

독립형 하이브리드 가로등의 BESS 연구

김 재 진*

A Study on the BESS of Stand-alone Hybrid Streetlight

Kim Jaejin

〈Abstract〉

In this paper, we study the BESS of a standalone hybrid street light.

The proposed BESS proposed a BESS with the function of efficiently charging irregularly generated power from two or more generators. AC generated by wind power is converted to DC using an AC / DC converter and then to a voltage that can charge the battery through the DC / DC converter. The lack of voltage and current, which is a disadvantage of the MPPT method used in solar power generation, is compensated by the DC value of wind power generation. The compensation method is to convert the DC generated from solar power into a voltage suitable for charging the battery through a DC / DC converter, and then connect the DC generated in wind power in parallel to compensate for the insufficient current to charge the battery in a short time. Allow this to begin. By securing the maximum charging time, the usage time of the stand-alone hybrid street light is huge.

Experimental results show that the battery has a short charging time and can be efficiently applied to battery-dependent standalone hybrid street lights.

Key Words : BESS, Stand-alone Streetlight, MPPT, Charging, Converter

I. 서론

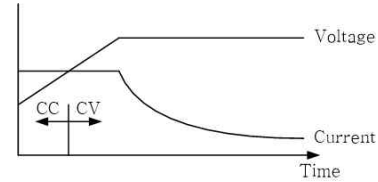
신재생에너지를 사용하여 사용되는 에너지를 줄일 수 있는 연구는 지속적으로 진행되어 왔다. 태양광과 풍력을 이용한 독립형 가로등은 송배전이 어려운 지역을 중심으로 설치와 사용량이 증가되고 있는 추세이다. 또한 기존의 가로등도 에너지 소비량을 줄이기 위해 독립형 또는 독립형과 기존 전원을 같이 사용할 수 있는 가로등으로 대체되고 있다. 따라서 [1-11]과

같이 독립형 가로등에 적용할 수 있거나 독립형 가로등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기존의 연구는 태양광이나 풍력 등의 에너지 발생 장치를 하나만 사용했을 때 성능 개선이 주된 연구 주제였다. 또한, 태양광과 풍력을 같이 사용하는 하이브리드 방식의 경우 태양광 발전이 안정적으로 진행되는 낮의 경우에는 태양광 발전을 이용하여 충전하며, 이외의 경우 풍력을 이용하여 발전하고 사용 및 충전을 하는 연구가 많았다. 이러한 연구는 독립형 가로등의 배터리 용량이 커져야 하는 단점과 태양광과 풍력이

* 강동대학교 전기전자과 교수

동시에 발전될 경우 하나의 발전량을 수용하지 못해 설비에 비해 효율이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하여 태양광 발전과 풍력 발전을 같이 사용하여 안정적이면서 최대의 충전시간을 갖는 독립형 하이브리드 가로등의 BESS(Battery Energy Storage Systems)을 제안하였다. 제안한 방법은 태양광 발전의 단점인 MPPT 방식에서 필요로 하는 전압과 전류를 풍력발전에서 보상하여 태양광발전보다 빠른 시간에 충전이 시작되고 늦은 시간까지 충전이 가능하도록 하여 배터리의 충전시간을 최대한으로 확보하는 방법이다. 이러한 방법은 날씨와 기온의 영향을 많이 받는 독립형 가로등의 충전 시간을 최대한으로 확보하여 한정된 배터리로 가로등의 동작을 안정적으로 확보해준다.



<그림 1> CCCV 충전기

전에 필요한 DC로 변환하여 충전에 사용한다. 또한 태양광 발전에서 발전된 전압도 DC/DC 변환기를 이용하여 배터리 충전에 필요한 전압으로 변환한다. 변환된 두 개의 DC는 병렬로 연결하여 배터리 충전에 필요한 전류를 확보할 수 있도록 한다.

2.2 BMS(Battery Management System)[13]

BMS 등급도 단순한 기능에서 모든 셀의 정보를 모니터링하고 외부에 정보로 제공하는 기술까지 다양하게 개발되어 왔다. BMS는 기술 구현 방법에 따라 Analog와 Digital로 구현된다. 본 논문에서는 셀의 전압이 낮은 경우 부하를 차단할 수 있어 기능이 있는 아날로그 방식을 이용하여 BESS를 구현한다.

2.3 MPPT[14]

MPPT(Maximum Power Point Tracking)는 최대 전력 지점 추종의 의미로서 태양광 전력 변환 장치의 핵심 제어 알고리즘이다. 전압형 최대 전력 전달 추종 기법에는 Perturbation & Observation(P&O), Incremental Conductance(I&C), Modified I&C 등이 있다[15-20].

독립형 시스템에는 태양광 에너지를 일시적으로 충전하고 다시 방전하는 시스템과 알고리즘이 연구되었다[21-22].

II. 관련연구

2.1 리튬이온 배터리 팩 충전[12]

리튬이온 배터리 팩을 충전하기 위해서는 CCCV(Constant Current Constant Voltage) 충전기를 필요로 한다. CCCV 충전기는 표준화된 전압조정 전원(regulated power supply)이다. 처음 충전을 할 때에는 정전류(fixed constant current)를 제공하고 배터리 팩 전압이 충전되면서 증가하도록 한다. 만충전 전압에 가까워지고 전압이 정전압(constant voltage)으로 유지되면 충전기가 전압을 유지하고 배터리 팩이 완전 충전 될 때까지 충전 전류가 지수함수로 감소하게 된다. CCCV 충전기는 <그림 1>에 나타내었다.

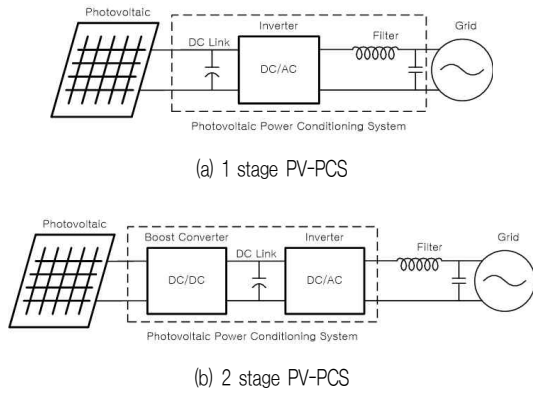
<그림 1>의 CCCV 충전기와 같이 안정적으로 배터리를 충전하기 위해서는 충전에 필요한 전압과 전류의 양을 일정하게 유지할 수 있도록 하여야 한다. 본 논문에서는 풍력발전에서 생성된 AC를 배터리 충

2.4 태양광 기반 배터리 충전 시스템[14]

태양광 기반 배터리 충전 시스템은 1 stage PV-PCS 와 2 stage PV-PCS가 있다.

1 stage PV-PCS는 주로 태양광 전압이 400V 이상 일 때 사용되는 태양광 발전 시스템이다.

2 stage PV-PCS는 태양전지의 낮은 전압을 400V 정도의 높은 전압으로 변환시키기 위해 부스트 컨버터(Boost Converter)를 이용하여 승압한다. 태양광 기반 배터리 충전 시스템은 <그림 2>에 나타내었다.



<그림 2> 태양광 기반 배터리 충전 시스템

독립형 가로등은 충전을 필요로 하며 안정된 충전과 사용을 위해 2 stage PV-PCS 방식을 기본으로 적용한다.

2.5 풍력발전 출력 특성[23]

풍력 발전은 바람과, 블레이드, 발전장치에 의해 결정되어 진다. 바람의 운동에너지(E)와 바람의 출력(Pa)는 <식 1>과 <식 2>와 같이 각각 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad <식 1>$$

m : 공기의 질량
 v : 속도

$$P_a = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad <식 2>$$

ρ : 공기밀도(Kg/m³)
 A : 블레이드의 회전 면적(m²)
 v : 풍속(m/s)

블레이드에 의한 풍차의 기계출력(P_{mechanical})은 <식 3>에 나타내었다.

$$P_{mechanical} = T\omega \quad <식 3>$$

T : 토크(N·m)
 ω : 회전수(rad/sec)

<식 2>와 <식 3>을 이용하여 풍력 발전기의 성능 특성을 나타내는데 중요한 요소인 출력 계수(Power Coefficient, C_p)를 구할 수 있다. 풍력 발전기의 출력 계수는 <식 4>와 같다.

$$C_p = \frac{P_{mechanical}}{P_a} = \frac{T \cdot \omega}{\frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot v^3} = \frac{2 \cdot T \cdot \omega}{\rho \cdot A \cdot v^3} \quad <식 4>$$

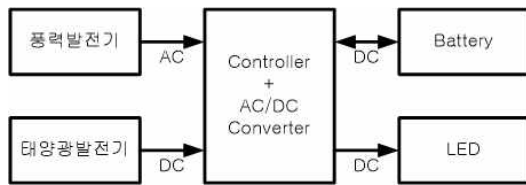
<식 4>를 이용하여 계산된 출력 계수 값은 풍차 형태에 따라 다르며 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> 풍차 형태에 따른 출력 계수

풍차 형태		최대 상태 출력 계수
수평 축형	American Wind Turbine	0.28
	Propeller	0.48
수직 축형	Savonius	0.15
	Darrieus	0.42

III. 독립형 하이브리드 가로등의 BESS

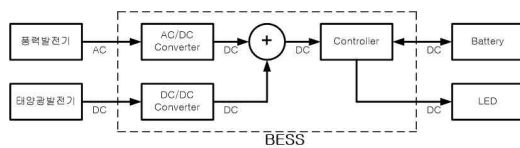
독립형 하이브리드 가로등은 태양광발전기와 풍력발전기에서 입력되는 전력을 배터리에 저장하고 조도 센서에 의해 야간에 LED 등을 이용하여 빛을 발생시켜주는 장치이다. 이러한 독립형 하이브리드 가로등의 블록 다이어그램은 <그림 3>에 나타내었다.



<그림 3> 독립형 하이브리드 가로등의 블록 다이어그램

3.1 BESS

본 논문에서는 <그림 3>의 독립형 하이브리드 가로등의 풍력발전기와 태양광발전기에서 발생하는 서로 다른 발전량을 효율적으로 배터리에 저장하여 충전 속도를 개선한 BESS(Battery Energy Storage System)를 제안하였다. 제안한 BESS의 블록 다이어그램은 <그림 4>에 나타내었다.



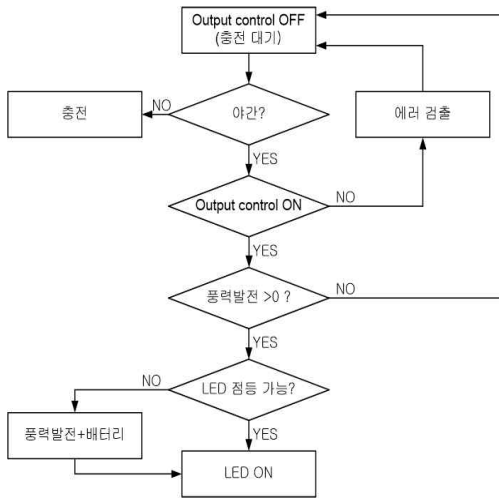
<그림 4> BESS의 블록 다이어그램

제안한 BESS는 AC/DC 컨버터(converter)와 DC/DC컨버터, 결합장치, 제어기(controller)로 구성되어 있다. 독립형 가로등에 사용되는 배터리에 에너지를 저장하기 위해서는 DC 전원이 인가되어야 한

다. 따라서 입력되는 전원을 모두 DC 이어야 한다, 풍력발전기에서 발전되는 AC는 DC로 변경시키기 위한 AC/DC 컨버터를 설치하여 배터리에 에너지를 저장할 수 있는 DC 전압으로 변환한다. 태양광 발전기에서 발전된 전압은 DC이다. 일반적으로 태양광 발전을 이용하여 발전된 에너지를 사용하기 위해서는 MPPT 방법을 사용한다. 제안한 방법은 풍력발전 에너지를 같이 사용하는 것이므로 충전에 필요한 전압으로 변환시켜도 무방하다고 할 수 있다. 따라서 태양광 발전기를 통하여 발전된 에너지는 DC/DC 컨버터를 이용하여 충전에 맞는 전압으로 변환한다. 풍력발전기와 연결된 AC/DC 컨버터와 태양광발전기와 연결된 DC/DC 컨버터에서 변환된 같은 전압의 에너지는 병렬로 연결할 수 있는 결합장치를 통하여 배터리 충전에 필요한 일정한 전압을 유지하면서 전류의 값을 변경할 수 있도록 결합되어 배터리에 충전에너지로 사용한다.

3.2 독립형 하이브리드 가로등

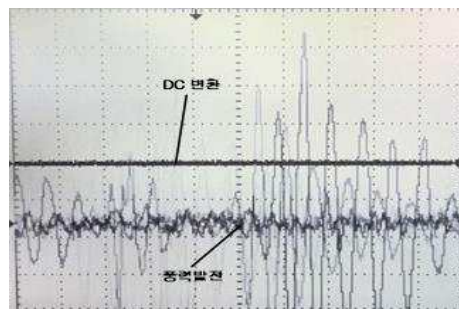
BESS를 적용한 독립형 하이브리드 가로등은 야간에 LED를 점등하며 주간에는 LED를 소등하는 기능을 가지고 있다. 주간에는 LED를 소등하며 충전 기능만을 수행한다. 충전은 풍력발전기와 태양광발전기에서 발생된 에너지를 BESS를 통해 배터리에 충전한다. 야간에는 LED를 점등하여 에너지를 소모하는 환경이다. 야간에는 태양광발전기에서 생성되는 에너지는 없으나 풍력발전기에서는 에너지가 발생될 수 있다. 따라서 풍력발전기에서 발전된 에너지로 LED를 점등할 수 있는 경우에는 풍력발전량만으로 LED를 점등하고, LED를 점등하기 부족한 경우에는 배터리를 같이 사용하여 LED를 점등한다. 이와 같은 기능을 하는 독립형 하이브리드 가로등의 알고리즘은 <그림 5>에 나타내었다.



<그림 5> 독립형 하이브리드 가로등 알고리즘



<그림 6> LED 구동 BESS 실험



<그림 7> 풍력발전기 발전

IV. 실험 결과

본 논문에서 제안한 BESS의 실험 장치는 태양광 발전장치와 풍력 발전장치, LED 실험장치, BESS로 나누어진다. 태양광 발전장치는 HBE-Green ETS Solar를 사용하였으며, 풍력 발전장치는 HBE-Green Energy, LED는 HBE-LED Lighting을 사용하여 실험하였다. 실험은 LED 구동 가능 여부를 실험하는 것으로 태양광 발전에서 얻어진 DC와 풍력 발전에서 얻어진 AC를 DC로 변환하여 각각의 DC를 결합하여 LED를 구동시킬 수 있는 환경을 조성하여 LED 구동 여부를 실험하였다.

실험 환경은 <그림 6>에 나타냈으며 풍력발전기에서 발생된 발전에 관한 실험결과는 <그림 7>에 나타내었다.

<그림 7>은 풍력 발전에서 생성된 불안정한 AC 전압 파형과 AC/DC 변환기를 이용하여 배터리를 충전할 수 있는 DC로 변환한 파형을 같이 나타낸 것이다.

실험은 Li-Polymer 10,000mAh 충전지를 완전 방전 한 후 완전 충전될 때까지의 시간을 비교하였다. 단, 시간을 비교하기 위해 풍력은 일정한 풍속으로 진행하였다. 본 논문에서 제안한 방법에 대한 실험 결과는 <표 2>에 나타내었다.

<표 2> 본 논문에서 제안한 방법

실험환경	방식	기존방식	본논문	비교
풍력만 사용		3.7h	3.7h	-
태양광만 사용		4.8h	4.9h	+0.1h
풍력+태양광		3.8h	2.8h	-1h

실험은 풍력만 사용, 태양광만 사용, 풍력+태양광을 사용하는 경우로 나누어 실험하였다. 풍력만 사용하는 경우는 기존의 방법과 본 논문에서 제안한 방법 모두 HBE-Green Energy 풍력발전에서 이루어진 발전량을 배터리를 충전할 수 있는 DC 전압으로 전환

하여 배터리에 연결하여 배터리가 만충전 될 때까지의 시간을 측정한 것으로 동일한 결과를 나타내었다.

태양광만 사용한 경우는 HBE-Green ETS Solar에서 발전된 태양광 발전이 MPPT 방식에 의해 사용이 가능한 발전량이 되었을 때 배터리 충전에 필요한 전압으로 변환하여 배터리가 만 충전될 때까지의 시간을 측정한 것으로 본 논문에서 제안한 충전 방식이 약간 오래 걸리는 결과를 나타내었으나 큰 차이가 없어 거의 동일한 시간이 소요 된 결과를 나타내었다.

그러나 풍력과 태양광을 같이 사용하는 하이브리드 방식의 경우 기존 방법은 풍력만 사용할 경우와 태양광만 사용할 경우의 두 가지 방법을 연결하여 실험하였다. 본 논문에서 제안한 방법으로 풍력 발전기에 AC/DC 변환기를 설치하고 태양광 발전기에 DC/DC 변환기를 설치하여 병렬로 연결한 후 충전시간을 비교하였다.

실험 결과 기존의 태양광과 풍력을 같이 사용하는 하이브리드 형태의 독립형 가로등에서 각각의 발전량에 따라 하나의 발전량을 충전하는 방식에 비해 충전시간이 약 35% 개선된 결과는 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 독립형 하이브리드 가로등의 BESS에 대해 연구하였다.

제안한 BESS는 2개 이상의 발전장치에서 불규칙하게 발생하는 전력을 효율적으로 배터리에 충전할 수 있는 기능을 갖춘 BESS에 대해 제안하였다. 풍력 발전을 통해 발생하는 AC는 AC/DC 컨버터를 이용하여 DC로 변환한 후 DC/DC 컨버터를 통해 원하는 전압으로 변경한다. 태양광 발전은 DC/DC 컨버터를 이용하여 원하는 전압으로 변경한 후 풍력 발전에서 발생한 전압과 병렬로 연결하여 한 가지 발전으로는 부족한 전류 값을 보완하여 태양광 발전의 MPPT 방

식의 단점을 보완함으로써 충전시간을 최대한으로 확보하여 독립형 가로등의 사용시간을 확보할 수 있는 방법이다.

실험 결과 배터리의 충전시간이 짧아져 배터리에 의존하는 독립형 가로등에 효율적으로 적용할 수 있는 방법임을 증명하였다.

참고문헌

- [1] 이양규, "태양위치추적기를 이용한 독립형 태양광 발전시스템의 효율 개선," 전남대학교 대학원 석사학위논문, 2003.
- [2] 강신영, "소규모 독립형 태양광 발전 시스템 설계 및 시뮬레이터 개발," 전남대학교 대학원 박사학위논문, 2003.
- [3] 김현철, "태양광 가로등용 Ni-MH 전지의 충방전 제어기에 관한 연구," 조선대학교 대학원 박사학위논문, 2010.
- [4] 고경태, "태양광 가로등 등주 제어기 설계 및 구현," 순천향대학교 대학원 석사학위논문, 2012.
- [5] 이우희, "기상정보를 활용한 태양광·풍력발전 하이브리드 LED 가로등 제어," 숭실대학교 대학원 석사학위논문, 2013.
- [6] 권혜영, "독립형 태양광 가로등 배터리의 전압상태에 따른 경보 시스템 개발," 충북대학교 대학원 석사학위논문, 2014.
- [7] 최원철, "효율적인 독립형 스마트 태양광 가로등 조명제어 시스템의 설계 및 구현," 한서대학교 대학원 석사학위논문, 2014.
- [8] 조철현, "비절연형 플라이백-부스트 콤비네이션 컨버터를 이용한 독립형 태양광 가로등 제어," 전남대학교 대학원 석사학위논문, 2015.
- [9] 문영채, "독립형 태양광 가로등의 IoT 기반 모니터링 및 제어시스템," 군산대학교 대학원 박사학

- 위논문, 2018.
- [10] 강진구, “효율적 전력 관리를 위한 독립형 가로등의 ESS 설계 및 구현,” 디지털산업정보학회 논문지 12권 2호, 2016, pp.1-6.
- [11] 김재진, “배터리 잔량과 테스크에 따른 저전력 알고리즘 연구,” 디지털산업정보학회 논문지 9권 1호, 2013, pp.53-58.
- [12] 이태원, “태양광 가로등의 배터리 충전 기술에 관한 연구,” 한국교통대학교 글로벌융합대학원 석사학위논문, 2017.
- [13] 김일송, 「신재생에너지 변환 공학」, 21세기사, 2014.
- [14] 최규영, “태양광 발전 기반 배터리 충전시스템 설계 및 제어,” 성균관대학교 대학원 박사학위논문, 2011.
- [15] J. A. Gow, C. D. Manning, “Controller arrangement for boost converter systems sourced from solar photovoltaic arrays or other maximum power sources,” IEEE Proceedings – Electric Power Applications, Vol. 147, Issue. 1, Jan, 2000, pp.15-20.
- [16] J. H. R. Enslin, M. S. Wolf, D. B. Snyman, W. Swiegers, “Integrated photovoltaic maximum power point tracking converter,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 44, Issue. 6, Dec, 1997, pp. 769-773.
- [17] O. Waszyneuk, “Dynamic behavior of a class of photovoltaic power systems,” IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, Issue. 9, Sept. 1983. pp. 3031-3037.
- [18] K. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, M. Osakada, “Maximum photovoltaic power tracking: An algorithm for rapidly changing atmosphere conditions,” IEEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution, Vol. 142, Issue. 1, Jan, 1995, pp. 59-64.
- [19] Yeong-Chau. Kuo, Tsorng-Juu. Liang, Jiann-Fuh. Chen, “Novel maximum-power- point-tracking controller for photovoltaic energy conversion system,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 48, Issue. 3, Jun, 2001, pp. 594-601.
- [20] J. M. Kwon, K. H. Nam, B. H. Kwon, “Photovoltaic power conditioning system with line connection,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, Issue. 4, August, 2006, pp. 1048-1054.
- [21] Zhiling. Liao, Xinbo. Ruan, “Control strategy of bi-directional DC/DC converter for a novel stand-alone photovoltaic power system,” IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, November, 2008, pp. 1-6.
- [22] 유권중, 김홍성, 송진수, 정영석, 강기환, 이병구, 최규하, “순시치 제어기를 이용한 태양광발전용 전력변환장치 동작특성,” 전력전자학회 논문지, 4권, 1호, 1999, pp. 57-65.
- [23] 양현대, “독립형 풍력/태양광 하이브리드 발전시스템의 설계,” 창원대학교 대학원 박사학위논문, 2016.

■ 저자소개 ■



김재진
Kim, Jae Jin

001년 3월~현재
강동대학교 전기전자과 교수
2003년 2월 청주대학교 전자공학과(공학박사)
1995년 8월 청주대학교 전자공학과(공학석사)
1993년 2월 청주대학교 전자공학과(공학사)

관심분야 : 저전력알고리즘, CAD,
신재생에너지
E-mail : dkimjij@gangdong.ac.kr

논문접수일 : 2019년 8월 20일
수정일 : 2019년 10월 14일
게재확정일 : 2019년 12월 23일