

슈퍼커패시터를 적용한 독립형 태양광-풍력 가로등시스템

김대승, 민병국, 박정민, 김용재, 조금배, 백형래, 정병호*
 조선대학교, (주)기영미다스*

Stand-alone Wind-Photovoltaic Streetlight system
 using Electric Double Layer Capacitor

D.S Kim, B.G Min, J.M Park, Y.J Kim, H.L Back, G.B Cho, B.H Jeong*
 Chosun University, KIYOUNG MIDAS*

Abstract - 태양광/풍력 복합발전시스템은 친환경적인 에너지원의 대표적인 복합발전시스템이다. 본 논문에서는 독립형 태양광/풍력 발전시스템을 이용한 가로등 시스템을 구성하여 출력특성을 고찰하였다.

풍력에서 발전된 교류전력을 DC로 변환하여 태양광발전에서 출력된 DC 전력과 공통 DC버스로 전달되도록 하였으며, 공통 직류단 병렬운전을 위해 출력전압을 일치시켰다. 또한 슈퍼커패시터를 적용하여 발전된 전력의 배터리 충전대체로 활용하여 시스템의 안정성을 높이고 충방전 효율을 증가시키고자 하였다.

1. 서 론

태양광발전은 무한정하며, 청정하다는 장점이 있지만 일사량, 온도 등의 기상조건의 영향을 받으며, 풍력에너지의 활용기술 또한 풍속, 풍향, 계절 등의 기상조건에 따라 출력이 불규칙적이며 연속적이지 못하다는 단점을 지니고 있다. 따라서 저밀도 에너지 특성을 가진 태양에너지와 풍력에너지를 융합시켜 상호보완적인 태양광/풍력 복합발전시스템에 대한 관심이 높아지고 있다.

태양광/풍력 복합발전시스템은 기상상태에 따라 태양광/풍력 발전시스템에서 전력을 발생시키고 정격부하를 초과하고 남은 잉여전력은 배터리에 충전하며 발전량이 부하보다 부족하면 방전하도록 운전되는 형태로 친환경적인 에너지원의 대표적인 복합발전시스템이다.^{[1],[2]}

복합발전시스템의 전력변환기는 다양한 제어방식들이 선행 연구를 통해서 제안되고 있는데 이러한 여러 제어방식들은 모두 기상변동에 따른 출력전압의 변동에 대해서도 안정된 출력특성을 보장하는 시스템구성과 제어기법 등이 연구의 목적으로 하고 있다.^{[3],[4],[5]}

본 논문에서는 복합발전시스템을 공통 DC링크방식을 통해 직류전력으로 변환된 에너지를 안정적으로 상호 연결하기 위해 슈퍼커패시터(EDLC, Electric Double Layer Capacitor)를 적용하여 독립형 가로등시스템을 구성하고 그 특성을 알아보려고 한다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

제안된 태양광/풍력 복합발전시스템은 풍력발전기의 교류출력을 정류하여 직류의 형태로 출력하는 직류공통 복합발전시스템구조를 가진다. 각각의 하부발전시스템의 출력이 직류 링크단에서 통합되므로 잉여전력을 별도의 전력변환 없이 배터리에 저장할 수 있고, 부하용량이 증가할 때 배터리의 저장에너지를 인버터를 통해서 교류로 변환하여 전력을 부하에 공급할 수 있다. 또한 교류 병렬형 시스템과는 달리 직류 링크단에서 전력을 공유하기 때문에 교류전압의 위상과 전압크기를 일치시키지 않아도 되므로 전체시스템을 연계하는데 있어서 시스템의 통합제어의 안정성이 높다. 특히, 제어구조가 단순하다는

장점이 있으나 DC로 변환하는 구조를 가지기 때문에 전체효율이 낮아지고 배터리 뱅크의 레벨이 통합시스템의 제어모드에 직접적인 영향을 주므로 저장시스템이 커지는 단점을 지닌다. 그림 1은 직류공통 복합발전시스템의 블록다이어그램이다.

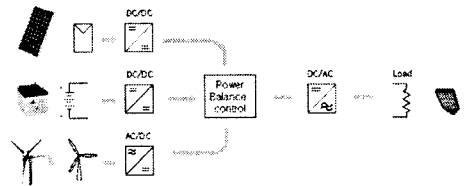


그림 1. 복합발전시스템의 블록다이어그램

2.1.1 풍력발전시스템

본 논문에서 적용된 풍력발전기는 12.5m/s의 풍속에서 최대 400W 전력을 생산해내는 능력을 가진 발전기로 미국의 Southwest wind power사에서 개발해 시판하고 있는 Air-X 모델의 하나이다. 이 제품은 최대 95% 에너지 전달효율을 가지고 있으며 브러시가 있는 3상 직류발전기의 형태이다. 주요 사양은 표 1과 같다.

표 1. 적용된 풍력발전기의 주요사양

Item	specification
Rotor diameter	1.17m
Weight	6kg
Startup wind speed	3.0m/s
Rated power	400 watts at 12.5m/s
Regulator set range	24V- preset 28.2V
Recommended fuse size	30Amps slow-blow
Yaw wire size	#10AWG
Pole dimensions	Outside diameter 48mm

그림 2는 Air-X 400W 모델의 풍속에 따른 출력특성곡선이다. 시동풍속은 3m/s이고 정지풍속은 20m/s이다.

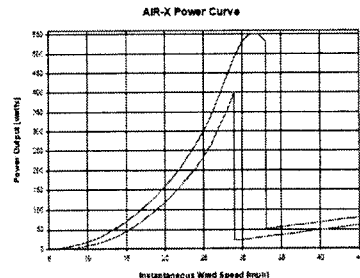


그림 2. 풍속에 대한 출력특성

2.1.2 태양광발전시스템

태양전지모듈의 최대출력이 144W 2장이 직렬접속 되었고 분산형 전원의 배전계통연계 기술기준에 의해 최대 전력량의 오차범위가 3%이내의 성능을 가진 태양전지모듈을 적용하였다. 표 2는 본 논문에 적용된 태양전지모듈의 특성이다. 그림 3은 Solar pro ver. 3.0 시뮬레이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행한 태양전지모듈의 V-I 특성곡선이다.

표 2. 태양전지모듈의 특성

Item	Symbol	Value
Nominal peak power	Pmax	144W(±3%)
Maximum power voltage	Vmp	30.5V
Maximum power current	Imp	4.70A
Open circuit voltage	Voc	37.5V
Short circuit current	Isc	5.10A
Module Efficiency	ηm	13.2%
Maximum system voltage	-	1,000V

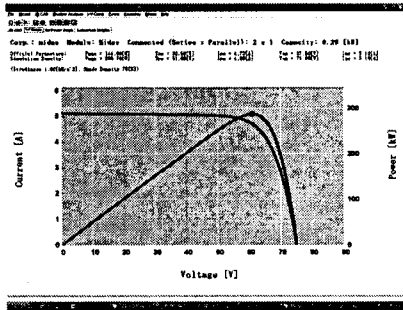


그림 3. 시뮬레이션을 통한 태양전지모듈의 특성

2.1.3 에너지저장장치 및 EDLC

태양광발전시스템의 배터리 용량산정에서 가장 중요한 요소는 부하의 크기와 태양전지가 발전하지 않는 기간 동안 사용가능한 부일조일이다. 시스템의 배터리용량은 기상조건이 나빠지거나 계통의 이상 시에도 정상적인 동작이 가능해야 한다. 국내 기상데이터를 분석한 결과 복합발전시스템의 부일조일, 또는 무풍일의 조건에서는 장마철이나 폭설의 영향이 있는 경우를 가장 긴 부일조일로 선정하는데 2일 이상 부일조일인 경우가 거의 없기 때문에 일반적으로 부일조일을 2일로 계산한다. 그러나 시스템의 안정성을 확립과 고급사양의 시스템 설계 시에 부일조일을 3일로 산정하는 경우도 있다.

배터리는 100% 방전할 경우 배터리에 손상이 발생하여 고장의 원인이 되므로 방전 시에는 전체용량의 60~70% 정도 방전량을 갖도록 설계하여야 한다. 배터리 용량산정은 부 일조일과 배터리의 효율, 1일 소비전류량, 방전심도 및 배터리의 여유도의 곱으로 다음 식 (1)과 같다.

$$B_w \times \eta_b \times B_{DOD} = N_d \times L_a \quad (1)$$

여기서, B_w 는 배터리 용량, N_d 는 부일조일, η_b 는 배터리 효율, L_a 는 일일 사용전력량, B_{DOD} 는 배터리방전심도(0.6~0.7)이다. 1일 사용 전류량은 부하량과 사용시간을 감안하여 전압과 효율로 나눈 값이며 식 (2)과 같다.

$$L_a = \frac{L_w \times H_a}{V_b \times \eta_s} \quad (2)$$

여기서 H_a : 사용시간, V_b : 배터리 전압,
 η_s : 시스템효율, L_w : 부하량

실제 배터리 용량 산출식은 식 (3)과 같다.

$$B_w = \frac{N_d \times L_w \times H_a}{V_b \times \eta_b \times \eta_s \times B_{DOD}} \quad (3)$$

본 논문에서는 EDLC의 최적의 크기를 시스템의 동작 전압 등의 각각의 파라미터를 통해서 결정하였다. 결정 과정은 총 3단계로 구분하여 정리하면 아래와 같다.

Step 1. 기본 시스템 파라미터의 결정

$$\begin{aligned} V_{\max} &= 30[V] \\ V_w &= 26[V] \\ V_{\min} &= 24[V] \\ Power &= PV + Wind = 350[W] \\ time &= 0.2[sec\ ond] \end{aligned}$$

Step 2. dV의 결정식에 따른 파라미터의 결정

$$\begin{aligned} dV &= V_w - V_{\min} = 30 - 24 = 6[V] \\ i &= average\ current \\ i_{\max} &= \frac{Power}{V_{\min}} = \frac{350}{24} = 14.59[A] \\ i_{\min} &= \frac{power}{V_{\max}} = \frac{350}{30} = 11.6[A] \\ i_{avg} &= \frac{(29 + 23)}{2} = 13[A] \\ dt &= 0.2[sec\ ond] \\ C &= total\ stack\ capacitance \\ V_{\max} &= 30[V],\ cell\ voltage = 5.5[V] \\ WELL\ of\ cells &= \frac{30}{5.5} = 5.45 \approx 6 \end{aligned}$$

Step 3. C 값에 따라 dV값을 검토

$$\begin{aligned} C &= i \times \frac{dt}{dV} = 13[A] \times \frac{1}{6} = 2.1[F] \\ Cell\ capacitance &= 1F\ 이므로 \\ \#\ parallel &= 13(\text{initially a single string}) \\ \# series &= 6 \\ C &= \frac{1[F]}{6} = 0.16[F] \\ cell\ resistance &= 0.05[\Omega] \\ total\ stack\ resistance &= 0.05[\Omega] \times 6 = 0.3[\Omega] \\ dV &= i \times \frac{dt}{C} + i \times R = 13[A] \times \frac{0.2}{0.16} + 26 \times 0.3 \\ &= 16.25 + 7.8 = 24.05 \end{aligned}$$

EDLC의 최적의 크기를 결정하기 위해 캐패시터 충전 전시간을 0.2[s]로 하고 스텝을 통해 계산한 결과 전체 캐패시턴스 값은 2.1[F]이고, EDLC의 최적 용량산정에 의해 24V가 나왔다. 허용전압강하의 75%이하인 22.5V 수준을 유지하고 있으므로 적절한 선정으로 판단된다. 그림 5는 본 논문에 적용된 EDLC의 시간에 따른 캐패시턴스의 변화율을 보여준다.

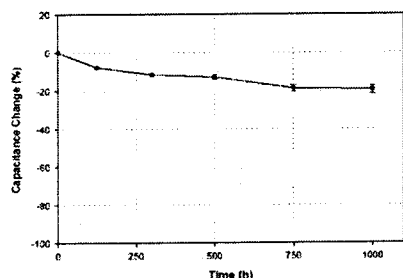


그림 4. 시간에 따른 캐패시턴스의 변화율

2.2 실험

본 논문에서는 태양광/풍력 복합발전시스템을 구성하였으며 그림 5는 전체 시스템 계통도를 나타낸다. 그림 6과 그림 7은 태양광 및 풍력 발전 출력 전압과 전류특성을 나타내고 그림 8은 부하기동 시 방전전압 및 전류를 나타낸다.

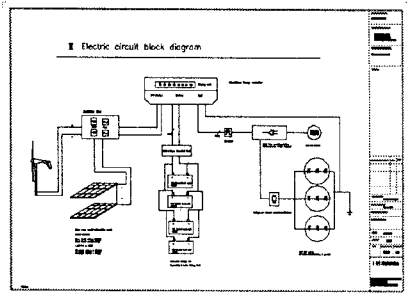


그림 5 복합발전시스템 계통도

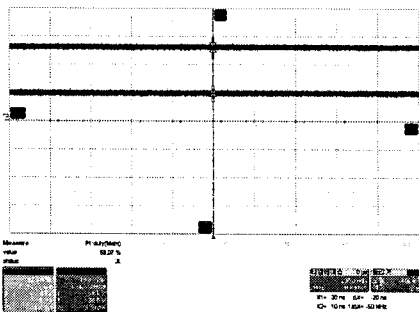


그림 6. 태양광발전출력 전압과 전류파형

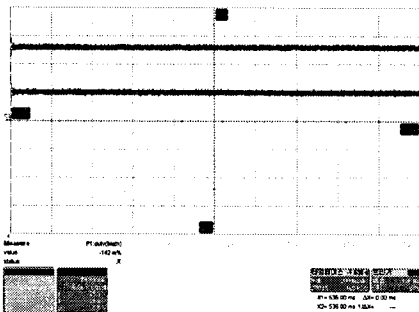


그림 7. 풍력발전출력 전압과 전류파형

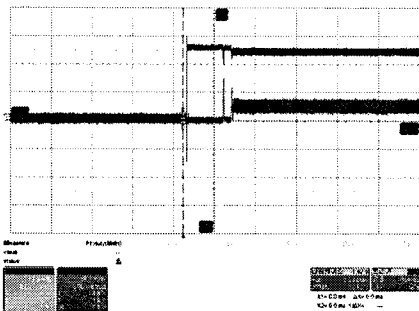


그림 8. 부하 기동 시 전압과 전류파형

그림 9는 본 논문에 적용된 EDLC의 한 개의 충전전 특성을 나타내며 그림 10은 실부하에 적용한 EDLC 충전전특성을 보여준다. 한 개의 그리드의 시간축은 400s

로 7분에 가까운 시간으로 프로브 1번은 부하전류, 2번은 EDLC 양단의 전압, 3번은 EDLC에 공급되는 전류파형을 각각 나타낸다.

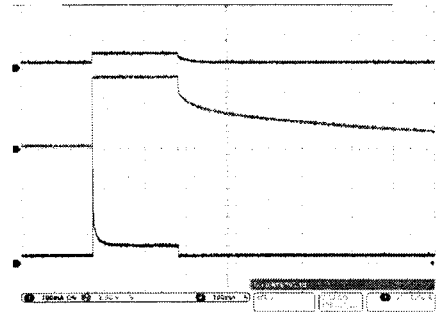


그림 9. EDLC의 충전전 특성

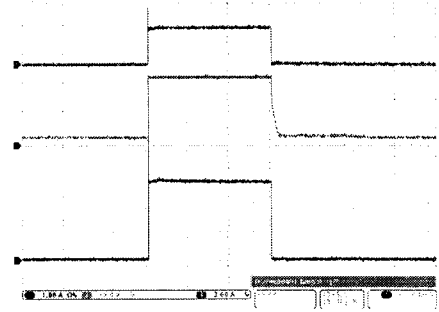


그림 10. 실부하에 적용한 EDLC 충전전특성

3. 결 론

본 논문에서는 독립형 태양광/풍력 가로등 시스템을 구성하였으며 출력특성을 고찰하였다.

풍력에서 발전된 교류전력을 DC로 변환하여 태양광발전에서 출력된 DC 전력과 공통 DC버스로 전달되도록 하였으며, 공통 직류단 병렬운전을 위해 출력전압을 태양광은 26V, 풍력은 25.9V로 일치시켰다.

또한, EDLC를 적용하여 발전된 전력의 배터리 충전매체로 활용하여 시스템의 안정성을 높이고 충전효율을 증가시켰다.

【참 고 문 헌】

- [1] 정명웅 “신재생에너지 전문가연수(태양광)”, 에너지관리공단, pp. 76~88, 2006.
- [2] 이재형의 “태양전지 원론”, 홍릉출판사, pp. 102~104, 2005.
- [3] Tomas Markvart, “Solar Electricity”, John Wiley & Sons, pp. 37, 2002.
- [4] H. J. Noh, D. Y. Lee, D. S. Hyun, “An Improved MPP T Converter With Current Compensation Method for Small Scaled PV-Applications”, IEEE IES, Vol. 2, PP. 1113-1118, 2002.
- [5] Wang M, Nehrir MH, Nelson DB. A simulink-based model for a stand-alone wind-photovoltaic/fuel cell generating system. In: Proceedings of the NAPS 2001, Texas A&M University, College Station; 15-16 October 2001.