

신재생에너지를 이용한 철도역사용 복합형 가로등 설계

Design of Hybrid Type Streetlight for Railway Station with Renewable Energy

윤 용 호* · 김 재 문*
(Yong-Ho Yoon · Jae-Moon Kim)

Abstract - Energy saving is as important as developments of green energy and alternative energy. This paper describes design of hybrid type streetlight for railway station with renewable energy as photovoltaic, wind, secondary battery. In designing hybrid type streetlight for railway station, generation energy with renewable energy and reliability is strongly needed to meet the demand of railway station. In order to achieve the high performance of a streetlight, photovoltaic, wind and secondary battery system, PV tracker, monitoring and GUI system with logging function are designed. To verify of performance of hybrid type streetlight for railway station, we have demonstration test to get of generation energy and flow of energy and the results are present in this paper.

Key Words : Renewable energy, Photovoltaic, Wind, Secondary battery, Hybrid type, Streetlight, Railway station

1. 서 론

고도의 산업성장과 인구증가에 따라 에너지 소비가 급증하고 이로 인해 배출되는 CO₂ 등 온실가스의 증가는 인류의 미래를 위협하는 존재가 되어가고 있으며 이에 대한 범지구적 차원의 대책이 논의되고 있는 실정이다. 이러한 차원에서 대체에너지를 이용한 설비는 비교적 높은 초기 투자의 장해 요인에도 불구하고 화석에너지의 고갈문제와 환경문제에 대한 핵심 해결 방안이라는 점에서 선진각국은 정부주도하에 대체에너지에 대한 과감한 보급 정책과 연구개발을 추진 중에 있다.

이러한 연구개발의 한 부분으로 태양전지를 이용하여 주간에 발생된 전기에너지를 2차전지에 저장하였다가 이를 이용하여 야간에 고효율 LED 조명등을 점등하는데 이용하거나 기타 IT 기기와 접목하여 유용한 정보를 확산하기 위한 하이브리드 형태의 조명시스템이 개발 및 보급되어 가고 있는 실정이다. 기본적인 용도는 기존 가로등과 동일하게 야간 조명을 위한 수단이나 다양한 IT 기술과 접목시킴으로써 산불감시, 조난방지, 버스정류장 정보 표시, 주변 환경 및 기후 정보 확산과 같은 다양한 응용분야로 그 쓰임새가 확대되고 있다. 이러한 용도에 부합되기 위해서는 태양전지, 풍력발전기, 2차전지, LED 조명등, 유무선 통신, 시스템 제어와 같은 세부 핵심부품에 대한 활용기술 및 원천기술에 대한 연구개발도 병행해 나가야하며 이를 통해 상용화에 한층 더 다가갈 수 있는 기반 기술의 확보가 필요하다[1].

도시철도의 경우 운행노선에는 다수의 전동차가 운행 중이므로 운행시각과 시설복구 시간을 고려하면 승강장 안전문은 최소 30분 이상, 통신설비 및 방재설비는 1시간 이상의 설비가동이 요구되고 있다. 따라서 도시철도 구간의 역사나 차량화재 발생 시에는 화재로 인한 추가확산을 막기 위해 주요전력이 차단되므로 유도등 및 배연설비의 안정적 동작유지를 위한 전원공급에 대한 기술이 필요하다.

또한 도시철도 시설물의 경우, 대중교통의 특성상 전력공급이 차단되면 혼란이 발생하므로 통신설비, 방재설비 및 승강장 안전문 (Platform Screen Door) 등이 안전한 승객의 이동을 위해 전원공급이 유지되어야 하는 요구사항을 가지고 있다. 따라서 이러한 요구사항의 한 부분을 충족시키기 위해 본 논문에서는 태양광과 풍력발전을 이용하여 효율적으로 전기에너지로 변환시켜 배터리에 축전하여 철도역사 및 선로 등의 야간조명으로 활용할 수 있는 복합형 조명시스템을 설계하였다[2].

2. 동작원리 운영 패턴

풍력과 태양광에너지를 동시에 사용하여 축전지에 충전후 LED 조명을 통해 야간조명에 활용할 수 있는 시스템구성은 그림 1과 같이 구성할 수 있다. 태양전지와 풍력발전기를 동시에 사용하여 축전된 전기에너지는 축전지에 저장되고 인버터를 통하여 LED 조명을 점·소등한다. 이때 태양광과 풍력을 동시에 사용하므로 태양광이 없는 기상조건 (예: 장마 운전) 등의 경우에도 풍력발전만으로 안정적인 운영이 가능하며 무풍이 수일간 계속되어도 축전지에 축전된 전기에너지만으로 정전 보상기능의 유지가 가능하다.

그림 2는 본 논문에서 구성한 태양광과 풍력에너지를 이용한

† Corresponding Author : Dept. of Transportation System Engineering, Graduate School of Transportation, Korea National University of Transportation, Professor/Ph.D, Korea
E-mail: goldmoon@ut.ac.kr

* Mechatronics team, Hanwha Systems Co., Ltd. Korea.

Received : August 30, 2016; Accepted : November 16, 2016

복합형 가로등의 동작 및 운영 패턴으로 태양광 및 풍력에너지의 발전량으로 운영이 되며 기본동작은 낮과 밤으로 구분될 수 있다.

태양광과 풍력에너지에 의해 발전에너지를 얻을 수 있는 낮에는 기본적으로 2차전지에 발전에너지를 충전할 수 있는 구조로 운영이 되며 발전에너지에 의한 2차전지가 완전충전 상태일 경우에는 발전전력을 Bypass 할 수 있는 구조로 되어 있다. 또한 태양광의 일사량이 없는 일몰 후 즉 야간에는 LED 가로등 점등과 2차전지 충전방전이 기본으로 동작할 수 있다. 이때 발전요소인 풍력에너지가 없을 경우 2차전지에 충전된 에너지에 의해 LED 조명에 점등되며 반면에 풍력에너지의 발전에너지가 있을 경우 2차전지와 전력을 분담 및 LED 조명을 점등할 수 있다. 추가적으로 그림 3과 같이 태양광과 풍력에너지를 이용한 2차전지 충전방전과

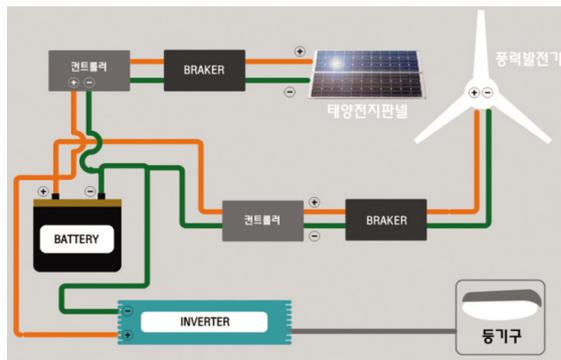


그림 1 동작원리
Fig. 1 The operation principle

	주간	일몰	심야	주간
램프			방전(램프점등)	
태양전지	충전			충전
풍력발전기			충전	

그림 2 복합형 가로등의 운영패턴
Fig. 2 Operating pattern of hybrid type streetlight



그림 3 태양광과 풍력을 이용한 에너지 충전방전 흐름도
Fig. 3 Energy flow chart with photovoltaic and wind

관련한 에너지의 흐름을 파악할 수 있다.

3. 요구사항 및 구성품 기능

본 논문에서 신재생에너지를 이용한 도시철도용 복합형 가로등 설계와 관련하여 시스템 및 각 단위별 요구사항은 다음과 같다.

- 태양광 및 풍력을 이용하여 전력공급기능
- 부조일 10일 이상의 에너지 공급시스템 구축
- 충방전 시스템 최적화 알고리즘 개발
- 하이브리드 에너지수집장치 기능
- 이차전지 시스템 구성
- 무선통신 기능
- 태양광 추적장치에 의한 발전효율 향상
- 부조일수 : 10일 이상

위에서 설명한 복합형 가로등의 요구사항을 기반으로 본 논문에서는 신재생에너지를 이용한 철도역사용 복합형 가로등 설계와 관련하여 개발된 태양광, 풍력, 컨트롤시스템 및 GUI 기능, 그리

태양광 발전 시스템

태양광 발전 제어

- 최대 출력 제어(MPP)
- 팬타리 충전
- 보조제어

태양광 발전 통신

- 발전 전력 정보
- 온전 상태 정보
- 제어 명령 정보

컨트롤 시스템

시스템 제어

- 태양광 발전 제어 모드
- 풍력 발전 제어 모드
- 팬타리 충전 상태 감시
- 이상 발생 시 보조 모드

시스템 통신

- 발전 상태 감시
- 온전 상태 감시
- 발전량 데이터
- 이상 발생 시 분석 및 경고

풍력 발전 시스템

풍력 발전 제어

- 최대 출력 제어(MPP)
- 광속도 제어
- 팬타리 충전
- 보조제어

풍력 발전 통신

- 발전 전력 정보
- 온전 상태 정보
- 제어 명령 정보

사용자 GUI

시스템 상태 정보

- 충방전 관리 시스템 정보
- 온전 모드 표시
- 발전량 데이터 표시

시스템 데이터

- 발전량 데이터 기록
- 발전량 데이터 분석

그림 4 태양광, 풍력, 컨트롤시스템 및 GUI 기능
Fig. 4 Function of photovoltaic, wind, control system and GUI

태양광 추적기

- 구동부 + 센서
- 방위각 200도
- 고각 20-50도(수평)

LED 가로등

- 고효율 Power Package
- DC 전류 사용으로 AC Inverting 회로성략 → 에너지효율 증가
- 장수명 → 유지비용감소

2차전지

- 태양광 전충 남전지와 소용량의 리튬전지 사용
- 전원감시 에 따른 충방전
- 전원경, 고효율, 장수명

원격제어

- 무선 네트워크
- 무선충전유지관리

그림 5 태양광추적기, 2차전지, LED 가로등, 원격제어 기능
Fig. 5 Function of photovoltaic tracker, secondary battery, LED streetlight and remote control

고 태양광추적기, 2차전지, LED 가로등, 원격제어 기능과 관련된 세부 내용은 그림 4와 5에 표시된 내용을 기본으로 구성하여 제작하였다.

4. 하드웨어 구성 및 실험결과[3,4,5]

신재생에너지를 이용한 도시철도용 복합형 가로등의 하드웨어 구성은 그림 6과 같이 구성을 하였으며 각 구성품의 사양은 표 1과 같다. 태양광발전시스템과 풍력발전시스템에서 발전되는 에너지를 2차전지에 충전할 수 있는 구조로 컨트롤시스템에서는 태양광, 풍력의 최대전력추종제어(MPPT) 및 PWM 제어 기능이 있다.

또한 태양광 및 풍력에너지에 의한 2차전지 충전전압이 13V 이하시 즉 야간에 LED 가로등 점등시점을 충전전압으로 운영할 수 있는 구조로 되어 있으며 22V이하시 과방전에 따른 보호기능, 비상시 상용전원에 따른 LED 가로등 동작 기능, 무선통신에 의한 GUI 모니터링 및 데이터 로깅, 보호기능 등이 동작할 수 있는 구조로 구성되어 있다.

추가적으로 무선통신을 통한 제어기능의 요구사항에 따라 GUI 모니터링 기반의 에뮬레이터를 그림 7과 같이 제작하였다. 개발

된 에뮬레이터를 통하여 원격 감시제어 및 현 운전상태의 각 부분의 상태정보를 확인을 할 수 있고 각 상태정보에 대한 데이터를 로깅 하여 그래프로 처리할 수 있도록 구성하였다.

본 논문에서 설계 및 구성한 신재생에너지를 이용한 복합형 가로등에 대한 실험결과는 GUI 모니터링 기반의 에뮬레이터를 통해서 각각의 결과 값들을 수집하였다.

그림 8은 하절기 약 10일 동안 태양광에너지를 통한 발전전압, 발전전류, 발전전력의 결과 값으로 본 논문에서 구성한 350W



그림 6 태양광 및 풍력에너지를 이용한 복합형 가로등 하드웨어 구성

Fig. 6 Hardware configuration of hybrid type streetlight with photovoltaic and wind energy

표 1 복합형 가로등 사양

Table 1 Specifications of hybrid type streetlight

구성품	사양
태양광(태양전지)	350W (175W*2EA)
풍력발전기	400W 블레이드 Generator
컨트롤 시스템	충방전시스템 및 제어반 DC-DC 컨버터 AC-DC 컨버터
2차전지	납전지, 리튬전지
LED 가로등	60W
모니터링 및 GUI	-
태양광 추적기	-

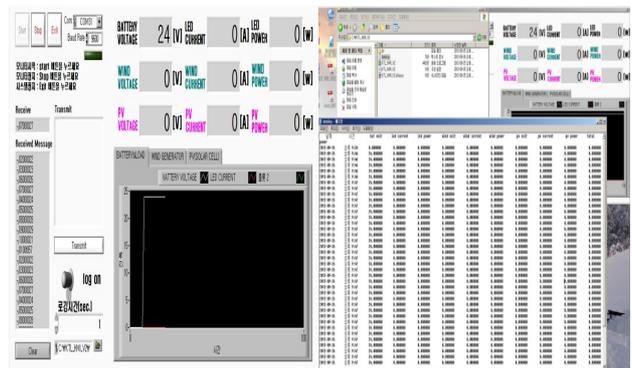


그림 7 GUI 모니터링 및 로깅 데이터

Fig. 7 GUI monitoring and logging date

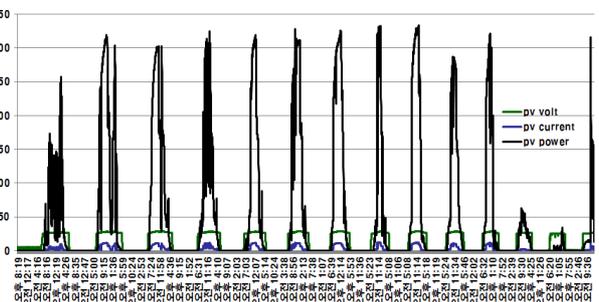


그림 8 태양광 발전전압, 발전전류, 발전전력

Fig. 8 Photovoltaic generation voltage, current, power

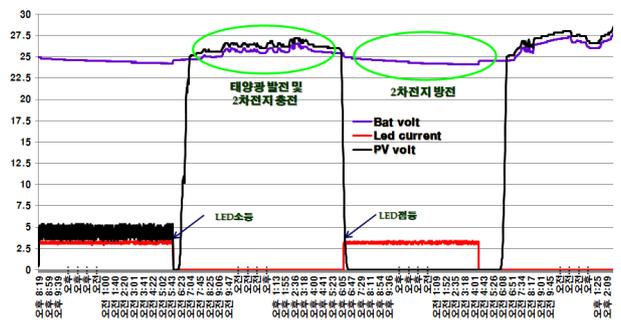


그림 9 태양광 발전 및 2차전지 충전방전, LED 점소등

Fig. 9 Photovoltaic generation, charge and discharge of secondary battery, turn off and lighting of LED

태양전지로 부터 순간발전 최대전력이 334W까지 발전되는 것을 확인할 수 있으며 시간에 따른 일사량에 의해 태양광에너지의 발전이 이루어지는 것을 볼 수 있다.

태양광발전에 의한 충전전압이 13V 이하 즉 일사량이 줄어들기 시작하는 일몰 후 2차전지에 충전된 에너지에 의해 본 논문에서 구성한 LED 램프가 점등됨을 그림 9에서 확인할 수 있다. 이때 LED 램프가 점등이 됨과 동시에 낮에 충전된 2차전지의 충전에너지가 시간이 지남에 따라 방전되는 모습을 확인할 수 있고 LED 램프 점등시 이에 따른 소모전류의 흐름을 볼 수 있다.

LED 램프의 점소등에 따른 소모전류와 이에 따른 2차전지의 충전방전되는 전압에 대한 결과를 그림 10에서 볼 수 있듯이 신재생에너지에 의해 발전된 에너지를 이용하여 설계한 복합형 가로등이 정상적으로 동작이 되고 있음을 알 수 있다.

2차전지의 방전특성에 대한 실험결과로 LED 램프 점등시 2차전지의 충전전압이 22V 이하로 방전할 경우 방전에 따른 전지의 성능저하를 보호하기 위해 자동적으로 LED 램프가 소등할 수 있는 기능을 그림 11에서 보여주고 있다. 구성된 2차전지는 12V, 100Ah의 특성을 가진 납전지 2개를 직렬로 연결하여 24V, 100Ah의 배터리 용량으로 실험을 수행했으며 60W LED 램프를 점등하는데 있어서 약 12시간 정도를 점등하는 결과를 얻었다. 이 결과는 계절적인 태양에너지의 차이 및 현재 충전된 2차전지

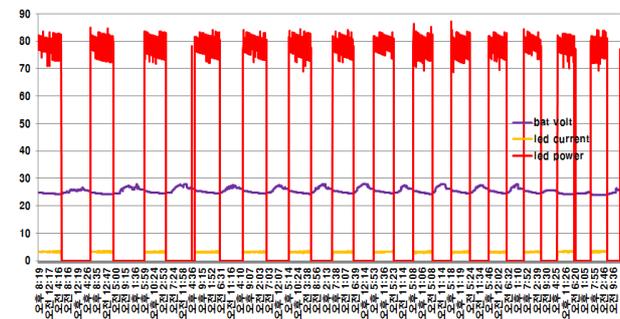


그림 10 2차전지 충전전압, LED 소모전류, LED 소모전력
 Fig. 10 Charge and discharge voltage of secondary battery, consumption of current and power of LED

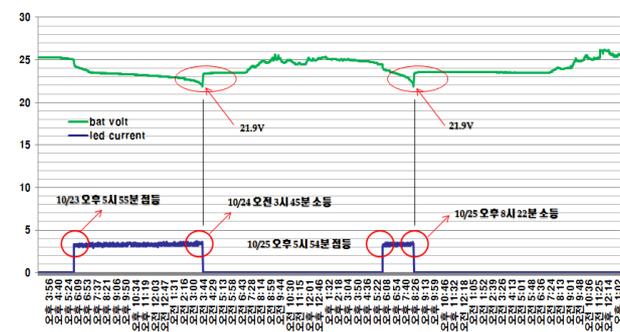


그림 11 LED 점소등 및 2차전지 충전전 전압
 Fig. 11 Turn off and lighting of LED, charge and discharge voltage of secondary battery

의 충전양에 따라 점등시간의 오차를 발생시킬 수 있다.

그림 8~10에서 태양광에너지에 의해 발전된 에너지를 확인할 수 있지만 동 시간대에 실험한 결과로 풍력발전전압은 5V이하이며 발전전류는 거의 흐르지 않고 이에 따라 풍력발전전력으로 발생이 되지 않은 것을 그림 12에서 확인할 수 있다. 추가적으로 적용한 가로등이 설치된 실증장소의 풍속데이터를 측정한 결과의 값을 그림 13에서 볼 수 있다. 본 논문에서 적용한 풍력발전기는 풍속 12m/s시 정격출력이 나오는 수직형태의 사양을 가지고 있고 또한 기동풍속은 1.5m/s 사양을 가지고 있다. 따라서 풍력발전기의 회전에 따른 발전전압은 어느 정도 발생이 될 수 있으나

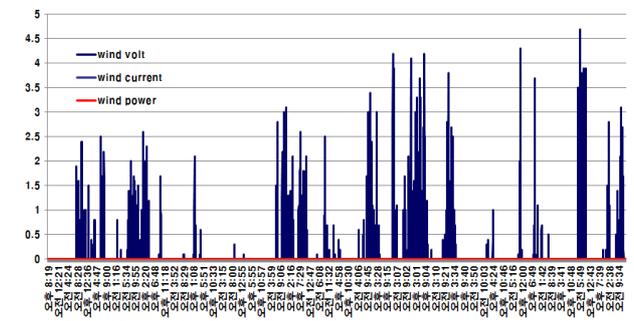


그림 12 풍력 발전전압, 발전전류, 발전량
 Fig. 12 Generation voltage, current and power of wind

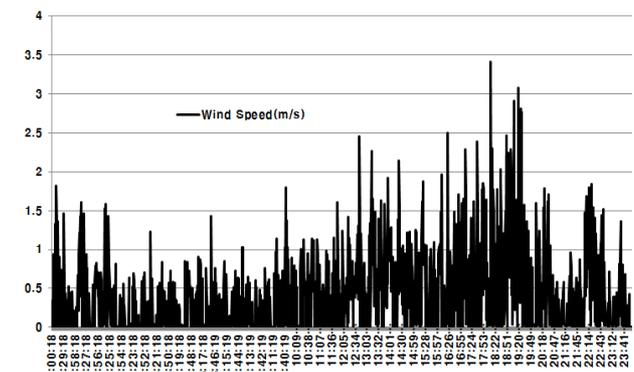


그림 13 풍속 데이터
 Fig. 13 Date of wind speed

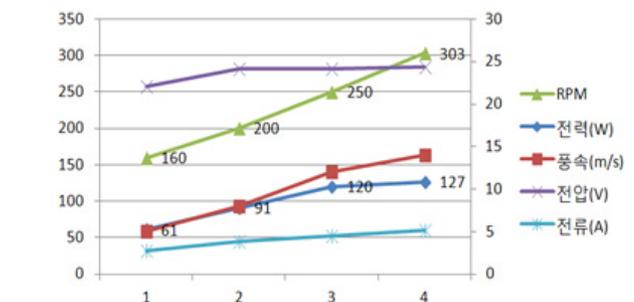


그림 14 차량이동시 풍속 데이터 실험결과
 Fig. 14 Date of wind speed during moving

풍력발전기에서 요구하는 풍속 이하일 경우 발전전류가 거의 없고 결과적으로 발전에너지도 발생하지 않음을 알 수 있다.

따라서 도심지역에서의 풍력발전기를 통한 발전에너지에 대한 많은 에너지가 발생이 되기는 원천적으로 불가능함을 보여주고 있다. 또한 기존 설치된 풍력발전기의 회전에 따른 풍력발전전압은 어느 정도 발생이 될 수 있으나 풍력발전기에서 요구하는 풍속이하 일 경우 발전전류가 거의 없고 결과적으로 발전에너지도 거의 발생함이 없음을 알 수 있다. 본 논문에서는 설계된 풍력발전기의 특성을 알고자 400W 풍력발전기를 차량을 통한 이동시 발생하는 실험을 추가적으로 수행을 하였다.

실험결과 및 특성에 대한 내용을 그림 14에서 보여주고 있으며 풍속에 따른 발전기 RPM, 발전전압, 발전전류, 발전전력 등을 그래프로 나타내었다. 차량이동시 발생하는 풍속 4~12 ms에 의해 설계된 풍력발전기의 발전특성을 파악할 수 실험결과로 볼 수 있다.

그림 15는 본 논문에서 제시한 요구사항 중 부조일수 10일 이상의 요구사항에 대한 실험 결과로 설계된 2차전지로 약 11일 동안 운영됨을 확인할 수 있다.

그림 16은 태양광추적식과 고정식에 따른 태양전지에서 발생하는 발전전력을 비교한 실험결과로서 태양에너지가 가장 많은

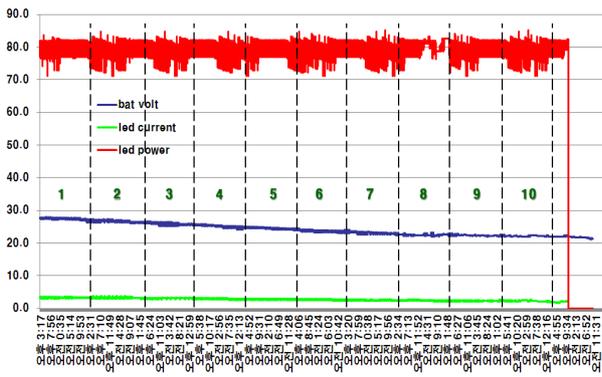


그림 15 부조일수 10일 이상의 실험결과

Fig. 15 Test result of number of sunless days

	Type	평균온도	평균전압	평균전류	발전전력
1 (11/3)	고정	9.4	23.1V	8.5A	235.6W
	추적		24.2V	11.2A	271W
2 (11/4)	고정	11.8	25.1V	10.1A	253.5W
	추적		25.9V	12.5A	323.7W
3 (11/5)	고정	8.5	24.5V	10.3A	252.4W
	추적		25.4V	11.1A	281.9W
평균	고정	9.9	24.8V	9.96A	247.2W
	추적		25.6V	11.6A	292.2W

그림 16 고정식과 추적식에 따른 태양광 발전에너지 비교

Fig. 16 Comparison date of photovoltaic generation energy

낮 12시부터 오후 3시까지 수행한 결과이다. 고정식과 추적식의 발전전력을 비교해보면 추적식을 적용을 할 경우 평균적으로 50W 정도가 더 발생됨을 알 수 있으며 태양광에너지에 대한 효율적인 운영을 할 수 있을 것으로 사료된다.

그러나 추적식은 고정식에 비해 비용 및 바람과 비에 진동과 충격을 고려한 설계와 경제성이 뒷받침에 돼야 될 것으로 사료된다. 현재 사용되고 있는 대부분의 태양광 가로등은 고정식으로 구성되어 있어 발전으로 이어지지 못하고 버려지는 에너지가 많다. 따라서 태양전지 자체의 효율이 아닌 운용방식에 대한 고효율화를 통해 발전효율을 향상시킬 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 태양광과 풍력발전을 이용하여 효율적으로 전기에너지로 변환시켜 배터리에 축전하여 철도역사 및 선로 등의 야간조명으로 활용할 수 있는 복합형 조명시스템을 설계하였다. 설계 및 적용한 기술을 바탕으로 도시철도 안전관련 PSD, 통신 및 신호체계에 고품질의 전력을 안정적으로 공급할 수 있는 분야에 추가적으로 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Min Jeong Kim, Young Sik Park, Jong-Bae Park, Jae Hyung Roh, "Correlation Analysis of Wind and Solar Power Generation Pattern for Modeling of Renewable Energy," Trans. KIEE. vol. 60, no. 10, pp. 1823-1831, 2011.
- [2] S.K. Shin, H.C. Kim, H.S. Jung, J.Y. Park, B.S. Hyun "Multilevel Inverter Development to Utilize Renewable Energy in Urban Railway Station," Trans. KIEE. vol. 64, no. 4, pp. 324-330, 2015.
- [3] Jong-Pil Lee, Byung-Duk Min, Tae-Jin Kim, Dong-Wook Yoo, Ji-Yoon Yoo, "A Novel Topology for Photovoltaic DC/DC Full-Bridge Converter With Flat Efficiency Under Wide PV Module Voltage and Load Range," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 55, no. 7, pp. 2655-2663, July 2008.
- [4] Byung-Duk Min, Jong-Pil Lee, Jong-Hyun Kim, Tae-Jin Kim, Dong-Wook Yoo, and Eui-Ho-Song "A New Topology With High Efficiency Throughout All Load Range for Photovoltaic PCS," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol.56, no.11, pp. 4427-4435, November 2009.
- [5] Jong-Pil Lee, Byung-Duk Min, Tae-Jin Kim, Dong-Wook Yoo, and Ji-Yoon Yoo "Input Series Output Parallel Connected DC/DC Converter for a Photovoltaic PCS with High Efficiency under a Wide Load Range," Journal of Power Electronics, vol. 10, no. 1, pp. 9-13, 2010.

저 자 소 개



윤 용 호 (Yong-Ho Yoon)

2002년 성균관대 메카트로닉스공학과 졸업 (석사). 2007년 동 대학원 졸업(공학). 2007년~2011년 삼성탈레스 종합연구소 메카트로닉스그룹 전력전자팀 전문연구원. 2011년~2015년 한국산업기술시험원 신재생사업센터 책임연구원. 2015년~현재 한화시스템 종합연구소 메카트로닉스팀 전문연구원.

E-mail : dydghis@gmail.com



김 재 문 (Jae-Moon Kim)

1994년 성균관대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 동 대학원 졸업(공학). 2000년~2004년 현대모비스(주) 기술연구소 선임연구원. 2006년~현재 국토교통부 철도기술 전문위원, 2004년 3월~현재 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과/철도 전기전자 공학과 교수.

E-mail: goldmoon@ut.ac.kr