

고효율 가변 전력 LED조명기기 Driver 개발

(A Study of Designing of Energy Efficient LED Driver Apparatus)

유수엽*, 엄기홍**, 김형준**

(주)태성에코테크*, (학)한세대학교**

SooYeub Yoo*, Keehong UM**, Harry Kim

Taesung Echo tech.*, Hansei University**

Abstract - This paper is a report of designing for high efficient LED lights driver. The main purpose of driver designing is meet the requirement the high efficient energy regulation for light of Korea. To meet the regulation the high efficient, the circuit adapted wide range resonant power supply and current regulate circuit to adjust LED current. This product archived excellent performance as well as reliable operation.

1. 서론

환경 친화적이고, 에너지를 저감하는, '고효율 인증 조명 기기'의 필요성이 요구 되어 이에 대한 인증제도의 시안이 조명기술 연구소에서 발표된 후, 이에 대한 청문회, 세미나등 여러 방면에서 이의 제도화가 기정 사실화되어 가고 있다.[1] 이는 미국의 'Energy Star' 프로그램이 주도하며, 일본의 성 에너지 관련 여러 법들이 있다. 본 연구에서는 이러한 규격을 참조하며, 한국의 조명연구소에서 발표된 '형광등및 백열등 대체 LED(Light Emitting Diode) 고효율 조명등 인증규격(안)'을 참조하여 그 규격에 걸맞는 LED등기구를 개발하면서 미국의 energy Star에서 요구하는 LED의 고효율 등기구를 지향하는 형태로 개발하여 보았다.

2. LED등기구의 규격의 설정

현재 국내의 조명기구의 생산품은 그간 정부 정책적인 요구에 의하여 백열등보다는 형광등을 주로 사용하는 방향으로 제품이 출시되고 있다. 이러한 조명의 최대 필요조건은 고급 조명이나 고 연색성, 부드러운 반사에 의한 눈부심이 없는 그런 외국의 기준보다는 빛이 조사되는 면이 얼마만큼의 밝은가 등, 조명 기구의 효율화에 초점이 맞추어져 있다. 따라서 이러한 조명기구의 광원은 형광등이 백열등에 비하여 절대적 광 효율의 측면에서 우위를 가지고 있어, 거의 대부분의 조명기구가 형광등 위주로 제작 시판되고 있다.

이러한 조명기구를 이용한 형광등이나 방전관 류의 조명기구는 백열등과 같이 연속적인 밝기 제어가 어려워, 주로 광원의 On/Off로 광을 단속하는 단순한 기능의 조명기기 제어형태에 머물러있다.

그간 대부분의 조명기구에 요구되는 기능 및 성능은 선진국과 우리나라가 많이 차이가 나는 사항으로 선진국은 주로

- (1) (1) 부드러운 연속적인 광량 조절
- (2) (2) 고 연색성
- (3) (3) 눈부심이 없는 등 기구를 구현하는 것

등 인간 친화적인 광원으로 발전해온 반면, 국내의 조명기기에 요구되는 주된 사항 및 시장의 요청은

- (1) On/Off 제어도 무방하지만 자동으로 On/Off를 한다.
- (2) 밝아야 하니 눈이 부서도 직하형으로 설치하여도 무방함

(3) 연색성보다는 색 온도가 높은 백색등을 위주로 설치하여 왔다.

위 사항 중 외국의 조명과 국내 조명과 차이점 각 3가지 사항을 살펴보면, 조명기구에 매우 다른 형태의 조명이 발달되어 온 것을 알 수 있다. 즉 서구는 인체에 감성에 접근하는 조명이라면, 국내에서는 저 전력으로 빛의 밝기를 높인 조명이 요구되어 왔다. 본 연구 개발에서는 가능한 두 가지 모두 만족할 만한 제품을 개발하는 것에 초점을 맞추어서 개발하기로 하였다.

즉 고 휘도의 성능이 요구되는 전등에는 그러한 조건의 LED및 고 효율 LED 드라이버를 채용하고, 고연색성의 조명에는 고연색성의 빛을 만들어 내는 LED를 사용하여 고 효율의 조명기구를 만들어 낸다. 이러한 두 가지 조건을 함께 만족하기는 어렵지만 본 연구에서는 가능한 두 조건을 만족하는 기본 LED드라이버를 개발하기로 하고 LED는 2종류를 채택하여 각각의 기구를 만들기로 하였다.

따라서 이 조명 시스템에는 LED Driver가 LED의 전류를 정확하게 제어하며, 전력의 효율을 최대화하여, 외국과 국내의 고효율 인증요건에 부합하는, LED 조명기구를 개발하고자 한다.

따라서 LED Driver는 다음과 같은 광 및 전기 규격을 갖도록 설계한다.

- (1) 광 효율은 80lumen/Watt의 LED 사용시 기구 효율이 65lumen/Watt를 갖도록 한다.
- (2) 전기적 안정성은 KS 규격을 만족하도록 한다.[5]
- (3) 전기적 역률은 0.9이상 이 되도록 한다.
- (4) 동작 온도는 -25°C ~ 85°C에서 안정되도록 한다.
- (5) 광 출력이 온도, 습도 범위 내에서 일정하도록 한다.

이러한 동작 조건은 현재 고효율 인증에 필요한 요건으로 현재 국내에 나와 있는 요구 사항을 대부분 만족하는 사항이다.

이러한 조건을 만족하기 위하여, 현재 시중에서 구할 수 있는 LED와 구현할 수 있는 전원회로를 고려하여 다음과 같은 규격의 LED driver의 전원 규격을 구성하였다.

- (1) 전원효율은 정격의 10~100%의 부하에서 효율이 90%이상 이 되도록 한다.
- (2) 전원의 역률은 0.9이상 이되, 고조파를 30% 이내로 유지하기 위해 별도의 역률 보정회로를 채용한다.
- (3) LED의 전류조절은 외부 입력에 의하여 제어되는 정 전류회로를 채용하며, 10~100%내의 LED전류 변화를 주고 이때SMPS의 출력전압도 동시에 조절하여야한다.

위와 같은 조건을 만족하는 조명을 구현하면, 등기구의 광 손실을 감안하여도 65Lumen/Watt의 조명기구를 구현할 수 있으리라 예상된다.

즉 전체 시스템의 에너지 흐름도는 그림 1과 같이 그릴 수 있다. 즉 전체시스템의 효율을 높이려면 LED의 성능이 우선

순위에서 제일 중요하고, 이어 광 기구의 빛의 효율적 방출 및 유도, 반사가 필요하고, LED 드라이버 손실을 최소화 할 필요가 있다. 본 연구에서는 전기적인 LED드라이버의 손실을 최소화 하는데 필요한 사항의 검토와 실험이 이 연구논문의 주요 목적이 있다.

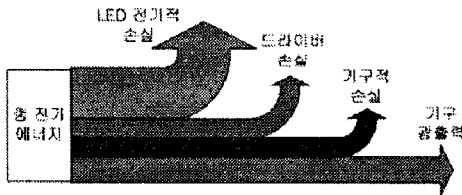


그림 1. LED 등기구의 에너지 입력, 손실과 광출력 모식도

3. 고효율 조명 시스템

고효율 에너지의 규격은 국내에서 요구 하는 사항과 외국의 고효율 인증규격과 차이점이 존재한다. 우선 국내와 미국의 규격비교를 해보면, 미국에서 시행하고 있는 Energy Star 규격은 2008년 국내의 등기구의 광 효율이 65~70 lumen/Watt 이상지만 미국은 35lumen/Watt로 그 효율이 차이가 난다. 그러나 기능면에서 백열등이 지나왔던 여러 가지 사항을 요구하고 있다. 가령 높은 연색성이라든지, 가변전력제어를 통하여 가변할 수 있는 밝기의 변화의 요구가 그 대표적인 차이점이라 하겠다.

여기서는 LED의 전력을 자유자재로 제어하는 제어기를 구현하기 위하여 가장 기초적인 LED, 백열등, 형광등들을 표1과 같이 구동회로의 측면에서 검토, 비교하여 보기로 한다.

표1: LED와 백열등, 형광등의 특징비교

종류	장점	단점	특징
백열등	입력전력제어가 용이	효율이 낮다	AC/DC 모두 가능함
형광등	효율이 좋다	전력제어가 불편	교류만 가능
LED	효율이 좋다	온도의 영향을 받는다	직류만 가능

즉 LED를 동작시키기 위하여서는 직류전류 또는 직류 펄스가 필요하다. 또한 LED가 반도체의 특성을 지니므로 정 전류원으로 전류를 제어하여 주는 것이 필요하다. 현재 상용으로 사용할 수 있는 전력이 교류이므로 직류로 바꾸어 주고, 이 직류 전류를 우리가 원하는 정확한 값으로 LED에 흘려 줄 수 있는 회로가 필요하다. 이 AC/DC 변환회로와 LED에 전류를 흘리는 회로의 연구는, 많이 연구되어 왔다. 더욱이 안정적인 회로 동작을 위한 LED의 연결방법과 더불어 정전압 제어회로와 정전류 제어회로등 여러 회로가 연구되어 이러한 회로는 널리 사용되어 왔는데, 대표적인 연구는 [2]에 발표되어 있다.

이러한 회로의 구성을 하면 LED를 시험동작 시키는 데는 무리가 없으나, 실제 기존의 회로로 LED 구동회로를 만들어 사용하기 위한 기기를 구성하면, 여러 문제가 드러나게 된다. 우선 해결하여야 할 문제점을 나열하여 보기로 한다.

- (1) 전원회로의 역률을 높여야한다. 이는 AC/DC변환 회로의 역률을 높이는 문제로 기존의 전자식 형광등 안정기에 비하여 역률을 올리면 효율이 떨어진다.
- (2) 전원의 효율을 높여야한다.
- (3) 디지털 입력에 비례하는 전류를 LED에 흘려 주어야한다. 이는 PWM제어로 LED 구동해야 정확한 제어가 가능하다.
- (4) LED 구동 디지털 제어회로의 고효율이 보장되어야 한다. 이 부분에 아직까지 적합한 회로나 집적회로가 없다. 즉 시중에서 쉽게 구할 수 있는 집적회로(forward형,

fly-back형)로 회로를 만들면 드라이버 회로의 효율이 떨어져서, 형광등보다 광 효율이 떨어진다.

따라서 본 연구에서는 광대역에 걸친 전력의 효율이 높은 회로인 LLC resonant (인덕터-인덕터-축전기 공진회로)를 DC/DC 변환회로로 채택하여 고효율의 전력기기를 구성하기로 한다.

이러한 요구조건을 맞추기 위하여 그림 2와 같은 기존의 LED드라이버를 구성하기로 한다.

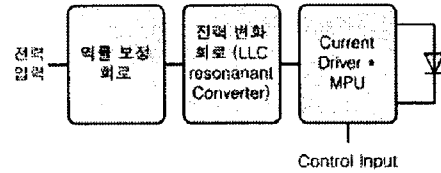


그림 2. 고효율 LED 구동회로의 구성

본 연구에서는 별도의 회로 개발보다는 이 구성에 각 부분의 효율을 최고화 하여 전체효율을 높이는 방향으로 시스템을 개발, 구성하여 본다.

3.1 역률 보정회로

역률 보정회로는 AC 입력을 정류된 맥류상태에서 DC400V의 축전기로 승압시켜주는 boost converter로, boost 된 전압은 약간의 맥류 성분을 가지게 된다.

이 역률 보정회로의 효율은 높게 유지할 수 있다. 본 회로는 약 98%정도의 효율을 구현하고 있다. 더 높은 효율을 구현할 수 있지만 실제로 기기의 크기, 제품가격을 고려한 실제 판매되는 제품이므로 98%로 회로의 부품을 선정 회로를 구현하였다. 물론 광대역 110V/277V공용인 경우 110V로 입력 전압을 내리면 효율이 낮아진다. 따라서 본 기기에서는 110V용, 220V용, 또는 277V나 광대역용으로 구분하여 개발하기로 하고, 본 초기연구는 220V단일 전압을 기준으로 시스템을 최적화한다.

이 용도의 집적회로는 반도체 메이커에서 많은 종류가 발매되어있다. 본 연구에서는 인덕터의 크기를 작게 할 수 있는 Transition-Mode의 역률 보상용 전원회로의 집적회로를 선택하여 사용하기로 한다. Transition-Mode는 인덕터의 전류가 0으로 될 때 까지 기다려 Transistor를 On 시켜주므로 인덕터를 비교적 적은 용량으로 설계가 가능하고, 스위칭 주파수를 낮출 수 있어 소용량의 고효율기기에 유리하다. 전체 구성도는 그림3과 같다.

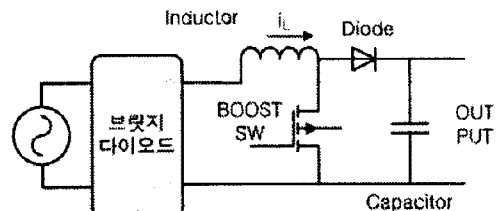


그림 3. 역률 보정회로

이 보정회로의 입력 교류전류와 브릿지 다이오드를 흐르는 전류의 파형은 그림 4(a)와 같다. 이때 인덕터를 통과하여 MOSFET에서 단속되는 전류 파형은 그림 4(B)와 같다.

이 회로는 RFI(고주파장애)가 발생할 우려가 있는 회로로서, MOSFET의 Drain과 Diode의 연결점을 가능한 짧게 처리하여 고주파 장애가 일어날 소지를 줄이는 PCB(Printed Circuit Board인쇄회로)의 설계가 회로의 효율을 높이는 역할도 겸하게 된다. 이 회로의 DC출력전압은 높이면 역률 보상기능이 우수해 지고, 낮추면 효율이 저하 되는 특성을 가졌다. 즉 100~110V용기기 에서는 고효율의 성능을 구현하기 위해서는 220V용 기기보다 낮은 출력 전압의 회로를 구현하는 것이 유

리하고, 광대역 전원장치가 되면 효율이 저하되는 이유가 된다. 본 회로에서는 220V용으로 설정하고 385V를 기준으로 회로를 구성하였다.

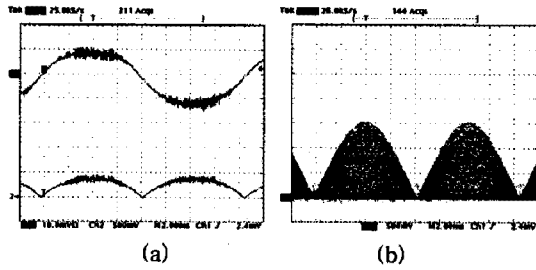


그림 4. 각단의 입력 전류와 출력 전류
(a) 교류입력 전류와 다이오드 전류
(b) MOSFET전류

3.2 DC/DC converter (LLC resonant converter)

역률 보정회로의 출력 DC 전압은 400V를 기준으로 약 20V가 출력 거리는 전압이 되도록 설계하였다. 이 전압은 120Hz의 교류성분을 가졌고, LED에 인가하기에는 높은 전압이라 LED 구동에 적합한 전압으로 전압을 낮추어 주어야 한다. 따라서 이 DC/DC는 목적하는 DC 출력 전압을 얻는 것과 동시에 고 효율회로를 구성하여야 한다. 본 기기에서는 여러 전자 업체에서 채택하고 그 성능이 검증된 LLC 공진회로를 채택하여 변환부에서 최대 96%의 효율을 구현하기로 한다. 이 회로의 모형은 그림 5에 그려져 있다.

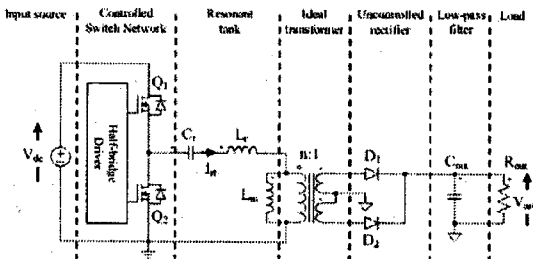


그림 5. LLC resonant Converter

이 회로는 기존의 많은 전원 설계자들이 사용하는 fly-back type이나 forward type의 전원회로와 비교하여 높은 효율을 구현한다. 즉 기존의 회로들이 트랜지스터를 강제로 On-Off시키는 hard-switching 이므로 전원장치의 손실을 발생한다. 이를 ZCS (Zero Current Switching)이나 ZVS (Zero Voltage Switching)를 사용하면 스위칭 손실을 최소화 할 수 있으므로 이를 채택한 LLC 공진형 전원회로를 채택하기로 하였다.[3],[4]

이 공진형 전원장치는 현재 손바닥만한 회로가 350Watt의 직류 출력에 97.5%의 효율을 가진 전원장치가 시중에 상품으로 나와 있을 만큼 고효율이 보장된 제품이지만, 트랜스-인덕터의 성능과 생산의 균일성이 보장된 고압 콘덴서등 전력전자 부품이 필요하다.

이 회로의 중추적인 변압기 인덕터는 그림 6과 같은 구조를 가졌다.

즉 L_r - L_m - C 의 L_r 과 L_m 은 Transformer의 누설자계로 인한 누설 인덕턴스와 자화 인덕턴스를 이용한다. 그림 6의 변압기로 원하는 성능을 얻었지만 다른 연구에서는 이와 다른 형태의 누설자계 인덕터도 고효율의 변환이 가능하다.[3]

이 회로는 10%~100%의 출력 변동에 거의 95%이상의 효율을 가지게 동작시킬 수 있다. 즉 SMPS의 손실의 대부분이 스위칭손실, 변압기의 자계 손실인 점을 감안하면 충분히 효율이 올라가는 점을 이해 할 수 있다.

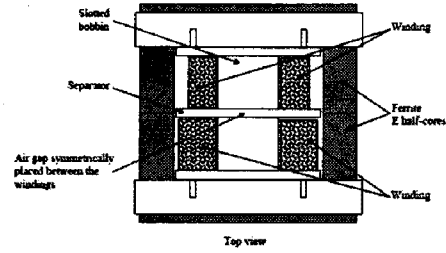


그림 6. LLC resonant Inductor -transformer

3.3 LED Current Driver

LED의 광의 크기는 전류에 비례함은 이미 알려져 있다. 이러한 특징에 본기에 접속시키는 제어기는 여러 입력장치에서 입력된다.

- (1) ANSI E1.3은 0 ~ 10V의 제어 신호
- (2) ANSI E1.11 - 2004 (USITT DMX512 -A)제어신호
- (3) IR remote Control (NEC code)

이 다양한 입력의 신호는 다양한 소비자들에게서 요구되는 사항으로 보통 국내에서는 (1), (3)의 제어기능이 많이 요구되고, 해외의 소비자는 (1), (2)기능을 선호하고 있다.

본 기기에서는 디지털 입력의 미소한 변화에도 적용하기 위하여 정밀 제어되는 PWM형태로 LED의 전류를 제어하기로 한다.

이 제어회로 구성은 그림 7과 같은 구성을 가진다.

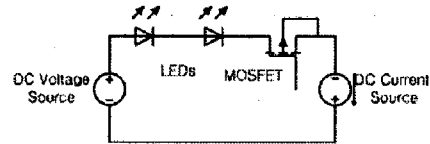


그림 7. LED 전류제어회로의 구성

LED 전류 제어회로는 전류제한 회로를 내장한 회로로 구성된다. 정 전류 회로가 LED에 직렬로 연결되어 전류를 PWM으로 8 bit의 정도로 제어하고 이 PWM의 변화량은 중앙의 마이크로프로세서가 그 PWM의 펄스폭을 제어한다. 한편 이 마이크로프로세서는 각 입력을 받아 원하는 PWM의 출력을 결정하게 된다.

위의 회로에서 DC Current source는 현재 많은 반도체제조 회사에서 판매하는 정 전류 회로를 사용하였고, PWM은 마이크로프로세서에서 직접 그러한 정 전류 집적회로에 인가되는 구성을 가졌다.

본 구성에서 정 전류 회로는 PWM의 형태로 On/Off된다. 즉 회로의 전류가 제어신호에 따라, 정전류의 100%와 0%를 변화게 한다. 이때 전압이 너무 높으면 정 전류 회로가 100%의 전류가 흐르는 동안 정 전류회로의 발열이 문제되고, 전압원의 전압이 너무 낮으면 정 전류 회로의 정 전류 특성을 충분히 구현하지 못하게 된다.

따라서 마이크로프로세서는 정전류원의 PWM과 동기되어 정전류 회로의 단자전압을 측정하여, 정전압 전원의 전압을 미세 조정하여 전체회로의 효율을 높임은 물론, 정밀한 전류제어가 되도록 하는 제어기 역할도 하게하였다. 그러한 기능 외에 다음 장서 언급하는 다양한 제어입력 선택기능도 겸하여 동작하게 하였다.

3.4 다 입력에 대응한 조명기기 제어알고리즘구현

LED제어장치의 입력에는 이미 언급된바와 같이 2가지 이상이 연결된다. 여기에서는 3가지 입력을 가정하고 이 3가지 입력에 대하여 그림 3과 같은 논리 천이상태를 갖는 시스템을 설계하였다.

즉 디지털의 입력인 경우에는 입력의 유무에 따라 그 신호입

력에 대응하면 되고, 0-10V의 아나로그입력인 경우에는 전원을 키면 그 모드로 따라가게 되나 디지털로 천이된 후에 그 아나로그 입력이 10%정도 변하게 되면 'user가 제어를 요구 한다' 라고 인식하여 그 입력을 제어신호로 받아들이는 형태로 동작하게 하였다.

이 상태천이도는 대표적인 상태 특성표이고, 각 모드에서도 특수상태천이상태를 첨부하여, 설정하여 비상시에 통신이 우위를 갖는 등 여러 가지 보조기능을 첨부하였다.

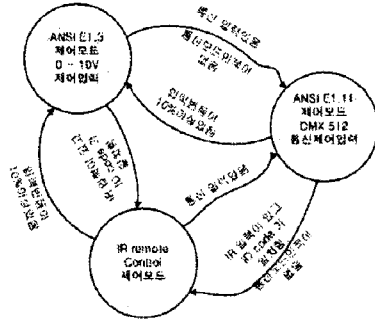


그림 8. 사용자 입력에 따른 조명단말기의 제어

3.5 고 신뢰성 조명기기 성능구현

LED등기구의 수명은 대략 50,000시간의 수명을 요구하고 있다. LED등의 수명이 LED의 온도와 LED의 수명에 따라 전체 수명이 결정되지만, 실제로 시스템의 수명은 전원회로의 신뢰성에 따라 결정될 수도 있다.

즉 시스템의 신뢰성은 가장 취약한 요소에 의하여 결정되므로, 전원장치의 수명이 LED보다 길지 못하면 전원장치의 수명이 전체 시스템의 수명을 결정하게 된다.

이러한 문제점은 전원장치의 MTBF (mean time between failure)를 길게 하는 방법만이 그 문제점을 해결할 수 있다. 즉 MTBF를 길게 하려면 전체 부품의 동작온도를 부품의 정격 온도보다 낮추는 노력이 필요하다.

가령 105도의 콘덴서가 수명이 2,000시간이 보장된 시간이라면 라면 85도의 동작온도에서는 200,000시간이 보장된다. 이러한 전체 시스템의 동작 온도를 낮추는 효과는 부품의 수명을 연장 시켜줄 수 있기 때문에 시스템의 방열에 신경을 쓴 제품의 구성이 필요하다.

따라서 본 기기에서는 가능한 125°C의 부품을 사용하여 기기를 구성하였다. 즉 동작 주변온도가 85도로 설정하면 40°C이상의 여유동작 온도를 소자가 가지고 있게 된다.

이러한 노력 외에 부품의 내압을 충분히 높여 부품의 예상 수명을 늘려 주어야한다. 즉 고압부품은 온도에 영향을 받는 것 외에 부품에 인가된 고압의 충 방전 회수에도 영향을 받는 것이 알려져 있다.

4. 실험 및 결과

본제품의 개발은 다음과 같이 3개 개발팀이 개발 하였다.

- (1) 전원장치 개발팀
- (2) 디지털 제어 개발팀
- (3) 통신 및 제어용 소프트웨어 개발팀

그 결과 다음과 같은 성능을 갖는 시 제품의 개발이 가능하였다.

- (1) 전원공급장치 부분: 효율 90% 역률 95%이상
- (2) 제어부분:
 - ① 8 비트의 분해능 갖는 LED제어회로 개발
 - ② 여러 입력을 갖는 통신 및 제어용 소프트웨어탑재

이 시제품이 그림 4에 표시되었다.

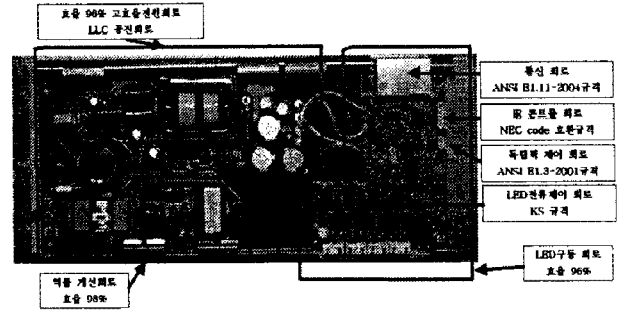


그림 9. 시제품의 외형

본 제품을 등기구에 적용하여 LED조명 장치를 구성하였다. 등에는 2종류의 LED를 적용하였다. 국내용으로는 황색형광체를 사용한 LED로, 연색성이 70이고 광효율은 80Lumen/W의 LED를 적용하여 65Lumen/W LED등을 개발하였고, 해외의 등기구에는 청색 LED에 적, 녹색형광체를 적용한 제품으로 LED는 40Lumen/W에 CRI90인 제품을 적용하여 32lumen/W의 조명을 개발하였다. 그림 5에 두 LED의 광 특성을 보여주고있다.

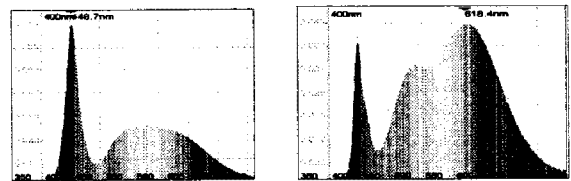


그림 10. 황색 형광체와 적, 청 형광체를 사용한 LED의 광 스펙트럼 분해사선

(a) 황색 형광체 (b) 적 청 형광체

5. 결론 및 추후과제

고효율 성능을 갖는 85W 출력 LED 전원장치를 개발하였다. 이 개발품은 LED의 구동에 정격에 90%이상의 효율을 보임은 물론, 10%로 밝기를 감소 시켰을 때 전체 전원의 효율이 90% 이상으로 유지 되는 높은 효율을 보여준은 물론, 여러 입력에 지능적으로 대처하여 사용자에게 편리함을 제공함은 물론 장치 수요가 예상되는 지능형 조명제어장치에 보다 편리하게 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

1. 조명기술연구소, '가로등대체용 LED 등기구 고효율 기술기준 (안)', 2008, 9,5
2. 한수빈, 'LED 조명용 전원의 설계기술 현황', 한국조명·전기설비학회, 조명·전기설비 제17권 제2호, 2003. 4,
3. Bo Yang, 'Topology Investigation for Front End DC/DC Conversion for Distributed Power System.' Dissertation of Ph. D. 2003, Virginia Polytechnic University
4. Robert W. Ericson, Dragan Marsimovic, 'Fundamental of Power electronics'
5. 'KS CIEC 60598-1 규격' 2002