같다. 각각의 그림의 (a),(b)에 나타난 램프 전류 파형의 시간 스케일은 20ms/div, 크기는 1A/div이다. 램프 전류의 주파수 스펙트럼은 주파수 스케일 10kHz/div, 크기는 0.1A/div이다. 단지 (b)에 대한 주파수 스케일만 20kHz/div이다. 램프의 전류 파형 모양과 스펙트럼이 왼쪽으로 치우쳐진 이유는 그림 5의 LCC 공진 커브에 기인한다.

4.1 150W CDM에 대한 주파수 변조 실험.

150W CDM 램프에 대한 주파수 변조의 결과가 그림 7에 나타났다. 약한 음향 공명 주파수 대역(55~65kHz)에서 59kHz 단일 주파수 구동 시 약간의 음향 공명 현상이 발생하였다. 이 대역에서 정현파, 구형파, 삼각파에 의한 주파수 변조 결과, 음향 공명 현상은 완전히 제거되었지만, 구형파에 의한 주파수 변조 결과는 약간의 음향 공명 현상을 확인할 수 있었다. 심한 음향 공명 주파수 대역(95~105kHz)에서 98kHz의 단일 주파수 구동 시 매우 심각한 음향 공명 현상이 발생하였다. 이 대역에서 구형파와 정현파에 의한 주파수 변조 결과 여전히 심한 음향 공명 현상이 발생하였고, 삼각파에 의한 주파수 변조 결과 음향 공명 현상이 현저히 감소되었음을 확인할 수 있었다. 150W HCI, CMH 램프에 대한 주파수 변조의 결과 역시 CDM 램프와 비슷한 결과를 나타냈다.



(a) 약한 음향 공명 주파수 대역(55~65kHz)



(b) 심한 음향 공명 주파수 대역(95~105kHz)

그림 7 150W-CDM 램프에 대한 실험 결과.
Fig. 7 Experimental results for 150W-CDM Lamp.

5. 결 론

본 연구에서는 3종류의 150W 세라믹 램프(CDM, HCI, CMH)에 대한 음향 공명 현상을 감소시킬 수 있는 기법을 제안하기 위해 LCC 공진 탱크를 이용한 Half-bridge 타입의 안정기구조로 실험하였다. 본 논문에서 도입된 음향 공명 제거 방법은 램프의 구동 주파수를 일정 대역 내에서 수시로 변화 하도록 함으로써 램프 전력이 각각의 주파수에서 음향 공명 임계값을 초과하지 않도록 하는 FM 기법이다.

이러한 음향 공명 현상의 감소 효과를 입증하기 위해서, 단일 구동 주파수에서 음향 공명이 미소하게 일어나는 경우 음향 공명 현상이 완전히 제거 되었고, 심각하게 음향 공명이 발생하는 경우에도 삼각파에 의한 주파수 변조 방법을 이용하면 음향 공명 현상이 현저히 감소됨을 확인 하였다. 따라서 음향 공명 대역을 계산 한 후 음향 공명이 없는 대역 또는 약간 존재하는 대역 내에서 구동주파수를 주파수 변조 시킴으로써 음향 공명 현상을 제거 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] J.R.Coaton and A.M,Marsden, Lamps And Lighting , London.U.K : Arnold, 1997, pp.263-281

[2] W.M.Keeffe, "Recent progress in metal halide discharge - lamp research", Proc .Industry electro eletronic .pt. A, vol. 127, No. 3, pp. 181-189, April. 1980.

[3] Miaosen Shen, Zhaoming Qian, Fang Zheng Pen, "Design of a Two-Stage Low-Frequency Square-Wave Electronic Ballast for HID Lamps", IEEE Transations on Industry Applications, Vol. 39, No. 2, March/April 2003

[4] R.Red andJ.D.Paul,"A new high-frequency and high-efficiency electronic ballast for HID lamps: Topology, analysis, design and experimental results,", IEEE APEC'99, Vol. 1, pp.486-492, March 1999.

[5] J. Garcia, J. Cardesin, J. Ribas. A. J. Calleja, E. L. Corominas, M. Rico -Secades and J .M. Alonso, "Using high frequency current square waveforms to avoid acoustic resonances in low wattage metal halide lamps," IEEE OESC'04 , pp. 2799-2904, 2004

[6] J.M.Alonso, Javier Ribas, Manuel Rico-Secades, J.Garcia and J.Cardesin, "Evaluation of high-frequency sinusoidal waveform superposed with 3rd harmonic for stable operation of metal halide lamps," IEEE industry Applications Society, Conference, Vol. 2, pp. 1483-1488, 2002.

[7] Jorge Garcia-Garcia, Jesus Cardesin, Javier Ribas, Antonio J.Calleja, Manuel Rico -Secades, Jose M.Alonso, "Minimization of Acoustic Resonances in HID Lamps: Analysis and Comparison of Power Harmonics Content in High Frequency Non-Resonant Inverters", IEEE Transation on Power electronics.

Vol. 20,No. 6, pp. 1467-1479, November 2005.

[8] M.A.Ponce, A.Lopez, J.Correa, J.Arau,and, J.M.Alonso, "Electronic ballast for HID lamps: Topology, analysis ,design and experimental results," in Proc.IEEE Applied Power Electronics Conf.,vol.2,2001,pp.658-663.

[9] Laskai Laskai, Prasad N. Enjeti and Ira J. Pitel, "White noise modulation of high frequency high-intensity discharge lamps ballasts" , IEEE Transation on Industry Applications, Vol. 34, No. 3,,pp. 597-604. May/June 1998.

[10] Wei Yan, Y.K.E.Ho, S.Y.R.Hui, "Stability Study and Control Methods for Small-Wattage High-Intensity-Discharge(HID)Lamps", IEEE Transaction on Industry application, Vol. 37, No. 5,pp. 1522-1530, September/October 2001.

[11] C.-A.Cheng, T.-J.Liang, R.-L.Lin and J.- F. Chen, "Design and implementation of frequency-modulated electronic ballast for metal-halide lamps", IEE Proceedings Electric Power Application.,Vol. 153, No. 5, pp. 702-710, September 2006.

[12] T.-J.Liang, C.-A.Cheng, J.-F.Chenand R.-L.Lin, "Single-stage high-power-factor electronic ballast with complex frequency modulation for HID lamps", IET Proceedings Electric Power Application, pp. 377-386. 2007, 1, (3)

[13] Wei Yan, Y.K.E. Ho, Member, IEEE, S.Y.R. Hui, Senior Member, IEEE, 'Investigation on Methods of Eliminating Acoustic Resonance in Small Wattage High-Intensity-Discharge (HID) Lamps'

[14] Witting, H.L.: 'Acoustic resonances in cylindrical high-pressure arc discharges', J. Appl. Phys., 1978, 49, (5), pp. 2680 - 683

[15] J.W.Denneman, "Acoustic resonances in high frequency operated low wattage metal halide lamps," Philips J.Res, Vol.38, pp.263-272,1983.

[16] J. de Groot and J. van Vliet, The High-Pressure Sodium Lamp. Deventer, The Netherlands: Kluwer, 1986

[17] Jo Olsen and Warren P. Moskowitz. "Optical Measurement of Acoustic Resonance Frequencies in HID Lamps" IEEE Industrial Applications Society Annual Meeting New Orieans, pp. 2263-2268, October 1997.

[18] Chr. Meyer, H. Nienhuis, "Dischage Lamps", Philips Technical library Kluwer Technische Boeken B.V. Deventer-Antwerpen, 1998

[19] Martin S.Roden,"Analog and Digital Communication Systems"

[20] B.CALSON, "Communication Systems", 3rd ed, McGraw-Hill,New York, 1986

[21] 임병노, 장목순, 임기승, 박종연, "시동전류 제한을 통한 메탈헬라이드 램프용 안정기의 최적 설계", 대한전기학회지, Vol. 57, No. 3, pp.409-415, March 2008.

저 자 소 개



박 종 연 (朴 鐘 演)

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대 전기 공학과 졸업. 1990년 경북대 대학원 졸업 (석사). 1984년 경북대 대학원 졸업(박사). 1977~1984년 울산공대 조교수, 부교수. 1984년~현재 강원대 전기전자 정보통신공학부 교수

Tel : 033-250-6292

Fax : 033-241-3775

E-mail : cypark@kangwon.ac.kr



최 현 희 (崔 賢 熙)

1982년 5월 23일생. 2008년 강원대학교 전기전자정보통신공학부 전기전자 전공 졸업. 2008년~현재 동 대학원 전기전자 공학과 석사과정

Tel : 033-682-3803

Fax : 033-241-3775

E-mail : love2mani@naver.com



임 기 승 (林 起 勝)

1982년 9월 13일생. 2008년 강원대학교 전기전자정보통신공학부 전기전자 전공 졸업. 2008년~현재 동 대학원 전기전자 공학과 석사과정

Tel : 033-250-6292

Fax : 033-241-3775

E-mail : kjk2379@naver.com