

칼만필터를 활용한 LED 조명의 보호회로 감지 정확도 향상 방법

임길환*, 김성렬**

Improving Measurement Accuracy of Protection Circuit using Kalman filter in LED Light

Gil-Hwan Lim*, Sung-Ryul Kim**

요약

LED 전등은 OVP(Over Voltage Protection)나 OCP(Over Current Protection) 와 같은 보호회로를 이용하여 과전압이나 과전류를 차단한다. 보호회로의 올바른 동작을 위해서는 정확한 전압과 전류의 측정이 요구되지만 회로 자체가 가진 오차율 및 부품의 발열로 인해 정확한 측정이 어렵다. 이에 본 연구에서는 측정오차로 인한 보호회로의 오동작을 완화하기 위해 칼만필터를 이용하여 측정되는 전압의 오차를 보정하는 기술을 제안한다. 이를 위해 자체 제작한 스마트 LED 조명을 구동하여 전압을 측정하고 이를 서버에 전달 후 데이터베이스에 저장한다. 실험을 통해 30V의 전압을 측정하는 상황에서 칼만필터를 적용하여 최대측정 오차를 약 44% 줄일 수 있음을 알 수 있다. 또한, 제안 방법은 네 개의 채널을 가지는 LED 전등에서 측정된 최대, 최소의 차이 평균을 23.84mA에서 5.48mA로 줄인다.

Abstract

Protection circuit such as OVP or OCP is generally adopted to protect overvoltage and overcurrent on the LED light. For the correct operation of the protection circuit, accurate measurement of the voltage and current, it is difficult due to the error of the circuit itself and heat generated from components. In this paper, we use Kalman filter to reduce the measurement error leading to malfunction of the protection circuit. To achieve this, we measure the voltage from self-made smart LED lights, transmit it to the server, and store it in a database. Experiment results demonstrate that the maximum measurement error can be reduced by about 44% by applying the Kalman filter on the measurement of 30V. In addition, the proposed system reduce the average of difference of min-max width from 23.84 mA to 5.48 mA on an LED light with four channels.

Keywords

smart led, kalman filter, platform, smps

* 다온(주) 기업부설연구소 선임연구원

- ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9968-0101>

**금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 조교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5218-1477>

· Received: Nov. 02, 2023, Revised: Nov. 14, 2023, Accepted: Nov. 17, 2023

· Corresponding Author: Sung-Ryul Kim

Dept. of Computer Software Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Korea

Tel.: +82-54-458-7549, Email: sungryul@kumoh.ac.kr

1. 서 론

일광 조건이나 물체의 존재 여부에 따라 자동제어가 가능한 스마트 조명 기술은 IOT(사물인터넷)과 결합하여 스마트 시티, 스마트 팜 등 대규모 인프라 구축에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 스마트 LED 가로등은 자율주행 차량을 제어하여 사고를 예방하거나 긴급상황을 빠르게 주변 차량에 전달하여 2차 피해를 예방할 수 있다. 또한, 운전이 미숙한 운전자에게 주차장의 빈자리나 출입구를 안내하여 사용자의 안전 주행을 도울 수 있고 다양한 점등패턴 및 색상을 통해 도시의 미관을 제고하는 역할도 담당한다. 더욱이 에너지 절감의 중요성이 점차 높아짐에 따라 조명이 필요한 최소한의 시간만큼만 에너지를 소비하는 스마트 조명은 산업 전반에 활용될 것으로 기대된다[1][2].

국내에서도 공공수요 중심의 LED 조명등의 제품 수요가 점차 증가하는 추세이며 각 기업은 다양한 기능을 결합한 제품들을 출시하고 있다. 덴마크 코펜하겐에서 진행되는 “아웃도어 라이트 랩 프로젝트”에서는 Wi-Fi를 이용하여 원격으로 제어 가능한 LED 시범사업을 진행 중이다. 스페인 바르셀로나에서는 유동 인구수와 일광 조건에 따라 가로등 조명 밝기를 조절하고 공간 내 사람의 존재 여부를 파악하여 필요시에만 가로등을 점등하여 연간 최소 30% 전력 소비량을 절감하고 있다.

스마트 조명의 핵심인 LED 소자의 수명은 정격 전압 공급 유무에 의해 크게 좌우된다. 전압 공급의 실패로 과전류가 발생하면 발열과 소자가 가진 내압에 따라 LED 내부 소자는 소손되며 이는 잦은 LED 교체의 주요인이 된다. 이를 해결하기 위한 하나의 방법으로 SMPS의 사용이 있다. SMPS는 외부에서 공급되는 교류(AC)전류를 직류(DC)전류로 전환(Switching)하여 조건에 맞는 전압으로 변환시켜 공급하기 때문에 정격 전압을 안정적으로 공급할 수 있는 특징을 가진다.

다만 LED 시스템에서 SMPS를 도입하더라도 정격 전압 이상의 과전압이 시스템에 공급될 수 있으므로 이로 인한 문제 발생을 차단하기 위해 OVP(Over Voltage Protection)나 OCP(Over Current

Protection)와 같은 보호회로가 사용된다. 보호회로는 과전압이나 과전류를 감지되면 저전압을 유지하거나 아예 출력 전압을 차단한다. 하지만 전원 시스템의 복구는 자동으로 이루어지는 것이 아니라 전원을 단락 후 정상 연결해야 한다. 즉, 보호회로가 오동작하면 잦은 점검이 발생하므로 정확한 전압/전류 측정이 요구된다. 그러나 회로 자체가 가지는 오차와 LED 소자 발열로 발생하는 전류 변동으로 인해 회로에서 측정되는 전압/전류는 오차를 포함한다.

본 연구에서 SMPS 및 LED 소자에서 측정되는 전압 및 전류의 변동을 칼만 필터로 보정하여 정확한 보호회로 동작을 유도하는 방법을 제안한다. 실제 데이터 측정을 위해 자체 제작한 LED 조명을 구동시켜 SMPS와 LED 소자의 전압 및 전류를 측정한다. 데이터 수집을 위해 TCP 소켓 기반 서버를 구축하고 이를 MongoDB에 저장한다. 이후 변동이 크고 오차를 포함하는 실측 데이터에 칼만 필터를 적용하여 평활화(Smoothing)를 수행한다. 최종적으로 LED 조명에서 측정되는 전압과 전류의 오차 및 변동성을 칼만 필터의 적용을 통해 개선할 수 있음을 보인다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 관련 연구로 LED의 발열이 전압과 전류에 미치는 영향 및 해당 문제를 해결하기 위한 기존 방법들을 소개한다. 3장에서는 칼만 필터 기반 측정 오차 보정 기술을 서술한다. 4장에서는 LED 조명에서 수집된 데이터에 칼만 필터를 적용한 결과를 보인다. 마지막으로 5장에서는 결론에 대해 기술하고 본 연구가 갖는 한계점 및 향후 연구로 마무리한다.

II. 관련 연구

2.1 LED 발열과 전압/전류 상관관계

LED 소자는 발열 특성에 따라 소모 전류가 변동되는 특징이 있다. 그림 1과 같이 소자의 온도와 LED 양단에 걸리는 전압은 반비례 관계임을 알 수 있다. LED 소자와 순방향 전압이 낮아지는 이유는 온도가 증가할수록 LED 양단에 걸리는 저항이 낮아지기 때문이다.

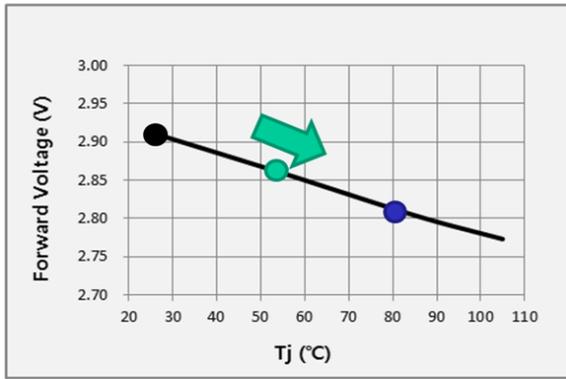


그림 1. LED 발열에 따른 순방향 전압의 상관관계
Fig. 1. Relationship of forward voltage with LED heat generation

반대로 흐르는 전류는 증가하기 때문에 LED에 발열이 발생하며 이로 인한 소손을 예방을 위해 히트싱크(Heat sink)를 통하여 포화하는 온도를 낮춘다. 이처럼 LED 소자의 온도를 낮추는 방열이 중요함에 따라 방열 소재의 효율을 높여 발열 억제 효과를 증가시키는 전류제어 기술이 연구되고 있다.

2.2 온도에 따른 저항 변화

저항 소자는 온도의 변화에 따라 저항치가 변화하며, 그 변화률을 저항 온도 계수(TCR, Temperature Coefficient of Resistance)라고 하며, 단위는 ppm/°C이며 식 (1)에 의해 산출된다.

$$TCR = \frac{(R - R_a)}{R_a} \div (T - T_a) \times 1000000 \quad (1)$$

여기서 R_a , T_a , R , T 는 각각 기준온도에 따른 저항, 기준온도, 임의의 온도에 따른 저항, 임의의 온도를 나타낸다. Walsin사의 저항기는 TCR을 $\pm 100\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 로 규정하고 있다. 기준온도는 25°C , 최저 온도 -55°C , 최고 온도 155°C 로 기준으로 하여 TCR의 최소/최대는 표 1과 같다.

표 1은 전압이나 전류를 측정할 때 소자의 온도에 따라 변화하는 저항으로 인해 측정이 부정확해질 수 있음을 시사한다. 또한, 동일한 온도에서도 저항 자체가 가지는 오차도 회로 설계 시 고려대상임을 알 수 있다.

표 1. 온도에 따른 최소/최대 TCR

Table 1. Min./Max. of TCR with respect to temperature

Temp.(°C)	10kΩ(kΩ)		1kΩ(kΩ)	
	Min.	Max.	Min.	Max.
-20	9.956	10.04	0.9956	1.004
-10	9.966	10.03	0.9966	1.003
0	9.976	10.02	0.9976	1.002
10	9.986	10.01	0.9986	1.001
20	9.996	10.00	0.9996	1.000
30	9.994	10.01	0.9994	1.001
40	9.984	10.02	0.9984	1.002
50	9.974	10.03	0.9974	1.003
60	9.965	10.04	0.9965	1.004
70	9.955	10.05	0.9955	1.005
80	9.945	10.05	0.9945	1.005

2.3 LED 조명의 안정성 연구

현재까지 LED 발열로 인한 조명의 주기 단축의 문제를 해결하는 다양한 연구가 수행되었다. 상용 LED 조명의 전기적, 열적 안전성 확보를 위한 체계적인 테스트가 진행되었으며 공급 전원이 직류일 때와 교류일 때 LED 조명의 온도와 조도 변화를 비교 분석하여 공급 전원 종류에 따라 설계 시 유의사항을 제시한 연구가 대표전인 사례로 손꼽힌다 [3][4]. 또한, 온도에 따른 저항 변화에 대한 문제를 지적하고 이를 보상하기 위한 전압 측정 방법을 제안한 선행연구도 존재한다[5].

측정값 보정보다는 방열의 효율을 높여 LED의 수명 단축 문제를 해결하는 전략도 사용되고 있다. 디밍 제어회로를 설계하여 LED 발열로 인한 소손을 완화하거나 SMPS의 부정확성을 지적하며 안정적인 전원공급을 위한 SMPS를 직접 설계한 연구도 존재한다[6][7]. 한편, DC 방식의 한계를 지적하며 AC 전원 자체를 안정적으로 공급하기 위한 연구사례도 있다. 전원 전압 자체를 특정 범위 안에서 인위적으로 조절하여 LED 집단 조명등 디밍 및 절전 시스템을 구현하거나 저내압 반도체 공정으로도 제작 가능한 드라이버 IC를 설계를 설계하여 안정적인 AC 전원공급을 도모하고 있는 연구들이 대표 사례다[8][9].

본 연구는 위에서 언급한 LED 발열을 직접 해결하는 접근법 대신 칼만 필터를 이용해 SMPS의 측정 정확도를 높이는 방법을 제안한다.

칼만 필터는 최근까지도 배터리 잔량 추정, 커패시터 전압과 컨버터 전류 추정 정확도 향상 등 다양한 목적으로 전자회로에 적용되고 있다[10][11]. 따라서 칼만필터의 적용은 본 연구의 목적인 SMPS의 측정 정확도 향상에도 상당한 기여를 할 것으로 기대한다.

III. 제안 방법

3.1 칼만 필터

칼만 필터는 루돌프 칼만이 개발한 알고리즘으로 1960년대 NASA의 아폴로 프로젝트의 내비게이션 개발에 사용되었다. 이는 노이즈가 포함된 측정치를 바탕으로 선형 역학계의 상태를 추정하는 재귀 필터로, 컴퓨터 비전, 로봇 공학, 센서, 레이더, 통계 등의 여러 분야에 널리 사용된다. 칼만 필터는 과거에 수집된 통계 정보를 바탕으로 현재의 값에 포함된 잡음을 제거한다. 칼만 필터는 크게 예측과 갱신이라는 두 단계로 구성된다. 예측 단계에서는 현재 상태 변수의 값과 정확도를 예측한다. 현재 상태 변수의 값이 실제로 측정된 이후, 갱신 단계에서는 이전에 추정한 상태 변수를 기반으로 예측치와 실제 데이터의 차이를 고려하여 현재의 상태 변수를 보정한다. 칼만필터 알고리즘의 블록도는 그림 2와 같다.

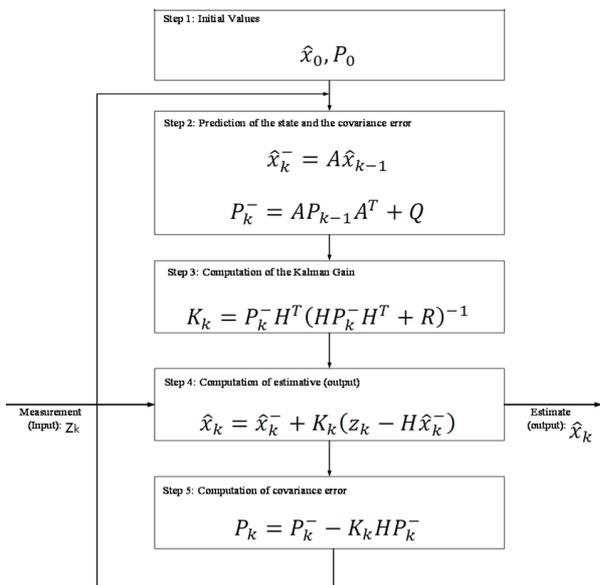


그림 2. 칼만 필터 알고리즘
Fig. 2. Algorithm of the Kalman filter

본 연구에서는 직접 개발한 LED 조명의 SMPS에 인가된 전압과 LED 소자에 흐르는 전류 측정에 포함된 잡음을 칼만필터로 제거하고 있으며 사용한 필터 변수는 표 2에 정리되어 있다.

표 2. 칼만필터 파라미터 값
Table 2. Parameter of Kalman filter

Param.	Value	Description
A	1	state space matrix
H	1	observation matrix
Q	0	covariance of process noise
R	1	covariance of observation noise
X₀	30(v) 700(mA)	initial values

3.2 LED 조명 모니터링 서버 구축

LED 조명의 다양한 소자에서 측정되는 전압 및 전류 데이터를 수집하기 위해 본 연구에서는 TCP 소켓 통신을 지원하는 서버를 개발하였다. 실시간으로 수집되는 데이터를 저장하기 위해 데이터베이스를 구축하였으며 데이터의 유형이나 타입에 크게 영향을 받지 않는 MongoDB를 이용하였다. MongoDB가 사용하는 Document는 객체지향 프로그래밍에 언어와 대치되기에 개발이 단순화되고, 객체를 관계형 테이블로 변환하는 복잡한 매핑 계층이 사라지는 장점을 가진다.

칼만 필터는 파이썬 프로그래밍 언어를 이용하여 구현하였다. MongoDB와 파이썬 사이의 연동을 통해 원하는 데이터를 조회하고 이를 곧바로 칼만필터 함수에 적용하는 파이프라인을 구축하여 손쉽게 제안 방법의 성능을 평가했다. 또한, MongoDB가 제공하는 Compass를 통해서도 실시간으로 축적되는 데이터를 확인할 수 있다.

한편 해당 서버는 LED 조명에서 전달하는 데이터를 지속해서 수신해야 하고, 향후 관리해야 하는 센서가 증가할 것을 대비해야 한다. 이를 위해 PM2을 사용하여 프로그램 동작 중 수정 배포가 가능하도록 구현하였다.

IV. 성능평가

실험은 자체 개발한 LED 조명을 대상으로 진행하였다. LED 조명은 전원 제어부와 수집된 데이터를 서버에 전송하는 무선 센서 모듈을 탑재하고 있으며 정전압 SMPS를 이용하여 전원을 공급한다. 또한, 해당 LED 조명은 총 4개의 LED를 포함하고 있으며 하나의 LED당 하나의 채널로 연결된다. 그림 3은 실험에 사용된 LED 조명과 데이터 측정 환경을 보여준다.



그림 3. 실험 환경
Fig. 3. Experiment environment

4.1 정전압/정전류 SMPS의 전압 측정

SMPS의 종류는 크게 정전압 SMPS와 정전류 SMPS로 구분되며 본 연구에서는 어떤 종류의 SMPS가 LED 조명에 적합한지 확인하기 위해 두 종류의 SMPS를 LED 조명에 적용하여 각각 전압을 측정하였으며 그 결과는 그림 4, 5와 같다.

그림 4에서 알 수 있듯이 정전압 SMPS의 전압은 약간의 오차를 포함하고 있으나 일정한 전압을 유지하고 있는 것을 확인할 수 있다. 반면 정전류 SMPS의 경우 LED 소자의 발열에 따른 저항의 감소로 인해 출력 전압이 점차 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 정전류 SMPS를 사용할 경우 4개 LED 채널 중 하나 이상의 채널에서 고장이 나면 나머지 구동되는 LED가 출력 전류를 그대로 받게 되어 전체 시스템의 수명이 급격하게 줄어드는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 실험을 통해 정전압 SMPS가 자체 개발한 LED 조명 시스템에 적합하고 판단하였다.

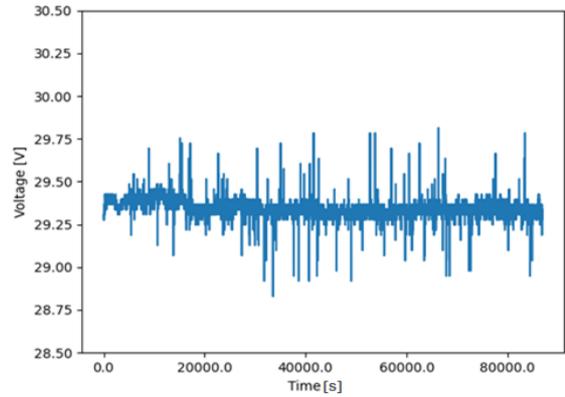


그림 4. 시간에 따른 정전압 SMPS의 전압 변화
Fig. 4. Voltages of constant voltage SMPS over time

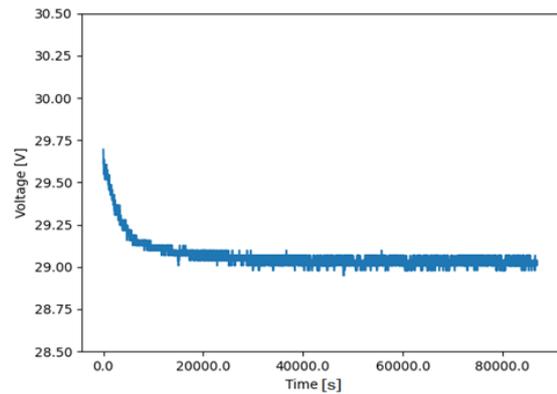


그림 5. 시간에 따른 정전류 SMPS의 전압 변화
Fig. 5. Currents of constant current SMPS over time

4.2 칼만 필터 기반 정전압 SMPS 전압 보정

표 3은 정전압 SMPS를 이용하는 LED 조명에서 측정된 입력 전원 오차율의 일부를 보인다.

표 3. 측정된 전압 오류 일부

Table 3. Samples of the measured voltage error

Measured voltage(V)	error(V)	error rate
29.30653	-0.69347	2.31%
29.27668	-0.72332	2.41%
29.30653	-0.69347	2.31%
29.27668	-0.72332	2.41%
29.27668	-0.72332	2.41%

표와 같이 실제 입력 전압은 30V이지만 오차율이 약 2% 정도 나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 오차의 보정 및 측정값의 변동을 평활화하기 위해 칼만 필터를 적용했으며 그 결과는 그림 6과 같다.

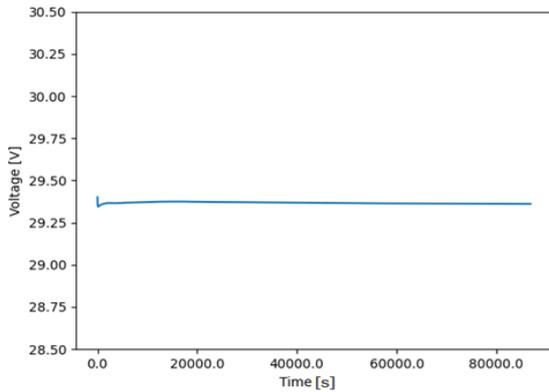


그림 6. 칼만 필터를 이용한 오차 보정 및 평활화
Fig. 6. Error correction and smoothing using Kalman filter

원본 데이터인 그림 4와 비교하여 칼만 필터를 적용할 경우, 측정 변동에 대한 평활화가 수행되어 안정적인 전압 측정이 가능함을 확인할 수 있다. 이는 보호회로의 반복적인 오동작이 개선될 수 있음을 의미한다. 또한, 측정 기간에 관측된 전압의 통계 정보를 정리한 표 4를 통해 측정 칼만 필터를 이용하여 최소 측정값이 유의미하게 보정되는 것을 확인할 수 있다. 과전류가 발생하는 상황에서 실제보다 낮은 전류의 측정은 LED 전등의 소실로 이어질 수 있으므로 제안 방법을 통한 전류 측정 정확도 개선은 개발 중인 스마트 LED 제품의 신뢰도를 크게 향상할 것으로 기대한다.

표 4. 칼만 필터 적용 전후의 측정 전압의 통계 정보
Table 4. Statistical information of measured voltage before and after applying Kalman filter

	Raw data(V)	Applying Kalman filter(V)
Maximun	29.81	29.4
Minimun	28.82	29.34
Variance	0.00234	0.00002
Std.	0.04844	0.004

4.3 LED의 소모 전류 측정

LED 소자 발열에 따른 전류 측정의 변화를 확인하기 위해 총 4개의 채널에서 발생하는 소모 전류를 측정하였으며 최대/최소의 가장 큰 폭을 보인 채널 2번과 4번에 대한 측정 결과를 그림 7에 나타내었다.

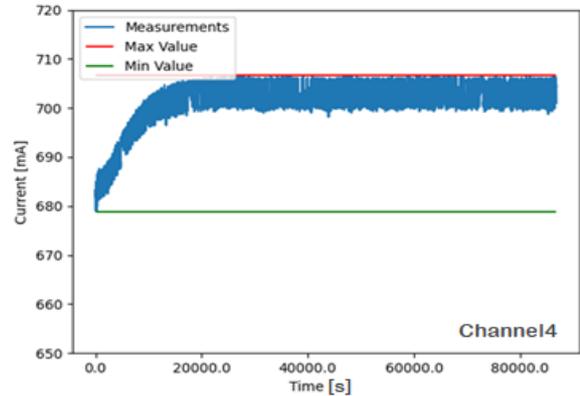
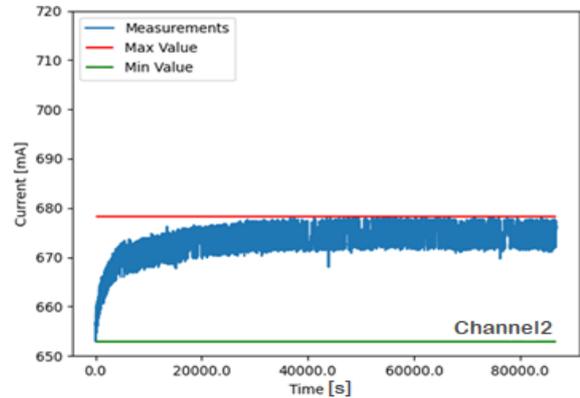


그림 7. 채널2와 4에서 측정된 전류
Fig. 7. Measured current at channel 2 and 4

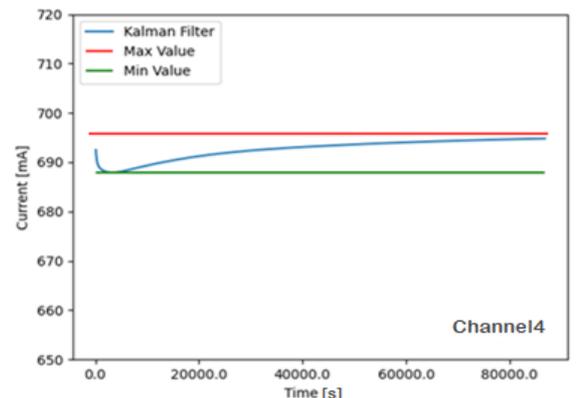
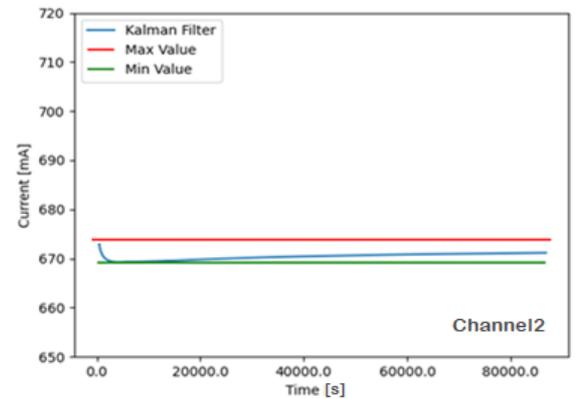


그림 8. 측정된 전류에 칼만필터 적용
Fig. 8. Applying Kalman filter for the measured current

그림 7에서 확인할 수 있듯이 칼만 필터를 적용하기 전에는 채널별로 측정 전류의 크기가 상이하며 각 채널에서 측정된 데이터의 변동 폭이 큰 것을 볼 수 있다. 반면 제안 방법의 결과를 나타내는 그림 8의 경우 데이터의 변동을 평활화하고 있으며 측정 오차 또한 줄어든다. 각 채널에서 측정된 전류 및 칼만 필터의 적용에 따른 통계 변화는 표 5에 정리되어 있으며 이를 통해 제안 방법이 측정 정확도를 향상시킴을 알 수 있다.

표 5. 칼만 필터 적용 전후의 채널별 측정 전류 통계(음영이 표시된 셀이 칼만 필터 적용 결과)

Table 5. Statistical information of measured current before and after applying Kalman filter per channel

	Ch1(mA)	Ch2(mA)	Ch3(mA)	Ch4(mA)
Max.	712.677	678.239	708.693	706.700
	703.093	673.327	697.854	695.415
Min.	692.754	652.908	686.492	678.808
	697.232	668.552	693.563	687.164
Var.	8.513	10.204	9.304	20.708
	1.751	0.821	2.241	4.410
Std.	2.917	3.194	3.050	4.550
	1.323	0.906	1.497	2.100

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 자체 개발한 스마트 조명시스템의 OCP, OVP의 기능을 명확하게 구현하기 위하여 칼만 필터를 적용했다. 전압 분배 법칙을 통해 입력 전원의 전압 레벨을 계산하고, 셉트 저항을 이용하여 소모 전류를 마이크로컨트롤러로 측정된 후, 이를 데이터 서버에 저장했다. 측정 데이터를 확인한 결과 저항기나 커패시터와 같은 수동소자의 오차에 의해 LED에 가해질 수 있는 전압의 변동률이 높아짐을 확인하였다. 또한, 칼만 필터를 적용하여 오차의 보정 및 변동성 감소가 가능함을 검증하였다. 더불어, 하나의 채널이 아닌 복수의 채널을 사용하는 고풍력 LED 조명시스템에서 일반 저항을 사용할 경우 마이크로컨트롤러에서 측정되는 소모 전류의 편차가 커지는 문제가 있으나 이를 칼만 필터로 보정/평활화함에 따라 안정적인 출력값을 나타내었다.

본 연구의 결과를 바탕으로 향후 마이크로컨트롤러에 칼만 필터를 내장하여 실시간 처리가 가능한

시스템을 개발할 것이다. 더불어 칼만 필터에 적용되는 다양한 파라미터를 이용하여 칼만 필터의 이득을 극대화하는 연구를 진행할 예정이다. 또한, 저역통과 필터, 확장 칼만필터, 머신러닝 기법 등 오차 보정을 위한 다양한 기술들의 적용 및 비교분석이 필요하다.

References

- [1] W. Xu, J. Zhang, J. Y. Kim, W. Huang, S. S. Kanhere, S. K. Jha, and W. Hu, "The design, implementation, and deployment of a smart lighting system for smart buildings", *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 6, No. 4, pp. 7266-7281, May 2019. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2915952>.
- [2] T. A. Khoa, et al., "Designing Efficient Smart Home Management with IoT SmartLighting: A Case Study", *Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol. 2020, pp. 1-18, Oct. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8896637>.
- [3] Y. W. Kim, C. H. Kim, and W. S. Choi, "A Study on the Electrical and Thermal Safety of System LED Lighting", *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, Vol. 33, No. 5, pp. 418-426, Sep. 2020. <https://doi.org/10.4313/JKEM.2020.33.5.418>.
- [4] M. S. Park, "A Study on the Comparative Analysis of Changes in Temperature and Illuminance According to the Type of Power Supply(DC, AC) for LED Lighting Fixtures", *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, Vol. 17, No. 1, pp. 23-34, Feb. 2022. <https://doi.org/10.34163/jkits.2022.17.1.003>.
- [5] S. J. Min and J. S. Kim, "Compensation of Resistance Variation due to Temperature in Voltage Measurement System", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 29, No. 11 pp. 1174-1177, Nov. 2012. <https://doi.org/10.7736/KSPE.2012.29.11.1174>.
- [6] C.-H. Hwang, K.-Y. Lee, S. Kang, and D.-W.

- Chung, "Design Analysis of LED Dimming Control using Flyback Converter", Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 139-140, Jul. 2015.
- [7] H. Y. Shin, "Development of constant current SMPS for LED Lighting", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 10, No. 1, pp. 111-116, Jan. 2015. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2015.10.1.111>.
- [8] C. H. Moon and S. H. Chai, "A Study on Dimming and Power Saving of LED Lights Using Supply Voltage Control", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 17, No. 10, pp. 25-31, Oct. 2019. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2019.17.10.25>.
- [9] E. S. Jeon, H. M. An, and B. C. Kim, "A study on AC-powered LED driver IC", Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol. 14, No. 4, pp. 275-283, Aug. 2021. <https://doi.org/10.17661/jkiict.2021.14.4.275>.
- [10] L. Wang, D. Lu, Q. Liu, L. Liu, and X. Zhao, "State of charge estimation for LiFePO4 battery via dual extended kalman filter and charging voltage curve", Electrochimica Acta 296, Vol. 2019, pp. 1009-1017, Feb. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.11.156>.
- [11] G. Pizarro, P. Poblete, G. Droguett, J. Pereda, and F. Núñez, "Extended Kalman Filtering for Full-State Estimation and Sensor Reduction in Modular Multilevel Converters", IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 70, No. 2, Feb. 2023. <https://doi.org/10.1109/TIE.2022.3165286>.

저자소개

임길환 (Gil-Hwan Lim)



2017년 : 한국기술교육대학교
컴퓨터공학부(공학사)
2022년 : 금오공과대학교
컴퓨터IT공학과(공학석사)
2016년 ~ 현재 : 다운(주)
기업부설연구소 선임연구원

김성렬 (Sung-Ryul Kim)



2010년 2월 : 부산대학교
컴퓨터공학과(학사)
2017년 8월 : 부산대학교 대학원
컴퓨터공학과(공학박사)
2019년 3월 ~ 현재 :
금오공과대학교
컴퓨터소프트웨어공학과 조교수

관심분야 : 빅데이터, 머신러닝