

고출력 LED의 접합온도 측정회로 설계 및 구현

Design and Implementation of High Power LED Junction Temperature Measurement Circuit

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

Abstract

Recently, the LED lighting is widely used to illumination purpose due to its high luminous efficiency and the long life time. 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 this paper, we proposed a new design and implementation method of high power LED junction temperature measurement circuit. The proposed circuit has two current sources which are a driving current source and a measurement is verified by experiment, and the result shows that the proposed circuit is appropriate to practical use.

키워드 : LED, 접합온도, OTA, 측정전류원

Keywords : LED, Junction Temperature, OTA, Measurement Current Source

1. 서론

LED는 발광효율이 높고 수명이 월등하고, 친환경적인 광원이다.[1] 특히 고출력 LED의 빠른 발전으로 인해 실내·외 조명이 LED로 대체 되고 있다.[2] LED는 메탈 할라이드나 나트륨 램프와 같은 광원과는 다르게 PN 접합으로 이루어져있으며, 접합부에서 발광이 이루어진다. 이 과정에서 접합부는 발광과 동시에 발열이 발생한다.

LED의 가장 큰 문제점은 이 때 상승한 PN 접합부 온도(이하 '접합온도')에 의해 광 출력 및 소자의 수명 감소가 나타나는 것이다. 이와 같이 접합온도의 특성에 따라 LED의 광학적, 전기적 특성

이 크게 변하기 때문에 접합온도를 측정하고 유지시키기 위한 노력이 지속되고 있다.[3]

특히 조명으로 사용하는 경우 접합온도의 상승이 비교적 크기 때문에 LED 조명의 수명과 광 출력을 보장하기 위해서는 반드시 접합온도를 정확히 측정해야하며, 그에 따른 방열설계나 전력제어가 수반되어야 한다.

현재 일반적인 LED의 구동방식인 정전류 구동 방식은 접합온도에 따른 LED의 수명 및 광 출력의 변화를 예측 할 수 없다. 이를 위해 LED 접합온도를 측정하기 위해 써미스터를 이용한 측정방법과 전기적, 광학적으로 접합온도를 측정하는 여러 가지 방법이 연구 되어졌다.[4][5]

본 논문에서는 LED의 접합온도를 측정하는 방법을 간략히 소개 하였으며, 전기적 측정 방법 중 하나인 이중 전류원 방법을 이용해 LED의 접합온도를 측정하는 회로를 제안하였다. 이중 전류원 방

* 강원대학교 전기전자공학과 교수, 교신저자

** 강원대학교 전기전자공학과 석사과정

법은 접합온도에 따라 선형적으로 변화하는 LED의 순방향 전압을 측정하여 이를 접합온도로 변환하여 측정하는 방법이다.

본 논문은 접합온도 측정을 위한 간단한 측정전류원 회로를 제안하였으며, 이를 이론적인 설계 및 시뮬레이션을 통해 제안한 회로를 검증하였으며, 이 회로를 이용하여 광출력과 접합온도를 측정함으로써 제안방식의 타당성을 검증하였다. 또한 접합온도 측정의 중요성을 결론에서 토의하였다. 실험에 사용된 표본 LED는 OSRAM LE UW E3B를 사용하였다.

2. LED 접합온도의 측정방법

LED의 PN 접합부는 에폭시로 몰딩이 되어 있어 온도계를 접합부에 접촉시켜 직접 측정하는 것은 불가능하다. 때문에 LED의 접합온도를 측정하는 것은 PN 접합부의 온도상승에 따른 전기적 특성 또는 광학적 특성이 변화하는 것을 이용한다. LED는 접합온도의 상승에 따라 광 출력 감소, 파장의 변화, 순방향 전압 감소하는 특성을 갖는다.

따라서 접합온도를 측정하는 방법은 감소된 광출력을 측정하거나, 파장의 이동을 측정하여 접합온도를 산출하는 광학적 방법(Optical Method)과 감소된 순방향 전압을 측정함으로써 LED의 접합온도를 산출하는 전기적 방법(Electrical Method)로 나누어 질 수 있다.[4]

본 절에서는 접합온도를 측정하는 방법에 대한 소개와 정확하고 간단하게 접합온도를 측정할 수 있는 전기적 방법의 이중 전류원의 장점에 관하여 기술하였다.

2.1 광학적 측정방법

광출력 측정방법(Light Power Output Method)은 LED를 정전류 구동 중에 광 출력의 변화를 검출하는 방법이다. LED의 온도 상승에 의해서 광출력은 점점 감소하게 되며, 광 출력의 변화는 그림 1의 (a)와 같이 나타난다. 이 측정방법은 LED에 인가되는 전류량에 따라 발광량이 바뀌게 되므로 인가 전류가 변할 때 마다 빛의 세기 대 온도의 그래프를 계속 변경해야 하는 단점이 있다.

파장이동 측정방법(Wavelength Shift Method)은 LED를 정전류로 구동시켜 발생되는 빛의 파장변화를 측정하는 방법이다. LED 접합온도 상승은 발광하는 빛의 파장을 변화시켜 광색을 변화시킨다. 그림 1의 (b)는 접합온도에 따른 광색의 변화를 나타낸다. Cx와 Cy는 색을 정의하는 국제적 표준(CIE1931)의 각 축이다. 광색의 변화는 곧 발광 파장의 변화이므로 광색을 측정하는 것은 발광 파장을 측정하는 것이다. 하지만 백색 LED의 발광 파장은 가시광선 파장 영역 전체에 넓게 포함하고

있기 때문에 좁은 영역의 파장을 측정하는 일반적인 파장 측정기로는 측정하기 어렵다. 때문에 파장이동 측정방법은 단파장을 갖는 단색 LED(RGB)나 Laser 장비의 온도를 측정하기 적합하다. 하지만 파장을 측정하는 장비는 고가이기 때문에 구현하기 어렵다.

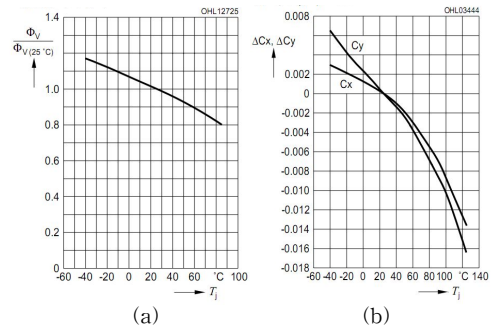


그림 1 (a) 접합온도 상승에 의한 광출력 변화
(b) 접합온도 상승에 따른 광색 변화 (If=350mA)

2.2 전기적 측정방법

전기적 측정방법은 접합온도와 순방향 전압의 관계를 이용하여 측정하는 방법이다. 그림 2는 접합온도에 따른 순방향 전압(VF) 변화를 나타낸 것이다. 접합온도와 VF는 거의 선형적인 반비례 특성을 갖고 있기 때문에 접합온도로 환산하는 것이 쉽다. 단일 전류원 측정방법(Single Current Method)은 LED를 정전류로 구동시키면서 그에 따른 온도변화를 전압으로 측정하는 방법이다. 그림 3은 단일 전류원 측정방법을 나타낸다.[5] 하지만 이 방법은 광출력 측정방법과 마찬가지로 인가 전류가 변할 때마다 VF 대 온도의 데이터를 계속 변경시켜 주어야 한다. 또한 구동전류가 비교적 높기 때문에 접합온도를 측정하는 순간에도 접합온도 상승을 초래하기 때문에 정확하게 접합온도를 측정하기 어렵다는 단점을 갖고 있다.

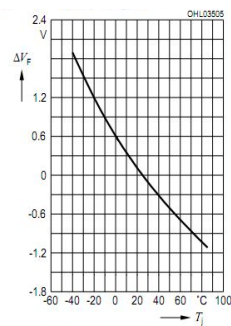


그림 2 LED 접합온도에 따른 VF 변화(If=350mA)

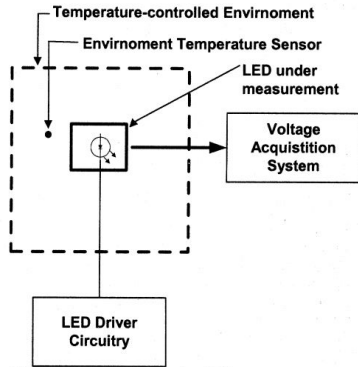


그림 3 단일 전류원 측정방법의 블록도

이와 같은 단일 전류원 측정방법의 단점들을 보완하기 위하여 LED를 구동하는 구동 전류원과 접합온도를 측정하는 측정전류원을 나누어 두 개의 전류원으로 LED의 접합전압을 측정하는 방법이 이중 전류원 측정방법(Dual Current Method)이다.

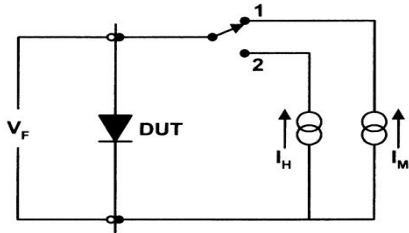


그림 4 이중 전류원 측정방법의 블록도

이중 전류원 측정방법은 LED의 발광을 목적으로 인가되는 구동 전류원과 접합온도에 영향을 미치지 않도록 미소한 전류를 출력하는 측정 전류원, 그리고 두 개의 전원 간 빠르고 정확하게 스위칭하는 스위치로 구성되어 있다. 스위치가 I_H 에 ON되어 있을 때 LED가 정상 구동을 하게 되며, 반대로 경우 측정전류가 인가되어 접합온도를 측정하게 된다.

위에서 언급했듯이 측정전류가 크면 접합온도의 변화에 영향을 미치므로 측정전류가 접합온도에 미치는 영향을 최소화 하기 위해 전류의 크기는 V_F 가 측정이 가능한 범위 내에서 가장 작게하는 것이 바람직하다. 그리고 측정 전류가 긴 시간 인가되면 LED의 접합온도가 식어서 순간적으로 낮게 측정될 수 있기 때문에 짧은 순간에 측정전류 I_M 이 인가 되어야 정확한 접합온도를 측정 할 수 있다.

측정 전류의 크기에 따른 순방향 전압(V_F)의 변화량과 접합온도(T_J)에 미치는 영향은 표 1과 같다.

표 1 측정전류 크기에 따라 온도측정에 미치는 영향

구 분	$I_{M1} > I_{M2}$	
ΔV_F 의 크기	증가	감소
T_J 에 미치는 영향	증가	감소

측정전류가 상승하면 온도에 따라서 순방향 전압의 변화가 비교적 크기 때문에 측정에 용이하지만 접합온도 상승에 기인하게 된다. 이와 같은 특성에 의해 측정전류와 최대 구동전류의 비는 1:100으로 하는 것이 일반적이다.[5]

LED의 접합온도 측정방법 중에 이중 전류원 측정방법이 비교적 정확하고 쉽게 구현할 수 있다.

3. 접합온도 측정회로 구성

본 절에서는 이중 전류원 측정방법을 구현하기 위한 회로의 제안 및 설계에 대해서 기술하였다. 접합온도 측정회로는 측정전류원과 두 개의 전원 간을 스위칭하는 고속의 비접지 스위치로 나누어진다.

3.1 측정 전류원의 구현

위 절에서 언급했듯이 측정전류는 최대 구동전류의 1/100의 크기를 갖게 제작되어야 한다. 그러므로 실험에 사용된 표본 LED의 최대 구동전류는 1A이므로 10mA의 전류원이 적합하다. 10mA의 일정한 정전류를 출력하기 위해 OTA(Operational Transconductance Amplifier)를 이용하여 간단하게 구현할 수 있다.

OTA는 OP-Amp와 마찬가지로 두 개의 차동 입력단자와 높은 입력 임피던스, 높은 CMRR(Common Mode Rejection Ratio)을 갖는다. 하지만 OP-Amp와 다르게 I_{ABC} (Amplifier Bias Current)와 I_{BIAS} (Diode Bias Current)단자를 갖으며, 높은 출력 임피던스 및 일정한 전류이득을 갖는다. 전달 컨덕턴스는 입력전압에 대한 출력전류의 비이다. OTA의 입력전압/출력전류는 전달 컨덕턴스 g_m 로 나타내어 질 수 있다.[6]

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

$$I_{out} = KI_{ABC}V_{in} \quad (2)$$

OTA의 출력전류는 V_{IN} 과 I_{ABC} 에 의해 결정된다. OTA는 National Semiconductor社의 LM13600을 사용하였다. 사용된 OTA의 고유상수 K는 그림 5와 같다.

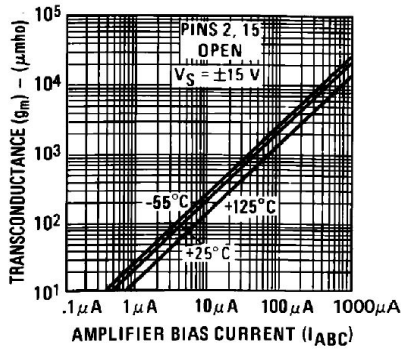


그림 5 LM13600 I_{ABC} 에 따른 컨덕턴스 특성

OTA의 I_{out} 이 일정한 특성을 이용하여, 측정전류원을 구현할 수 있다. OTA의 최대 출력전류는 2mA이기 때문에 내부의 버퍼를 사용하여 20mA까지 출력범위를 갖도록 구현해야 한다. LM13600은 내부에 Darlington 버퍼회로를 포함하고 있다. 그림 6은 실제 구현한 OTA 회로이다. R_2 와 R_3 에 의한 전압분배로 V_{IN} 을 결정하고, V_{DC} 의 전압이 R_{BIAS} 을 통하여 I_{ABC} 로 인가되는 전류이다. 그림 6의 점선 안의 그림은 V-와 I_{ABC} 의 내부회로를 표시를 나타낸다.

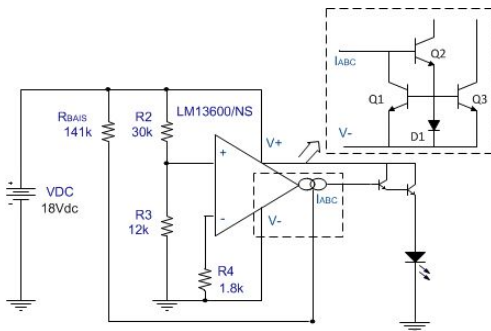


그림 6 OTA로 구현된 측정전류원

I_{ABC} 는 외부 소스에서 외부 저항 R_{BIAS} 에 연결되어 Q1을 통과하여 V- 단자에 연결된다. V_{BIAS} 를 외부 전압원으로 놓으면 다음의 수식으로 I_{BIAS} 를 구할 수 있다.

$$I_{BIAS} = \frac{+V_{BIAS} - (-V) - 1.4}{R_{BIAS}} \quad (3)$$

1.4V는 그림의 Q2의 V_{BE} 에 걸리는 전압 0.7V와 Q1, Q3, D1에 걸리는 전압 0.7V의 합이다. 위의 수식으로 I_{BIAS} 가 결정이 되면 OTA 내부 특성에 따른 컨덕턴스를 구할 수 있다. 그림 5에서 확

인하면 25°C일 경우 K는 약 16uS/uA의 값을 갖는다. 고유상수 K가 결정 되었으므로 식(1), 식(2)를 통하여 출력 전류를 계산할 수 있다. 그림 6에서 나타낸 LM13600의 최대출력 전류는 2mA이며, 소자에 포함되어 있는 Darlington 버퍼회로를 이용하여 전류의 크기를 증가시킬 수 있다.

사용되는 표본 LED의 문턱전압이 14V를 넘기 때문에 측정전류원 OTA 바이어스는 14V 이상으로 해주어야 정상적인 동작을 보장할 수 있으므로, 바이어스 전원을 18V로 결정하였다.

위의 식을 이용해 다음과 같이 계산하면 OTA로 구현한 측정전류원의 출력은 다음과 같은 계산에 의해 결정 되어진다. 표본 LED는 10mA를 흘려주면 약 15V 순방향 전압이 걸리므로, 등가저항 1.5kΩ으로 대체 할 수 있다.

$$I_{BIAS} = \frac{18V - 1.4V}{141k\Omega} = 117\mu A$$

$$g_m = 16\mu S/uA \times 117\mu A = 1.872mS$$

$$A_v = g_m \times R_L = 1.872mS \times 1.5k\Omega = 2.8125$$

$$V_{out} = A_v \times V_{in} = 2.8125 \times \left(18 \times \frac{12k}{30k + 12k}\right) = 14.464V$$

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R_L} = \frac{14.464}{1.5k} = 9.64mA$$

OTA로 구현된 측정전류원을 Pspice로 시뮬레이션 하면 그림 7과 같은 결과가 나타나며, 이론적인 계산과 거의 일치하는 것을 확인 할 수 있다.

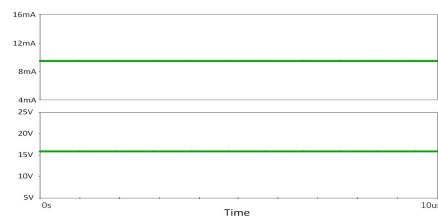


그림 7 측정전류원의 출력전류 및 출력전압 시뮬레이션 결과

3.2 비접지 스위칭 회로

온도 측정회로는 구동전류원과 측정전류원 간 스위칭을 하여야 하므로 비접지 스위치로 구현되어야 한다. 플로팅 스위치는 PNP 트랜지스터와 NPN 트랜지스터를 사용하여 구현이 가능하다. 또한 LED의 기생 커패시턴스에 의한 Falling Time의 지연현상을 제거하기 위해 방전루프가 추가되어야 정상적으로 V_F 를 측정할 수 있다.[7] LED에 병렬로 방전루프를 계속 형성할 경우 전력소모가

증가하기 때문에 구동전원이 인가 될 시에는 방전 루프를 개방 시키고 측정전류가 들어올 때 방전루프를 단락시켜 기생 커패시턴스에 충전되어 있는 전하를 방전하도록 구성하였다.

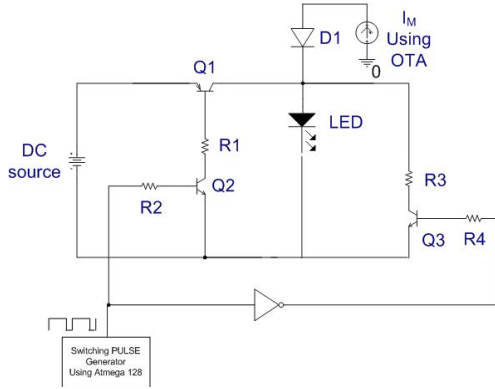


그림 8 비접지 스위칭 회로도

4. 접합온도 측정회로 및 실험

구동전원과 OTA를 이용한 측정전류원, 비접지 스위치를 이용하면 구동 중인 LED의 온도 측정 측정이 가능하다. 그림 9은 접합온도 측정회로의 전체 블록도이다. LED는 Main Power Source에 의해 구동이 되며, LED가 비접지 스위치에 의해 측정전류원에 연결된 순간 LED의 접합온도를 측정 할 수 있다.

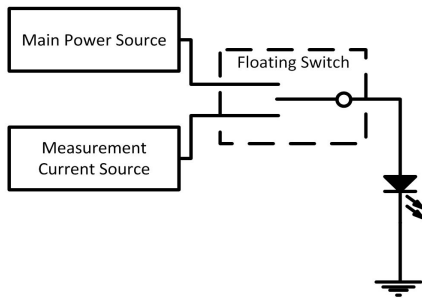


그림 9 접합온도 측정회로 블록도

구현된 측정 장치의 타당성을 검증하기 위해 표본 LED를 구동하면서 온도와 조도를 측정하는 실험을 하였다. 실험환경은 다음과 같다.

LED : OSRAM 12Watt LED 1개
 상온 25°C 일 때 V_F : 15.53V
 조도측정 : 일정한 이격거리(1m)를 갖는 암실을 구성하여 조도 측정기 부착(상대적 조도 측정)

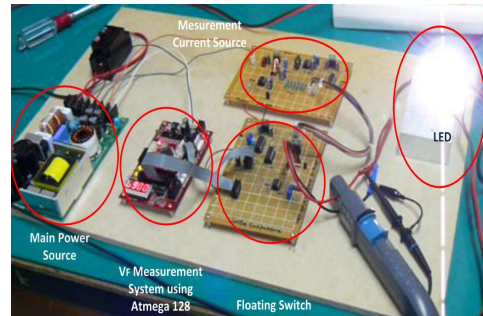


그림 10 구현된 접합온도 측정 회로

LED의 주위온도는 25°C이며, 온도변화에 따른 영향을 빠르게 확인하기 위하여 50mm×34.84mm×9.8mm의 방열판을 부착하였다. 구동을 하면서 LED의 V_F 를 측정하고, 동시에 조도를 측정하면 접합온도에 따른 조도 변화를 측정할 수 있다.

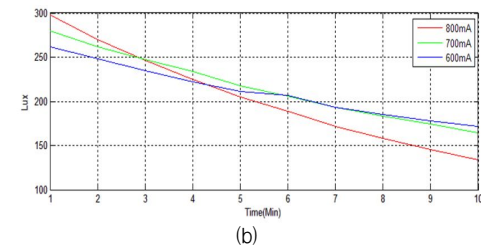
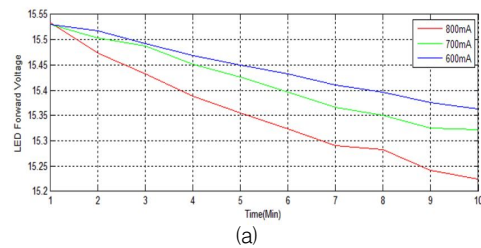


그림 11 (a) LED 구동 시 시간에 따른 V_F 측정결과
 (b) LED 구동 시 시간에 따른 조도 측정결과

그림 11은 10분 동안 LED를 각각 800mA, 700mA, 600mA로 구동하여 V_F 와 조도를 1분의 간격으로 측정한 그래프이다. 시간이 지날수록 조도가 감소하는 특성과 전류가 많이 유입될 때 더 빠른 속도로 조도 감소가 일어나는 것을 확인 할 수 있다. 방열설계가 적합지 못한 상황에서 LED에 800mA가 흐르면 일정시간 후에는 600mA가 흐르는 LED의 조도보다 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 그래프를 온도 대 조도의 그래프로 변환을 하면 그림 12와 같다. 접합온도와 조도의 관계를 살펴보면 조도는 온도가 증가할수록 감소하며, 접합온도가 약 12°C 떨어지면 LED 인가 전류 100mA

를 증가시킨 조도와 거의 같은 값을 출력한다는 것을 알 수 있다.

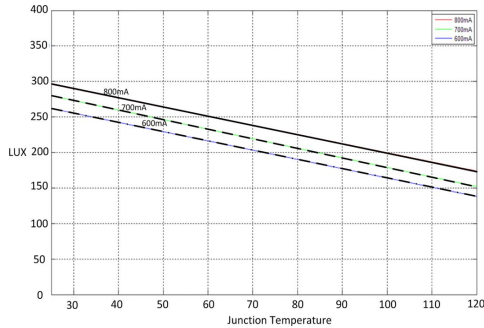


그림 12 LED 접합온도 대 조도의 특성 그래프

5. 결론

본 논문에서는 구동 중인 LED의 접합온도를 측정하기 위한 방법 중 이중 전류원 측정방법을 이용한 접합온도 측정방법을 실현하기 위하여 OTA를 이용한 측정전류원을 제안하였으며, 이론과 시뮬레이션을 이용한 설계방법을 기술하였다. 그리고 구현된 비접지 스위치와 결합하여 LED 접합온도 측정 회로를 구성하여 접합온도 상승에 의한 광출력 감소를 측정함으로써 구현한 LED 접합온도 측정 회로의 타당성을 검증하였다.

이에 제안된 접합온도 측정회로는 구동 중인 LED의 접합온도를 측정하기 때문에 LED의 광출력 및 수명을 보장해야 할 경우 응용하기 용이할 것이다. 또한 접합온도에 따라 LED의 전력을 능동적으로 제어해야 할 경우에도 적용 될 수 있을 것이다. 따라서 본 연구는 LED의 광출력, 광색변화의 보상 및 수명을 예측하는 것에 기여할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 2009년도 산학 공동기술 개발 지원사업의 지원으로 연구되었습니다.

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] 한수빈, 정학근, 정봉만, 박석인, 유승원, "고휘도 LED 램프의 전원기술 동향", 전력전자

학술대회 논문집, 906-909p, 2004.

- [3] 이주엽, 김석원, 박승남, 박성중 "가변폭 전류 펄스인가를 통한 LED 접합온도 측정법의 개발과 LED 노화특성 평가에 적용", *The Korean Physical Society*, Volume 52, 490-495p, 2006.
- [4] 이동우, 박무윤, 황수룡, 김진하 "소형 3파장 LED 백라이트의 온도 보상 구동", *전자공학회 논문지*, 33-39p, 2006.
- [5] Bernie Siegal, "Practical Considerations in High Power LED Junction Temperature Measurements" *IEMT 31st International Conference*, 62-66p, 2006.
- [6] Thomas L. Floyd, "OTA", *Electronic Devices 7th Edition*, 859-866P, 2005.
- [7] 박종연, 유진완 "LED 기생 커패시턴스를 고려한 접합온도 측정 시스템의 개선", *산업기술연구소 논문집*, 제29권, 187-191p, 2009.