

## LED 기생 커패시턴스를 고려한 접합온도 측정 시스템의 개선

### Improvement the Junction Temperature Measurement System Considering the Parasitic Capacitance in LED

박 종 연\*      유 진 완\*\*  
Park, Chong-Yun    Yoo, Jin-Wan

#### Abstract

Recently, we have used LEDs to illumination because it has a high luminous efficiency and prolong lifespan. However the light power and lifetime is reduced by junction temperature increment of LED. So it is important to measure the junction temperature accurately. In case of using a electrical method measuring junction temperature of LED. Temperature measurement errors are spontaneously generated because of a parasitic capacitances in LED.

In this paper, we proposed a method that reducing LED's parasitic capacitance effects for electrical measurement. It was demonstrated by the experimental result that is more correct than established method.

키워드 : LED, 접합온도, 기생 커패시턴스  
Keywords : LED, Junction Temperature, Parasitic Capacitance

#### 1. 서론

차세대 조명으로 각광 받는 LED는 발광효율이 높고 수명이 길며, 친환경적인 광원이다. 현재에 이르러 고효율 LED의 개발로 인해 실내·외 조명이나 광 통신, 일반조명, 디스플레이 등 여러 분야에 사용되고 있다. 향후에도 기술적 발전과 소자의 가격하락으로 인한 지속적 발전이 기대되는 상황이다[1]. LED는 반도체로써 PN 접합으로 이루어져 있으며, 순방향 전압을 가하여 접합부에서 발생하는 발광현상을 이용해 광원으로 사용한다. LED의 PN 접합은 발광과 발열의 의존성이 존재한다. 때문에 LED 발광 시에 발열하며, 이 열로 인한 접

합온도 상승은 광 출력 및 소자의 수명 감소의 원인이 된다. 따라서 접합온도를 정확히 측정하는 것은 광 특성 및 수명 판단에 매우 중요하다[2].

현재 LED의 광 출력 변화 및 발열현상을 최소화하기 위한 정 전류 구동 방식은 일반적으로 비교적 쉽게 구현이 가능한 DC / DC 컨버터의 전류 궤환 방식을 사용한다. 이 방식은 LED에 직렬 연결된 저항의 전압을 피드백 하여 DC / DC 컨버터의 스위치를 구동시킨다. 정 전류 구동 방식은 접합온도 상승의 요인이 되는 리플 전류를 감소시킴으로써 광 출력 및 수명 감소를 방지 할 수 있지만, LED를 구동 할 때 발생하는 실질적인 접합온도 상승에는 대처 할 수 없다. 접합온도를 일정 이하로 관리 하기 위해서는 적합한 방열 대책이 필요하다. 때문에 접합온도 상승을 대처하기 위해서는 반드시 구동 중인 LED의 정확한 접합온도의 측정방법이 필요하다.

\* 강원대학교 전기전자공학과 교수, 교신저자  
\*\* 강원대학교 전기전자공학과 석사과정

본 논문은 기존에 제안되어진 LED 접합온도 측정방법을 구현하였으며, 이 방법을 사용할 때 발생하는 기생 커패시턴스로 인한 오차를 줄이기 위한 회로를 제안하였다. 실험에 사용된 표본 LED는 OSRAM LE\_UW\_E3B(LED 1)와 서울반도체의 X42180(LED 2)을 사용하였다.

## 2. LED 접합온도 측정

LED는 직접적으로 접합온도를 측정하는 것이 불가능하다. 때문에 LED의 접합온도에 따른 순방향 전압이 변화하는 것을 이용하여, LED 접합온도를 간접적으로 측정하여야 한다. 이러한 측정방법을 LED 접합온도의 전기적 측정 방법이라고 한다. 본 절에서 LED 접합온도의 측정방법과 구현을 위한 측정 전류원 및 비접지 스위칭 회로에 대해서 다루었다.

### 2.1 LED 접합온도와 순방향 전압의 관계

LED의 접합부는 에폭시(Epoxy) 수지로 몰딩이 되어 있기 때문에 직접적으로 접합온도를 측정하는 것은 불가능하다. 때문에 접합온도( $T_J$ )를 측정하기 위해서는 간접적인 방법으로 온도를 추정하여야 한다. 이 방법은 LED에 정 전류가 인가 될 때 접합온도가 상승함에 따라 순방향 전압( $V_F$ )이 감소하는 특성을 이용한다. 사용된 기호  $V_F$ 는 측정만을 위한 별도의 측정 전류( $I_M$ )가 인가 될 때의 순방향 전압이다.

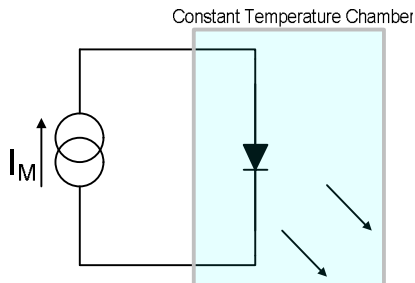


그림 1 LED 접합온도와 순방향 전압의 관계 측정 실험 구성도

그림 1은  $V_F$ 와  $T_J$ 간의 관계를 얻기 위한 항온 챔버와 측정 전류원으로 접합온도를 측정하기 위한 실험 구성도이다. LED의 접합온도( $T_J$ )와 접합 전압( $V_F$ )의 관계를 얻기 위해서 다음과 같은 실험이 필요하다. 그림 1에서 나타내듯이 항온 챔버의 온도를 고정 시키고 일정시간 동안 LED를 가열 시키면, 일정 시간 이후에는 LED와 항온 챔버 내부와 LED 접합부는 온도 평형 상태가 된다. 온도 평형 상태이후는 LED의 접합온도를 항온 챔버에

설정된 온도로 가정할 수 있으며, 이 때 측정 전류( $I_M$ )을 인가하여  $V_F$ 를 측정한다. 이 과정을 통해  $T_J$ 에 따른  $V_F$ 의 값을 얻을 수 있다. 이 때 측정 전류( $I_M$ )가 인가 될 때에는 LED의 접합온도는 상승하지 않는다고 가정해야 하므로 측정 전류( $I_M$ )는 LED의 정격 전류 1A의 1/100수준인 10mA로 설정한다[4]. 전류( $I_M$ )는 매우 작은 양의 전류로 별도의 전류원 구성이 필요하다.

측정 전류원은 OTA(Operational Transconductance Amplifier)를 이용하여 간단하게 구현할 수 있다. OTA는 바이어스 전류에 종속적인 전류를 출력하는 전류원으로써 높은 입력 임피던스, CMRR(Common Mode Rejection Ratio)을 갖지만, OP-Amp와 다르게 높은 출력 임피던스와 바이어스 전류 입력단자를 갖는다.

그림 2는 OTA로 구현한 측정 전류원 회로이며, 출력 전류에 관한 수식은 식 (1)과 같다[3].

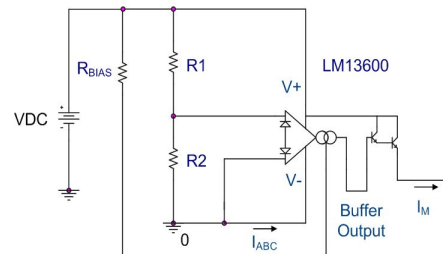


그림 2 측정 전류원 회로

$$I_{out} = g_m V_{in} = KI_{ABC} V_{in} \quad (1)$$

OTA의 바이어스 전류( $I_{ABC}$ )와 소자의 고유상수  $K$ 의 곱으로 입력전압과 출력전류의 비인 어드미턴스  $g_m$ 이 결정된다. 때문에 바이어스 전류( $I_{ABC}$ )와 입력전압( $V_{in}$ )으로 출력전류( $I_M$ )이 정해진다. 이와 같은 관계를 이용하여 측정 전류원을 간단하게 구현할 수 있다.

측정 전류원과 항온 챔버를 이용하여 그림 1에 나타난 실험 구성도를 실행할 수 있다. 표 1은 항온 챔버의 온도를 20°C씩 상승 시키며 얻은  $T_J$ 와  $V_F$ 의 수치이다. 이 데이터를 이용하여 LED를 구동 중에 측정 전류( $I_M$ )를 인가하여  $V_F$ 를 측정함으로써  $T_J$ 를 얻을 수 있다.

표 1 순방향 전압( $V_F$ ), 접합온도( $T_J$ ) 측정 결과

온도	LED 1(V)	LED 2(V)
40°C	15.511	15.407
60°C	15.504	15.349
80°C	15.461	15.285
100°C	15.416	15.217
120°C	15.385	15.161

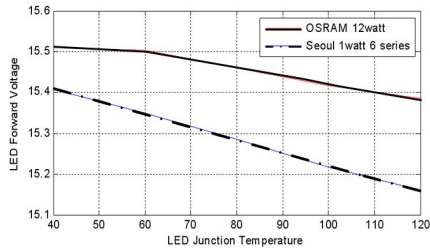


그림 3 순방향 전압(V<sub>F</sub>), 접합온도(T<sub>J</sub>) 측정 그래프

그림 3에서 나타나듯이 접합온도가 상승함에 따라 순방향 전압은 거의 균일한 양으로 감소하는 특성이 나타난다. 동종의 다른 표본 LED로 같은 실험을 반복한 결과 오차는 약 2% 가량으로 나타났다.

## 2.2 구동 LED의 접합온도 측정

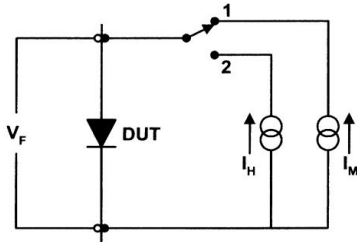


그림 4 구동 LED 온도 측정 블록도

그림 4는 구동되는 LED의 접합온도를 전기적으로 측정하기 위한 실험의 블록도이다. 접합온도의 측정원리는 구동 전류원(I<sub>H</sub>)로 LED를 구동하는 중에 측정 전류원(I<sub>M</sub>)을 순간적으로 인가하여 LED의 순방향 전압(V<sub>F</sub>)을 측정하는 방법으로, 현재 제안되어있는 LED 접합온도 측정 방법 중에서 가장 간단하고 정확한 방법으로 알려져 있다[4]. 구동 전류원(I<sub>H</sub>)은 전류 변환 방식의 DC / DC 컨버터로 구성되었다.[5] I<sub>H</sub>가 인가되는 시간은 실질적으로 LED가 발광하는 시간이며, 발광과 동시에 접합온도는 상승한다. 이후에 순간적으로 I<sub>M</sub>을 인가하여 구동 중인 LED의 접합온도를 측정한다. I<sub>M</sub>을 인가하는 순간은 I<sub>H</sub>를 인가하는 시간에 비하여 매우 짧은 시간이어야 하며 그 이유는 측정 시간 동안 온도가 변화하여 측정시 오차가 발생하지 않게 하기 위함이다. 따라서 전류원 간 정확하고 빠른 스위치를 구현하는 것이 중요하다.

LED 온도 측정을 위한 회로는 두 개의 전류원 간의 비접지 스위칭을 필요로 한다. 따라서 그림 5

와 같이 비접지 스위치 회로를 구성해야 한다.

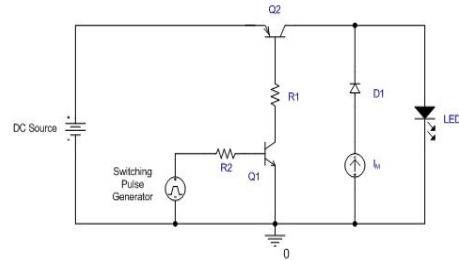


그림 5 비접지 스위치 회로도

PNP 트랜지스터 Q2는 이미터에서 베이스로의 전류 I<sub>B</sub>가 흐르면 이미터와 컬렉터 간 도통이 된다. Q2의 베이스 측이 비접지이거나 이미터 측과 전위차가 없다면 I<sub>B</sub>가 흐르지 못하므로 이미터와 컬렉터 간 개방이 된다. NPN 트랜지스터인 Q1이 OFF일 때 PNP 트랜지스터 Q2의 베이스가 비접지 되어 DC Source는 LED로 연결되지 않는다. 그리고 I<sub>M</sub>은 다이오드를 통과하여 LED로 흐르게 된다. 이 과정을 거쳐 LED로 측정 전류가 인가된다. 이 과정을 거쳐 LED로 측정 전류가 인가된다. NPN 트랜지스터 Q1이 ON일 때 PNP 트랜지스터 Q2의 베이스가 R1과 Q1을 통하여 접지가 되므로 I<sub>B</sub>는 흐를 수 있다. 그때 DC source는 LED로 연결이 되며, DC Source는 I<sub>M</sub>에 의해 발생되는 전위보다 높은 전위를 갖고 있으므로, 다이오드 D1은 역 방향 바이어스 상태가 되며 DC Source로만 LED를 구동하게 된다. 이 과정을 통해 구동전류가 인가 되어 진다.

## 3. LED 기생 커패시턴스를 고려한 접합온도 측정 방법 개선

LED의 접합온도를 전기적인 측정 방법인 이중 전류원 측정방법으로 측정 할 경우, LED의 기생 커패시턴스의 영향으로 인해 Falling Time 지연현상이 나타난다. 접합온도를 산출되는 측정 전류원 인가 시의 V<sub>F</sub>가 기생 커패시턴스(Parasitic Capacitance)에 의해서 왜곡되어 실제 산출 될 측정 온도에 오차를 발생시킨다. 이 현상은 LED 내부의 기생 커패시턴스에 의해 충전된 전하가 신속히 방전을 하지 못하여 발생하는 오차이다. 본 논문에서 이 현상을 보정하기 위하여 별도의 회로를 제안하였다. 그리고 실험을 통해 Falling Time 지연 현상이 200ms~250us에서 8us로 감소됨을 확인 하였다.

### 3.1 Falling Time 지연

앞 절에서 설명한 것과 같이 측정 전류원과 전류 변환 방식의 벡 컨버터 및 비접지 스위치 회로를 구성하여 T<sub>J</sub>와 V<sub>F</sub>의 데이터를 얻은 LED를 표

본으로 실험하였다.

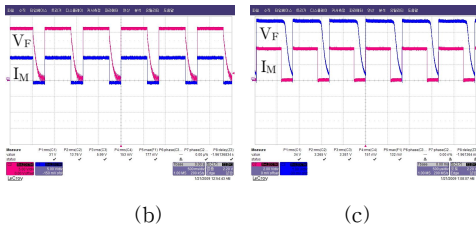
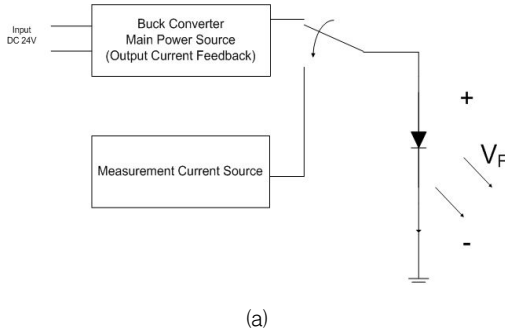


그림 6 (a) 측정된 회로 (b) LED1의 전압 / 전류  
(c) LED2의 전압 / 전류

온도를 측정하기 위해 스위칭을 하여 측정 전류가 인가되는 순간 Falling Time의 지연현상이 발생한다. 이 현상은 LED 1이 200ms, LED 2가 250us 으로 나타났다. 이러한 결과는 실제 LED 온도를 측정하는  $V_F$ 의 결과를 왜곡하게 된다. 또한 두 종의 LED 간에서 Falling Time이 다르기 때문에 다른 종류의 LED 접합온도 측정이 적합하기 위해서는 이러한 왜곡 현상을 최소화 하여야 한다.

### 3.2 LED 기생 커패시턴스를 고려한 스위칭 회로

앞 절에서의 실험결과로 나타난 Falling Time 지연은 LED 내부의 PN 접합면에 발생하는 기생 커패시턴스에 의해 발생된 것이다. LED 내부 PN 접합부는 이온층으로 형성되어 있으며, 이온층은 P형 반도체와 N형 반도체 사이에서 절연체 역할을 함으로서 PN 접합 간의 기생 커패시턴스를 형성시킨다.[6] LED에서 발생하는 기생 커패시턴스는 두 가지의 형태로 나타난다. LED에 역방향 바이어스가 가해질 경우에 발생하는 공핍영역 증가로 인한 커패시턴스(Depletion Capacitance)가 주를 이루게 되며, 순방향 바이어스가 가해질 경우 LED 내부에서 발생하는 전하 축적 효과로 인한 커패시턴스(Charge Storage Capacitance)가 주를 이루게 된다. 본 논문에서는 두 가지의 기생 커패시턴스

중 LED 순방향 바이어스가 인가될 경우 만을 고려하였다. 순방향 바이어스에 의한 전하 축적 커패시턴스는 순방향 전압에 의해 증가하는 특성을 갖는다[7].

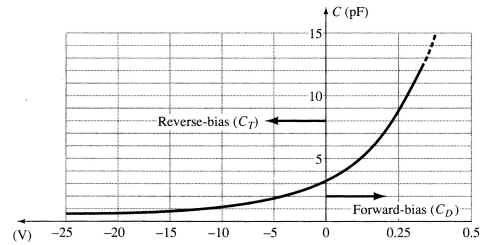


그림 7 PN 접합 간의 전압에 따른 기생 커패시턴스

그림 7은 PN 접합 간의 전압과 기생 커패시턴스를 나타낸 그래프이다. 순방향 바이어스가 상승함에 따라서 기생 커패시턴스가 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 일반적인 다이오드보다 실험에 사용된 LED가 높은 순방향 전압을 갖기 때문에 기생 커패시턴스도 보다 높다. 때문에 앞 절의 실험 결과는 LED 기생 커패시턴스에 의하여 충전된 전하가 스위칭 시 빠르게 방전되지 못함으로 Falling Time 지연현상에 의해 파형의 왜곡 현상이 발생하는 것으로 판단할 수 있다.

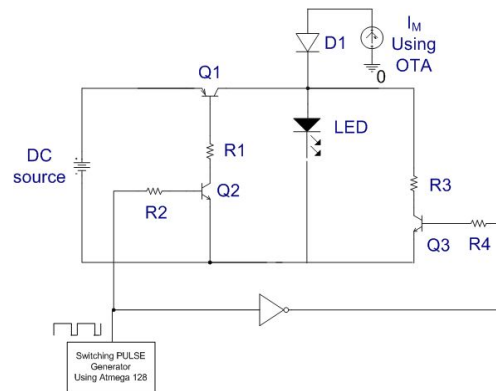


그림 8 제안된 비접지 스위치와 Falling Time 지연 현상 보상 회로

그림 8은 LED의 기생 커패시턴스에 의해 충전된 전하를 빠르게 방출하기 위해 제안된 회로이다. 측정 전류 인가 시 LED에 개별적으로 방전 루프(R3)를 연결하게 되며, 구동 전류원이 LED에 인가 시 방전루프의 스위치는 개방되어 방전 저항에서 발생하는 전력 소모를 감소시킨다. LED의 방

전류프는 비접지 스위치와 상보적 스위칭을 하게 되며, 비접지 스위치에 인가되는 펄스를 반전 시켜 방전 루프 스위치를 구동할 수 있다.

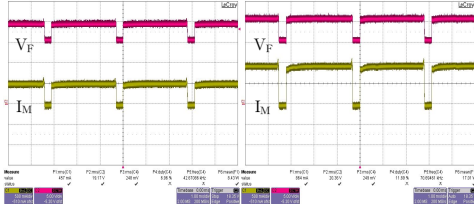


그림 9 (a) 개선된 스위칭 회로의 LED1의 전압 / 전류 (b) 개선된 스위칭 회로의 LED2의 전압 / 전류

그림 9은 제안된 회로의 실험 결과이다. 방전 루프에 의한 Falling Time 지연 현상은 약 8us로 기존의 비접지 스위칭 회로보다 현격하게 줄어드는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 LED의 집합온도를 정확하게 측정하기 위한 비접지 스위치를 제안하였다. 또한 실험을 통하여 LED 집합온도 측정 시 제안된 회로가 기존의 비접지 스위치 회로보다 높은 정확성을 갖는 것을 확인하였다. LED의 PN 접합부의 기생 커패시턴스는 집합온도를 측정함에 있어서 오차를 발생시키는 원인이 되며, 이러한 오차를 감소하기 위해서 비접지 스위치에 저항을 추가하여 방전회로를 구성하였다. 또한 이 방전 저항 측에 스위치를 추가함으로써 구동 전류원이 인가되는 순간에 전력 소모를 방지 하였다. 이와 같은 회로의 추가로 인해 LED 기생 커패시턴스에 의한 Falling Time 지연 현상은 현격하게 줄었다.

향후 LED 집합온도 측정회로가 기존 LED 조명에 미치는 효율성에 대해서 지속적으로 연구되어야 하며, 이에 의한 광 출력 및 수명에 관한 연구도 지속되어야 한다. 본 연구를 통해 보다 정확한 온도를 측정함으로써 LED의 방열설계의 용이성 및 발열감소 방안 등에 대해 기여 할 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 박종연, 유진완, 최왕섭, “PIR 센서와 정 전류 IC를 이용한 인체 감지형 POWER LED 구동 회로” 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, 2295-2296p, 2008.
- [2] 이주엽, 김석원, 박승남, 박성종 “가변폭 전류

펄스인가를 통한 LED 집합온도 측정법의 개발과 LED 노화특성 평가에 적용”, *The Korean Physical Society Volume 52*, 490-495p, 2006.

- [3] Thomas L. Floyd, “OTA”, *Electronic Devices 7th Edition*, 859-866P, 2005.
- [4] Bernie Siegal, “Practical Considerations in High Power LED Junction Temperature Measurements” *IEMT 31st International Conference*, 62-66p, 2006.
- [5] 한수빈, 정학근, 정봉만, 박석인, 유승원, “고휘도 LED 램프의 전원기술 동향”, *전력전자 학술대회 논문집*, 906-909p, 2004.
- [6] Willam L, Bishop, Elizabeth R, Meiburg, Robert J. Mattauach, “A Micron-Thickness, Planar Schottky Diode Chip For Terahertz Application with Theoretical Minimum Parasitic Capacitance” *IEEE MTT-S Digest*, 1305-1308p, 1990.
- [7] Ben G. Streetman, Sanjay Banerjee, “PN Junction Capacitance”, *Solid State Electronic device 5th Edition*, 228-236, 2000.