

방전램프의 역률 보상용 콘덴서를 이용한 저가형 LED 구동회로

(Low-Cost LED Driver Circuit using Power Factor Compensation Capacitor of Discharge Lamp)

고재하* · 황정구 · 박성미 · 박성준**

(Jae-Ha Ko · Jung-Goo Hwang · Seong-Mi Park · Sung-Jun Park)

Abstract

Now it's a trend to install a series of white fluorescent light and orange high pressure sodium lamps because tunnel lighting should be opaque to the safety of drivers from soot, dust, humidity, and fog. Also fluorescent lighting is replaced to LED due to the fact that it improves amenity and object recognition and LED lighting has gradually been improved its nature. In this paper, we have implemented the circuits of the yellow series of high-pressure sodium lamps and white series of LED lights at one board to improve the transparency and recognition of objects. It is possible for inductive high-pressure sodium lamps and the capacitive LED drivers to circuit without power factor compensation. Two circuit parts share only a small number of parts, so low cost LED drivers compared to conventional ones are possible. Therefore, the implementation of the hybrid lighting with high-pressure sodium lamps and LED lights that can be driven at the same time by one driving circuit is possible. The LED capacitive power factor was 0.91 while individually implemented the sodium lamp power factor was 0.98. It shows not only the 2% improvement of hybrid forms but also the efficiency and THD.

Key Words : Discharge Lamp, Series Capacitor, Power Factor, Hybrid Led Driver

* 주저자 : 전남대학교 전기공학과 박사수료
** 교신저자 : 전남대학교 전기공학과 교수
* Main author : Doctor completion, Department of Electrical Engineering, Chonnam National University
** Corresponding author : Professor, Department of Electrical Engineering, Chonnam National University
Tel : 062-530-0629, Fax : 062-530-1749
E-mail : k2173@naver.com
접수일자 : 2013년 1월 7일
1차심사 : 2013년 1월 11일
심사완료 : 2013년 2월 24일

1. 서 론

지구 온난화 따른 이산화탄소 배출을 줄이기 위하여 에너지 절감이 추진되고 있으며, 에너지절감의 일환으로 고효율 LED 조명이 기존 램프류(백열등, 형광등 등)를 대체하고 있지만, LED 조명의 특성상 고연색성, 다양한 색온도, 빛 투과성 등 기존 조명을 대치할 수준 까지 발달하지 못하여, 대부분 조명 부분에서 아직까지도 기존 램프가 사용되고 있는 상태이다. 특히 조명

빛이 매연과 먼지, 습도, 안개 등을 잘 투과하여 운전자의 시야를 밝혀주어야 하는 터널 조명에서는 빛 투과성이 좋은 등황색계열의 고압나트륨램프를 여전히 사용하고 있으며, 쾌적성 및 물체인식을 위하여 백색 광원인 형광램프를 사용하고 있다[1].

LED 조명의 우수한 효율 때문에 터널과 같이 쾌적성 및 물체인식을 위한 백색 등이 요구되는 부분에서 형광등 대체용으로 적용이 활발히 진행되고 있다. 그러나 고효율 장수명인 LED 조명을 구동하기 위해서는 공급되는 AC220V를 DC전압으로 바꾸는 인버터와 LED조명 부하에 맞게 전압을 조절하는 컨버터가 필수적인 상태로서, 지속적인 LED 패키지의 가격하락(haitez's law)에도 불구하고, LED 조명을 구동하는 장치의 가격은 LED 패키지 대비 가격이 떨어지지 않은 추세이다[2].

따라서 본 연구는 빛 투과성 및 물체인식 능력을 향상시키기 위해 방전램프와 LED 조명을 동시에 사용하는 경우 회로최적화를 구현하였다. 유도성 방전램프와 용량성 LED 구동회로를 결합함으로써 별도의 역률보상 회로 없이 고역율 구현이 가능하며, 두 회로의 공통부분을 적절히 활용함으로써 초저가형 LED 구동드라이브를 구현 하였다. 따라서 하나의 구동회로로 방전램프와 LED 조명을 구동시킬 수 있는 하이브리드 조명으로, 개별적인 제품 구성에 비하여 전체적인 회로 부품 비용 절감 및 구동 효율을 상승시켰다.

2. 본 론

2.1 기존 방전램프 구동 특성

그림 1과 같이 일반적인 방전램프는 유리로 된 발광관(Arc Tube)과, 발광관 내에 소정 간격을 두고 배치된 한 쌍의 전극으로 구성되며, 발광관 내에는 발광물질로서 수은 및 금속 할로겐화물 등이 봉입된다. 발광관에 주입되는 물질(질소, 가스, 수은 기타 화합물)과 발광관의 가해지는 압력에 의하여 빛의 색온도 및 광도가 결정되는 것이 주요 특징이며 주입 물질에 의하여 수은램프, 나트륨램프, 메탈할라이드 등의 램프로 구분된다.

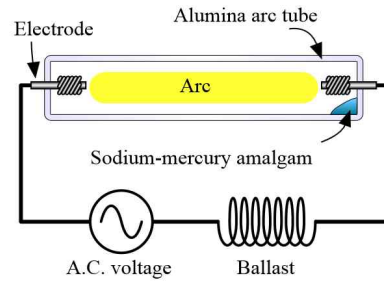


그림 1. 일반적인 방전램프 구조
Fig. 1. General structure of discharge lamp

방전램프 광원은 주입물질에 따라 해당하는 파장이 다르며, 장파장에 해당할수록 빛 투과성이 높아, 터널과 같이运行时 안전성을 요구하는 곳은 먼지나 안개와 같이 빛의 진행을 방해하는 물질을 통과하기 위해서, 파장이 길면서 채도가 좋은 등황색 계통을 주로 사용하며, 이에 적합한 조명이 589nm 파장을 발광하는 나트륨램프이다.

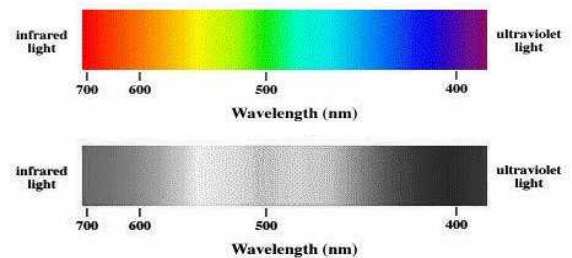


그림 2. 가시광선 스펙트럼/채도
Fig. 2. Visible ray spectrum / chroma

방전램프는 특성상 전력변환과 같은 안정기가 필요하며, 자기식 안정기와 전자식 안정기가 사용되지만, 본 연구에서는 전자식 안정기에 비해 매우 간단한 구조로 대중화된 자기식 안정기를 고려한다.

방전램프용 자기식 안정기는 그림 3과 같이 전원과 램프 사이에 설치되는 램프에 적절히 제어된 전류를 공급하는 것으로서 쇼크 트랜스(Choke Trans), 역률보상 콘덴서(P.F Capacitor), 이그나이터(Ignitor)의 세개의 부분으로 방전램프의 규격전압(90~200V 등)을 유지시켜 주는 쇼크 트랜스와 방전램프 초기 구동시 발광관 내의 높은 증기압력으로 인하여 쇼크 트랜스의 2차 규격전압만으로는 방전램프를 시동시킬 수

없기 때문에 1~5 μ s의 매우 짧은 펄스폭의 고전압(800~4kV) 발생을 위한 이그나이터로 구성된다.

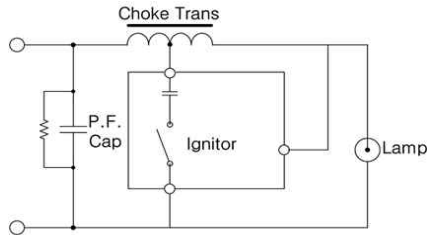


그림 3. 방전램프 회로 구성도
Fig. 3. Structure of discharge lamp circuit

그림 4는 방전램프의 정상상태 등가회로를 나타낸 것으로 역률보상 콘덴서와 쇼크 트랜스의 누설 인덕터, 방전램프의 저항성분과 콘덴서 성분으로 구분할 수 있다.

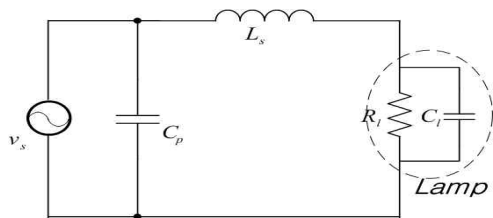


그림 4. 방전램프 등가회로
Fig. 4. Equivalent circuit of discharge lamp

그림 4의 C_p 의 경우는 L_s 와 Lamp의 역률 값을 보완하는 형태로 램프의 정격용량 및 특성에 따라 C_p 의 값이 산정되며, 여기서 C_l 의 값은 일반적으로 미비하여 합성임피던스는 $L_s + R_l$ 이 된다. 따라서 방전램프의 역률은 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$Z_T = \sqrt{R_l^2 + (wL_s)^2} \quad (1)$$

$$\cos\theta = \frac{R_l}{Z_T} \quad (2)$$

식 (2)의 역률 값과 전체적으로 0.95 이상으로 개선할 역률 값의 편차에 의하여 개선시켜야 할 리액턴스의 값을 구할 수 있으므로, C_p 의 값을 도출할 수 있다. 즉 역률보상 콘덴서는 유도성 부하인 쇼크 트랜스의

인덕터 성분으로 인하여 전류가 전압보다 뒤지는 지상용(Lag) 역률을 보완하기 위하여 용량성 부하인 전류가 전압보다 앞서는 진상(Lead)용 콘덴서로 이를 보완하는 구조이다. 이 역률보상콘덴서는 단순히 위상만을 변화시키는 역할만을 수행한다. 이러한 역률보상용 콘덴서는 방전램프 시스템에서 단가 상승의 원인이 되므로, 이를 개선할 수 있는 연구가 필요하다.

2.2 저가형 LED 구동 드라이드

현재 교류전압(통상 220V)을 이용해서 LED를 구동하기 위해서는 그림 5와 같은 2단 DC/DC 컨버터 사용이 일반적이다. 역률을 만족하고 AC를 DC로 변환하기 위한 승압형 PFC(Power Factor Corrector)단 그리고 높은 직류전압을 낮은 직류전압으로 바꾸어주는 절연형 변압기와 LED의 제어와 휘도 조절을 위한 Buck 타입 DC/DC단으로 구성된다. 이러한 2단 타입 스위칭 컨버터는 일반 레귤레이터보다 효율이 우수하지만 90%이상의 고효율 달성이 어렵고, 역률 개선을 위한 PFC단 추가 구성에 따른 전체적인 AC/DC 컨버터의 부피가 커지며 비용이 상승하는 단점이 있다[3].

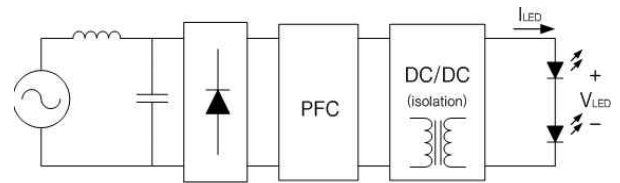


그림 5. 기존 LED 구동 드라이드
Fig. 5. General LED driver

이에 LED 구동 드라이드 저가격화 노력이 이루어지고 있으며 이를 해결할 수 있는 한 방법으로 단순히 수동소자만을 이용하여 LED를 구동하기 위한 방법이 제시되고 있다. 그림 6은 직렬 콘덴서 LED 구동드라이브를 나타내고 있다. 그림 6의 회로는 브리지 다이오드 입력단에 LED 구동전압을 형성하기 위한 커패시터를 직렬로 연결한 것이 특징이다. 그림 6의 직렬 콘덴서 LED 구동 드라이드의 동작원리를 살펴보면, 입력전압(v_s)은 직렬 콘덴서 양단 전압(v_c)와 브리지

다이오드 입력전압(v_f)으로 분배된다. 브리지 다이오드 입력전압(v_f)이 출력 LED의 스투쉬홀드 전압(v_o)보다 큰 경우에 도통되어 출력에 전원전력이 콘덴서 및 LED측에 전달되고, 작은 경우 전원전력은 차단된다. 그림 7은 정류다이오드 도통에 따른 등가회로를 나타내고 있다[4-8].

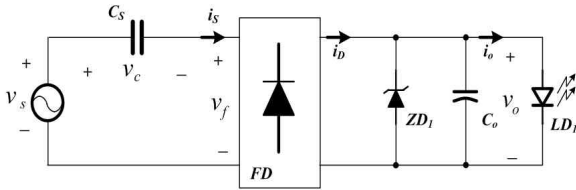


그림 6. 직렬 콘덴서 LED구동 드라이브
Fig. 6. Capacitor series type LED driver

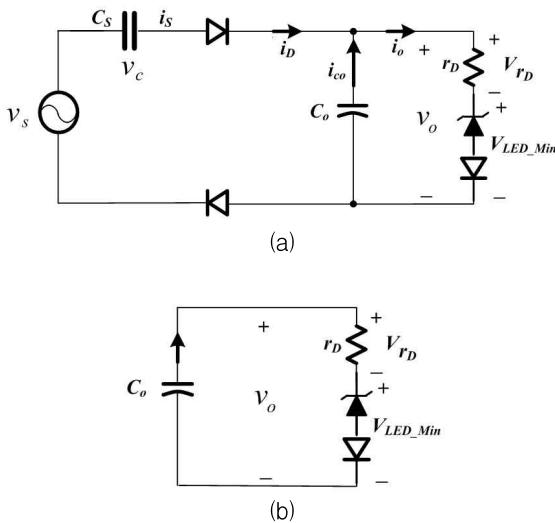


그림 7. 정류다이오드 도통에 따른 등가회로
Fig. 7. Equivalent circuit according to rectifier diode conduction

그림 8은 직렬 콘덴서 LED 구동회로의 동작파형을 나타내고 있다. M0와 M2는 LED의 스투쉬홀드 전압이 브리지 다이오드 입력전압보다 커서 다이오드전류가 차단된 상태를 나타내며, 이 때 브리지 다이오드 입력전압 v_f 는 전원전압 v_s 와 직렬 콘덴서 양단전압 v_c 의 차와 같다. M1과 M3는 브리지 다이오드 도통시의 전압, 전류 파형으로 전원전력이 LED측에 전달되는

것을 확인할 수 있다. 그림 6의 회로에서 전압방정식은 아래 식과 같다.

$$v_s = v_c + v_f = V_m \sin(\omega t) \quad (3)$$

이때 직렬 콘덴서를 통해 전원에서 부하 측으로 흐르는 전류는 아래 식과 같다

$$i_c = C_s \frac{dv_c}{dt} = C_s \frac{d(v_s - v_f)}{dt} \quad (4)$$

위 식의 브리지 다이오드 입력전압 v_f 는 브리지 다이오드의 전류방향에 따라 정 또는 부의 LED의 스투쉬홀드 전압으로 그 미분항은 영이 됨으로 직렬 콘덴서에 흐르는 전류는 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$i_c = C_s \frac{dv_s}{dt} = \omega C_s V_m \cos(\omega t) \quad (5)$$

브리지 다이오드의 도통구간은 입력전압의 피크치와 LED의 스투쉬홀드 전압(v_o)에 의해 결정되며 아래 식과 같이 정의된다.

$$\theta_1 = \frac{1}{2T} - \sin\left(\frac{V_m - V_o}{V_m}\right) \quad (6)$$

$$\theta_2 = \frac{3}{4T}$$

식 (6)으로부터 LED측으로 유입되는 정격평균전류는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} i_{rate_ave} &= \frac{1}{T} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \omega C_s V_m \cos(\omega t) \quad (7) \\ &= \frac{2\omega C_s}{\pi} (V_m - V_o) \end{aligned}$$

따라서 LED의 스투쉬홀드 전압과 정격평균전류가 주어지면 콘덴서 용량은 아래 식으로 구할 수 있다.

$$C_s = \frac{\pi i_{rate_ave}}{2\omega (V_m - V_o)} \quad (8)$$

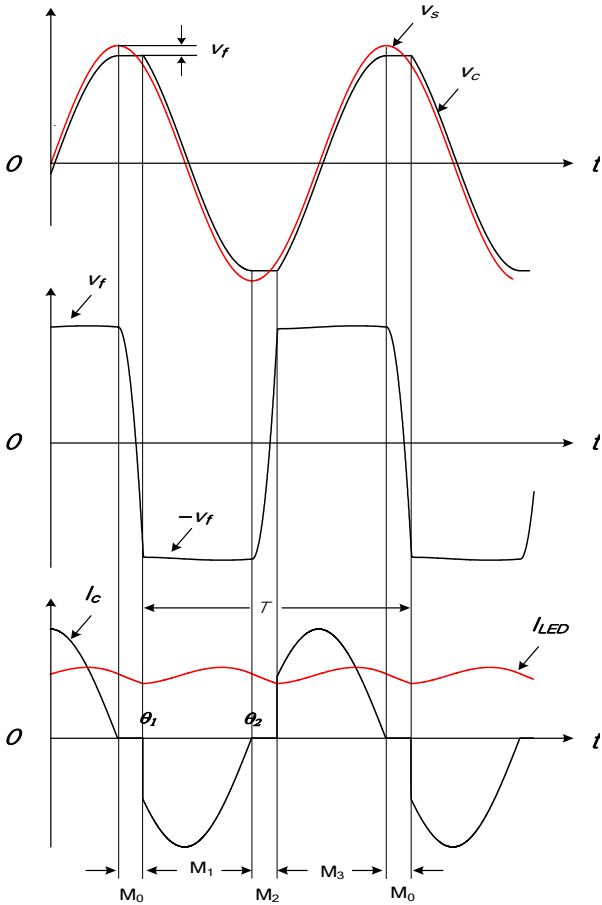


그림 8. 직렬 콘덴서 LED 구동 드라이브의 특성
Fig. 8. Characteristics of capacitor series LED driver

식 (8)을 통해서 LED조명기구의 출력의 정격전압과 정격전류가 주어지면 직렬 콘덴서의 값을 구할 수 있다. 이처럼 C_s 의 값에 의하여 출력 전류 값을 결정할 수 있으므로, LED조명 설계시 요구되는 출력전류 및 출력전압의 결정에 따른 LED조명 컨버터 설계가 가능하다.

식 (9)는 회로가 단락되었을 때의 전류이며, 식 (9)와 식 (7)의 단락전류 대비 정격전류의 비를 식 (10)로 나타내었다.

$$I_{shot} = \omega C_s V_m \quad (9)$$

$$K = \frac{I_{shot}}{I_{rate_ave}} = \frac{\pi V_m}{2(V_m - V_o)} \quad (10)$$

식 (10)에서 K 의 값이 2를 가지는 경우는 단락전류가 정격전류의 2배 이하로서 회로의 안정성이 일반 SMPS 회로에 비하여 좋은 것을 의미하며, 본 회로에서 V_m 의 값이 311V일 때 V_o 의 값이 67V 이하의 값을 가진다. 일반적인 LED 구동전압으로 12V, 24V, 48V의 값을 포함하는 경우이므로 본 회로의 67V 이하의 구동전압에서는 단락시 안정하다는 것을 의미한다.

본 직렬 콘덴서 LED 구동회로는 수동소자만을 사용하므로 비용 절감이 가능하고, 전체적인 LED구동회로의 크기도 작아지는 이점이 있지만, 직렬 콘덴서의 용량성 부하에 따른 용량성 리액턴스 성분으로 인하여 전체적인 회로의 역률은 진상으로 나빠지는 단점이 있어, LED조명에서 요구하는 고효율 인증 및 KS 인증 규격을 만족하지 못하므로, 상품화에 걸림돌이 된다. 이를 해결하기 위하여 유도성 부하인 인덕터를 추가하는 방법 등이 제시되고 있지만, 이는 초기 제안하였던 저가격화 및 회로의 슬림화 등의 이점이 약화되는 형태이다.

2.3 제안된 하이브리드 LED 구동 드라이브

조명시스템에서 역률개선은 전력전송의 효율을 높이기 위한 중요한 요소이다. 기존의 방전램프 및 LED 구동드라이브는 각각 자체적으로 역률 보상회로를 겸비하고 있어 그 단가가 고가가 되는 단점이 있다. 특히 지상역률 특성을 갖는 방전램프와 진상역률 특성을 갖는 LED 램프에서는 그 상보성으로 인하여 일체

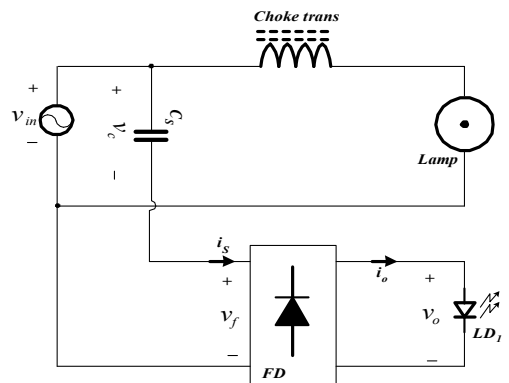


그림 9. 제안된 하이브리드 LED 구동 드라이브
Fig. 9. Proposed hybrid LED driver

화 설계를 행할 경우 역률보상회로의 경제성 면에서 상당한 장점을 검비할 수 있다. 따라서 본 논문에서 그림 9와 같은 하이브리드 LED 구동 드라이브를 제안하였다. 제안된 하이브리드 LED 구동 드라이브는 방전램프 특성상 안정기에서 발생하는 지상(Lag) 역률을 보상하기 위하여 사용되는 진상(Lead)용 역률보상 콘덴서를 LED 구동드라이브의 구동 전압 발생용 직렬 리액턴스로 이용함으로써 조명용 LED 구동회로가 간단하게 구성할 수 있다.

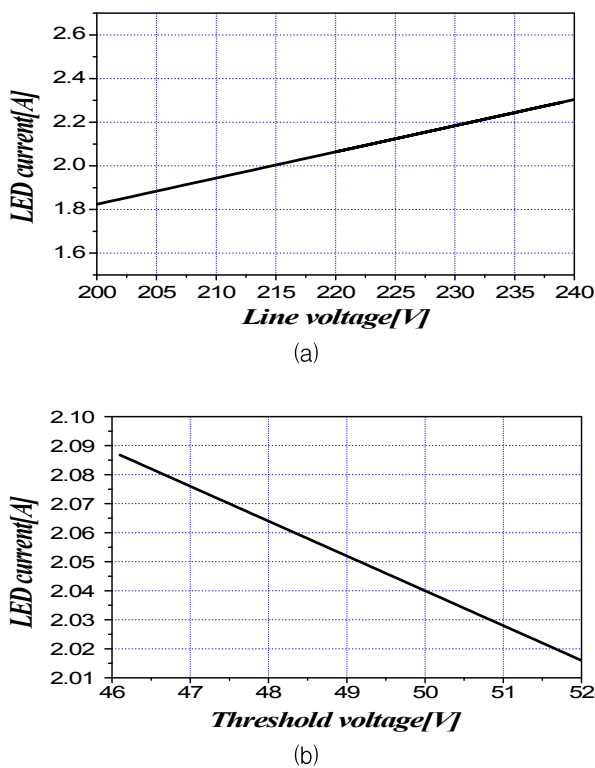


그림 10. 전압변동에 따른 전류변동특성
Fig. 10. Current variatopn characteristics by voltage variation

그림 9의 LED 구동드라이브는 LED 전류변동은 입력전압 및 LED의 스레쉬홀드 전압 변동에 의해 결정된다. 그림 10은 식 (7)로부터 입력전압 및 LED의 스레쉬홀드 전압 변동에 따른 출력전류변동 특성을 나타내고 있다. 그림 10 (a)는 전기사업법 시행규칙 별표 3인 표준전압 · 표준주파수 및 허용오차에서 명기하

입력전압 변동률은 $220V \pm 13V$ 이므로, 이를 넘어서는 형태로 입력전압이 200~240V로 변할시 LED 전류변동을 나타내고 있다. 220V에서 1.824A인 것이 240V에서 2.304A로 직선적으로 변하면 전류 변동분은 23.3%로 다소 크게 나타난다. 그림 10 (b)는 LED의 스레쉬홀드 전압이 46~52V로 변할시 LED 전류변동을 나타내고 있다. 46V에서 2.09A인 것이 52V에서 2.02A로 직선적으로 변하면 전류 변동분은 3.4%로 매우 적게 나타난다. 따라서 본 드라이브는 LED의 온도 변화에 따른 스레쉬홀드 전압변동에 강인하게 일정전류를 형성할 수 있으나, 입력전압변동에 그 영향이 크게 나타나는 단점이 있다. 따라서 입력전압의 변동에 대응하는 전류제어회로 추가가 필요로 한다.

3. 시뮬레이션 및 실험결과

3.1 시뮬레이션 결과

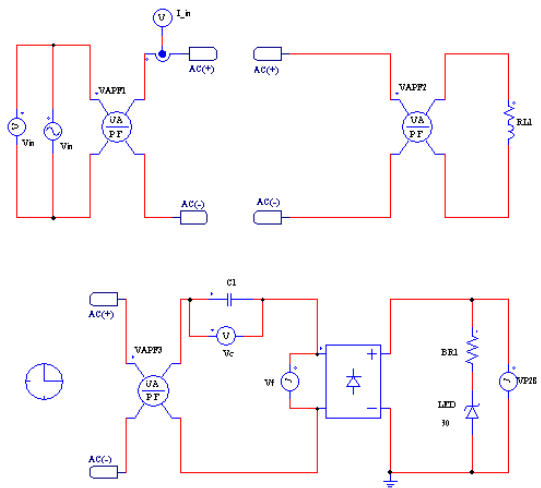


그림 11. 하이브리드 LED 드라이브 시뮬레이션회로
Fig. 11. Simulation circuit of hybrid LED driver

그림 11은 하이브리드 LED 드라이브 시뮬레이션회로 도이며, 그림 12는 하이브리드 LED의 역률 특성을 분석위한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션에서 방전등은 R-L부하로 실제 시판되고 있는 250W급 방전등에서의 전류크기와 역률을 모의하였으며, 직렬 콘덴서의 용량은 실제 안정기에 장착되어있는 콘덴서 용량

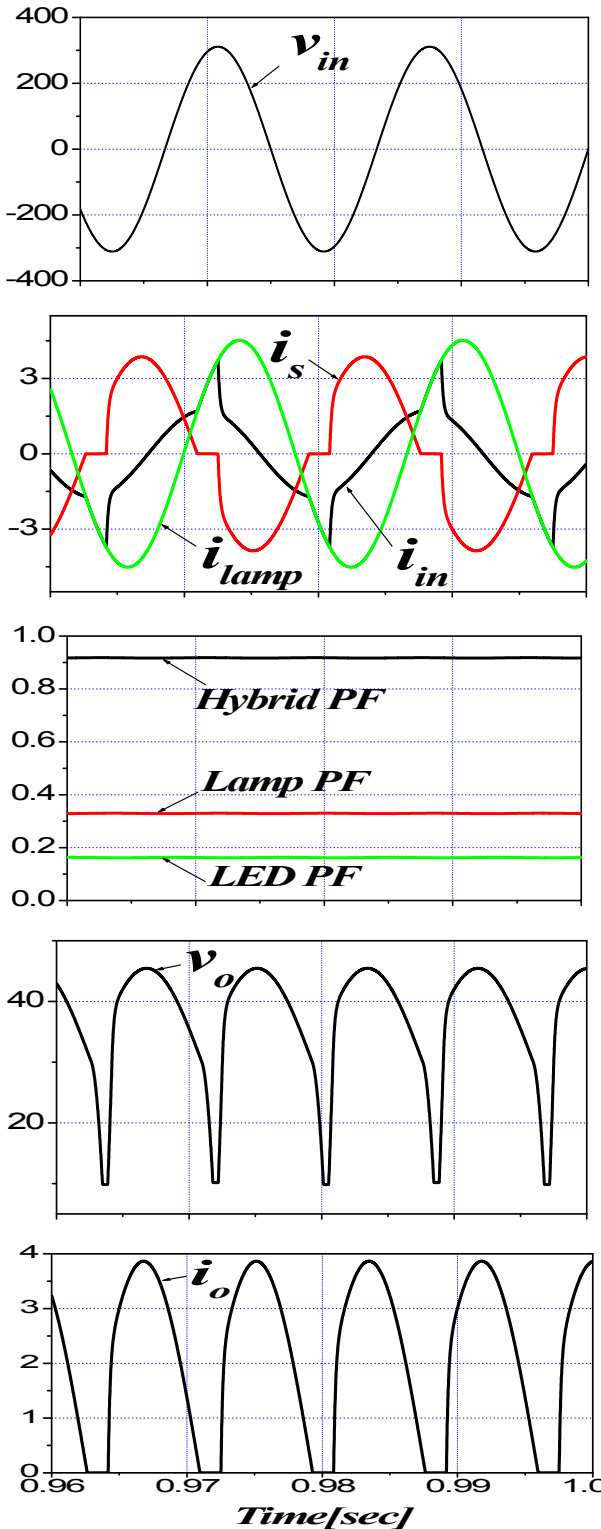


그림 12. 하이브리드 LED 조명의 시뮬레이션 결과
 Fig. 12. Simulation results of hybrid LED driver

인 30 μ F으로 설정하였다. 그림 12에서 알 수 있듯이 방전등의 피상전력은 703VA에서 역률 0.33을 형성하나 LED 등의 피상전력은 584VA에서 역률 0.163을 형성하고 종합 356VA에서 역률은 0.917로 양호하게 유지함을 알 수 있다. 따라서 하이브리드 드라이브에서 역률 보상 장치 없이 고역률을 실현할 수 있음을 알 수 있다. 본 시뮬레이션에서 하이브리드 등의 전력은 326W이며, 이중 방전등의 전력은 232W이며, LED 등의 전력은 95W로 나타났다.

3.2 실험 결과

시뮬레이션 결과를 검증하기 위하여 실제 회로를 구성하여 시험하였으면 본 실험에 구성된 장치와 측정 장비는 표 1로 정리하였다.

표 1. 구성 장치 및 측정장비
 Table 1. Configure the device and measuring equipment

	항목	내용
실험 장치	방전램프	고압나트륨램프250W급(NH250)/한주물산
	안정기	HPS용안정기(NH250W)/한주물산
	LED부하	DC48V 100W급 White LED/(주)코아룩스
	브리지다이오드	DSEI2X101 * 2EA
측정 장비	Power Meter	WT3000
	Oscilloscope	TDS3014B

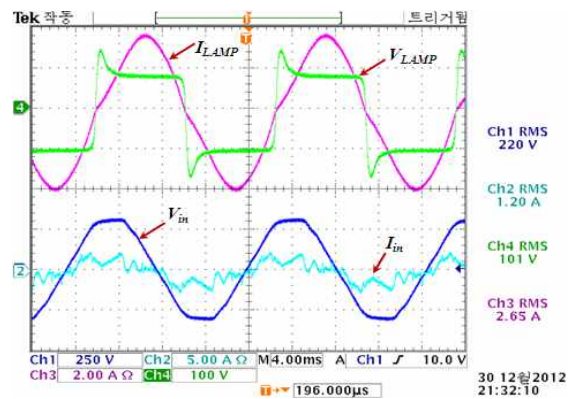


그림 13. 기존 방전램프의 특성 파형
 Fig. 13. Characteristic waveforms of discharge lamp

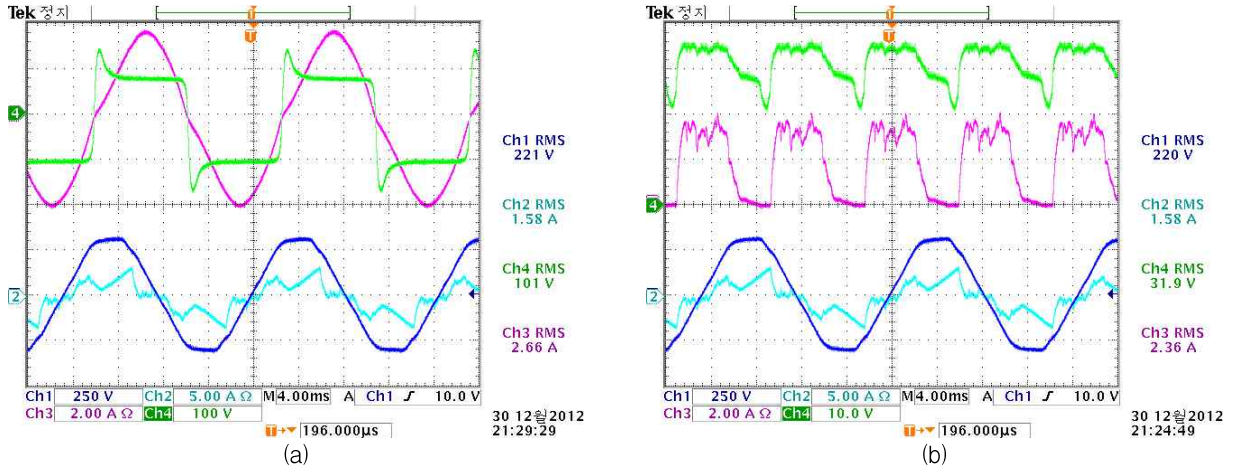


그림 14. 하이브리드 LED조명의 실험결과
 Fig. 14. Experiment results of hybrid LED driver

그림 13은 기존 방전램프의 특성과형을 나타내고 있다. 쇼크 트랜스에 의해 방전램프에 인가되는 전압은 실효치 약 100V의 구형파가 인가되나 쇼크 트랜스의

인덕터로 인하여 방전램프의 전류는 전압과 동위상인 등가 정현파가 됨을 알 수 있다. 전원 측 전압과 전류는 동위상을 이루며 약 230W를 소모하면서 전원전류

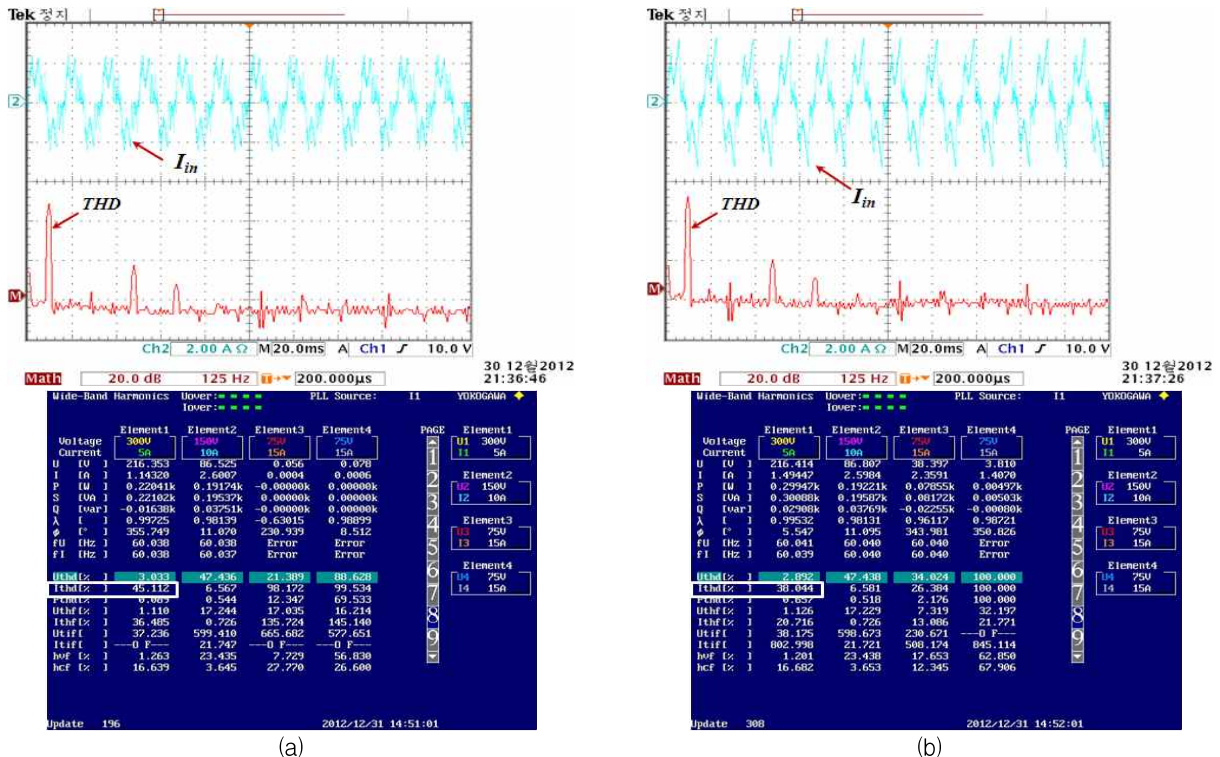
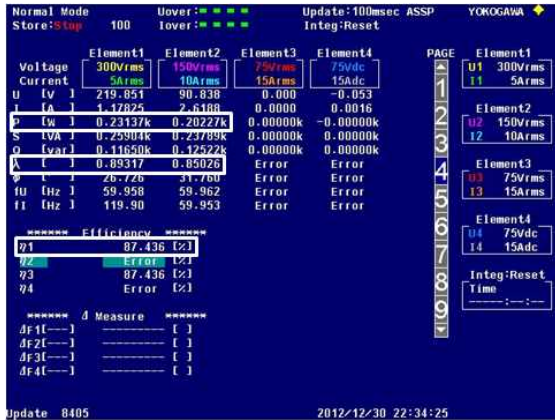
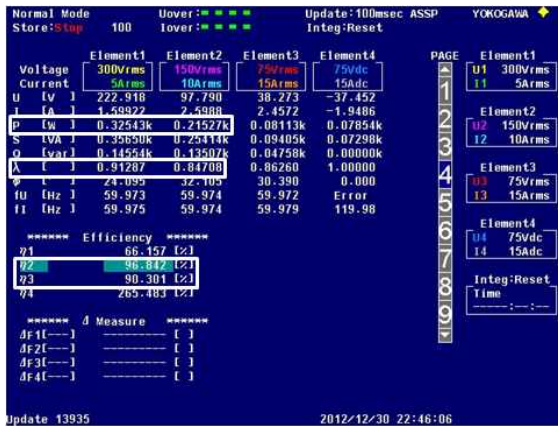


그림 15. 입력전류의 THD 비교
 Fig. 15. THD comparison of input current



(a)



(b)

그림 16. 효율 및 역률 비교

Fig. 16. Comparison of efficiency and power factor

에는 고주파가 포함되어 있음을 알 수 있다.

그림 14는 제안된 하이브리드 램프의 실험결과 파형이다. 그림 14 (a)에서 보는 바와 같이 전원 측 전압과 전류는 동위상을 이루며, 약 325W를 소모하면서 전원 전류에는 고주파가 포함되어 있음을 알 수 있다. 또한 그림 14 (b)와 같이 LED 등에 인가되는 전압 및 전류 파형에서 알 수 있듯이 전류는 불연속적으로 약 78W의 전력을 LED 등에 공급됨을 알 수 있다.

램프의 성능을 평가하는 중요한 측도는 효율과 역률 뿐만 아니라 총고조파 왜형률(THD)이 된다. 본 연구에서는 기존 방전램프 대비 제안된 하이브리드 램프를 비교 검토하였다.

그림 15는 기존 방전 램프와 제안된 하이브리드 램프의 THD 분석 결과 파형이며, 그림 15 (a)는 기존 방전램프의 THD 분석파형이며, 그림 15 (b)는 제안된 하이브리드 램프의 THD 분석파형이다. 분석 결과 기존 방식의 THD는 45%로 나타났으며, 제안된 방식은 38%로 약 7%의 저감효과가 나타났다.

그림 16은 기존 방식과 제안된 방식의 효율 및 역률 비교 결과이다. 그림 16 (a)에서 보는바와 같이 기존 방식에서 시스템효율은 약 87%로 나타났으며, 역률은 약 0.89로 나타났다. 그러나 제안된 하이브리드 방식에서는 그림 16 (b)에서 보는바와 같이 LED 드라이브의 효율이 약 96.8%되어 시스템효율은 약 90.3%로 기존방식에 비하여 3.3%의 효율개선효과를 가져왔다. 역률 또한 기존 방식에 비하여 2% 개선된 약 0.91로 나타났다.

이상 기존 방전램프와 제안된 하이브리드 램프의 특성을 표 2로 정리하였다.

표 2. 결과치 비교

Table 2. Result value comparisons

	기존 방전 램프	제안된 하이브리드 램프
THD	45%	38%
효율	87%	90.3%
역률	0.89	0.91

4. 결론

본 연구는 물체인식 특성이 우수한 백색 LED 조명과 빛 투과성이 우수한 황색계열의 고압나트륨램프를 이용한 하이브리드 조명시스템을 구성할 경우 각 램프의 상보적 특성을 이용한 새로운 회로 구성 방식을 제안하였으며, 시뮬레이션 및 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 유도성 방전램프의 역률보상 콘덴서를 LED 구동 직렬 콘덴서로 사용함으로써 LED 구동을 위해 저압 브리지 다이오드 1개로 LED 조명을 구동할 수 있었다.
- 유도성 방전램프와 용량성 LED 구동회로를 결합

함으로써 별도의 역률보상 회로 없이 약 91%의 역률 구현이 가능하였다.

- 시스템효율은 약 87%인 유도성 방전램프시스템을 하이브리드화 함으로써 시스템효율은 약 90.3%로 기존방식에 비하여 3.3%의 효율을 개선하였다.
- THD 45%인 유도성 방전램프시스템을 하이브리드화 함으로써 38%로 약 7%의 THD 저감효과가 나타났다.

이와 같이 방전램프의 유도성 역률 보상을 위해 설치되는 역률개선콘덴서를 LED 조명의 직렬 콘덴서로 사용하므로, 간단한 LED조명 구동회로를 구현할 수 있으며, 전체적인 효율과 역률, THD가 개선되는 효과까지 볼 수 있었다. 하지만 본 실험은 자기식 안정기를 가지는 고압나트륨램프에서 적용이 되며, 향후 메탈할라이드 등의 경우에 추가적인 실험이 필요한 상태이다.

본 논문에서 제안한 회로는 방전램프와 LED조명이 동시에 필요한 곳이 있을 경우 기술적 가치가 높아지며, 터널조명과 같이 황색 방전등과 백색 형광등을 사용하고 있는 경우 본 하이브리드 시스템을 적용하며, 제조 단가 및 설치비용 절감이 예상된다.

이 논문은 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력 양성사업으로 수행된 연구결과임.

References

- [1] Chin-Woo Yi, The Comparison of the Economical Efficiency of Light Sources for a Tunnel Lighting, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.25 No.2 2011.2.
- [2] Haitz's law 10. 1038 nphoton, 2006. 78.
- [3] Sang-Hun Lee, LED and DC Power Technologies for LED lighting system, The journal of the Korean Institute of Power Electronics / v.14 no.3, 2009. 6.
- [4] B. Yang, F.C. Lee, A.J. Zhang, G. Huang, LLC resonant converter for front end DC/DC conversion, in IEEE-APEC 2002, pp. 1108-1112, 2002.

- [5] Bing Lu, Wenduo Liu, Yan Liang, Fred C. Lee, Jacobus D. van Wyk, Optimal Design Methodology for LLC Resonant Converter, in IEEE-APEC 2006, pp. 533-538, 2006.
- [6] JACOBS, Ronny Flyback converter as LED Driver, International patent application, WO 01/05193 A1.
- [7] Wing Yan Leung, Tsz Yin Man, Mansun Chan, A High-Power-LED Driver with Power-Efficient LED Current Sensing Circuit, in IEEE-Solid-State Circuits Conference, 2008, pp. 354-357.
- [8] Dae-Seong Shin, A High Efficiency LED Driver Circuit using LLC Resonant Converter, The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics v.15 no.1, 2010.

◇ 저자소개 ◇



고재하(高在夏)

1979년 6월 21일생. 2005년 조선대 제어계측공학과 졸업. 2007년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2007년 3월~2012년 10월 (주)오픈테크놀로지 책임연구원. 2009년~현재 전남대 전기공학과 박사과정 수료.



황정구(黃貞九)

1985년 9월 5일생. 2011년 2월 전남대학교 전기공학과 졸업. 2011년 2월 동 대학원 전기공학 석사과정.



박성미(朴成美)

1963년 6월 20일생. 1986년 전남대 계산통계학과 졸업. 2001년 전남대 컴퓨터공학과 졸업(석사). 2011년 전남대 컴퓨터정보통신공학과 졸업(박사).



박성준(朴晟濬)

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2002년 동 대학원 지능기계공학과 졸업(박사). 1996년 3월~2000년 2월 거제대학 전기과 조교수. 2000년 3월~2003년 8월 동명대학 전기공학과 조교수. 2003년 8월~현재 전남대학교 전기공학과 교수.