

# 독립형 태양광 가로등의 실시간 분석기술 개발을 위한 실태조사

김두현 · 김성철 · 황동규<sup>†</sup>

충북대학교 안전공학과

(2013. 4. 11. 접수 / 2013. 7. 15. 채택)

## A Field State Investigation on Standalone PV streetlight for Development of Real-time Analysis Technology

Doo Hyun Kim · Sung Chul Kim · Dong kyu Hwang<sup>†</sup>

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received April 11, 2013 / Accepted July 15, 2013)

**Abstract :** This paper is aimed to investigate the actual conditions of standalone PV(Photovoltaics) streetlight in public place and analyze cause of failure and derive the method of decrease for standalone PV streetlight. The cost of installing standalone PV streetlight in a public for the safety and convenience of life is expensive(300 million won per unit). Management of standalone PV streetlight is important because it is operating system itself, after installation, but concern degree of management is very low and development of technology has not been done. Accordingly, standalone PV streetlight in public place is not operate in night, this phenomenon is lasted for several days to months. Therefore this study, for standalone PV streetlight constantly to keep the normal operation, investigation conducted to check status of standalone PV streetlight(50 units), the voltage of the main parts and analyze the cause of the failure. In addition, the improvement of standalone PV streetlight is suggested by using FTA(fault tree analysis).

**Key Words :** standalone PV streetlight, field state investigation, battery, controller

### 1. 서론

화석에너지의 고갈과 지구환경의 문제로 전 세계적으로 각종 화석연료의 사용을 규제하고 있으며 대체에너지의 기술 개발 및 기대가 증가하고 있다. 특히, 태양광 에너지는 신재생 에너지 중 가장 풍부한 자원으로 미래에 지배적으로 사용될 수 있는 에너지원으로 평가받고 있다. 이에 따라 국내·외적으로 태양광 산업 및 시장이 급격히 성장하고 있다. 정부는 태양광 분야의 기술 추이에 발맞춰 국내 태양광 산업의 경쟁력을 갖추기 위해 다각도의 정책을 추진 중에 있으며 그 일환으로 2012년부터 RPS(Renewable Portfolio Standard)제도를 도입하여 태양광에 의한 발전량을 의무적으로 부과하여 태양광 발전의 보급률을 높일 계획이다<sup>1-2)</sup>.

이에 따라 정부는 글로벌 이슈인 “저탄소 녹색성장”에 보조를 맞추어 ‘태양광주택 10만호 보급사업’, ‘에너지소비총량제’ 등과 같은 여러가지 녹색에너지 지원·육성책 마련과 더불어 신·재생에너지와 관련된 R&D 투자를 확대해 태양광발전 설비는 최근 몇년 동안 급격히 증가하였다<sup>3)</sup>. 이에 따라 지자체별로 태양광 발전량을 충족시키기 위해서는 공인 및 보도에 상당수의 태양광 가로등을 설치하고 있다<sup>4)</sup>. 태양광 가로등은 부품의 구성에 따라 계통연계형과 독립형으로 구분하고 있다. 계통연계형은 계통과 연계하여 태양광모듈에서의 발전량이 수용가의 부하전력량보다

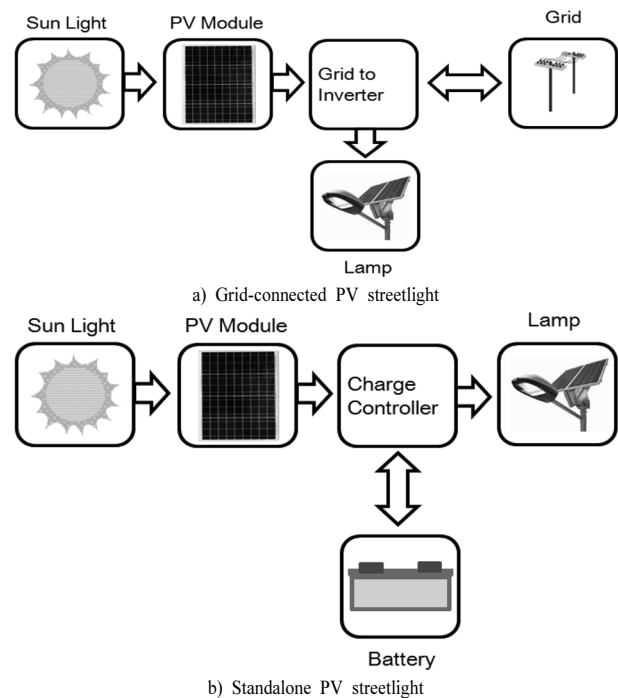


Fig. 1. Block diagram of PV streetlights.

큰 경우에는 계통전원으로 역전송하고, 부족한 경우에는

<sup>†</sup>Corresponding Author: Dong Kyu Hwang, Tel: +82-43-267-2463, E-mail: hdk0068@naver.com

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, 52, Naesudong-ro, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

계통전압을 유입하여 사용하는 형식이다. 독립형은 축전 설비를 갖추고 주간에 발전된 전력을 저장하여 필요시에 축전된 전력을 사용하는 방식으로 공공의 목적으로 공원 및 보도, 계통으로부터 전력을 공급받기 어려운 도서 및 산간 지역에 사용된다. Fig. 1은 계통연계형과 독립형 태양광 가로등의 구성도를 나타낸 그림이다.

공공의 이익과 안전을 위해 설치된 독립형 태양광 가로등의 설치비용은 대당 300~500만원으로 공원 및 보도에 20~30대의 가로등을 설치하며, 비용은 약 5천만원~1억원의 막대한 자금이 들어가는 사업이다<sup>5)</sup>. 또한, 자체적으로 운영되는 가로등이기 때문에 관리가 더욱 중대시 되는 설비에도 불구하고 관리체계가 명확하지 않고 유지, 보수에 대한 기술개발이 전무하며 관심도는 매우 낮다. 이로 인해 독립형 태양광 가로등이 야간에 점등이 되지 않은 상태로 수일에서 수개월간 방치되는 문제가 각 지역에서 발생하고 있다. 이는 태양광 가로등의 부품에 대한 상태를 실시간으로 경보해주거나 표시하는 인디게이트 기술이 없기 때문이다<sup>6)</sup>.

따라서 본 논문에서는 공공의 이익과 안전을 위해 설치된 고가의 독립형 태양광 가로등이 정상적인 작동을 지속적으로 유지할 수 있도록 주요부품들의 상태를 실시간으로 경보할 수 있는 기술을 개발하고자 우선적으로 공원 및 보도에 설치되어 있는 태양광 가로등 50대의 가로등에 대하여 작동상태, 주요부품 전압 등을 점검하는 실태조사를 실시하여 고장원인을 분석하고, 리스크 평가 기술FTA(fault tree analysis)을 통한 태양광 가로등의 전기재해 감소방안을 도출하고자 한다.

## 2. 현장실태조사

### 2.1. 독립형 태양광 가로등 실태조사

공원과 보도에서의 독립형 태양광 가로등은 공공의 목적으로 설치되었으므로 자자체에서 관리하고 있다. 지자체의 승인 없이 실태조사를 실시할 수 없으므로 “정보공개”를 통하여 해당장소에 설치된 독립형 태양광 가로등의 구성부품 및 회로도 등을 획득하였고, 실태조사를 허가받았다. 실태조사는 50개의 독립형 태양광 가로등이 설치된 공원과 도심 곳곳에 설치된 15개의 독립형 태양광 가로등을 대상으로 실시하였다.

현장실태조사를 실시한 결과 오후 7시경에는 24~26대의 가로등이 점등이 되었으나 일정시간(30분) 경과 후 소등되기 시작하여 오후 8시 경에는 20여대의 가로등이 소등된 상태였다. 이 시간 이후로 정상 작동되지 않음을 의미한다. 측정 장비를 통하여 태양광 가로등의 구성부품의 전압, 전류를 측정된 결과 소등이 된 가로등에는 배터리가 방전되어 있는 상태(녹색등)로 10~11 V 이내의 전압으로 정격전압(12 V)에 미치지 못하고 최악의 경우 1.58 V로 완전 방전된 상태의 축전지도 발견되었다.

Fig. 2은 공공장소에 설치된 독립형 태양광 가로등의 실태를 나타내었다.

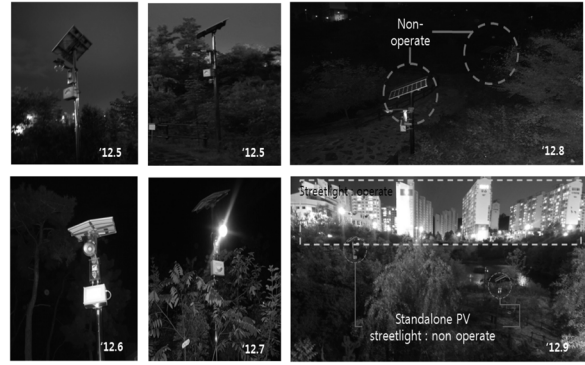


Fig. 2. Status of standalone PV streetlight in public places.

Table 1. Operational state of standalone PV streetlight.

State of standalone PV streetlight	Number of standalone PV streetlight
Operate	23
Operate → Breakdown	20
Breakdown	7

Table 2. Number of defective components of standalone PV streetlight.

	PV module	controller	battery	inverter	light
Failed part	2	8	17	-	-

Table 3. Battery status of standalone PV streetlight.

Battery status	Number of standalone PV streetlight
Operation	33
Less than rated voltage	10
discharge	6
unknown cause	1

### 2.2. 독립형 태양광 가로등 실태조사 분석

실태조사, 문헌 자료 및 전문가 활용을 통하여 공공장소인 공원 및 보도에 설치된 총 50여개의 태양광 가로등을 대상으로 실태조사를 실시하였다. Table 1과 같이 태양광 가로등 중 정상적으로 작동하는 가로등은 23대, 비정상적으로 작동하는 가로등은 27대로 나타났으며, Table 2와 같이 비정상적으로 작동하는 가로등 중 고장을 일으키는 부품은 태양광 모듈 2건, 컨트롤러 8건, 배터리 17건으로 나타났다. 태양광 모듈 고장은 외형 손상을 주요 원인으로 들 수 있으며 이는 조류(비둘기, 참새 등), 태풍, 강수 등으로 인한 것으로 예측할 수 없는 외적 원인들이 대부분이다. 태양광 가로등의 배터리는 전류치 보다는 전압에 상당히 의존되는 모습을 보였다.

Table 3과 같이 배터리 전원 11~12 V이내로 측정된 가로등은 정상적으로 점등되었으나, 10~11 V이내에 측정된 배터리를 갖춘 가로등의 경우 초기에 점등되었고 1시간 이후에 모두 소등되었으며, 10 V이하로 측정된 배터리를 갖춘 가로등은 점등이 되지 않았다. 실태조사 시 배터리의 70% 이상이 2010년 12월 1일 제조된 것으로 배터리

평균수명(2년)에 미치지 못했음에도 불구하고 현장상태로 판단하기에는 즉시 교체가 필요하다고 판단되었다. 또한 컨트롤러의 고장으로 연계된 고장이 8대로 컨트롤러와 깊은 연관이 있다.

### 3. 실태조사 데이터 분석과 리스크 평가

#### FTA를 통한 태양광 가로등 고장 도출

태양광 가로등의 전기재해(전기화재 및 감전)와 고장에러는 관리적 및 물적(태양광 가로등 본체)으로 나눌 수 있다. 관리적인 요소는 환경적 요소(태양광에 따른 태양광 모듈의 설계), 휴면에러, 설치상의 에러 등이 존재하며, 물적인 면에서는 태양광 가로등 주요 부품인 5개의 부품에 대한 고장률을 필요로 하였다. 주요 5개 부품은 컨트롤러, 태양광 모듈, 배터리, 인버터, 등기구로 구성하였다. 논문, 기술지, 실태조사 및 전문가활용을 통하여 건전성을 분석하였다. 도출된 데이터는 자문회의를 통하여 리스크 평가 기술인 FTA를 적용함에 있어서 필요한 관리 및 부품 측면에서의 에러율을 상정하여 태양광 가로등 전체의 에러율을 제시하였다.

#### 3.1. 관리적인 요소

관리적인 요소에서 “왜 태양광 가로등은 관리가 되지 않는가?”에서 출발하여 환경적인 요인에서는 태양광량에 대한 문제, 휴면 요인에서는 관리 부주의에 대한 문제, 설계상의 결함에 대한 문제 등으로 구성하였다.

환경적 요인의 경우, 태양광 가로등의 태양광 모듈은 설치되는 위치의 지형이나 날씨, 주변 지형물, 건축물로부터 일정 부분 이상의 일조량을 충분히 받아야만 태양광 가로등의 배터리에 방전을 일으키지 않는 전력량을 공급할 수 있다. 전력량만을 고려하여 태양광 모듈을 설계한다면 비용적인 문제가 발생하기 때문에 대부분 100~200 W으로 선정하여 사용하고 있다. 그러나 이러한 용량으로는 영하의 기온이 지속되는 겨울철이나 일조량이 충분히 보장되지 않는 장마철에는 적합하지 않다. 또한, 겨울철 폭설로 인하여 태양광 모듈에 눈이 뒤덮여 있다면, 발전할 수 있는 전력량이 거의 전무하다. 태양광 모듈을 관리하지 않으면 배터리의 잔여 전압으로 가동되게 되고 이러한 양상이 지속된다면 배터리의 수명이 단축되어 방전될 수 있기 때문에 계절에 맞는 관리 유무의 에러율을 0.05로 상정하였다.

독립형 태양광 가로등 대부분의 관리자는 지자체의 시설 담당자가 이를 관리하고 있다. 지자체의 경우 모든 관리에 대한 모든 권한을 가지고 있으나, 설치 기업에 의존하는 현상을 보이고 있으며, 설치기업은 초기에 자본금을 바탕으로 설치하였다가, 유지 및 보수 비용이 확보된 개소에서만 잘 운용되고 있고, 대부분의 경우 모두 불능인 상태로 이루어져 있다. 이후로 방치되어 폭발로 인한 전기재해(전기화재 및 감전)가 이어질 가능성이 높기 때문에 휴면 에러율을 0.10로 상정하였다.

설계측면의 요인에서는 태양광 가로등의 경우 적합한

시간에 점등되는 것이 가로등의 주요 임무임에도 불구하고 추가적인 고압해충 퇴치기를 추가하여 배터리에 방전이 자주 발생하는 경우가 발생하였다. 독립형 가로등 실태조사 50건에서 17건이 고압해충 퇴치기를 설치하여 이에 배터리의 수명을 단축시키는 결과로 작용하였기 때문에 설계측면의 에러를 0.08로 상정하였다.

#### 3.2. 부품측면의 요소

독립형 태양광 가로등의 주요 부품인 배터리, 컨트롤러, 태양광 모듈, 인버터, 등기구 등의 고장률을 조사하였다.

태양광 가로등의 배터리는 통상 2년을 교체시기로 하고 있지만 실제로는 일조량에 의해서 완전 충전방전이 자주 발생되게 되면 정확하게 2년이 아니라도 일조량에 의해서 1년 안에도 교체시기가 올 수 있다. 대부분의 배터리는 전압의 충전상태에 따라 작동유무가 결정되며, 현재 배터리 전압상태에 관한 기술은 컨트롤러에서 완전 충전방전에 대한 인디케이트로의 표시만 가능한 실정이다. 실제 전압의 특성에 대하여 안전한지, 주의를 요하는지에 대한 정보를 제공하는 시스템이 없어 배터리에 대한 교체시기 및 관리가 매우 취약한 것으로 판단되어 0.35의 에러율로 매우 높게 상정하였다.

컨트롤러의 사용은 10 W이상의 태양광 발전시스템에서는 필수적이다. 생산업체들은 배터리의(특히 고성능, 고가의 산업용배터리의 경우) 충전명세를 표시하여 주며, 이 명세들이 정확히 지켜 지지 않을 경우 아무리 질 좋은 배터리라도 수명이 대폭 감소하게 된다. 만약 배터리가 정상적인 출력을 내지 못하고 있다면 컨트롤러에 문제가 있다고 판단할 수 있는 근거가 된다. 실태조사를 통하여 50개소의 태양광 가로등에 대하여 8개소에서 컨트롤러의 고장을 발견하였고 배터리의 고장과의 연계된 것으로 판단되어, 중요도를 고려하여 컨트롤러의 에러율을 0.16으로 상정하였다.

태양광 모듈은(PV module)은 현장실태조사 결과 가로등에 사용되는 대부분의 용량(W)은 50 W(18 V)를 직렬로 결선하여 100 W를 출력하였으며, 전류는 2.77 A 이며 하루 평균 일조시간은 4시간으로 조사되었다(Fig. 4 참조). 실태조사를 통하여 태양광 가로등에서 실제 2건의 문제를 발생했으며 이를 통하여 에러율을 0.04로 나타내었다.

인버터는 관련 기술이 이전에는 주요 사고원인이었지만, 많은 산·학·연에서 연구를 통하여 현재 많이 개선되어 소형발전시스템의 인버터 고장률이 상당히 감소하는 것으로 나타났다. 또한 실태조사에서도 인버터에서의 고장은 발견되지 않았으므로 고장율을 0.001로 상정하였다.

등기구의 기능은 태양광 모듈에서 발전하여 배터리에서 등기구에 공급하는데, LED 및 초저전력 조명등이 개발되어 현재 사용하고 있으며 그 내구성 또한 매우 높다. 또한, 태양광 가로등의 등기구는 수명주기가 약 50,000 시간으로 매우 길며, 실태조사 시 등기구로 인한 고장은 발견되지 않았다. 이에 등기구의 고장율은 0.001로 상정하였다.

위와 같이 제시한 각 부품의 에러율을 기반으로 FTA를 작성하였을 때에 현재 태양광 가로등의 에러율은 58%로,

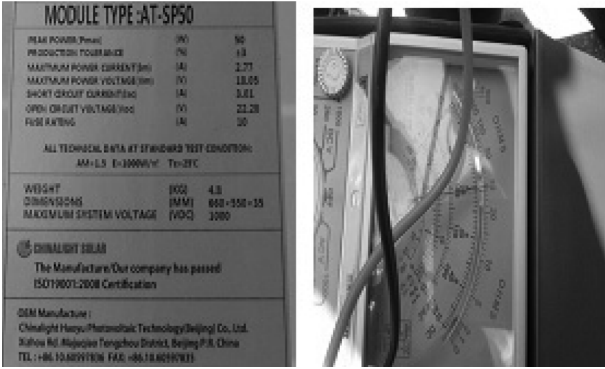


Fig. 4. Specifications and output voltage of PV module.

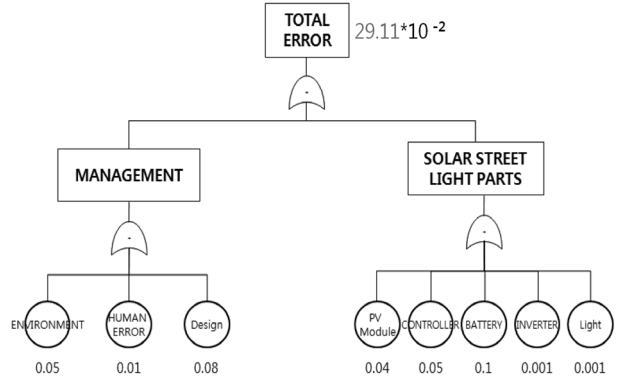


Fig. 6. Predicted failure rate of improved standalone PV streetlight.

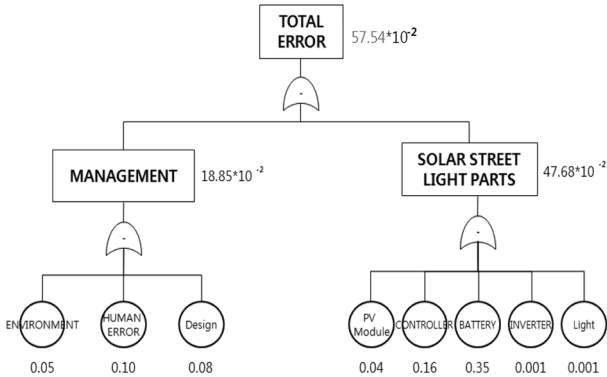


Fig. 5. The failure rate standalone PV streetlight applying FTA.

실태조사에서 확인한 실제 가로등의 에러율 54%와 비슷한 수준으로 나타났다. 이를 통해 FTA의 유효성을 확인하였으며 개선을 위해서는 우선적으로 관리적 측면에서의 인적요류, 하드웨어적인 측면에서는 컨트롤러와 배터리에서 고장률을 감소시키는 것이 필요하다. Fig. 5는 FTA기법을 이용한 현재 태양광 가로등의 에러율을 나타내었다.

#### 4. 독립형태양광 가로등 개선대책

- 태양광 가로등의 주요 고장요소로는 관리적 요소 중에는 인적요인(에러율: 0.10)이 가장 높고, 부품측면의 요소에서 배터리(에러율: 0.35), 컨트롤러(에러율: 0.16) 순으로 나타났다.

현재 시스템은 태양광 가로등의 상태 대한 알림 시스템이 없어 교체시기 및 관리시기를 놓치고 있다. 따라서 태양광 가로등 주요 부품들의 교체시기와 관리시기는 유지보수 차원에 있어서 매우 중요한 요소가 된다. 교체시기를 경보해 주는 시스템이 개발된다면 인적요인으로 인한 에러를 획기적으로 줄일 것으로 판단된다. 따라서 관리자로 하여금 태양광 가로등의 상태를 인디케이터를 통하여 상시 점검할 수 있는 장치가 개발된다면, 관리적 요인에서의 인적요인으로 인한 에러율은 매우 크게 개선된다고 판단하며, 에러율을 0.10에서 0.01까지 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

태양광 가로등의 상태를 상시 분석하기 위해서는 우선

주요 고장원인인 배터리와 컨트롤러에 대한 관리가 필요하다. 실태조사에 사용되었던 12 V 배터리인 경우 태양광 가로등을 정상적으로 작동시키기 위해서는 최소 11.6 V가 유지되어야 했다. 따라서 11.6 V인 경우에 배터리의 관리 및 교체가 필요한 상태임을 관리자에게 지각시켜 준다면 그 고장율을 최소 0.10까지 감소시킬 수 있을 것으로 보인다.

컨트롤러는 태양광 가로등의 모든 부품들과 접속되어 있으며, 주요 3가지 부품으로는 태양광 모듈, 배터리 및 등기구를 제어하고 있다. 모든 부품들이 정상적으로 작동한다 하더라도 이들을 유기적으로 연결시켜주는 컨트롤러가 정상작동하지 않는다면 태양광 가로등은 점등되지 않는다. 현재 컨트롤러의 정상적인 작동유무를 판단하는 방법은 배터리와 연계하여 육안과 청각으로 과충전 징후를 포착하는 방법이 유일하다. 이러한 방법으로는 시기적으로 늦어질 수 있으며 다수의 가로등을 일일이 점검하는데에는 어려움이 있을 수 있다.

따라서, 주요 세가지 부품인 태양광 모듈, 배터리, 등기구의 상태를 동시에 측정할 수 있다면, 태양광 모듈과 배터리가 정상적으로 작동하는 경우에도 등기구가 점등되지 않는 경우를 포착할 수 있으며 이는 등기구 또는 컨트롤러의 고장으로 판단할 수 있고, 등기구를 수리 및 교체하였음에도 점등되지 않는다면 컨트롤러에서 고장이 발생했음을 알 수 있어 즉시 교체를 통하여 고장을 해결할 수 있으므로, 고장율은 0.05까지 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 부품에 대하여 전류와 전압값이 존재하지만 실태조사에서 전류값보다는 전압값이 감지하고 분석하기에 적합함을 확인하였다. Fig. 6과 같이 주요 고장원인을 개선할 시에 에러율이 58%에서 29%로 약 29%의 에러율이 감소될 것으로 예상된다.

#### 5. 결론

본 논문은 공공장소에 가로등으로 사용되는 독립형 태양광 가로등의 고장, 고장상태의 방치문제로 인한 문제를 해소하기 위해서, 독립형 태양광 가로등의 상태를 실시간으로 분석하는 장치를 개발하고자 공공장소에 설치되어

있는 50여개의 독립형 태양광 가로등에 대해서 실태조사를 실시하고 그 결과를 FTA기법 등을 통하여 분석하였다. 이를 통해 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 현장실태 결과 독립형 태양광 가로등의 주요 고장원인은 관리적 요인에서는 환경적 요소보다 관리가 부족한 경우였으며, 부품적인 요소로는 배터리 전압부족, 컨트롤러의 작동불량이었다. 또한 태양광 가로등의 부품에 대해서는 전류와 전압값 중 전압값에 따라 정상작동유무를 감지하는 것이 용이하고 분석하기에 적합함을 확인하였다.

2) 실태조사를 통하여 배터리의 교체주기는 전압특성(12V의 경우 11.6 V)을 고려해서 관리하는 것이 배터리로 인한 고장을 예방할 수 있고, 컨트롤러의 고장은 태양광 가로등이 고장이 난 경우에 컨트롤러에 연계된 배터리, 태양광모듈, 등기구의 전압특성을 동시에 측정하여 이상이 없다면 컨트롤러의 고장을 뒷받침하는 근거자료로 사용될 수 있다.

3) 지속적인 실태조사(4계절에 대해서)와 추가적인 분석을 통해서 업데이트를 실시한다면 독립형 태양광 가로등의 실시간 분석기술 개발에 관한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

## Reference

- 1) H. Y. An and G. S. Jeong, "Photovoltaic Industry of Domestic and Foreign Status and Prospects", Hanaif, pp. 5~25, 2012.
- 2) J. H. Choi, "Photovoltaic Industry Status and Prospects", Shinhan Industry Information, pp. 38~42, 2010.
- 3) S. G. Kim, J. W. Jung and J. S. Jung, "A Study on the Management Realities of Solar Power System", Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 510~512, 2010.
- 4) J. W. Jung, S. G. Kim and M. I. Choi, "A Power Quality Analysis of a Photovoltaic System", Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 579~584, 2009.
- 5) "Nonoperating PV Streetlight for Six Months", Cbinews, 2011.
- 6) "PV Streetlight Fell to become a Nuisance", Gjdream news, 2008.