

DBI 구조의 전자식 안정기를 이용한 70W CDM 램프용 조광제어 시스템 개발

Development of Dimming control system for 70W CDM Lamp by Electronic Ballast of DBI structure

최 왕 섭* 유 진 완** 박 중 연***
Choe, Wang-Seop Yoo, Jin-Wan Park, Chong-Yun

Abstract

Ceramic metal halide lamps have been widely used due to long lifetime, high luminous efficiency and good colour rendering. In this paper, we developed dimming control system of electronic ballast for 70W ceramic metal halide lamp by using 1-10V interface. The proposed electronic ballast is consists of EMI filter, Full-wave rectifier, Active PFC, DBI(Dual Buck Inverter), Igniter and control circuit. It enables to supply both low-frequency rectangular wave voltage and current to the lamp by using DBI(Dual Buck Inverter) structure. By using 1-10V interface, the system that able to dimming the lamp is demonstrated by P-spice simulation and experimental results.

키워드 : 세라믹 메탈할라이드 램프, 조광제어, DBI(Dual Buck Inverter)

Keywords : Ceramic Metal Halide Lamp, Dimming, DBI(Dual Buck Inverter)

1. 서론

최근 정부는 녹색 IT성장이라는 구호 아래 조명에 쓰이는 소비전력을 감소시키기 위해 친환경 및 고효율 조명광원으로 각광받고 있는 LED 램프의 사용을 적극 권장하고 있다. 하지만 현재 LED는 높은 광 효율 특성을 갖추어도 불구하고 타 조명 광원에 비해 가격이 매우 비싸고 발열에 따른 LED 자체의 특성변화로 인해 정전류 구동을 위한 회로를 필요로 하고 있다[1]. 효율적인 방열 설계와 정전류 구동을 위한 연구가 진행되고 있지만 높은 신뢰성을 갖춘 다른 램프에 비해 경쟁력이

떨어진다. 반면 CDM(필립스社 세라믹 메탈 할라이드 램프) 램프는 다른 고압 방전등에 비해 동일한 전력에서 높은 광 효율, 높은 연색성, 긴 수명 및 높은 광속 유지율을 가지고 있으면서 가격도 상대적으로 낮아 우수한 실내·외 조명등으로서 큰 주목을 받고 있다[2][3]. CDM 램프는 석영보다 내열성 및 내 halide성이 뛰어난 투과성 Alumina ceramic을 아크튜브에 이용하여 램프의 특성을 향상시켜 우수한 색온도 및 연색성 유지특성을 가질 수 있게 하였다[4]. 하지만 CDM 램프는 높은 점등 전압을 필요로 한다는 것과 음향공명 발생이라는 치명적인 단점을 가지고 있다. 정상 상태에서 발생하는 음향 공명 현상은 빛의 플리커링, 방전관의 arc 불안정을 불러오며 현상이 심할 경우에는 램프가 파손될 수 있다[5][6]. 따라서 램프를 구동시키기 위한 안정기는 높은 이그니션 전압을 발생시키고 음향공명을 제거하기 위한 많은 기술들을 필요로 한다. 특히 음향공명 현상은 가장 해결하기

* 강원대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정

** 강원대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정

*** 강원대학교 전기전자공학과 교수, 공학박사, 교신 저자

힘는 부분으로 여러 방법의 음향공명 현상을 제거하는 기술이 소개되어 왔다[7]. 현재는 램프에 저주파수의 구형파 전압, 전류를 인가하여 일정한 전력을 램프에 공급하는 기술이 가장 널리 쓰이고 있다. 또한 조명에 사용되는 에너지를 절약하기 위한 목적으로 조광제어가 가능한 전자식 안정기의 보급이 필요하다.

본 논문에서는 램프에 저주파·구형파 전압, 전류를 공급하여 음향공명을 제거하고 DBI(Dual Buck Inverter)구조의 전자식 안정기를 개발하였다.[8] 그리고 에너지 절감을 위해 램프의 출력전력을 제어하기 위한 조광제어 시스템을 설계하였다. 이는 현재 형광등 조광제어에 사용되는 시스템을 범용으로 사용할 수 있도록 하였다.

2. 전자식 안정기

2.1 전자식 안정기의 구조

개발된 전자식 안정기의 구조는 그림 1과 같다. 전자식 안정기는 EMI 필터, 전파정류기, 능동 PFC, DBI(Dual Buck Inverter), Igniter 및 제어회로와 램프로 구성되어 있으며 제어 회로는 DBI(Dual Buck Inverter)의 스위칭 동작 제어 및 램프의 점등 상태를 판단하는 역할을 담당한다.

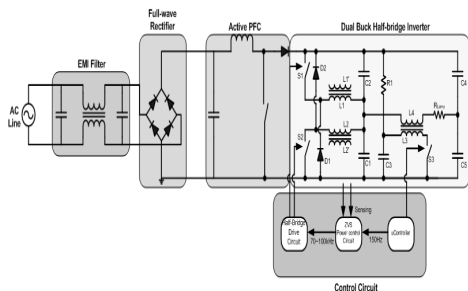


그림 1 전자식 안정기 구조

EMI 필터부터 능동 PFC까지는 일반 전자식 안정기 구조와 같다. 하지만 DBI 구조를 사용함으로써 램프에는 저주파·구형파의 전압 및 전류가 공급될 수 있도록 하였다. 이는 기존의 3-stage 구조를 2-stage를 이용하여 구성함으로써 회로의 사이즈 및 스위치의 개수를 줄일 수 있도록 하였다. 따라서 본 논문에서는 DBI(Dual Buck Inverter), Igniter, 제어 회로, 조광제어 시스템 대해 설명한다.

2.2 Igniter

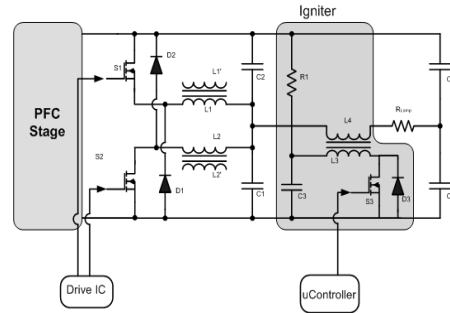


그림 2 Igniter와 DBI(Dual Buck Inverter) 구조

메탈 할라이드 램프는 고압 방전 램프의 일종으로 램프를 점등하기 위해서는 방전관의 형태에 따라 1~3kV의 높은 전압이 필요하다. 세라믹 튜브를 갖는 세라믹 메탈 할라이드 램프는 기존의 메탈 할라이드 램프보다 더 높은 전압이 요구된다. 본 논문에서 사용한 세라믹 메탈 할라이드 램프인 CDM 70W 램프를 점등하기 위해서는 약 3kV 이상의 전압이 필요하다. 따라서 별도의 Igniter를 이용해 램프에 높은 전압을 인가하게 된다[9].

회로에서 사용되고 있는 Igniter의 구조는 그림 2에 표시되어 있는 부분과 같다. 고전압의 발생 원리는 다음과 같다. 스위치 S3이 turn on 하게 되면 C5에 충전되어 있던 전하가 L3과 S3를 통해 순간적으로 방전하게 되어 L3에 높은 전압 VL3가 발생된다[10].

$$V_{L3} = L3 \frac{di}{dt} \quad (1)$$

이 때 L3과 C5의 공진 주파수를 갖는 damping 전압이 L3에 발생하게 되는데 이는 T1을 통해 2차 측인 L4에 높은 전압이 발생되도록 한다. 이렇게 발생된 높은 전압은 램프 양단 전압으로 인가되어 방전관의 절연 파괴를 일으켜 아크를 형성하게 된다. R1은 C5가 방전 후 다시 충전되는 시간을 제어하는 저항으로 이그니션 펄스 발생 주기를 고려하여 결정해야 한다. 또 L4의 등가 임피던스는 정상상태인 150Hz의 주파수에서 램프의 등가 저항보다 작도록 설계되어야 한다.

2.3 Dual Buck Inverter

DBI(Dual Buck Inverter)의 구조는 그림 2와 같다[11]. DBI(Dual Buck Inverter)는 Buck converter 2개를 결합하여 inverter를 구성한 형태이다. DBI의 스위치 S1과 S2의 스위칭 동작은 다음 그림 3과 같다.

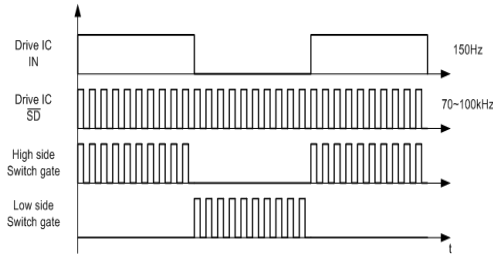


그림 3 DBI(Dual Buck Inverter) 스위칭 파형

S1과 S2의 상보적인 스위칭 주파수는 150Hz 이다. 이 때 150Hz의 반주기 동안 S1이 On 되어 있을 경우 S1이 70~100kHz의 스위칭 동작을 반복하여 램프로 공급되는 전류를 제어하게 된다. S2가 On 되어 있는 150Hz의 반주기 구간에서도 동일하게 S2가 70~100kHz의 스위칭 동작을 반복하게 된다. 이와 같이 70~100kHz의 스위칭을 통해 발생하는 전류의 리플은 L1, L2, C1, C2의 LC 필터에 의해 제거되고 150Hz 성분의 평균값만 램프로 전달되므로 저주파·구형과의 공급으로 인해 음향공명 현상을 제거 수 있다.

S1이 동작할 때 S2는 Off 상태이기 때문에 S1이 On일 때 DBI(Dual Buck Inverter)는 그림 4와 같이 등가회로 할 수 있다.

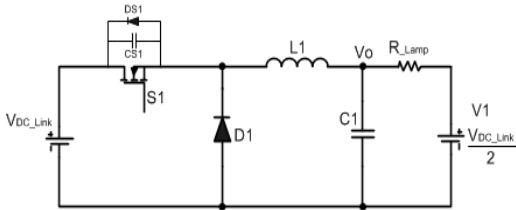


그림 4 DBI(Dual Buck Inverter) 등가회로

본 논문에서 사용된 전자식 안정기는 자체적으로 발생시키는 열을 최소화하기 위해 ZVS(Zero Voltage Switching)의 조건을 만족하도록 설계되었다[8]. 70W 세라믹 메탈 할라이드 램프를 위한 L1과 C1을 결정하기 위한 조건은 다음과 같다.

표 1 Dual Buck Inverter 설계 조건

Dual Buck Inverter 설계 조건	값
f_s (Switching frequency)	80kHz
Duty	0.725
V_o (출력전압)	290V
I_o (출력전류)	1A
Δv_o (전압리플)	20V

Duty는 램프 전압을 고려하여 Buck converter의 출력 전압에 대해 식 (2)를 이용해 결정 하였다.

$$V_o = DV_{DC-Link} \quad (2)$$

Buck converter의 L에 흐르는 전류가 critical mode일 때 L 전류의 평균치 I_{LB} 는 다음 식 (3)과 같다.

$$I_{LB} = I_o = \frac{D' V_o T_s}{2L1} \quad (3)$$

DBI(Dual Buck Inverter)가 ZVS(Zero Voltage Switching)을 하기 위해서는 L1의 전류가 음의 값을 갖는 구간이 존재해야 하므로 L1의 값은 식 (4)를 만족해야 한다.

$$L1 \leq \frac{D' V_o T_s}{2I_o} \quad (4)$$

Buck converter의 커패시터 C1의 설계 식은 (5)와 같다.

$$C1 \leq \frac{D' V_o T_s^2}{8L1 \Delta v_o} \quad (5)$$

식 (4)와 (5)를 이용하여 구한 L1과 C1의 값은 각각 498 μ H, 156nF으로 실제 사용된 값은 L1은 400 μ H, C1은 68nF이다. 그림 4의 L2와 C2는 각각 L1, C1과 같은 값을 갖는다.

2.4 Dual Buck Inverter 제어 회로

그림 5는 DBI(Dual Buck Inverter)의 스위치를 제어하는 기본 제어 회로이다[8][13].

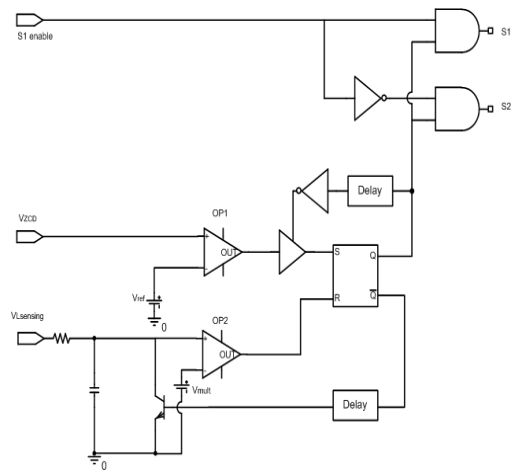


그림 5 제어회로 블록 다이어그램

DBI를 제어 하기 위한 입력 신호는 3개이다. S1 enable 신호는 High side switching 또는 Low side switching을 결정하는 신호로써 AND gate와 NOT gate를 통해 스위치를 제어한다. 스위치의 Turn On 시점을 결정하도록 전압을 센싱 받아 출력 된 VZCD는 Vref와 비교된 후 buffer를 통해 RS latch의 Set 단자에 입력되어 스위치를 Turn On 하게 된다. 그리고 스위치의 Turn Off 시점을 결정하도록 Buck converter의 L에 흐르는 전류를 Transformer를 통해 전압 VLsensing으로 센싱 받아 VLsensing을 전압원으로 한 적분기의 출력을 Vmult와 비교하여 RS latch의 Reset 단자에 입력되어 스위치를 Turn Off 하게 된다. RS latch의 출력이 연결된 delay는 두 개의 입력을 모두 0으로 만들어 현재의 Q 값을 유지할 수 있게 해준다. Q는 적분기의 TR의 base에 연결되어 적분기 출력 전압을 방전시키는 신호로 쓰인다.

3. 조광 제어 시스템

3.1 램프 출력 전력 제어

램프의 출력 전력을 제어하는 방법은 그림 5의 제어회로에서 Vmult 전압을 가변함으로써 DBI의 스위치의 고주파스위칭 주파수를 제어하여 램프에 흐르는 전류를 조절하는 방식이다[12].

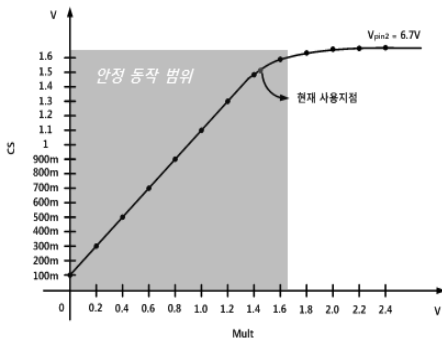


그림 6 Vmult vs Vcs

그림 6은 DBI 제어회로의 Vmult를 변화에 따른 Vcs를 측정 한 결과이다. Vmult가 작아짐에 따라 적분기 출력인 Vcs에 충전되는 최대 전압이 감소되는 것을 나타낸다. 이는 인버터의 L1 또는 L2를 통해 흐르는 전류의 감소를 의미하며 램프에 공급되는 전류가 감소한다는 것을 알 수 있다. 이 특성을 이용하여 램프 출력을 제어할 수 있는 조광제어 시스템을 설계하였다.

3.2 시간대별 조광제어 시스템

전자식 안정기의 조광제어 시스템은 다음과 같이 구성되었다.

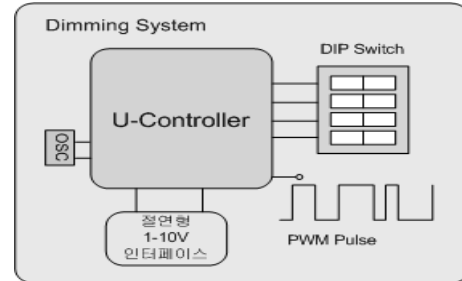


그림 7 조광제어 시스템 블록도

조광제어 시스템은 Vmult의 값을 제어하기 위한 방법으로 μ -controller의 PWM을 이용하였다. 발생된 PWM 파형은 RC 저역통과필터를 통과하여 DC 전압의 형태로 Vmult로 공급된다. 현재 가로등이나 주차장등에 사용되고 있는 전자식 안정기는 계속 100%의 출력을 내고 있다. 이는 에너지의 과소비를 얘기하며 인적이 드문 새벽시간에 램프 출력을 60% 정도로 유지하여 에너지 절감효과를 가져올 수 있다. 이러한 방법으로 시간을 설정하여 원하는 시간에 램프를 디밍 할 수 있는 시간대별 조광제어 시스템을 구성하였다. 조광제어 시스템의 구성은 그림7과 같다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 4-bit의 DIP 스위치를 이용하여 총 16가지 경우의 상태를 μ -controller에서 입력으로 받게 된다. 이 스위치를 이용하여 램프가 점등된 후 1~12시간 후 까지 지정된 시간 이후에 디밍이 되도록 구성하였다.

3.3 1-10V 인터페이스 조광제어 시스템

1-10V 인터페이스 조광제어 시스템은 1-10V의 아날로그 전압을 이용하여 전압의 레벨에 따라 램프의 출력 전력을 제어하는 방법이다. 이는 현재 형광등용 전자식 안정기 디밍에 사용되는 시스템으로 이를 그대로 CDM 70W용 전자식 안정기에 이용할 수 있도록 설계하였다. 램프의 출력을 조절하기 위한 1-10V의 전압 변화를 제어회로의 μ -controller가 인식할 수 있는 전압 범위인 5V 이하로 스케일링하기 위한 회로를 구현하였다. 회로는 그림 8과 같이 구성하였다.

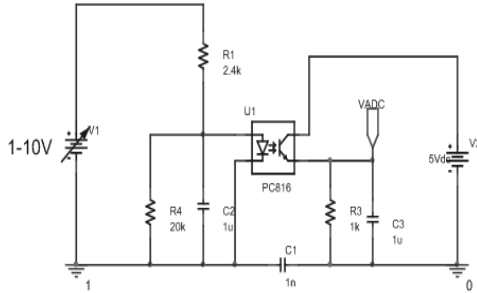


그림 8 1-10V 인터페이스 회로

이 회로는 시스템의 신뢰성을 높이기 위하여 포토커플러를 사용하여 절연될 수 있도록 하였다. 뿐만 아니라 1-10V 입력전압의 변화에 따라 VADC의 전압이 선형성을 유지할 수 있도록 하였고 시뮬레이션을 통해 선형 특성을 만족하는 것을 확인하였다.

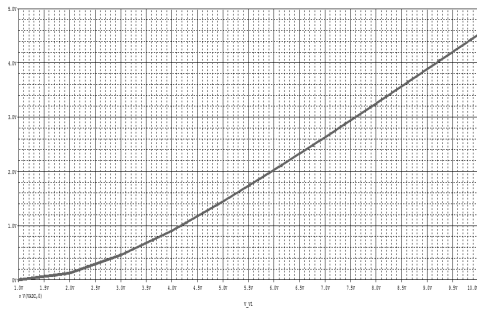


그림 9 그림 8의 시뮬레이션 파형

이렇게 5V 이하로 스케일링 된 신호를 μ -controller의 입력으로 받아서 A/D 컨버터를 거쳐 게 된다. 디지털로 변환된 값을 이용해서 1-10V 범위로 입력전압이 바뀔 때 램프의 출력 전력이 선형적으로 가변될 수 있도록 하였다.

4. 시뮬레이션 및 실험결과

본 논문에서 제안한 전자식 안정기에 사용된 부하는 Philips社 - 70W CDM 램프를 사용하였다. 또한 Active PFC를 사용함으로써 DBI의 입력으로는 400V의 DC 전압을 공급하였다. 사용된 램프의 정격은 다음 표 2에 나타내었다.

표 2 CDM 70W 램프의 정격

정격 전압	정격 전류	출력 전력
90V	1A	70 W

그림 10은 위의 2.3절에서 설계된 소자 값으로 P-spice를 이용하여 시뮬레이션 한 결과이다.

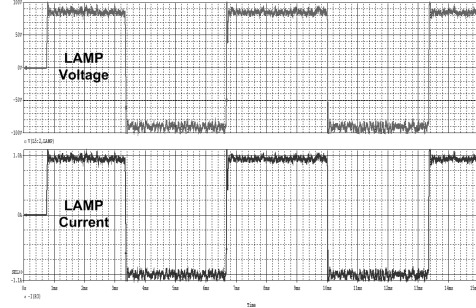


그림 10 램프 전압 및 전류 시뮬레이션 파형

시뮬레이션 결과 실제 램프에는 150Hz의 저주파·구형파의 전압과 전류가 공급되는 것을 볼 수 있다.

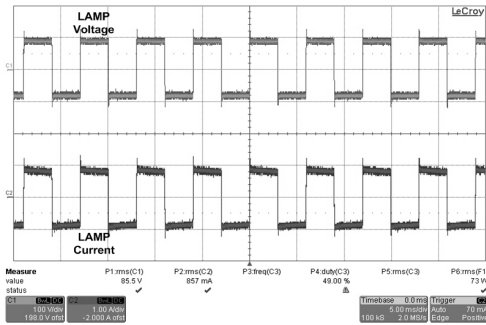


그림 11 정상 상태의 램프 전압 및 전류(100%)

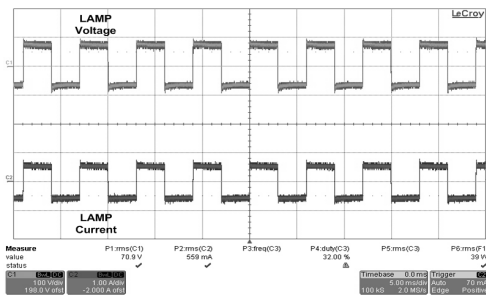


그림 12 디밍 상태의 램프 전압 및 전류(60%)

그림 11은 정상 상태의 램프 전압 및 전류의 파형이다. 이는 그림 10의 시뮬레이션 결과와 같이 150Hz의 저주파·구형파의 전압과 전류를 공급받고 있다.

그림 12는 디밍된 상태의 램프 전압 및 전류의 파형이다. 정상 상태에서의 파형과 비교하였을 때

디밍하였을 경우에도 특성의 변화가 없는 것을 알 수 있다.

다음 그림 13은 CDM 70W 램프를 1-10V의 전압을 이용하여 디밍하였을 때 이 전압의 레벨에 따른 출력 전력의 변화를 보여주고 있다.

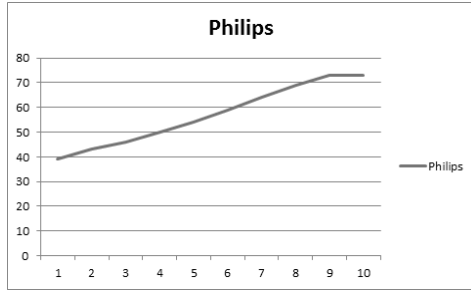


그림 13 1-10V 전압에 따른 램프 출력 전력

그림 13에서 볼 수 있듯이 본 논문에서 제안된 1-10V의 전압 레벨 변화에 따른 램프의 출력 전력이 선형적으로 변화하는 것을 알 수 있다. 램프의 광량이 전력에 비례하여 변화하기 때문에 램프의 전력을 선형적으로 변화하게 함으로써 빛의 양을 선형적으로 제어할 수 있게 된다.

5. 결론

본 논문에서는 세라믹 메탈 할라이드 램프인 CDM 70W 램프용 전자식 안정기와 조광제어 시스템을 설계하였다. 전자식 안정기는 EMI 필터, 전파정류기, 능동 PFC, DBI(Dual Buck Inverter), Igniter 그리고 DBI를 제어하기 위한 제어회로로 구성되어 있다.

DBI 구조의 인버터를 사용함으로써 램프에는 저주파·구형파의 에너지를 공급하게 되어 음향공명현상을 제거하였다. 또한 실제 인버터는 70~100kHz의 고주파로 동작하기 때문에 인덕터의 사이즈를 줄일 수 있는 장점을 갖고 있다.

전자식 안정기를 제어하기 위한 제어회로의 μ -controller를 사용하여 램프의 전력을 제어할 수 있는 조광제어 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 현재 형광등을 디밍하기 위해 사용하는 1-10V의 아날로그 제어 시스템을 적용할 수 있도록 설계하였다.

본 연구를 통해 범용성이 높은 조광제어 시스템을 제안함으로써 CDM 조명의 에너지 절감효과 상승에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2011-C6150-1101-0002)

참 고 문 헌

- [1] LUMILEDS, *power light source LUXEON[®] K2 with TFFC Datasheet*
- [2] J. R. Coaton and A. M. Marsden, *Lamps And Lighting, London.U.K : Arnold*, pp.263-281, 1997.
- [3] W. M. Keeffe, “Recent progress in metal halide discharge - lamp research”, *Proc. Industry electro electronic. pt. A, vol. 127, No. 3, pp.181-189, April. 1980.*
- [4] 노재엽, 황명근, 신상욱, 이세현, 이진우 “150W급 세라믹아크튜브에 관한 연구”, *한국 조명전기설비학회 2008 춘계학술대회 논문집*, pp.121-125, 2009, 05.
- [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] 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 Transaction on Power electronics. Vol. 20, No. 6, pp.1467-1479, November. 2005.*
- [7] Miaosen Shen, Zhaoming Qian, Fang Zheng Peng, “Design of a Two-Stage Low-Frequency Square-Wave Electronic Ballast for HID Lamps”, *IEEE Trans. Ind Applicat*, vol. 39, pp. 424-430, MARCH/APRIL 2003.
- [8] 박종연, 신동석, 임기승, 최현희, “ZVS을 이용한 DB하프브리지 인버터 구현 방법”, *대한전기학회지*, Vol. 58, No. 4, pp.756-762, April 2009.
- [9] PHILLIPS, *Lamps & Gear (High Intensity Discharge Lamps)*
- [10] 신동석, “Dual-Buck 하프브리지에 의한 세라믹 MHD 램프용 전자식 안정기에 관한 연

산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제31권 B호, 2011.

DBI 구조를 이용한 70W CDM 램프용 전자식 안정기 설계 및 조광제어 시스템 개발

구”, 강원대학교, 석사 학위 논문, 2009.

- [11] Zhuang Zuo, Dianguo Xu, Xiangjun Zhang, Hankui Liu, “Design of a Novel Low-Frequency Square-Wave Digital Electronic Ballast for HID Lamps”, *Power Electronics Specialists Conference, PESC 2007*, pp.3112-3116, June 2007.
- [12] 최현희, “세라믹 메탈 램프용 전자식 안정기의 정 출력 제어회로 설계”, 강원대학교, 석사 학위 논문, 2010.
- [13] 박종연, 최왕섭, “DBI 구조를 이용한 35W 세라믹 메탈 할라이드 램프용 전자식 안정기의 설계”, *조명전기설비학회논문지*, Vol. 24, No. 9, pp.1-7, September 2010.