

IoT 활용 이동착탈식 열화 진단 장치 개발

가출현¹, 이동규², 김진사^{3,a}

¹ 신성대학교 전기공학과

² (주)주암전기통신 기술연구소

³ 조선이공대학교 메카트로닉스과

Development of Moving and Attaching Diagnosis Device Using IoT

Chool-Hyun Ka¹, Dong-Gyu Lee², and Jin-Sa Kim^{3,a}

¹ Department of Electrical Engineering, Shinsung University, Dangin 31801, Korea

² Juam Electric & Communication Co. Ltd, Research Center, Seoul 02790, Korea

³ Department of Mechatronics, Chosun College of Science & Technology, Gwangju 61453, Korea

(Received July 19, 2017; Revised July 25, 2017; Accepted July 27, 2017)

Abstract: The advancement and diversification of urban functions has caused an increasing need to improve the reliability of power supplies. The diversification of urban areas causes social disruptions by paralyzing urban functions during power outages. A large power outage occurs in the event of an accident, owing to the subduction of distribution lines. Therefore, in recent years, for the sake of the environment and safety, the safety diagnosis of electric power facilities has become an important issue. In this system, because thermal information changes rapidly during unattended monitoring owing to heat concentration phenomenon due to abnormal load or deterioration, studies have been conducted on the development of a device that can notify the manager at all times.

Keywords: Diagnosis, IoT, Thermal, Monitoring, Heat concentration

1. 서론

현재 ICT분야에서 주목을 받고 있는 것으로는 단연 사물인터넷(internet of things, IoT)이라고 할 수 있다. 즉 관리자와 설비를 네트워크로 연결하여 무인관리 시스템을 구축하려는 변화를 가져왔으며, 많은 부분이 도입하고 있다 [1-3]. 특히 도시 기능의 다양화 및 고도화에 동반하여 전력공급은 도심지의 다양한 산업과 문화형태에 따라 다양한 정전사고를 발생시키고 있기 때문에 이를 해결할 수 있는 많은 노력과 연구가 시도되고 있다 [4].

또한 최근에는 환경 및 안전성을 확보하기 위한 배전선로의 지중화로 사고 시 대단위 정전사고가 발생하기 때문에 전력설비의 안전진단은 매우 중요한 화두로 대두되고 있다 [5-7]. 최근 3년간 한국전력공사 경기도 K지점에서 정전사고 중 변압기/개폐기 사고가 전체 사고의 46.1%를 점유하고 있으며, 최근 3년간 전기사용의 증가로 인해 변압기/개폐기 사고가 2배 이상 증가됨을 확인할 수 있었으며, 지상변압기 고장 유형 중 과열에 의한 고장사고가 전체 사고의 51.5%를 차지하였다 [4]. 이러한 문제를 해결하기 위해 열화상카메라에 의한 상시점검 및 부하전류 측정을 통해 과전류 및 케이블에서의 과열현상을 검출하고 있으나, 대부분 순시 점검으로 부하의 변화, 주간 점검이 힘들고, 고가의 장비를 사용하므로 상시 설치하여 점검하는 것이 어렵다는 문제점이 있으므로 이를 해결하기 위해 저가형 열상센서를 사용하여 상시 감시 시스템 개발을 시도하

a. Corresponding author; kimjs@cst.ac.kr

고자 하였다.

열화상 카메라로 많이 사용되고 있는 PIR 센서는 바람이나 조명등에 오동작이 많이 발생되고 비접촉 IR온도센서는 온도 측정범위가 매우 제한적이다. 즉, PIR센서는 감지대상의 움직임 정보 판단만 가능하고 비접촉 IR 온도센서는 감지 대상의 한 포인트 온도정보만을 얻을 수 있어서 기능이 점차로 복잡해지고 다양해지는 감시 시스템에 적용하는데 많은 한계를 가지고 있다 [8,9].

따라서 본 시스템에서는 픽셀해상도가 낮은 저가형 IR센서로 지상변압기의 감시시스템에 적용하면 PIR 센서 및 비접촉 IR센서에서 얻을 수 없는 많은 정보를 이용하여 스마트한 감시시스템을 구현할 수 있을 것으로 생각되며, 보간법을 이용하여 16×4 해상도를 64×16으로 변환하여 열상이미지를 이용하여 열원의 위치를 확인할 수 있도록 하였다. 또한 무인 감시를 위해 열상정보의 변화가 급속히 발생하여 이상부하 또는 열화에 의한 열집중 현상이기 때문에 이를 관리자에게 상시적으로 알려줄 수 있는 애플 프로그램을 제작하여 관리자가 온도의 변화를 확인할 수 있는 열화진단 장치를 개발하고자 한다.



Fig. 1. Thermal imaging sensor.

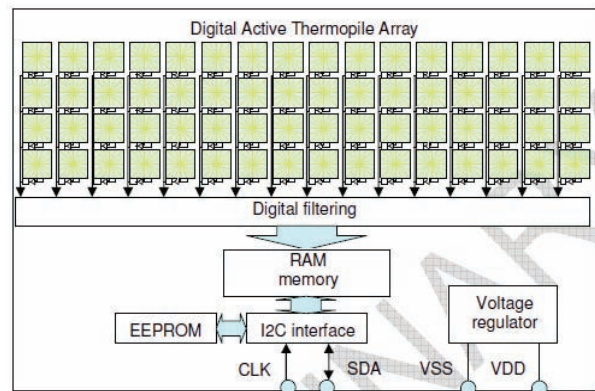


Fig. 2. Inner configuration of MLX90620.

2. 실험 방법

2.1 센서 및 열화상 장치

그림 1은 본 연구에 사용된 IR sensor를 나타낸 것으로 16×4해상도를 갖는 저가형 열화상 센서로 Melexis사 MLX90620을 사용하였다. 센서의 특징으로는 작은 크기(TO-39 package), 저가, 16×4의 해상도를 가지면 센싱 속도는 0.5 Hz에서 1 Hz까지 가능하고, 3.3 V에서 2.6 V의 단일 전압이 필요하지만 MLX90620를 최고의 성능을 사용하기 위해서는 전원을 2.6 V를 반드시 인가해주어야 하는 특징을 가지고 있다.

MLX90620를 동작하기 위한 전류는 9 mA 이하로 하고 전원은 폴리머 배터리를 적용하였으며, 이는 저압 설비가 없는 구조에서도 적용할 수 있도록 하였다. 센서의 온도 측정범위는 -50도에서 +300도까지 측정 가능하고, 측정 각(FOV)는 40도에서 60도까지 가능하다. 본 감시 시스템에서 사용된 것은 FOV가 60도인 것을 사용하였다.

MLX90620은 메인 CPU와 I2C 인터페이스를 사용하며 내부에 온도값 조절에 필요한 정보가 EEPROM에 저장되어 있어서, 메인 CPU에서는 온도 값과 이 EEPROM의

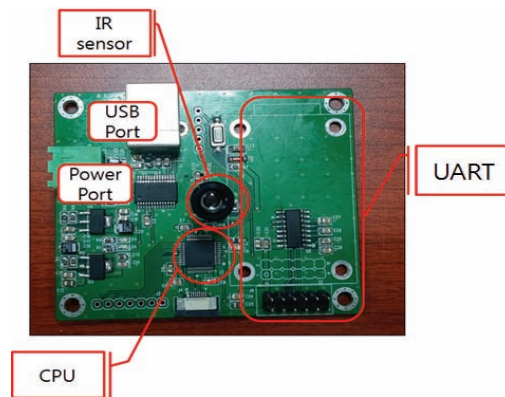


Fig. 3. Development device.

값을 읽어서 최종 온도를 계산하도록 하였다.

그림 1은 MLX90620 센서의 외형을 나타낸 것이고, 그림 2는 내부 회로도를 나타낸 것이다 [10]. MLX90620은 CPU를 내장하여 IR 센서로부터 입력된 열상정보를 자체 보정 솔루션을 이용하여 보정한 다음 외부 출력으로 보내주는 구조이다.

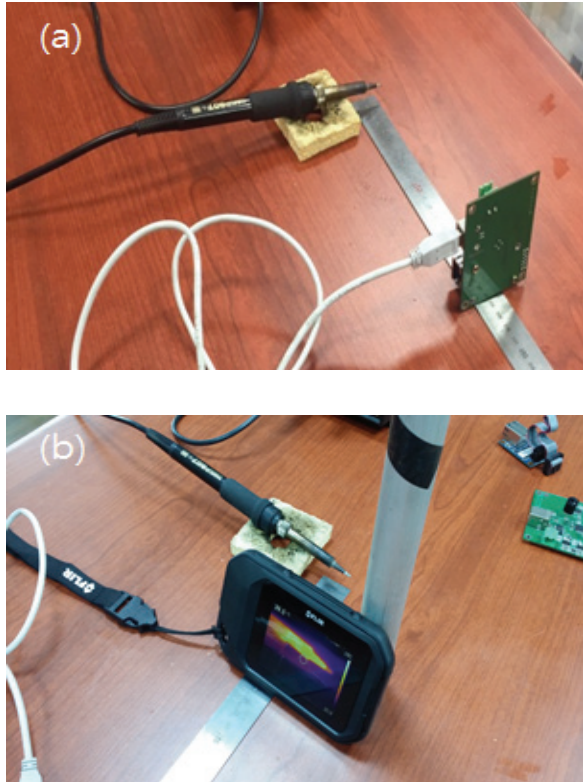


Fig. 4. Experimental photograph (a) production board and (b) FLIR C2.

그림 3은 개발보드에 열정보가 정상적으로 전달되는지 확인하기 위한 실험모습으로 FLIR C2 열화상 카메라를 이용하여 개발보드와 온도특성을 거리를 10, 20, 30 cm로 변화시켜 온도값을 비교해 보았다.

2.2 열화진단 알고리즘

무인화 장비로 개발하기 위해 열상정보에 대해서 검출된 최고온도, 평균온도, 최소온도를 비교하여 열상정보의 변화가 급격히 발생하면 관리자에게 자동으로 정보를 전송하도록 개발하였으며, 전송방식은 4G망을 이용하여 문자로 전송하도록 제작하였다. 그림 5는 판단 알고리즘에 대한 순서도로 현재 검출표면의 온도를 검출하여 최고값과 최저값을 내부메모리에 저장한 후 최고값이 임계치 이상의 값이 검출되면 무조건 관리자에게 현재 온도값을 송출하도록 하였다. 또한 검출온도가 임계치 이하이더라도 검출온도가 내부메모리에 저장된 온도와 3도 이상차이가 나면 관리자에게 송출할 수 있도록 알고리즘을 설정하였다.

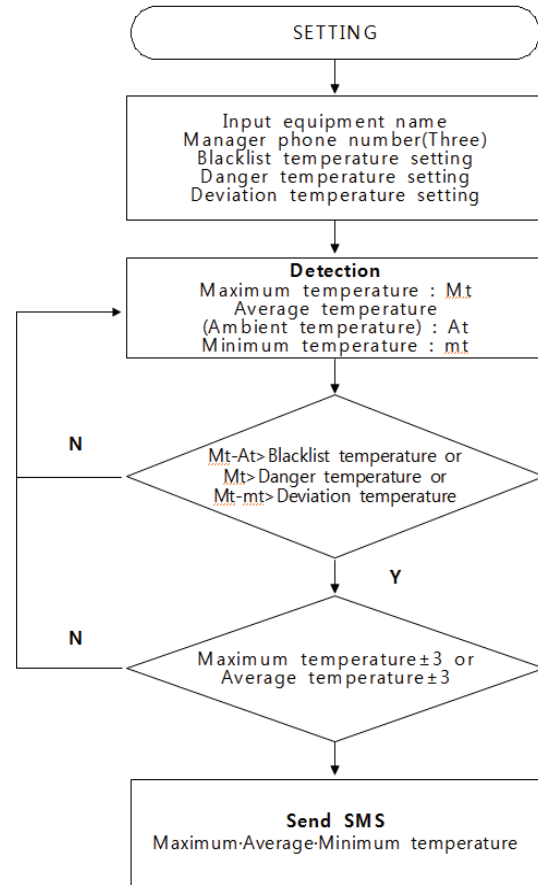


Fig. 5. Flowchart of diagnostic algorithm.

3. 결과 및 고찰

3.1 팜웨어 개발

본 시스템에 사용한 IR센서는 16×4로 매우 낮은 해상도를 가지고 있으므로 보간법을 이용하여 64×16의 해상도로 높여 지상변압기 내부의 형상을 구체적으로 표현할 수 있도록 하였다. 구현된 감시 시스템에서는 겹선형 보간법(bilinear interpolation)을 사용하였다.

그림 6에서 직사각형의 네 꼭지점에서의 값이 주어져 있을 때, 이 사각형의 변 및 내부의 임의의 점에서 값을 추정하기 위해 점 $d(x, y)$ 에서 x 축 방향으로 사각형의 변까지의 거리를 dx , $1-dx$, y 축 방향으로 거리를 dy , $1-dy$ 라 하고, 알려진 네 점에서의 데이터 값을 p_{00} , p_{10} , p_{01} , p_{11} 이라고 할 때, d 에서의 온도값을 구하는 식을 도시화한 것이다.

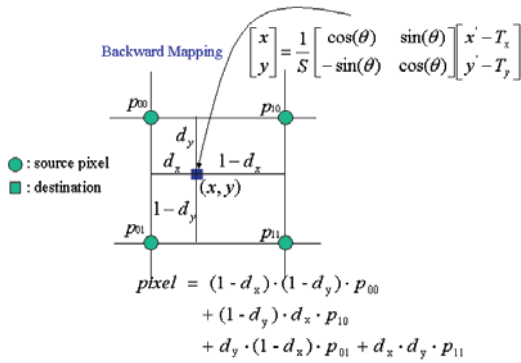


Fig. 6. Bilinear interpolation.

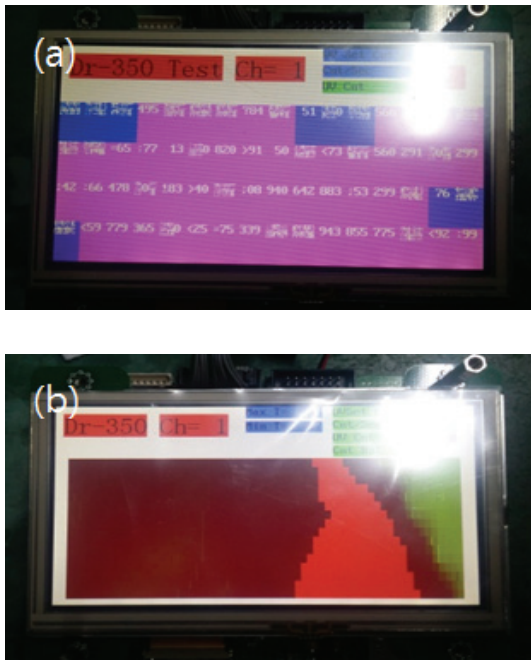


Fig. 7. Image correction picture (a) before correction and (b) after correction.

그림 7은 보간법에 의해 검출된 이미지의 분포를 나타낸 것이다. 그림 7(a)는 16×4 센서 데이터를 그대로 색상과 온도정보를 나타낸 것이며, 그림 7(b)는 동일 열원에 대해 보간법을 적용하여 나타낸 것이다.

그림 8은 프로그램 전체 구성도를 나타낸 것으로 IR 보드에 전원이 인가되면 CPU 디바이스의 HAL을 초기화 하고 IR 보드에서 사용할 GPIO 및 통신 포트를 초기화 하고 IR 센서를 순서적으로 초기화하는 루틴이 호출된다. 초기화가 완료되면 1초마다 IR값을 읽어서

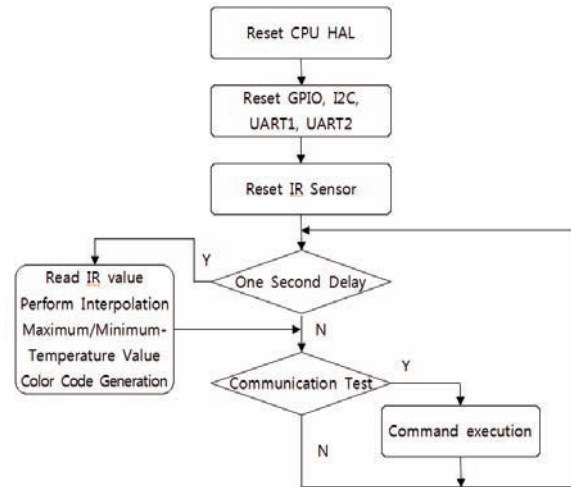


Fig. 8. Flowchart of firmware.

Table 1. Temperature test.

| Separation distance [cm] | Measuring temperature[°C] | | Temperature difference |
|--------------------------|---------------------------|---------|------------------------|
| | Development board | FLIR C2 | |
| 10 | 182 | 180 | ▲ 2 |
| 20 | 171 | 178 | ▼ 7 |
| 30 | 151 | 179 | ▼28 |

해상도를 64×16으로 보간법을 수행하고 보간된 값에서 최대/최소 온도를 찾는다. 이렇게 찾아진 값을 이용하여 RGB데이터를 생성하고 외부 디바이스로부터 입력되는 통신을 검사하는 루틴이 무한 반복된다.

열상정보에 대한 온도 데이터의 신뢰성 확보를 위해 발열체로부터 거리를 10, 20, 30 cm로 이격하면서 최고온도를 측정된 결과를 표 1에서 나타내었다.

측정 결과 개발보드는 10 cm일 때 182°C를 나타내었으며 30 cm로 이격시 31°C가 감소되는 것을 확인하였다. 이것은 개발시 지상기기의 외함과 검출면 사이의 이격거리를 고려하여 측정거리를 10 cm로 고정하여 IR 정보의 온도보정을 설정하였기 때문에 이격시 IR 신호의 세기가 감소하여 온도의 감소폭이 크게 나타난 것으로 생각된다.

FLIR C2의 온도 차이를 보면 10 cm일 때 2°C의 온도차이가 나타나는 것으로 보이는데 이는 FLIR C2 장비는 그림 9에서 보여주는 바와 같이 면에서 중심점의 온도를 표시하는 반면에 개발 제품은 최고 온도값만을

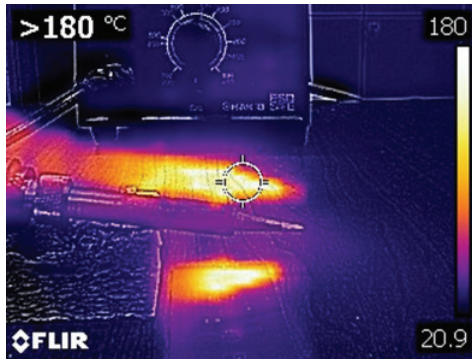


Fig. 9. Thermal image of FLIR C2 at 10 cm.

데이터로 전송하는 구조로 되어 있기 때문에 약간의 오차가 발생하는 것으로 생각된다. 또한 거리의 증가에 따라 온도의 차이가 크게 나오는 것을 확인할 수 있는데 이것은 앞에서 설명한 바와 같이 거리가 증가하면서 개발보드는 IR 신호에 대한 보정이 없는 반면에 FLIR C2는 스스로 거리 보정기능이 있기 때문이라고 생각된다.

3.2 현장 시험

본 장치의 동작여부를 실험하기 위해 실제 지상개폐기와 변압기에 장치를 그림 10과 같이 설치하고 정보가 정상적으로 전송되는지 확인하였다. 지상기기의 문으로부터 이격거리를 10 cm로 가정했을 때 검출할 수 있는 영역은 40×25 cm로 추정하였다.



Fig. 10. Photograph of field installation.

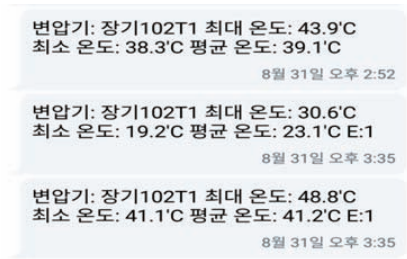


Fig. 11. Photograph of app.

Table 2. Temperature of ground transformer.

| Time | Deterioration diagnostic maximum temperature [°C] | Deterioration diagnostic average temperature [°C] | Wireless load system maximum current [A] |
|-------|---|---|--|
| 09:00 | 54.6 | 54.3 | 458 |
| 09:30 | 51.5 | 51 | 424 |
| 10:00 | 47.2 | 46.9 | 454 |
| 10:30 | 49.9 | 49.3 | 488 |
| 11:00 | 51.1 | 51 | 481 |
| 21:30 | 66.2 | 63.9 | 712 |
| 22:00 | 66.7 | 64.4 | 718 |
| 22:30 | 66.2 | 63.9 | 661 |
| 23:00 | 65.8 | 63.8 | 660 |
| 23:30 | 65.8 | 64.6 | 611 |

그림 11은 이상신호가 발생하였을 때 관리자에게 문자를 전송한 이미지를 나타낸 것으로 전송의 원인은 온도의 변화폭이 커서 이상신호를 전송한 사례임을 확인할 수 있었다.

표 2와 표 3은 온도의 변화와 부하전류의 변화를 시간별로 검출한 데이터를 나타내고 있다. 표 2는 지상 변압기내부에서의 변화를 나타낸 것으로 지상기기의 온도 상승시 선로의 부하전류도 증가됨을 확인할 수 있었으며, 데이터의 전송상태가 양호함을 알 수 있었다. 또한 센서의 위치를 상부로 하였을 때 엘보위주의 감시만 가능하였기 때문에 추후 본 장치의 사용시 전선전체의 변화를 보기 위해서는 개폐문에 설치하여야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

표 3은 지상개폐기에서 엘보와 평균 부하량을 서로 비교한 것으로 부하량에 따라 엘보의 온도는 불규칙적

Table 3. Temperature of ground switch.

| Time | Deterioration diagnostic maximum temperature [°C] | Deterioration diagnostic average temperature [°C] | D/L average load [MW] |
|-------|---|---|-----------------------|
| 18:00 | 36.2 | 34 | 5.3 |
| 19:00 | 37.7 | 35.4 | 5.5 |
| 20:00 | 38.1 | 35.6 | 5.7 |
| 21:00 | 37.1 | 35.4 | 5.6 |
| 22:00 | 36.6 | 34.7 | 5.1 |
| 23:00 | 36.4 | 34.7 | 4.4 |
| 24:00 | 36.7 | 34.8 | 3.9 |
| 18:00 | 38 | 34.5 | 7.4 |
| 19:00 | 39.6 | 36.2 | 7.6 |
| 20:00 | 39.6 | 36.2 | 7.7 |

으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 개폐기에서 엘보의 온도변화는 부하의 변화보다는 주변온도의 상승에 의한 온도상승이 더 크기 때문이라고 생각되며, 이러한 현상은 변압기에 비해 내부 열상승요인이 적기 때문이라고 생각된다.

4. 결론

IoT 활용 이동차탈식 열화진단 장치 개발을 위한 연구결과 전기설비의 열화상 정보는 저해상도 열상정보를 이용해도 이상여부를 충분히 알 수 있었으며, 기존 제품과 비교해서 안정적인 열상정보를 제공하는 것을 확인할 수 있었다.

또한 지상변압기에서는 부하전류의 변화에 따라 선로의 열 증가폭이 확연히 나타나기 때문에 내부 열상승정보가 정상적으로 표현되었기에 지상변압기에서의 상시 점검은 가능할 것으로 확인할 수 있었으나, 개폐

기에서는 열 상승 요인이 변압기에 비해 작기 때문에 비접촉식에 의한 열 검출은 어려운 것으로 확인하였다.

이에 추후 지상개폐기에서는 접촉식 또는 근접 형태의 열센서를 사용해야 할 것으로 추정되며, 이와 관련된 추가 실험이 필요하다고 생각되었다.

REFERENCES

- [1] S. T. Heo, *Master Thesis, A Study on the Urban Railway System Diagnostics using the Inernet of Things(IoT)*, p. 1, Seoul National University of Science and Technology, Seoul (2016).
- [2] B. K. Seo, *Doctorate Thesis, Study on Building of IoT Based Remote Monitoring for Improvement of Fire Protection System Management - Development of Remote Monitoring Model using Alarm Signal Standard Equipment -*, p. 5, University of Seoul, Seoul (2017).
- [3] J. Yoon, *Master Thesis, A Study of Performance Analysis of Firefighting System using IOT Technology*, p. 1, University of Seoul, Seoul (2016).
- [4] H. N. Ryu, *Master Thesis, (A) Study on Secure System for Preventing and Extinguishing Fires on Electric Instruments in House*, p. 1, Seoul National University of Science and Technology, Seoul (2016).
- [5] J. H. Kim, *Master Thesis, Analysis on Aging Characteristics of Insulation used in Oil-filled Transformers and Correlation between the Results using Linear Regression Method*, p. 2, Chungnam National University, Daejeon (2010).
- [6] H. S. Song and S. D. Lee, *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, **17**, 37 (2003). [DOI: <https://doi.org/10.5207/JIEIE.2003.17.1.037>]
- [7] B. S. Park, J. S. Lim, S. Y. So, J. Lee, I. K. Song, and J. B. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **20**, 183 (2007). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2007.20.2.183>]
- [8] K. Dodtert, *Sens. Actuators*, **3**, 159 (1983). [DOI: [https://doi.org/10.1016/0250-6874\(82\)80017-6](https://doi.org/10.1016/0250-6874(82)80017-6)]
- [9] J. E. Traister and T. Kennedy, *Low Voltage Wiring: Security/Fire Alarm Systems* (McGraw Hill, New York, United States, 2001). p. 199-212.
- [10] Microelectronic Integrated System, MLX90620 Datasheet, p. 8 (2012).