

고휘도 LED 램프의 전원기술 동향

한수빈, 정학근, 정봉만, 박석인, 유승원
한국에너지기술연구원

A Status of Power Supply Technology for High Intensity LED

Soo-Bin Han, Hak-Kun Jung, Bong-Man Jung, Suck-In Park, Song-Won You
Korea Institute of Energy Research

ABSTRACT

Status of high intensity LED, one of the recent issue in industry is reviewed. In a system view, various power supply methods for multiple array construction are introduced rather than one for single LED. Custom IC for driving LED and different circuit for applications are also considered.

1. 서론

최근에 LED의 적용은 적색, 주황, 녹색, 청색 뿐만 아니라 백색을 포함한 고휘도 LED 및 고광속 LED의 기술개발로 인하여 종래의 신호용 외에 조명등으로서의 영역까지 넘보고 있다[1]. 물론 실제 조명용으로 사용되기에는 해결해야 할 과제들이 많지만 기술의 발달로 저전력부터 멀지 않은 장래에 실용화가 될 것으로 전망된다. 발광효율이 높고, 장수명의 반도체 LED가 조명에 사용된다면 사용 전력이 상당히 절약되는 것은 당연시되며 가격면에서 좋은 조건이 되면 시장에서 상당한 경쟁력을 얻을 것으로 보인다.

LED 시스템의 전체적인 성능은 여러 요인에 의해서 결정되는데 그 중에 하나가 전원의 특성이다[2]. 전원의 변동함에 따라 LED의 광출력이 변동하게 되므로 일정한 광출력을 엄격히 필요로 하는 용도에서는 전원의 안정이 매우 중요하다. 또한 LED 자체의 수명은 매우 길지만 시스템의 측면에서 수명을 결정하는 것은 바로 전원장치의 수명이다. LED는 안정된 동작을 위해서는 어느 영역 이상으로 전압, 전류가 넘지 않아야 하는데 이를 결정하는 것도 전원장치이므로 신뢰성에도 영향을 주게 된다. 또한 같은 LED에 대해서도 회로의 방식에 따라 전체 소비전력이 차이가 나므로 시스템의 효율측면에서도 전원의 설계기술은 매우 중요하다. 따라서 본고에서는 LED 조명용에서 최근에 사용되는 여러 가지 전원 설계 기술

에 대해서 소개하고자 한다.

2. 다수의 LED 시스템의 구동 전원의 설계

2.1 LED array의 구성과 저항에 의한 전류 제한

현재 대부분 LED 램프의 설계는 LED array의 전류제한을 위해 저항을 사용하고 있다. 보통 12-24V 직류전원에서 직렬로 연결된 다수의 LED를 기본 구성으로 하여 구동하게 되는데 일반적인 array의 구성은 그림 1과 같이 구성되고 있다. (a)는 y개의 LED가 직렬로 연결된 줄마다 각각 전류제한용 저항을 사용한 것이고 (b)는 전체 LED에 대해 단일 저항을 사용한 것이다. (c)는 이들의 혼합방식이다. 통상은 직렬방식 또는 혼합방식을 사용하게 된다. 어떤 방식을 사용하더라도 모든 LED에 동일한 순전류가 흐르도록 설계하여야 하는 것이 중요하다.

LED의 전압, 전류특성은 실제로 연결방식에 따라서 변화를 보이고 있는데 한줄에 연결되는 LED의 수에 따라 입력전압이 어떠한 영역에 걸쳐서 변화하기 때문에 순전류의 변화가 초래된다. 일반적으로 구성되는 줄의 수가 증가함에 따라 순전류의 변화는 커지게 된다. 그림 2는 입력전압에 대해서 각 줄의 LED의 순전류의 변화를 보여주는 것으로 줄당 2개에서 6개의 LED가 연결된 경우가 비교되고 있다. 직렬로 연결된 수가 많을수록 순전류의 변화가 가장 크고 또한 threshold 전압도 가장 크다. 또한 온도에 대해 순전류의 변화도 약간 더 있게 된다.

고정된 전체 LED의 수에 대해서 줄당 LED를 많이 사용할수록 전체 줄수는 줄어들게 되고 전체 공급전류는 줄어들게 된다. 그림 2는 그림 1의 전체 공급전류를 보여주는 것으로 모두 60개의 LED를 사용하는데 한줄에 2개의 LED를 사용하는 경우 30줄이 필요하고 한줄에 3개의 LED를 사용하는 경우 20줄이 필요하게 된다. 전체 공급전류는 줄수가 많아질수록 커지게 됨을 주의하여야 한다.

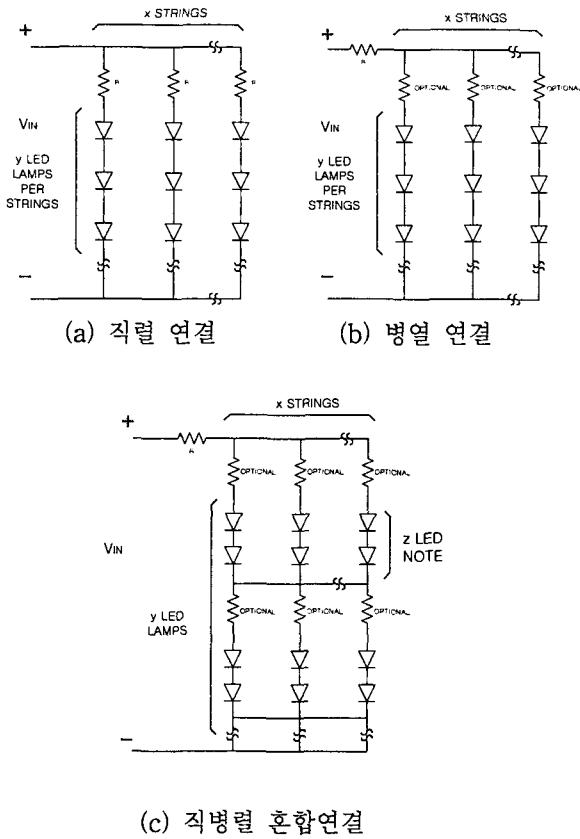


그림 1 LED 램프에서 array의 연결 방식
Fig. 1 Array construction method for LED lamp

따라서 통상 사용되는 전원의 경우 한줄당 LED의 수는 입력전압의 변화에 대한 순전류의 조절측면과 전체 LED의 공급전류사이에서 균형점을 찾아 결정하고 이러한 이유 때문에 대부분의 12V전원에서 저항을 전류제한으로 사용하는 경우 줄당 3개 또는 4개의 LED를 사용하는 경우가 많다.

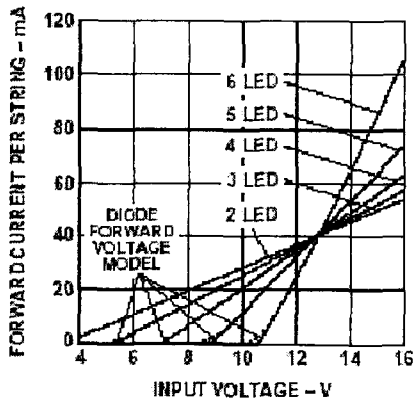


그림 2 인가전압에 대한 줄당 LED 구성에 따라 변화하는 순전류 특성
Fig. 2. Forward current characteristics as LED construction per array given biased voltage

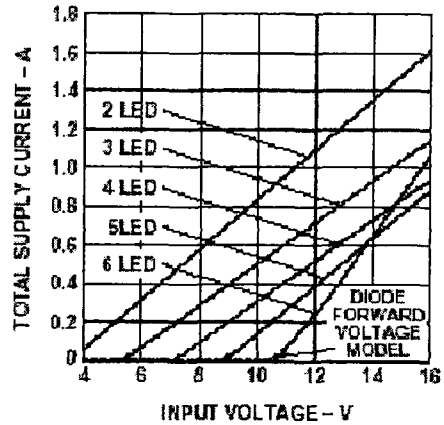


그림 3 LED를 줄로 구성하는 방법에 따른 전체 전류의 특성
Fig 3. Total current characteristics as LED array construction method

2.2 전류 및 전압 조정 회로의 사용

부하의 변화 또는 입력전압의 변동에 대해서 LED array에 일정 전압 또는 일정전류를 공급하기 위해서는 능동회로 기법을 사용하고 있다. 이들 회로는 광출력이 부하의 상태나 입력전압의 변동에 무관하게 일정하게 해주는데 그림 4에 다양한 방식을 소개하였다. (a), (b), (c)는 전압을 일정하게 유지하는 회로이고 (d), (e), (f)는 전류를 일정하게 유지하는 회로이다. 각각 shunt, series pass 그리고 스위칭 방식으로 구성이 가능한데 shunt와 series pass방식은 반도체소자가 능동영역에서 동작하는 반면에 스위칭 방식은 반도체소자가 on-off로만 동작이 된다. 스위칭방식의 경우 효율이 좋은 반면 구성이 보다 어려워지게 되지만 회로 구조에 따라서 승압 또는 강압이 가능하다. 스위칭 방식에서의 여러 회로구조는 다양하게 있지만 LED 조명과 관련해서는 주로 buck형 또는 boost형이 사용된다.

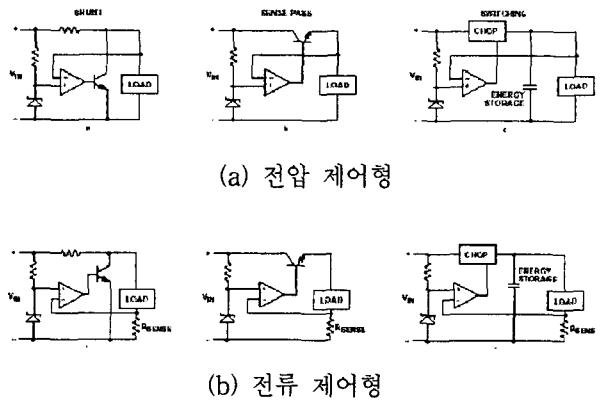


그림 4 LED 구동용 능동회로의 여러 방식
Fig 4. Various circuit method for driving LED

LED는 전류 제어나 전압제어 방식으로 구동이 되는데 전류제어의 경우 전체 전류는 전압, 온도, 순전압 불균형 특성과 무관하게 결정된다. 전압제어의 경우는 LED array의 순전압은 전압변동에 무관하게 유지되게 된다. 그러나 주변온도의 변화와 서로 다른 순전압 특성을 갖는 제품이 사용되는 것이 일반적이므로 실제적으로 순전류에 영향을 줄 수 있다.

2.3 정전류 회로방식의 구성에 따른 특성 변화

정전류 회로도 구성되는 방식에 따라서 LED array의 전압, 전류 제어 특성이 다르게 된다. 예로서 30개의 HPWT-DH00 SuperFlux LED에 대해 12.8V에서 LED 당 50mA로 동작되도록 설계할 경우의 입력전압의 9V에서 18V사이에서 변동할 때 4개의 회로 방식으로 구성할 때 전체 전력소비특성 또한 다르게 된다.

(a) 전류 제한용 저항 사용한 경우

LED의 선형 모델을 사용할 경우 순전압은 $V_{CNOM}=1.91V$ 이고 R_{SNOM} 은 9.2Ω 일때 그림 5-a와 같이 LED 3개를 직렬로 10줄로 구성한 경우와 8개를 직렬로 하여 4줄로 구성한 경우에서 3개가 직렬로 된 줄에서 $R=114\Omega$ 이고 4개가 직렬로 된 줄에서는 66Ω 을 사용한다. 입력범위가 7V~18V에 대해서 LED에 흐르는 순전류는 그림 5-b와 같이 변화한다.

(b) series pass 정전류 회로(한줄에 10개의 LED를 직렬로 3줄로 구성)

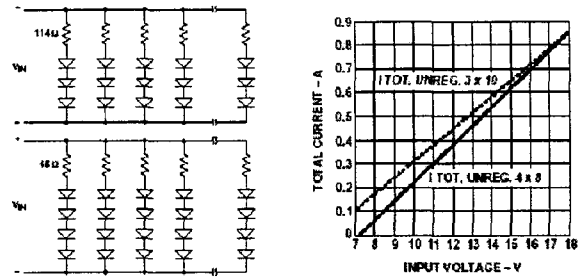
그림 6과 같이 series pass 정전류 조절방식에서는 순전류는 50mA에서 7.1V이다. 전류감지용 저항에서의 0.25V의 전압강하를 가정하면 9V 입력전압에서 조절기의 강하전압은 $(9V-7.1V-0.25V)$ 즉 1.65V가 된다. 10줄의 LED array가 존재하므로 전체 LED의 전류는 $50mA \times 10 = 500mA$ 가 된다. 따라서 센서용 저항은 $0.25V/0.5A = 0.5\Omega$ 을 사용한다. 전체 입력전압범위 7V~18V에서 전체 부하전류는 그림 6-b와 같이 변화한다. 이 회로는 9V보다 큰 입력전압에 대해서 정전류를 유지하게 된다. 따라서 회로의 정상동작은 다른 부수적인 전압강하를 감안하면 입력전압이 10V는 되어야 한다.

(c) 스위칭 방식의 정전류 회로(한줄에 10개의 LED를 직렬로 하여 3줄로 구성)

스위칭방식의 정전류 조절회로는 그림 7과 같다. 스위칭회로는 출력전압이 항상 입력전압보다 적을 때는 buck형 또는 강압회로를 사용하고 그 반대일 경우에는 boost형 또는 승압회로를 사용한다. buck/boost 또는 승강압회로는 모든 경우에 동작이 가능한 회로이다.

일반적으로 스위칭 방식은 평균 입력전류를 정해진 효율로 출력전류로 변환하는데 보다 높은 입력전압에서 효율은 다른 방식보다 높게 된다. 센서용 저항에서의 0.25V 전압강하를 가정하고 10줄의 회로에 대해서 $R_{sense} = 0.25/0.5A = 0.5\Omega$ 을 선택하고 효율을 80%로 가정

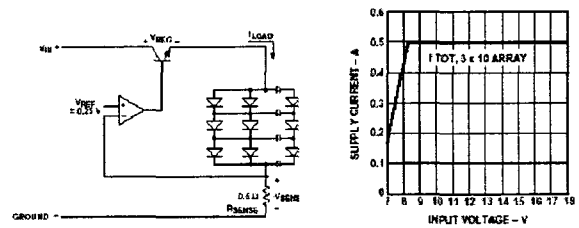
하고 입력전압 변동을 7V~18V가정하면 입력전류와 전체부하전류는 그림 7-b과 같이 변화하게 된다.



(a) 저항을 사용한 회로 구성 (b) 전류의 변화

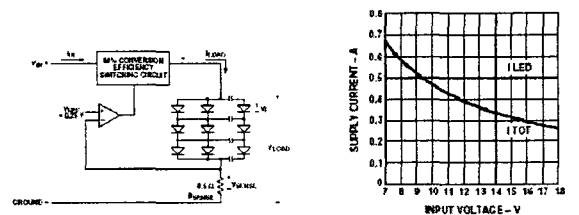
그림 5 전류제한용 저항을 쓰는 경우의 회로와 LED의 순전류 변화

Fig 5. Circuit using current limiting resistor and forward current characteristics



(a) 회로 구성 (b) 전류의 변화

그림 6 Series pass 정전류 조절방식을 사용하는 경우 Fig. 6 Circuit using constant current series pass and forward current characteristics



(a) 회로 구성 (b) 전류의 변화

그림 7 스위칭 정전류 조절방식을 사용하는 경우 Fig. 7 Circuit using constant current switching converter and forward current characteristics

4개의 서로 다른 설계방식에서 전체 전력소비는 그림 8과 같이 인가전압에 대한 전체 전류 특성에서 파악된다. series pass와 스위칭방식은 과전압상태에서 전류제한 저항방식보다 효율적이다. 입력전압 18V에서 저항사용방식은 소비전력이 15W인데 series pass 방식은 9W, 스위칭 방식은 5W가 된다.

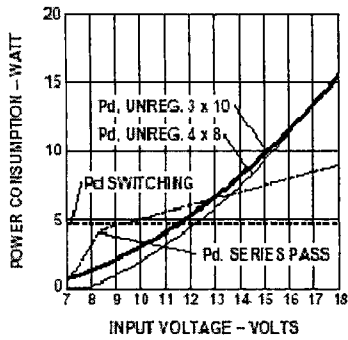


그림 8 인가 전압에 대한 전체 공급전류의 비교
Fig. 8 Total current characteristics for biased voltage

3. LED구동용 상용 IC와 시스템 구성의 소개

최근에 LED 구동용으로 다양한 IC가 소개되고 있다. 용도로는 수개에서 수백개의 LED를 구동할 수 있으며 기능으로는 정전압, 정전류 또는 역율제어도 포함하는 것도 개발되고 있다. 그림 9와 그림 10은 이러한 IC의 적용 예로서 그림 10의 경우는 고기능화된 제품으로 수백개의 LED를 구동하는 것으로 되어있다. 대부분 유수의 반도체 회사들은 어떠한 형태든지 LED 관련 제품을 출시하고 있다.

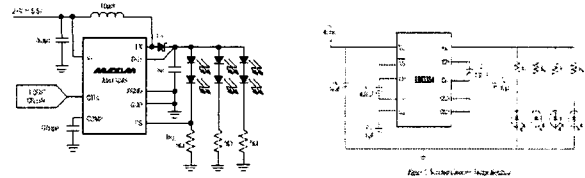
실제 LED array들에 대한 전원을 구성하는 경우는 정류회로, DC-DC 컨버터회로를 기본으로 하여 구성한다. 입력측에서 고조파와 역율을 강화하는 경우는 입력단에 EMI필터가 필요하고 또한 역율보상장치가 요구된다. 역율보상의 경우는 능동소자를 이용한 방식의 경우는 역율이 99%이상 조절이 가능하지만 가격이 상승하는 것을 감수하여야 한다. 수동소자를 사용하는 경우는 정류기 출력에 valley-fill회로를 사용하거나 입력측에 LC filter를 사용하는 방법이 있다. 이 경우는 설계가 잘되는 경우 90-93%정도까지 역율이 가능하게 된다.

LED의 경우 온도에 따라 광특성이 변동이 생기거나 동작시간에 따라 광특성이 변동이 있을 수 있게 된다. 따라서 이를 보상하기 위해서 여러 방식이 존재하지만 가장 보편적인 방식은 LED의 광출력을 광센서를 사용하여 DC-DC 컨버터를 제어하는 데 사용하는 것이다.

4. 결 론

현재 대부분의 반도체 회사들은 LED구동 IC를 저마다 출시하고 있거나 준비하고 있으며 계속적으로 발전시킬 전망이다. 실제로는 가격과 응용 대상과 요구하는 성능의 정도에 따라서 사실상 전원의 구체적인 설계가 달라질 수 있으므로 전용 IC를 사용하는 경우보다 별도로 구성하는 경향이 많으나 향후 IC의 성능과 가격에 따라

전용 IC의 채용이 보편화 될 수 있다. 궁극적으로 설계 및 제작에 있어서 가장 우선시하는 것은 과전압, 과전류 및 온도상승에 대해서 LED가 손상되지 않도록 설계하는 것이며 그 다음으로 광속의 유지, 효율 측면에서 여러 가지 회로 및 array의 구성방식이 적용되고 있다.



(a) Maxim사 (b) National Semiconductor사

그림 9 White LED 구동용 컨버터 IC
Fig. 9 Converter IC for driving white LED

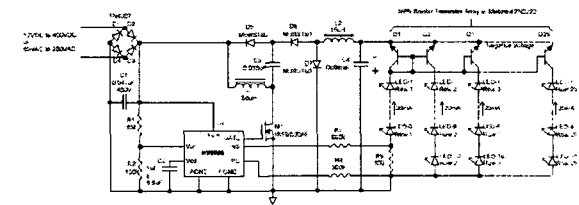


그림 10 역율제어와 수백개의 LED 구동이 가능한 DC-DC 컨버터(Supertex사)

Fig. 10 DC-DC converter to control power factor and drive over 100 LED

참 고 문 헌

- [1] S. Periatu, "Applications of Advanced Solid State Lamp", IEEE Indus. Appl. Mag. pp.31-42, 1998
- [2] "Electrical Design Consideration for High Flux LEDs" Lumiled, 2003