

LED 조명용 전원의 설계기술 현황

한 수 빈 <한국에너지기술연구원 책임연구원>

1 서 론

최근에 LED의 적용은 적색, 주황, 녹색, 청색 뿐만 아니라 백색을 포함한 고휘도 LED 및 고풍속 LED의 기술개발로 인하여 종래의 신호용 외에 조명 등으로서의 영역까지 넓혀지고 있다. 물론 실제 조명용으로 사용되기에는 해결해야 할 과제들이 많지만 기술의 발달로 저전력부터 멀지 않은 장래에 실용화될 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. 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 대

해서도 회로의 방식에 따라 전체 소비전력이 차이가 나므로 시스템의 효율측면에서도 전원의 설계기술은 매우 중요하다. 따라서 본고에서는 LED 조명용에서 최근에 사용되는 여러 가지 전원 설계 기술에 대해서 소개하고자 한다. 먼저 개별 LED에 만족되어야 하는 설계 조건 등에 대해서 살펴보고 다음으로 다수의 LED 집합에 대한 설계 방법을 살펴본 후 기타 여러 LED의 적용에 대한 전원의 예를 보도록 하겠다.

2. 개별 LED가 만족되어야 하는 조건

LED 램프 또는 LED 신호 및 디스플레이에서 LED를 구동하는 회로를 설계하는 것은 최적의 광출력, 신뢰성, 수명, 전력소비 등을 만족시키기 위해서 필요하다. 각 LED의 성능특성 등은 소자의 사양설명서에서 제시되고 있으며 LED 광원을 적절히 설계하기 위해서는 제조회사마다 종류마다 다른 LED 소자 자체의 기본적인 전기적, 광학적, 열적 특성을 잘 이해하여야 한다. 소자의 광학적, 전기적 특성 그리고 최대로 동작할 수 있는 조건들을 설명하고 있으며 이들에 대해서 살펴본 후 설계에 있어서 중요한 파라미터에 대해서 설명하기로 한다.

2.1 전원 설계에 이용되고 있는 사양서의 정보

(1) 순전압(Forward voltage)와 순전류 관계 (Forward current)

그림 1과 같은 특성을 보면 threshold voltage V_{th} 이전까지는(이 LED의 경우는 약 1.5V) 전류가 거의 흐르지 않고 V_{th} 이후에는 전류와 전압이 선형적인 관계로 변화한다. 1V이하의 좁은 전압의 범위에서는 넓은 범위의 전류의 변화가 나타나게 됨을 알 수 있다. 따라서 LED의 광을 제어하는 데에는 전압을 제어하는 방법보다는 전류를 제어하는 것이 용이하며 또 정확도를 높일 수 있음을 알 수 있다. V_{th} 이하에서는 실제 100(μ A)이하의 전류가 흐르게 되는데 AlInGaP 소자의 경우 높은 광학적 효율 때문에 적은 전류에서도 감지할 수 있는 미세한 광이 발생되게 된다.

(2) DC 순전류에 대한 상대적 광도 관계

LED는 흐르는 전류에 의해서 광출력이 변동하게 되며 이를 정량적으로 파악할 수 있는 것이 그림 2와 같이 회사에 따라 다를 수 있지만 20(mA)의 DC 순전류 값에 대해서 출력 광도를 정규화한 표이다. 이를 이용해서 실제 흐르는 직류 전류에 대한 광출력을 알 수 있다.

(3) 피크전류에 대한 상대적 광효율 관계

LED를 직류로 구동하지 않고 펄스로 구동하는 경우에도 그림 3과 같은 20(mA)를 기준으로 피크전류에 대한 광도의 정규화한 표가 이용되고 있다.

(4) 주변온도에 대한 최대 DC 순전류관계

주변온도에 대해서 흐를 수 있는 DC 전류가 제한되는데 그림 4와 같이 온도가 증가할수록 허용되는 전류는 작아진다. 따라서 온도상승에 대한 초기 전류의 설정등을 이러한 표를 참고하여 결정하는데 이용된다.

(5) 피크전류에 대한 최대 평균전류관계

그림 5는 피크전류에 대한 증가적으로 허용될 수 있

는 최대 평균 전류를 도표한 것으로 여기에서는 펄스구동의 주파수에 따라 허용값이 영향을 받는 것을 알 수 있다. 즉 펄스구동의 주파수가 클수록 같은 피크전류에 대해 증가적으로 허용되는 최대 평균전류가 증가하므로 높은 주파수가 실제로 유리함을 보여준다.

(6) 온도와 광속과의 관계

LED의 경우는 온도가 증가하면 역으로 광속은 떨어지는 그림 6과 같은 특성을 보인다. 85 $^{\circ}$ C에서 광출력이 25 $^{\circ}$ C의 경우의 50%정도가 되고 -40 $^{\circ}$ C에서는 25 $^{\circ}$ C의 경우의 2배의 광이 출력된다.

2.2 설계에 있어서 고려되는 중요한 파라메터

일단 동작 가능한 영역을 벗어나지 않도록 하는 것이 중요하며 전원부에서 이러한 동작의 한계를 결정하는 2가지의 기준은 최대 구동전류와 최대 LED 접합 온도 T_{JMAX} 이다. 최대 구동전류는 긴 수명을 보장하기 위한 것이고 접합온도는 소자의 패키지가 견딜 수 있는 한계와 관련된다. 이와 관계된 설계에서 고려될 사항은 열저항, 최대 소비 전력, 온도에 따른 구동전류의 특성, 전류의 제한, 광출력의 결정, 직류구동과 펄스구동의 결정 등이 있다.

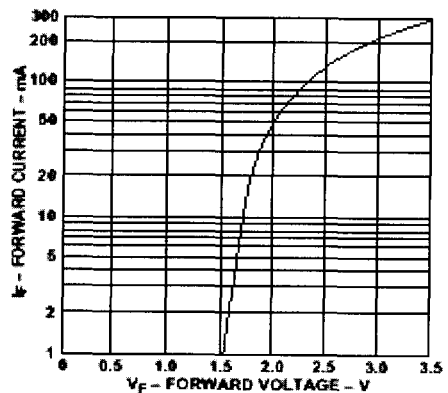


그림 1. 순전압과 순전류 관계

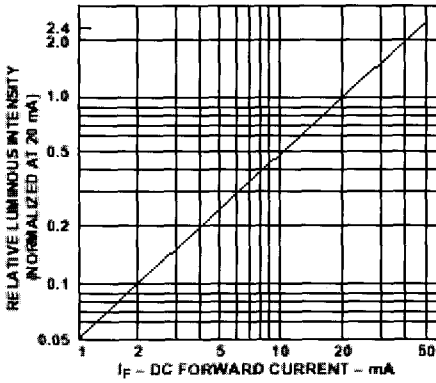


그림 2. DC 순전류에 대한 상대적 조도 관계

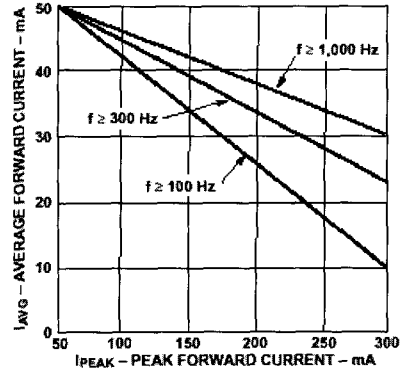


그림 5. 피크전류에 대한 최대평균전류

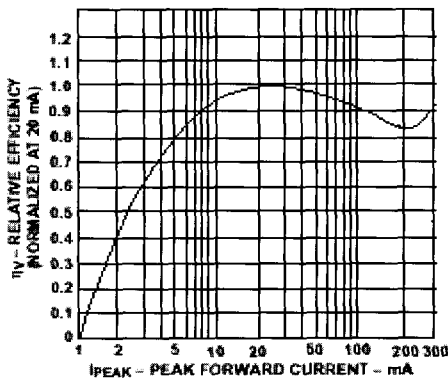


그림 3. 피크전류에 대한 상대적 효율 관계

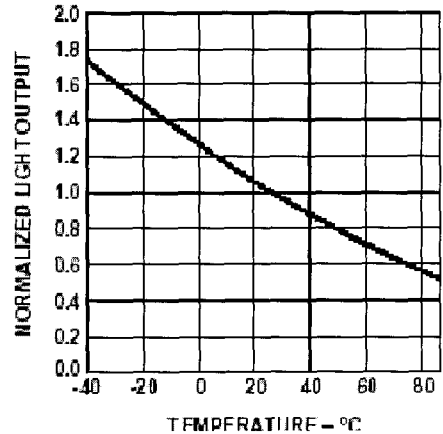


그림 6. LED의 온도와 광속의 변화

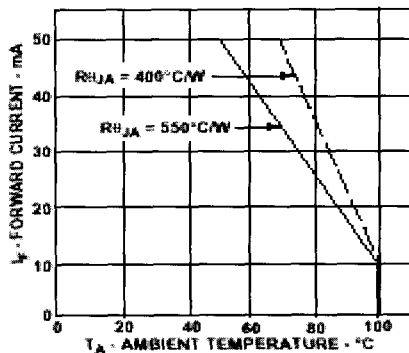


그림 4. 주변온도에 대한 최대 DC 순전류관계

(1) 열저항(Thermal Resistance)

LED의 접합온도 T_J 는 주변온도 T_A 와 접합에서 발생하는 주변온도이상의 온도증가 ΔT_J 의 합으로 결정된다. 온도 증가는 접합에서의 전력소비 P_D 와 접합과 주변온도사이의 열저항 $R\theta_{J-A}$ 의 곱으로 결정된다. 보통 대부분의 LED는 캐소드 핀이 접합에서부터 주위온도로의 열소비를 위한 주된 열이동 경로가 되도록 연결되며 제품 사양서에는 이와 관계된 열저항값이

기술해설

$R\theta_{J-PW}$ 으로 표시되어 있다. 실제 $R\theta_{J-A}$ 는 여기에 PCB와 주위온도 사이의 열저항 $R\theta_{PC-A}$ 를 더한 값이 된다. 즉 따라서 PCB의 설계에 따라서 $R\theta_{PC-A}$ 가 변화되므로 설계시 반영이 되어야 하고, $R\theta_{J-A}$ 는 LED 램프, LED 막대 또는 7-segment에서 LED 칩 1개에 대한 값이라는 것을 유의해야 한다.

(2) 최대 전력 소비(Maximum Power)

LED 접합에서 소비될 수 있는 최대 허용 전력 P_{MAX} 은 최대 직류 순전류와 [그림 1]로부터 결정되는 그때의 순전압의 곱으로 계산된다. 즉 $P_{MAX} = I_{DCMAX} * V_F$

(3) 온도에 따른 최대 구동전류의 감소 변화

그림 4와 같은 온도에 따른 구동전류의 변화는 구동전류, T_{JMAX} 그리고 $R\theta_{J-A}$ 의 함수가 된다. 보통 변화특성은 2개의 주변온도 50°C(실선), 70°C(점선)로 주어지게 된다. 설계시 특정 구동전류에서의 LED의 동작은 도표에서 나타난 접합과 주변온도사이의 열저항 $R\theta_{J-A}$ 의 곡선의 최대값 이하에서 동작 되도록 하여야 한다.

(4) 전류 제한

LED는 전류에 의해 동작이 좌우되는 소자이다. 소자의 안전을 위해 전류 제한에 대한 요구가 발생되며 보통 LED와 직렬로 전류 제한용 저항을 연결한다. [그림 1]와 같은 전압-전류 특성곡선에서 필요한 전류 제한 저항값을 계산할 수 있다.

(5) 광출력

직류 구동 조건에 대한 주변온도 $T_A=25^\circ\text{C}$ 에서의 광도는 그림 2과 같은 직류 순전류와 상대 광도율의 관계에서 $I_V(25^\circ\text{C})$ 와 상대광도율의 곱으로 구하게 된다. 펄스구동조건인 경우는 평균 광도는 그림 3에

서부터 피크전류에 대한 상대적 효율 η_V 로부터 결정된다.

$$I_V(\text{시평균}) = I_V(25^\circ\text{C}) * I_{AVG} / I_F * \eta_V$$

식에서 $I_V(25^\circ\text{C})$: 사양서에서 주어진 값

I_{AVG} : 동작 전류의 시평균값

I_F : 사양서에서 광도가 명시된 전류값

η_V : 피크전류 I_{PEAK} 에 대한 상대적 효율

계산된 주변온도 $T_A=25^\circ\text{C}$ 에서의 광도값은 다른 온도에 대해서는 다음의 지수함수적 관계에서 계산할 수 있다.

$$I_V(T_A) = I_V(25^\circ\text{C}) e^{[k(T_A - 25^\circ\text{C})]}$$

식에서 k 값은 LED 종류마다 AlInGaP의 경우 약 $-0.01/^\circ\text{C}$ 이다.

(6) 펄스구동과 직류 구동

인간의 눈에 적합한 광출력을 제공하는 데에 있어서는 가능한 DC 전류 구동을 하는 것이 펄스구동을 하는 보다 바람직하다. 높은 피크전류와 낮은 듀티율로 LED를 구동하는 경우는 높은 직류전류로 구동하는 것보다 항상 평균적인 광이 적게된다. LED array들을 변화하는 문자나 표시등을 구동하기 위해서 또는 가시광 영역이 아닌 응용시 광감지 장치에서 피크 광출력을 보내기 위해서는 펄스 구동이 일반적으로 사용된다.

펄스 구동시 적합한 광출력 특성을 위해서는 100[Hz]이상의 구형파 전류파형으로 구동하도록 제조사로부터 강력하게 추천되고 정현파 전류파형은 RMS 전력이 동일한 피크 전류에 대해서 구형파 전류파형보다 크기 때문에 선호되지 않는다. 만약 정현파

전류파형이 사용되면 피크전류는 최대 직류전류값보다 작아야 한다. 정현파 전류는 구형파 전류보다 광출력이 2/3정도로 적게 발생되고 60(Hz)의 구동시의 경우는 플리커현상을 피할 수 없게된다.

펄스구동으로 LED를 동작시킬 때는 소자의 성능을 좌우하는 것은 평균 접합온도가 아니고 피크 접합온도가 된다. 1(kHz)이하의 경우 피크 접합온도는 평균 접합온도보다 커지게 된다. 그림 5와 같이 결과적으로 허용되는 평균전류는 1(kHz)이하의 경우는 1(kHz)이상의 값보다 적어지게 된다.

2.3 신뢰성을 확보하기 위한 설계과정

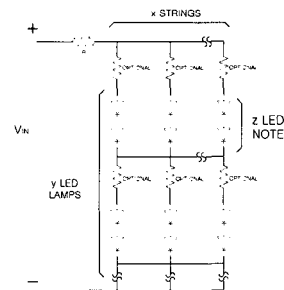
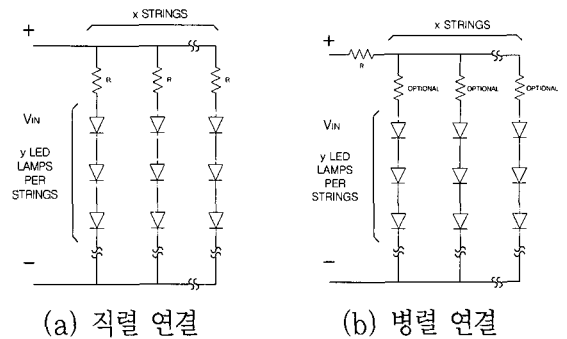
가장 기본적으로는 LED소자가 정상적인 동작영역을 벗어나지 않도록 하는 것으로 설계를 시작하는 것이 일반적이다. 그후 최적화 설계로 좁혀가는 방법이 타당성이 있게 된다. 무엇보다 온도의 영향에 대해 안전하여야 하는데 온도의 상승에 대한 구동 특성의 변화를 파악하기 위해서는 우선적으로 접합과 주변온도 사이의 열저항 $R\theta_{J-A}$ 가 반드시 결정되어야 한다. 이것이 결정되면 그림 4를 통해서 상승온도에 대해 동작안전영역을 위한 전류의 결정이 가능하게 된다. 설계의 단계는 다음과 같이 진행된다.

- (가) $R\theta_{J-A}$ 를 결정한다.
- (나) $R\theta_{PC-A}$ 를 계산한다.
- (다) 동작온도에 대한 허용 직류 최대전류를 결정한다.
- (라) 접합온도 T_j 가 최대값을 넘지 않는 LED 소비전력을 계산한다.
- (마) 전류 제한용 저항값을 계산한다.
- (바) 25°C와 상승된 주변온도에서의 조도를 결정한다.

3. 다수의 LED 시스템의 구동 전원의 설계

3.1 LED array의 구성 방법과 저항에 의한 전류 제한

현재 대부분 LED 램프의 설계는 LED array의 전류제한을 위해 저항을 사용하고 있다. 보통 12-24(V) 직류전원에서 직렬로 연결된 다수의 LED를 기본 구성으로 하여 구동하게 되는데 일반적인 array의 구성은 그림 7과 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.



(c) 직병렬 혼합연결

그림 7. LED 램프에서 array의 연결 방식

LED의 전압, 전류특성은 실제로 연결방식에 따라 서 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 8은 입력전압에 대해서 각 줄의 LED의 순전류의 변화를 보여주는 것으로 줄당 2개에서 6개의 LED가 연결된 경우가 비교되고 있다. 직열로 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 9는 그림 8의 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.

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

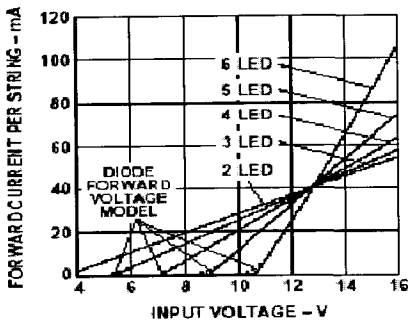


그림 8. 인가전압에 대한 줄당 LED 구성에 따라 변화하는 순전류 특성

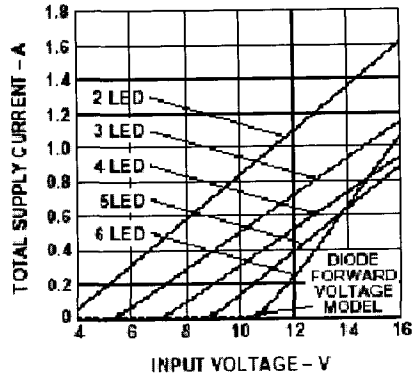


그림 9. LED를 줄로 구성하는 방법에 따른 전체 전류의 특성

3.2 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 10]에 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 pass 방식은 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.

LED는 전류 제어나 전압제어 방식으로 구동이 되는데 전류제어의 경우 전체 전류는 전압, 온도, 순전압 불균형 특성과 무관하게 결정된다. 전압제어의 경

우는 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.

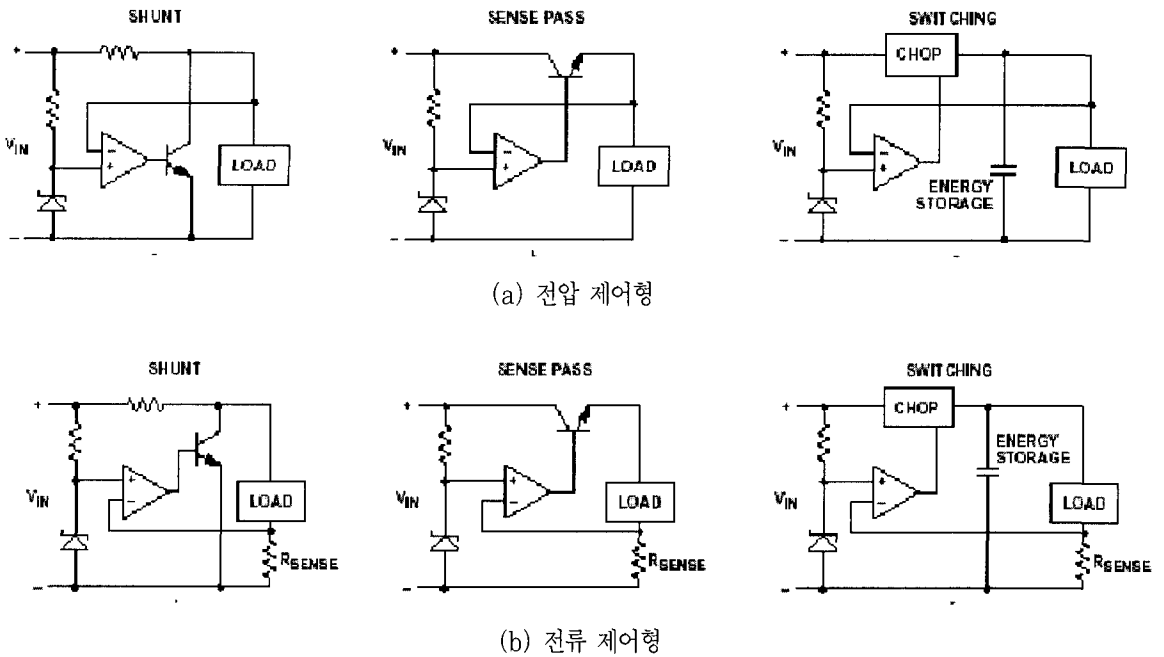


그림 10. LED 구동용 능동회로의 여러 방식

3.3 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 12.3(V)에서 LED당 50(mA)로 동작되도록 설계할 경우의 입력전압의 9(V)에서 18(V)사이에서 변동할 때 4개의 회로 방식으로 구성할 때 전체 전력소비특성 또한 다르게 된다.

(a) 전류 제한용 저항 사용한 경우

LED의 선형 모델을 사용할 경우 순전압은 $V_{CNOM} = 1.91(V)$ 이고 R_{sNOM} 은 9.2ohm일때 그림 11-a와

같이 LED 3개를 직렬로 10줄로 구성한 경우와 8개를 직렬로 하여 4줄로 구성한 경우에서 3개가 직렬로 된 줄에서 $R=114ohm$ 이고 4개가 직렬로 된 줄에서는 66ohm을 사용한다. 입력범위가 7(V)~18(V)에 대해서 LED에 흐르는 순전류는 그림 11-b과 같이 변화한다.

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

그림 12과 같이 series pass 정전류 조절방식에서는 순전류는 50(mA)에서 7.1(V)이다. 전류감지용 저항에서의 0.25(V)의 전압강하를 가정하면 9(V) 입력전압에서 조절기의 강하전압은 $(9(V)-7.1(V)-$

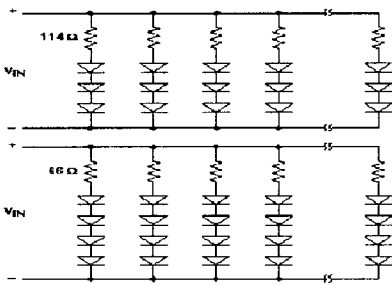
기술해설

0.25(V) 즉 1.65(V)가 된다. 10줄의 LED array가 존재하므로 전체 LED의 전류는 50(mA)*10=500(mA)가 된다. 따라서 센서용 저항은 0.25(V)/0.5(A)=0.5ohm을 사용한다. 전체 입력전압범위 7(V)~18(V)에서 전체 부하전류는 그림 12-b와 같이 변화한다. 이 회로는 9(V)보다 큰 입력전압에 대해서 정전류를 유지하게 된다. 따라서 회로의 정상동작은 다른 부수적인 전압강하를 감안하면 입력전압이 10(V)는 되어야 한다.

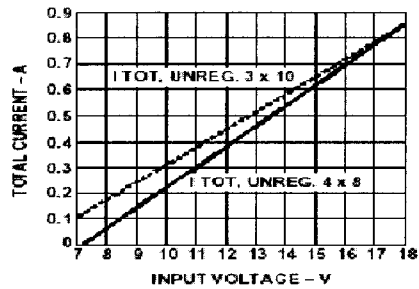
- (c) 스위칭 방식의 정전류 회로(한줄에 10개의 LED를 직렬로 하여 3줄로 구성)
스위칭방식의 정전류 조절회로는 그림 13과 같다.

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 $R_{sense} = 0.25/0.5[A] = 0.5ohm$ 을 선택하고 효율을 80%로 가정하고 입력전압 변동을 7(V)~18(V)가정하면 입력전류와 전체부하전류는 그림 13-b와 같이 변화하게 된다.

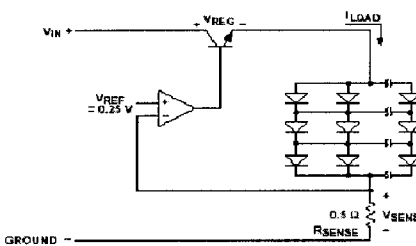


(a) 저항을 사용한 회로 구성

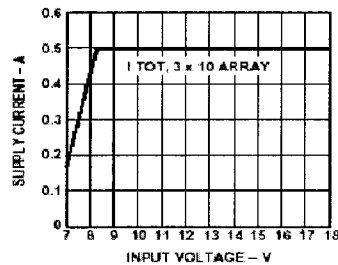


(b) 전압에 대한 전류의 변화

그림 11. 전류제한용 저항을 쓰는 경우의 회로와 LED의 순전류 변화



(a) 회로 구성



(b) 전압에 대한 전류의 변화

그림 12. Series pass 정전류 조절방식을 사용하는 경우

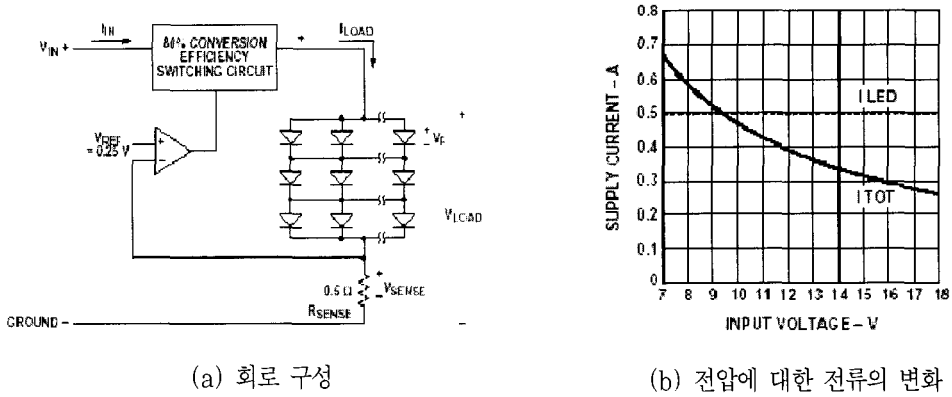


그림 13. 스위칭 정전류 조절방식을 사용하는 경우

4개의 서로 다른 설계방식에서 전체 전력소비는 그림 14와 같이 인가전압에 대한 전체 전류 특성에서 파악된다. series pass와 스위칭방식은 과전압상태에서 전류제한 저항방식보다 효율적이다. 입력전압 18(V)에서 저항사용방식은 소비전력이 15(W)인데 series pass 방식은 9(W), 스위칭 방식은 5(W)가 된다.

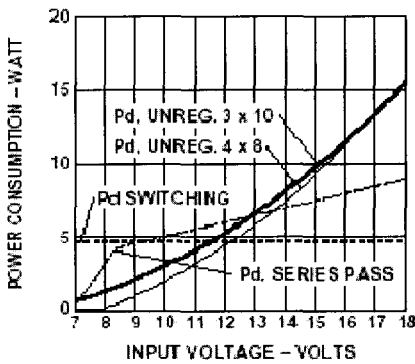


그림 14. 인가 전압에 대한 전체 공급전류의 비교

4. 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 15에서 그림 16은 이러한 IC의 적용 예로서 그림 16의 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 그림 17의 경우와 같이 정류회로, DC-DC 컨버터 회로를 기본으로 하여 구성한다. 입력측에서 고주파와 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.

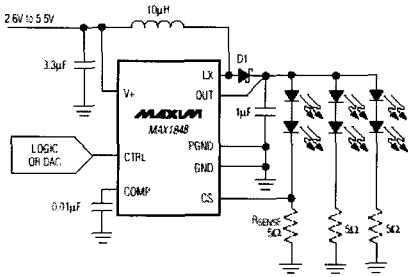
LED의 경우 온도에 따라 광특성이 변동이 생기거나 동작시간에 따라 광특성이 변동이 있을 수 있게 된다. 따라서 이를 보상하기 위해서 여러 방식이 존재하

지만 가장 보편적인 방식은 그림 18의 경우에서와 같이 LED의 광출력을 광센서를 사용하여 DC-DC 컨버터를 제어하는 데 사용하는 것이다.

5. 결 론

현재 LED의 전원장치의 경우 10개이하의 구동용 IC에서부터 수백개의 LED를 구동할 수 있는 IC들이 개발되어 공급되고 있다. 또한 모듈로 많은 회사가 별도로 판매하기도 한다. 대부분의 반도체 회사들은 LED구동 IC를 저마다 출시하고 있거나 준비하고 있

으며 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

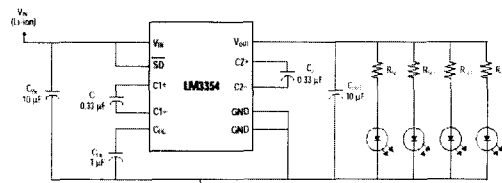


Figure 1. Switched Capacitor Voltage Regulator

(b) National Semiconductor사

그림 15. White LED 구동용 컨버터 IC

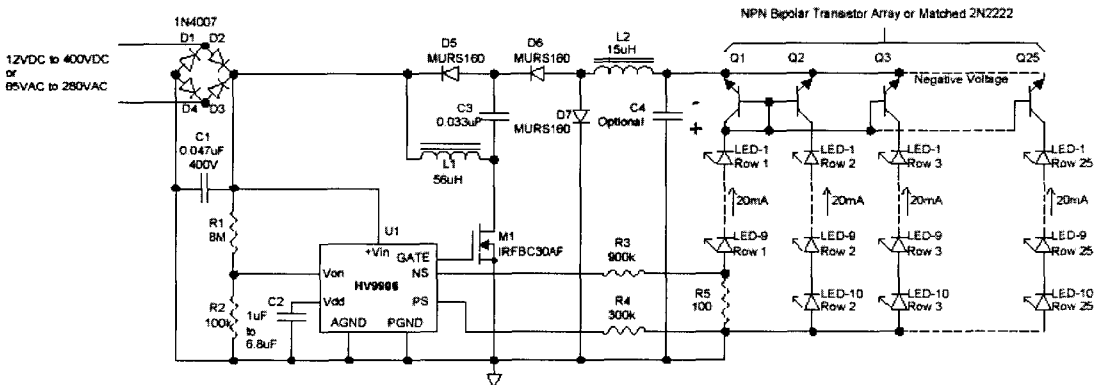


그림 16. 역률제어와 수백개의 LED 구동이 가능한 DC-DC 컨버터(Supertex사)

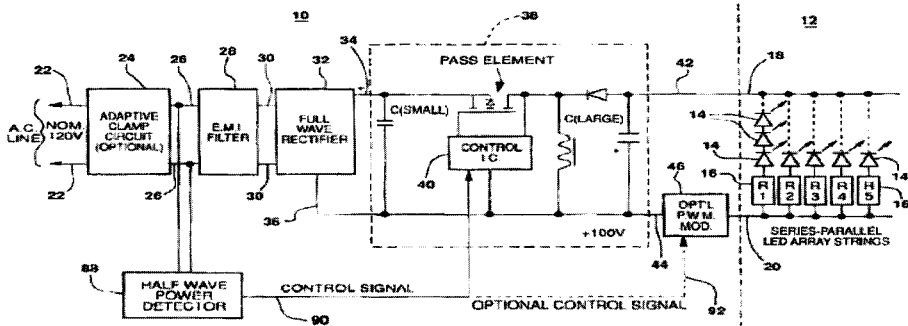


그림 17. LED array용 구동 전원의 구성 예(US 5661645)

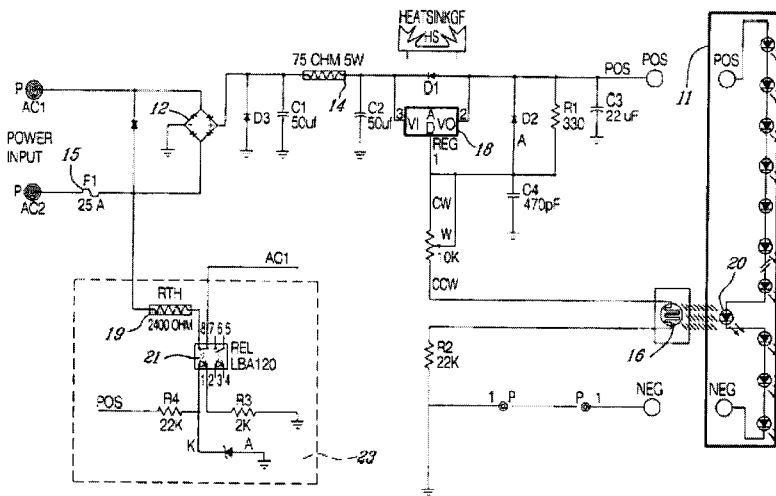


그림 18. 신호등 시스템에서의 LED 구동 전원의 구성 예(US 6236331)

◇ 저 자 소개 ◇



한 수 빈(韓秀彬)
 1977년 한양대학교 전자공학과(학사). 1986년 한국과학기술원 전기및전자공학과(석사). 1997년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사). 현재 한국에너지기술연구원 책임연구원/전기조명기술연구센터장.