

논문 2015-52-5-19

# 단일 전원을 이용한 LED 전류-전압 공급 및 측정 시스템의 효율적인 구현

## (Efficient Implementation of LED Current-voltage Source and Measurement System Using Single Power)

박 창 회\*, 안 태 영\*\*, 조 성 호\*\*\*

(Chang Hee Park, Tae-Young Ahn, and Sung Ho Cho<sup>©</sup>)

### 요 약

본 논문에서는 LED에 전류 또는 전압을 공급하고, 이에 따라 나타나는 전기적 특성을 분석하는 시스템에서 기존의 (+),(-) 전류 또는 전압을 공급하는 방식과 (+),(-) 전류 또는 전압을 측정 방식에서, 회로의 오차를 감소시키고, 하드웨어의 복잡도를 개선시킬 수 있으며, 시스템의 보정을 절반으로 줄일 수 있는 방법으로 (+) 단일 전원을 이용하여 전류 또는 전압을 공급하고, 측정할 수 있는 방법을 제안한다.

### Abstract

In this paper, we propose an efficient implementation method that current-voltage sourcing and measuring for LED using (+) single power. this method has the advantage of reducing the error of the circuit and calibration of system, and also improving the complexity of hardware than the method of using a (+)(-) current or voltage sourcing and measuring

**Keywords :** LED, Power Supply, Constant Current, Constant Voltage, Feedback

## I. 서 론

LED(Light Emitting Diode)의 전기적 특성을 검사하는 것은 중요하다. LED에 원하는 특정 전압을 주었을 때 이에 반응하여 나타나는 전류를 측정하거나, 특정 전류를 공급하였을 때 이에 반응하는 전압을 측정함으

로써 비저항 성분, 누설전류(leakage current) 특성, 파괴 전압(breakdown voltage), 사이리스터 특성 등을 측정할 수 있으며, 예측된 I-V 특성곡선이 나오는지 등을 측정하여 이를 토대로 생산된 LED가 적합품인지 등을 판정할 수 있게 된다.<sup>[1~3]</sup>

LED의 성능을 나타내는 가장 큰 지표는 발광 파장에 따른 총 입력 전력 가운데 사용 가능한 광출력 전력의 비로 정의 되는 Radiant 효율 또는 Wall-plug 효율이다. 이는 다시 전압효율, 전류 주입효율, 내부 양자 효율, 광 추출 효율의 곱으로 나타낼 수 있다. 전압효율은 단위 시간당 방출된 광자의 평균에너지와 주입된 전자의 평균 위치 에너지의 비를 나타내고, 전류 주입효율은 활성층으로 주입되는 전자 수와 LED 를 통과하는 전자 수의 비이다. 또한 내부 양자 효율은 활성층에서

\* 정회원, \*\*\* 평생회원, 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

(Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University)

\*\* 정회원, 청주대학교 전자공학과

(Department of Electronics Engineering, Cheongju University)

© Corresponding Author(E-mail: dragon@hanyang.ac.kr)

Received ; January 30, 2015 Revised ; March 30, 2015

Accepted ; April 23, 2015

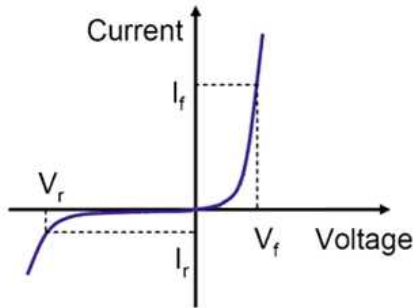


그림 1. 일반적인 LED의 전기적 특성 그래프  
 Fig. 1. Electrical characteristics graph of a LED.

재결합된 전자-정공 쌍의 수와 재결합으로 발광된 전자-정공 쌍의 수의 비이고, 광추출 효율은 활성층에서 생성된 광자 수와 소자 밖으로 빠져나간 광자 수의 비율이다. 일반적으로 LED의 특성 측정시에는 전기적 특성, 광학적 특성, 분광적 특성, 열적 특성 등을 검사하여 LED의 성능을 평가 할 수 있다.<sup>[4~5]</sup>

이 중 LED의 전기적 특성 측정은 규정에 정해진 조건하에서 규정의 전압이나 전류를 흘려 측정하며, 대표적인 항목으로는 순방향 전류(IF), 순방향전압(VF), 역방향전류(IR), 역방향 전압(VR) 등이 있다.

일반적인 LED의 전기적 특성은 그림 1과 같이 비선형의 다이오드 특성 그림과 같이 나온다.<sup>[1,6]</sup>

이와 같은 특성을 검출하기 위해서는 순방향 전류, 순방향 전압, 역방향전류, 역방향 전압이 필요하며, 이를 구동시키기 위한 DAC(Digital to Analog Conversion) 및 측정하기 위한 ADC(Analog to Digital Conversion) 등의 회로가 복잡해지며, 순방향과 역방향의 전압 및 전류사이에 미세한 바이어스 전압차가 생기기 때문에 보정 및 검량에도 상당한 노력을 해야 한다.<sup>[7~8]</sup>

본 논문에서는 (-)전압 및 (-)전류의 사용없이 (+) 단일 전원을 이용하여 LED의 순방향 및 역방향의 전기적 특성을 검출할 수 있는 방식을 구현하여 성능 시험을 통해 기존의 방식에 비해 보정 및 검량의 편의성, 하드웨어의 복잡성등이 개선되었음을 검증하고자 한다.

## II. 본 론

### 1. 단일 전원 I-V 공급 및 특성 측정 시스템 설계

그림 2에 본 논문에서 구현된 단전원 I-V 공급 및

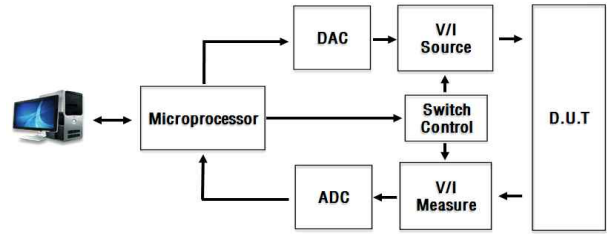


그림 2. 단일 전원 I-V 공급 및 측정 시스템 블록도  
 Fig. 2. Block Diagram of I-V Source and Measurement System.

측정 시스템의 블록도를 나타내었다. PC에서 외부 인터페이스를 통하여 마이크로 프로세서로 전원 공급, 전원 제한, 전원 방향, 전원 측정등의 값들을 설정할 수 있다. 해당 전원 공급 설정에 따라 전압 또는 전류 모드를 설정할 수 있으며, 전압 또는 전류 공급 값을 설정하게 되며, 해당 전원 제한에 따라서 전압 또는 전류의 허용 값을 제한 할 수 있으며, 해당 전원 방향 설정에 따라 다수의 스위치들을 제어하여, (+)전원을 이용하여 순방향 전압, 순방향 전류, 역방향 전압, 역방향 전류를 구현할 수 있게 된다. 또한 전원 측정 설정에 따라 공급되는 전압 및 전류의 값을 측정할 수 있게 된다.

본 논문에 따른 측정 시스템은 (+) 전원을 이용하여 공급하는 전류 또는 전압값을 가변시키면서 D.U.T에서 나오는 (+) 전압 또는 (+) 전류 및 (-) 전압 또는 (-) 전류를 측정하여 해당 LED의 직류 특성에 따른 특성을 파악하는데 사용하였다.

마이크로프로세서는 ST마이크로사의 32bit ARM칩인 STM32F407칩을 사용하였으며, PC와의 통신을 위한 인터페이스는 RS232를 사용하였다. 또한 전압 조절 및 전류 조절을 위한 DAC 및 전압과 전류 측정을 위한 ADC는 16bit 분해능을 가진 소자를 이용하여 총 65535 단계로 전압 및 전류를 공급 및 측정할 수 있도록 하였다.

그림 3은 단일 전원 I-V 공급 및 특성 측정 시스템 구성도를 나타낸 것으로, MOSFETs에 공급되는 전원이 (+)의 단일 전원으로 공급되며, 마이크로 프로세서에서 명령을 공급하면, Switch Control부를 통하여 전류 및 전압의 방향을 바꿀 수 있으며, 전류 및 전압의 범위를 결정할 수 있다. 본 논문에서는 일반적인 LED의 전기적 특성을 측정하는 방식으로, LED를 생산 시 측정하는 항목인 역방향전류(IR), 역방향 전압(VR), 순방향

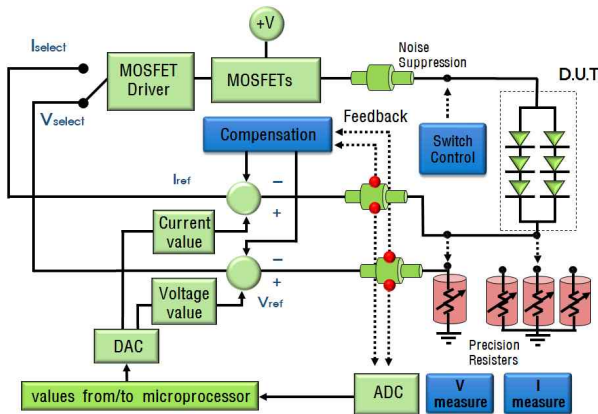


그림 3. 단일 전원 I-V 공급 및 측정 시스템 구성도  
Fig. 3. Diagram of I-V Source and Measurement System.

전압(VF1, VF2, VF3)을 테스트 하였다. 역방향 전류로는 -5V의 전압을 공급하였을 때 나오는 전류값을 측정하였으며, 역방향 전압은 -10uA의 전류를 공급하였을 때 나오는 전압값을 측정하였다. 또한 순방향 전압은 +1uA, +10uA, +20mA의 전류를 공급하였을 때 나오는 전압값을 측정하였다.

## 2. 순방향 전원 공급 및 특성 측정

그림 4는 순방향 상태의 등가 회로이다. 마이크로 프로세서에서  $Q_1$ ,  $Q_2$ 의 스위치들을 제어하여 순방향 상태가 되면 D.U.T(Device Under Test)의 LED 다이오드  $D_T$ 에 전류가 순방향으로 흐르게 되며, 저항  $R_a$ 에도 흐르게 된다. 이때 식 (1)과 같이  $V_{ID}$ 의 값을 읽으면 옴의 법칙에 의하여 흐르는 식 (2)와 같이 전류  $I_D$ 의 값을 알 수 있다.

$$V_{ID} = I_D \times R_a \quad (1)$$

$$\therefore I_D = \frac{V_{ID}}{R_a} \quad (2)$$

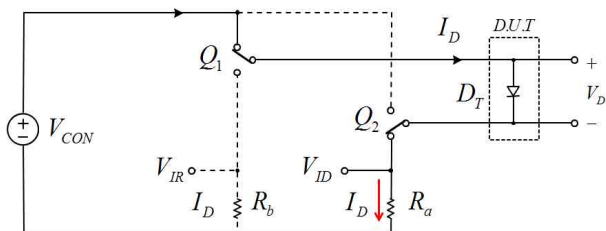


그림 4. 순방향 상태 등가 회로  
Fig. 4. Forward state equivalent circuit.

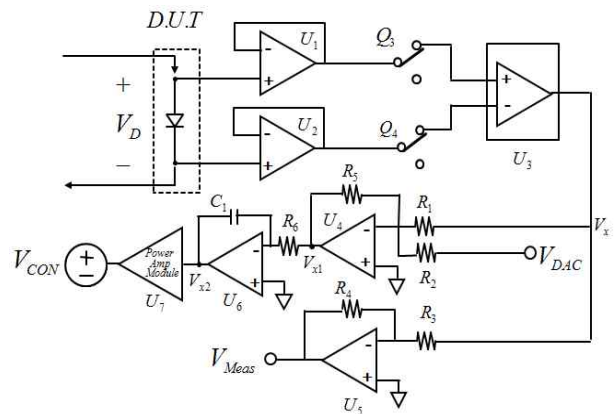


그림 5. 순방향 정전압 피드백 및 측정  
Fig. 5. Forward constant Voltage feedback and measurement.

이때 D.U.T의 LED 다이오드  $D_T$  양단에 걸리는 전압  $V_D$ 의 값을 피드백을 통하여  $V_{CON}$ 의 제어회로에 보내면 정전압 모드로 사용할 수 있으며,  $V_{ID}$ 의 값을 피드백을 통하여  $V_{CON}$ 으로 보내면 정전류 모드로 동작이 가능하다.

그림 5는 정전압 모드로 동작할 경우의 회로 구성을 나타내었다. LED 다이오드  $D_T$ 의 양단의 전위차  $V_D$ 의 값을 순방향일 경우엔  $Q_3, Q_4$ 의 스위치를 순방향 모드로 설정하고,  $V_D$ 의 양단의 전위차를 임피던스가 매우 큰 OP-Amp인  $U_1$ 과  $U_2$ 를 통하여 전류의 소비없이 전압값만 추출하여 Instrument OP-Amp인  $U_3$ 을 통하여 전위차를 얻은 후에  $U_4$ 로 피드백시킨다.  $V_D$ 의 양단에 걸리는 전압은 Summing amplifier  $U_4$ 는 피드백 되어 들어오는 전압값과  $V_{DAC}$ 를 통하여 들어온 전압값을 더하며 그 값은 식 (3)과 같다.

$$V_{x1} = - \left( \frac{R_5}{R_1} \times V_x + \frac{R_5}{R_2} \times V_{DAC} \right) \quad (3)$$

$V_{x1}$  값은 Integrator 인  $U_6$ 로 들어가며 Capacitance  $C_1$ 에 충전되는 전압은 식 (4)와 같은 정의를 따른다.

$$V_{x2} = - \frac{1}{C_1} \int_0^t i(t) dt \quad (4)$$

식 (4)의 전류를 옴의 법칙으로 저항과 전압의 식으로 나타내면 식 (5)와 같이 된다.

$$V_{x2} = -\frac{1}{C_1 \times R_6} \int_0^t V_{x1}(t) dt \quad (5)$$

$V_{x2}$ 의 값에 의하여 Power MOSFET 및 구동 드라이버로 구성된 Power Amp Module  $U_7$ 을 통해 피드백되어 조절된다.

D.U.T의 LED 다이오드  $D_T$ 에 흐르는 전류의 측정은 그림 6과 같다. 정밀 저항들로 구성된  $R_a$ 에 걸리는 전압  $V_{ID}$  값을 측정하여 옴의 법칙으로 전류  $I_D$ 의 값을 알 수 있다.

그림 7은 정전류 모드로 동작할 경우의 회로 구성을 나타내었다.  $V_{ID}$ 의 값이 Summing amplifier  $U_4$ 로 피드백 되어 들어가고,  $V_{DAC}$ 를 통하여 들어온 전압값을 더하며, 값은 다시 Integrator 인  $U_6$ 로 들어가서 정전류 피드백이 이루어지게 된다.

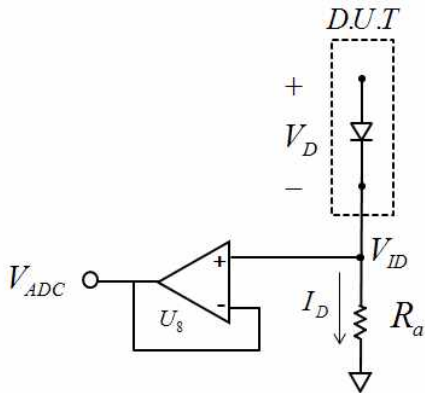


그림 6. 순방향 정전압 시 전류 측정  
Fig. 6. Current measurement during forward CV.

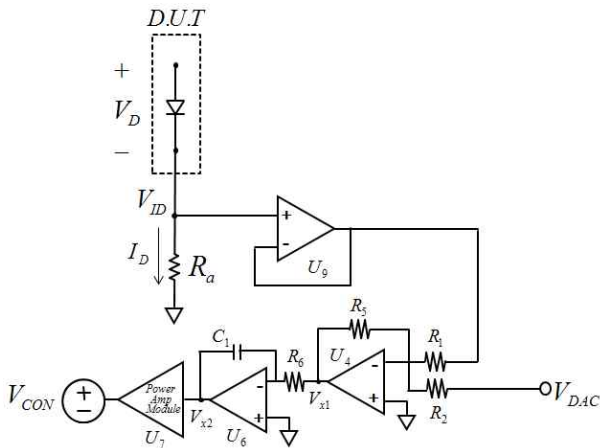


그림 7. 순방향 정전류 피드백  
Fig. 7. Forward constant current feedback.

### 3. 역방향 전원 공급 및 특성 측정

역방향 전원 공급 및 특성 측정은 그림 1의 LED의 전기적 특성 그래프 중  $V_r$ 과  $I_r$ 의 전원 공급 및 특성을 측정하기 위한 것으로 그림 8과 같은 역방향 상태 등가 회로 구성을 갖는다.

$Q_1, Q_2$ 의 스위치들을 제어하여 역방향 상태가 되면 D.U.T의 LED 다이오드  $D_T$ 에 흐르는 전류의 방향이 순방향일 때와는 반대로 된다. 해당 전류는 저항  $R_b$ 에도 흐르게 되며, 이때 식 (6)(7)과 같이  $V_{IR}$ 의 값의 값을 읽으면 옴의 법칙에 의하여 전류  $I_D$ 의 값을 알 수 있다.

$$V_{IR} = I_D \times R_b \quad (6)$$

$$\therefore I_D = \frac{V_{IR}}{R_b} \quad (7)$$

그림 9와 같이 역방향 상태가 되면 D.U.T의 LED 다이오드  $D_T$ 에 걸리는 전압의 극성이 순방향일 때와 반대가 된다.  $D_T$  양단에 걸리는 전압을 Voltage follower

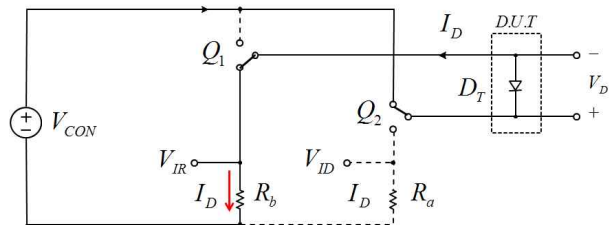


그림 8. 역방향 상태 등가 회로  
Fig. 8. Reverse state equivalent circuit.

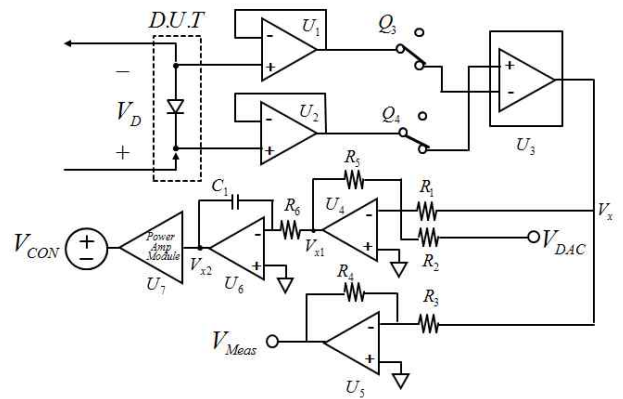


그림 9. 역방향 정전압 피드백 및 측정  
Fig. 9. Reverse constant voltage feedback and measurement.

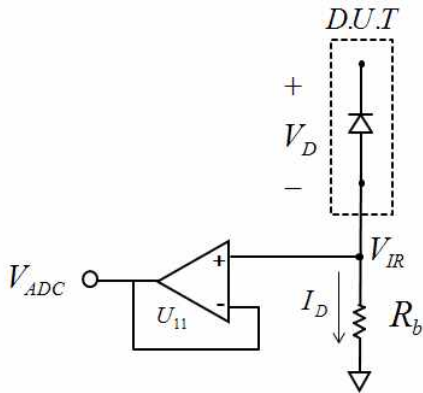


그림 10. 역방향 정전압 시 전류 측정  
Fig. 10. Current measurement during reverse constant voltage.

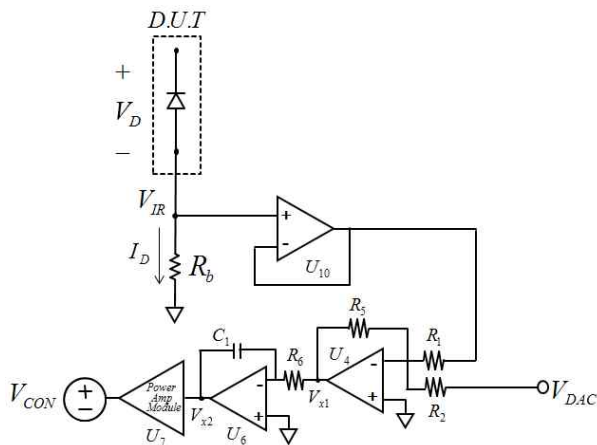


그림 11. 역방향 정전류 피드백  
Fig. 11. Reverse constant current feedback.

를 통하여 읽어들이며,  $Q_3, Q_4$ 의 스위치에 의하여 역방향 모드로 설정된 Instrument OP-Amp인  $U_3$ 에 보내면 순방향 정전압 모드와 같은 방법으로  $U_4$ 로 피드백되어 역방향 정전압 상태가 된다.

### III. 실험

본 논문에 대한 평가를 위해서 전류 감지를 위해 사용된 센싱저항  $R_a, R_b$ 에 대한 평가를 수행하였으며, 이를 이용하여 LED에 전류 및 전압을 공급할 때와 측정할 때의 전압 및 전류 값을 교정하였다.

그림 12는 단일 전원을 이용하여 LED에 전류 및 전압을 공급하며, 측정하기 위해 제작된 장치의 외형을 나타내었으며, 그림 13은 제작된 장치를 이용하여 실험하기 위해 구성한 장치들이다.

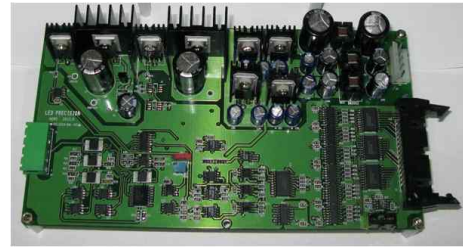


그림 12. 단일 전원 LED 전류-전압 공급 및 측정 장치  
Fig. 12. LED I-V source and measurement device using single power.



그림 13. 실험 장치 구성  
Fig. 13. Experimental setup for LED.

표 1. 항목별 전류-전압 공급 및 측정  
Table 1. Current-Voltage source and measurement.

항목	공급	측정	단위
IR	- 5V	current	A
VR	- 10uA	voltage	V
VF1	+ 1uA	voltage	V
VF2	+10uA	voltage	V
VF3	+20mA	voltage	V

표 2. 전류 센싱저항 오차 측정  
Table 2. Error measurement of current sensing resistor.

항목	IR	VR	VF1	VF2	VF3
측정전류	1uA	-10uA	1uA	10uA	20mA
기준저항값	1	100	1	100	49.9
단위	MΩ	kΩ	MΩ	kΩ	Ω
측정값	0.9996	99.9530	0.9995	99.9590	49.9000
	0.9994	99.9560	0.9996	99.9630	49.9060
	0.9996	99.9550	0.9995	99.9630	49.9460
평균값	0.9995	99.9547	0.9995	99.9617	49.9173
% 오차	0.0483	0.0453	0.0480	0.0383	-0.0347

표 1은 LED의 I-V 공급 및 측정을 수행한 항목으로, LED를 생산하는 업체에서 I-V 공급 및 특성 측정을 위해 사용하는 항목을 이용하였다.



표 3. 공급 및 측정 오차 측정

Table 3. Error measurement of source and measure.

구분	설명	단위	측정항목					
			IR	VR	VF1	VF2	VF3	
$R$	센싱저항	값	0.9995	99.9547	0.9995	99.9617	49.9173	
	평균값	단위	$M\Omega$	$K\Omega$	$M\Omega$	$K\Omega$	$\Omega$	
공급전원	전압	V	5.0000					
	전류	단위		10.0000	1.0000	10.0000	20.0000	
측정	$V_{meas}$	LED전압	V	4.9998	14.481	2.247	2.3414	2.7556
	$V_{ID}$	센싱전압	V	-	-	1.00241	1.00134	1.00108
	$V_{IR}$	센싱전압	V	0.22001	1.00079	-	-	-
$I_D$	계산값	값	0.22012	10.0000	1.0000	10.0000	20.0000	
	측정값	값	0.22001	10.0079	1.0024	10.0134	20.0216	
		단위	$\mu A$	$\mu A$	$\mu A$	$\mu A$	$mA$	
	% 오차	%	0.04	0.079	0.241	0.134	0.108	

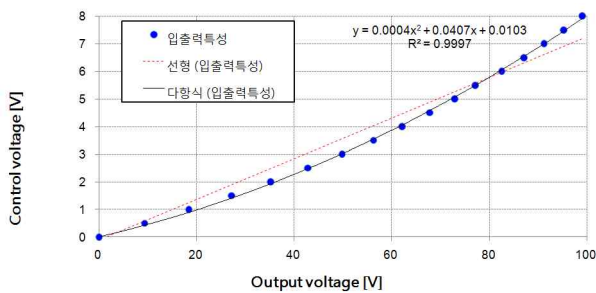


그림 14. 입출력 보정

Fig. 14. Calibration for Input and Output.

표 2는 본 논문에 사용된 전류 센싱 저항의 오차를 측정 한 것으로 역방향전류(IR), 역방향 전압(VR), 순방향전압(VF1, VF2, VF3)의 각 항목별 사용된 센싱 저항을 3대의 멀티미터로 측정하여 구한 평균값을 기준저항 값과의 오차를 구한 것이다.

표 3은 표 1의 항목별 전류-전압 공급 및 측정항목을 시중에 판매하는 3535사이즈의 250ma급 LED에 적용하여 공급 및 측정을 한 것이다. 오차율은 0.04~0.241 % 로 센싱저항의 값이 클수록 오차율이 커지는 것을 볼 수 있었다.

그림 14는 본 실험에서 수행한 보정작업으로 입력 제어 전압에 따른 출력 전압을 보정한 것이다. 이득은 12.5배 정도이며, 2차 다항식의 방정식을 구하여 보정작업을 수행하였다. 또한 멀티미터로 측정한 출력 전압 측정치와 DAC로 획득한 측정치의 보정을 수행하였다. 본 논문에 따른 단일 전원을 이용한 전류-전압 공급 및 측정의 보정작업은 순방향, 역방향의 피드백 회로를 공통으로 사용하기 때문에 기존의 (+)(-) 전원을 사용하는 방식과 비교하여 회로구성이 간단하였으며, 보정작업이 절반으로 줄어드는 효과를 확인하였다.

### IV. 결 론

본 논문에서는 LED에 전류-전압 공급 및 측정 시스템에서 단일 전원을 이용하여 기존의 (+)(-) 전원을 이용하는 시스템에 비해 교정의 단계를 줄이기 위하여 시스템을 구성하여, 그 실험 결과를 보고한 것이다. (+),(-)일 때의 전원 공급 및 측정의 교정 작업을 (+)일 때만으로 교정하면 되기 때문에 교정 작업의 횟수가 절반으로 줄어들었으며, (+),(-)사이의 교정 정확도도 (+)일때만 수행하면 되기 때문에 공급 및 측정 정확도도 좋아지는 것을 관찰 할 수 있었으며, ADC, DAC의 범위도 (+)일 때만 구성하면 되기 때문에 분해능이 두배 향상되는 효과를 관찰 할 수 있었다.

### REFERENCES

- [1] E. Fred. Schubert, "Light-Emitting Diodes Second Edition," Cambridge, New York, pp. 59-85, 2006
- [2] J. S. Yon and T. Y. Ahn, "100W Class Low Profile DC-DC Converter with Constant Current Control" JPE Vol. 2, no.1, Jul. 2004
- [3] J. Y. Choi. "A Comparison Study of Input ESD Protection schemes Utilizing Thyristor and Diode Devices," IEEK SD., Vol. 47, no. 4, Apr. 2010.
- [4] K. T. Kim and K. M. Yu, "Precision Measurement Technique of DC Voltage/Resistance Ratio", Trans. KIEE. Vol. 51D, no. 3, pp. 96-99, Mar, 2002
- [5] H. S. Kim and J. I. shim , "LED device performance and reliability assessment technology", Physics and High technology, Vol. 17, no. 11, pp. 26-29, December 2008
- [6] J. R. de Britto, A. E. Demian, Jr., L. C. de Freitas, V. J. Farias, E. A. A. Coelho, and J. B. Vieira, "A proposal of LED lamp driver for universal input using Cuk converter," in Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf., 2008, pp. 2640-2644.
- [7] T. H. Su, I. P. Chen and H. Tsao, "Automated calibration methods for a high-voltage Park divider" IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 44, pp. 318-321, Apr. 1995
- [8] C. Y. Mang and W. S. Lee, "A CV-CC Concurrent-Controlled LED Converter", IEEK , Vol. 49, no. 11, Nov. 2012.

저 자 소 개



박 창 희(정회원)  
2000년 한양대학교 전자공학과  
(공학사)  
2005년 연세대학교 전자공학과  
(공학석사)  
2006년~현재 한양대학교  
전자컴퓨터통신공학과  
박사과정

2004년~현재 코리아스펙트랄프로드즈(주)  
연구소장

<주관심분야 : ARM, DSP, Power electronics, 신  
호처리, Analog Circuit 설계>



안 태 영(정회원)  
1984년 한양대학교 전자공학과  
(공학사)  
1990년 한양대학교 전기공학과  
(공학석사)  
1994년 큐슈대학교 전자공학과  
(공학박사)

1995년 일본 세이코전기 선임연구원

1996년 삼성전자 반도체사업부 선임연구원

1997년~현재 청주대학교 전자공학과 교수

<주관심분야 : 고효율 스위칭 전원장치 최적설계,  
전력변환기 시뮬레이션, 고주파 전력스위칭 >



조 성 호(평생회원)  
1978년 한양대학교 전자공학과  
(공학사)  
1984년 University of Iowa  
전자컴퓨터학과  
(공학석사)  
1989년 University of Utah  
전자컴퓨터공학과  
(공학박사)

1989년~1992년 한국전자통신연구원 선임연구원

1992년~현재 한양대학교 융합전자공학부 교수

<주관심분야 : IR-UWB, 무선전력전송, 신호처  
리, FPGA/DSP 설계>