

# EDLC를 적용한 태양광-풍력 복합발전시스템

정병호, 최낙일, 민병국\*, 김동휘\*\*, 백형래\*, 조금배\*  
(주)기영미다스, 조선대학교\*, 한영대학\*\*

## Wind-Photovoltaic Hybrid Generation System using EDLC

B.H. Jeong, N.I. Choi, B.G. Min\*, D.H. Kim\*\*, H.L. Baek\*, G.B. Cho\*  
KIYOUNG MIDAS, Chosun University\*, Hanyoung College\*\*

### ABSTRACT

태양광/풍력복합발전시스템은 친환경에너지원의 대표적인 복합발전시스템이다. 본 논문에서는 복합발전시스템을 하나의 DC링크에서 안정적으로 연결하기 위해 슈퍼캐패시터를 도입하여 발전된 전력의 배터리 충전매체로 활용하여 시스템의 안정성으로 높이고 충방전효율을 증가시키고자 하였다.

### 1. 서 론

태양광발전은 무한정하며, 청정발전이라는 장점을 지녔지만 일사량, 온도, 풍속, 계절 등의 기상조건에 따라 그 출력이 불안정하고 연속적이지 못하다는 단점이 있다. 풍력발전 또한 풍속, 풍향, 계절 등의 기상조건에 따라 그 출력이 불안정하고 연속적이지 못하다는 단점을 지니고 있다. 태양광/풍력 복합발전시스템은 기상상태에 따라 전력을 발생시키고 정격부하를 초과하고 남은 잉여전력은 배터리에 충전하며 발전량이 부족하면 방전하도록 운전되는 형태로 친환경적인 에너지원의 대표적인 복합발전시스템이다.<sup>[1], [2]</sup>

복합발전시스템의 전력변환기는 다양한 제어방식들이 선행연구를 통해 제안되고 있는데 이러한 여러 제어방식들은 모두 기상변동에 따른 출력전압의 변동에 대해서도 안정된 출력특성을 보장하는 시스템구성과 제어기법들이 연구의 목적으로 하고 있다.<sup>[3], [4], [5]</sup>

본 논문에서는 복합발전시스템을 하나의 DC링크에서 안정적으로 연결하기 위해 슈퍼캐패시터를 도입하여 복합발전시스템을 구성하고 그 특성을 알아보고자 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 시스템 구성

태양광/복합발전시스템은 전력선 연결방법에 따라 크게 AC 병렬형 복합발전시스템과 DC 공통 복합발전시스템으로 구분할 수 있다. 본 논문에서 제안된 태양광/풍력 복합발전시스템은 직류 공통복합발전시스템으로서 태양광발전과 풍력발전기의 교류출력을 정류하여 직류의 형태로 출력하는 시스템구조를 가진다. 각각의 하부발전시스템의 출력이 직류링크단에서 통합되므로 잉여전력을 배터리에 저장할 수 있고 부하용량의 증가시 배터리의 저장에너지를 인버터를 통해 교류로 변환된 전력을 직접부하에 공급할 수 있는 구조이다. 또한, 교류병렬시스템과 달리 직류링크단에서 전력을 공유하기 때문에 교류전압의 위상과 전압크기를 일치시키지 않아도 되므로 전체시스템을 연계하는데 있어 시스템의 통합제어의 안정성이 높다. 특히, 제어구조가 단순하다는 장점이 있으나 모든 발

전출력을 DC로 변환하는 구조를 가지기 때문에 전체효율이 낮아지고 배터리뱅크의 레벨이 통합시스템의 제어모드에 직접적인 영향을 주므로 저장시스템이 커지는 단점을 지닌다. 그림 1은 직류 공통복합발전시스템의 블록다이어그램이다.

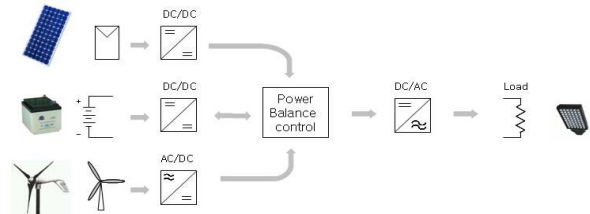


그림 1 직류공통복합발전시스템의 블록다이어그램  
Fig. 1 Block diagram of DC common hybrid generation system

#### 2.1.1 태양광발전시스템

표 1은 논문에 적용된 태양전지모듈의 특성을 나타낸다. 본 논문에서 태양전지모듈은 최대출력 144W 2장을 병렬 접속하였다. 따라서 STC에서 MPP전압은 60.5[V]이고 MPP전류는 4.7[A]이다. 또한 분산형 전원의 배전계통연계 기술기준에 의해 최대전력량의 오차범위가 3%이내의 성능을 가진 태양전지모듈을 적용하였다. 그림 2는 Solar pro ver 3.0 시뮬레이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행한 태양전지모듈 V-I특성곡선을 보여준다.

표 1 태양전지모듈의 특성

Table 1 Characteristics of applied PV module

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
STC	-	1,000W/m <sup>2</sup> , 1.5AM, 25°C

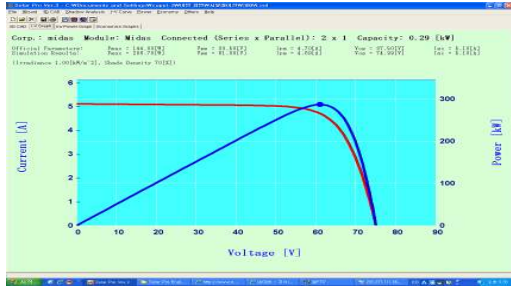


그림 2 시뮬레이션을 통한 태양전지모듈의 특성  
Fig. 2 PV module MPPT characteristics perform simulation

### 2.1.2 풍력발전시스템

본 논문에 적용된 풍력발전기는 12.5m/s의 풍속에서 최대 400W의 전력을 생산해내는 능력을 가진 발전기로 미국의 Southwest wind power사의 Air-X모델의 하나이다. 이 제품은 최대 95% 에너지 전달효율을 가지고 있으며 브러시가 있는 3상 직류발전기의 형태로 전력변환장치가 내장되어있으며 몸체가 알루미늄 다이캐스팅되어 있어 가볍고 컨버터회로가 내장되어 있어 몸체가 회로보호장치역할을 할 수 있도록 구성되어 있다. 주요사양은 표 2와 같다.

표 2 적용된 풍력발전기의 주요사양  
Table 2 Applied wind power generation specifications

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 3은 Air-X 400W 모델의 풍속에 따른 출력특성곡선이다. 시동풍속은 3m/s이고, 20m/s가 정지풍속이다.

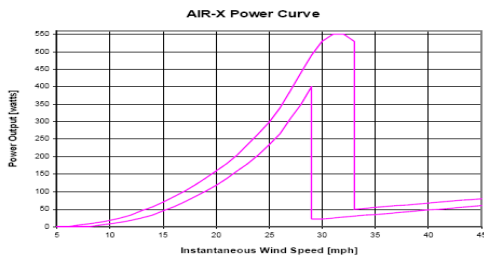


그림 3. 풍속에 대한 출력특성  
Fig. 3 Power characteristics for wind speed

### 2.1.3 에너지저장 장치 및 EDLC

태양광발전시스템의 배터리 용량산정에서 가장 중요한 요소는 부하의 크기와 태양전지가 발전하지 않는 기간동안 사용가능한 부일조일이다. 시스템의 배터리용량은 기상조건이 나쁘거나 계통의 이상시에도 정상적인 동작이 가능해야 한다. 국내 기상조건에서는 장마철이나 폭설의 영향이 있는 경우를 가장 긴 부일조일로 선정하는데 3~4일 이상 부일조일인 경우가 거의 없기 때문에 일반적으로 부일조일을 4일로 계산한다. 그러나 시스템의 안정성 확립과 고급사양의 시스템 설계 시에 부일조일을 7일로 산정하는 경우도 있다.

배터리를 100% 방전할 경우 배터리에 손상이 발생하여 고장의 원인이되므로 방전시에는 전체용량의 60~70%정도 방전량을 갖

도록 설계하여야 한다. 배터리용량산정은 부일조일과 배터리의 효율, 1일 소비전류량, 방전심도 및 배터리 여유도의 곱으로 식(1)과 같다.

$$W = b \cdot D \cdot O \cdot D \cdot i \cdot t_a \quad (1)$$

여기서,  $W$ 는 배터리 용량,  $i$ 는 부일조일,  $b$ 는 배터리효율,  $t_a$ 는 일일 사용전류량,  $D \cdot O \cdot D$ 는 배터리방전심도(0.6 ~ 0.7)이다.

1일 사용 전류량은 부하량과 사용시간을 감안하여 전압과 효율로 나눈 값이며 식 (2)와 같다.

$$i_a = \frac{W}{b \cdot t_a} \quad (2)$$

여기서,  $t_a$ 는 사용시간,  $b$ 는 배터리 전압,  $\eta$ 는 시스템효율,  $W$ 는 부하량을 의미한다. 실제배터리용량산출식은 식 (3)과 같다.

$$W = \frac{N \cdot i_a \cdot W_{load} \cdot t_a}{b \cdot \eta \cdot b \cdot D \cdot O \cdot D} \quad (3)$$

본 논문에서는 시스템의 동작전압 등 각각의 파라미터를 통해 슈퍼캐패시터 최적의 크기를 결정하게 된다. 결정과정을 총3단계로 구분하여 정리하면 다음과 같다.

Step 1. 기본 시스템 파라미터의 결정

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

Step 2. dV의 결정식에 따른 파라미터의 결정

$$\begin{aligned} dV &= V_w - V_{min} = 30 - 24 = 6 [V] \\ i &= \text{average current} \\ i_{max} &= \frac{Power}{V_{min}} = \frac{350}{24} = 14.59 [A] \\ i_{min} &= \frac{power}{V_{max}} = \frac{350}{30} = 11.6 [A] \\ i_{avg} &= \frac{(14.5 + 11.6)}{2} = 13 [A] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dt &= 0.2 [second] \\ C: \text{total stack capacitance} \\ V_{max} &= 30 [V], \text{ cell voltage} = 5.5 [V] \\ WELL \text{ of cells} &= \frac{30}{5.5} = 5.45 \approx 6 \end{aligned}$$

Step 3. C 값에 따라 dV값을 검토

$$C = i \times \frac{dt}{dV} = 13 [A] \times \frac{1}{6} = 2.1 [F]$$

Cell capacitance = 1F 이므로

# parallel = 13 (initially a single string)

# series = 6

$$C = \frac{1 [F]}{6} = 0.16 [F]$$

cell resistance = 0.05 [Ω]

$$\text{total stack resistance} = 0.05 [\Omega] \times 6 = 0.3 [\Omega]$$

$$\begin{aligned} dV &= i \times \frac{dt}{C} + i \times R = 13 [A] \times \frac{0.2}{0.16} + 26 \times 0.3 \\ &= 16.25 + 7.8 = 24.05 \end{aligned}$$

슈퍼캐패시터의 최적의 크기를 결정하기 위한 스텝을 통해 계산한 결과 최초 전압변동이 6[V]였으나, 슈퍼캐패시터의 최적용량

산정에 의해 2.4[V]가 나왔다. 허용전압강하의 75%이하 수준을 유지하고 있으므로 적절한 선정으로 판단되었다. 그림 3은 개발에 적용된 슈퍼캐패시터의 시간에 따른 변화율을 보여준다.

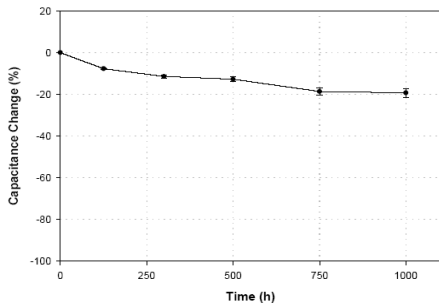


그림 4 시간에 따른 캐패시턴스의 변화율  
Fig. 4 Capacitance change rate according to time variation

## 2. 2 실험

본 논문에서는 슈퍼캐패시터를 적용한 태양광/풍력복합발전시스템을 구성하였으며 그림 5는 전체시스템의 회로도를 나타낸다. 또한, 그림 6은 각각 태양광 및 풍력발전의 출력전압과 전류특성을 나타내며 그림 7은 부하기동시 방전전압 및 전류를 나타낸다.

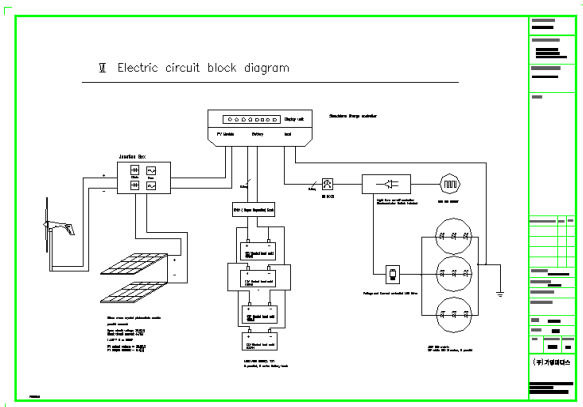


그림 5 복합발전시스템 회로도  
Fig. 5 Hybrid generation system circuit block diagram

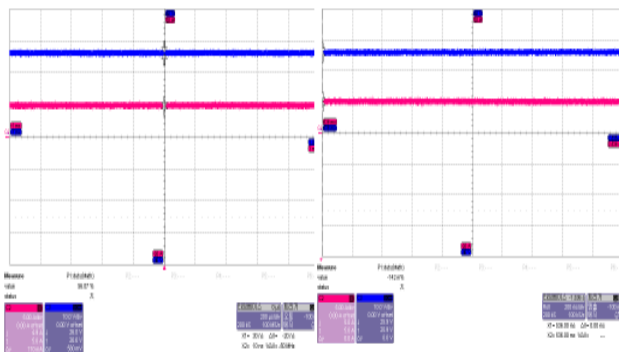


그림 6 태양광 · 풍력발전의 출력전압과 전류특성  
Fig. 6 Output voltage and Current characteristics of PV - Wind generation

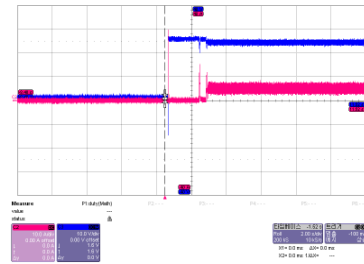


그림 7 부하기동시 전압과 전류파형  
Fig. 7 At load operation Voltage and Current waveform

그림 8은 실부하에 적용한 EDLC의 충방전특성을 보여준다. 한 개 그리드의 시간축은 400s로 7분에 가까운 시간으로 프로브 1번은 부하전류, 2번은 EDLC 양단의 전압, 3번은 EDLC에 공급되는 전류파형을 각각 나타낸다.

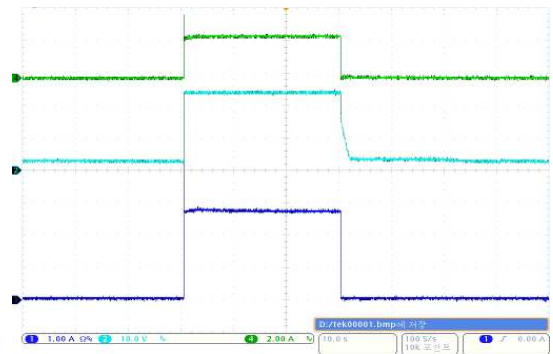


그림 8 실부하에 적용한 EDLC 충방전특성  
Fig. 8 Charging-discharging characteristics of EDLC applied to real load

## 3. 결 론

본 논문에서는 슈퍼캐패시터를 독립형 태양광/풍력복합시스템으로 구성하여 출력특성을 고찰하였다. 풍력에서 발전된 교류전력을 DC로 변환하여 태양광발전에서 출력된 DC전력과 공통 DC버스로 전달되도록 하였으며, 공통 직류단 병렬운전을 위해 출력전압을 태양광 26V, 풍력 25.9V로 일치시켰다. 또한, EDLC를 적용하여 발전된 전력의 배터리충전매체로 활용하여 시스템의 안정성을 높이고 충방전효율을 증가시켰다.

## 참 고 문 헌

- [1] 정명용 “신·재생에너지 전문가연수(태양광)”, 에너지관리공단, pp. 76 ~ 88, 2006.
- [2] 이재형의 “태양전지 원론”, 홍릉출판사, pp. 102 ~ 104, 2005.
- [3] Tomas Markvart, “Solar Electricity”, John Wiley & Son's, pp. 37, 2002.
- [4] H. J. Noh, D. Y. Lee, D. S. Hyun, “An Improved MPPT 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.