

# 도시형 태양광/풍력 복합발전의 보조 전력발생장치 개발에 대한 연구

박세준\*, 윤정필\*, 윤필현\*, 지운석\*, 임중열\*\*, 차인수\*  
\*동신대학교 전기전자공학과, \*\*남부대학교 컴퓨터전기공학과

## A Study on the Auxiliary Power Generator for Urban Photovoltaic/Wind Hybrid System

Se-Jun Park\*, Jeong-Phil Yun\*, Pil-Hyun Yoon\*, Woon-Seok Ji\*,  
Jung-Yeol Lim\*\*, In-Su Cha

\*Dept. of Electrical & Electronics Eng. Dongshin University

\*\*Dept. of Computer & Electronic Eng. Nambu University

### ABSTRACT

Photovoltaic and wind power generation have an advantage of unpolluted and unlimited amount of energy resource. Since there is such an advantage in these energies, But photovoltaic system and wind system cannot always generate stable output with ever-changing weather condition. In this paper, the auxiliary power generator for hybrid system(photovoltaic 500[W], wind power generation 400[W]) was suggested.

the auxiliary power generator that uses elastic energy of spiral spring to photovoltaic system was also added for present system. when output of photovoltaic system gets lower than 24[V], power was continuously supplied to load through the inverter by charging energy of spiral spring operates in DC generator.

### 1. 서론

화석 에너지 고갈 현상과 그 사용으로 인한 환경 오염문제를 해결하기 위해 대체에너지의 개발과 보급이 전 세계적으로 대두되고 있다. 수많은 대체에너지 중 효율성과 보편성을 고려하여 발전 가능성이 있는 대체에너지는 단연 태양광발전과 풍력발전을 꼽을 수 있다.

그러나 두 발전 방식은 에너지 밀도가 낮아 일사량, 온도, 풍속, 풍향, 계절 등 기상조건의 작은 변화에도 발전량의 편차가 심하고 출력이 불안정하여 상용전원과의 연계나 별도의 축전시설 혹은 발

전설비 없이 독립으로 사용하기에는 아직 부족함이 많다.

본 연구에서는 태양광/풍력 복합발전설비를 도시에 적용 가능하도록 발전설의 소요 면적이나 블레이드의 대형화에 따른 안전사고나 진동으로 인한 소음 등을 고려하여 각각 500W/400W 급으로 설계하였고, 태양광발전의 최적운전을 위해 승압형 초퍼를 이용한 컨버터에 MPPT 제어를 행했다. 또한 기상조건의 일시적인 변화로 인해 불안정한 출력을 나타내는 복합발전시스템에 스프링의 탄성에너지를 이용한 보조 전력발생장치를 추가적으로 설치하여 태양광과 풍력에너지가 부족하여 정상적인 발전을 할 수 없을 때 이 장치가 전력을 발생시켜 부하에 연속적이고 안정한 전력을 공급하도록 하였고 그 특성을 분석하였다.[1]-[2]

### 2. 에너지의 특성

#### 2.1 태양광발전 시스템

태양전지 시스템은 그 구조가 비교적 단순하기 때문에 발전설비에 대한 유지관리가 거의 필요 없고, 무한정한 에너지원인 태양에너지를 이용함에 따라 연료비가 필요 없고 규모나 기술 등을 고려할 때 설치가 비교적 용이하다. 태양 에너지의 양이 방대하다는 데에서 태양광발전 시스템의 또 다른 이점을 찾을 수 있다. 그러나 이와는 반대로 태양전지 시스템의 단점은 태양전지의 가격이 고가이고 외부 환경에 대한 영향이 크고 에너지밀도가 희박하여 태양모듈을 설치하는데 있어서 넓은 면적의 장소가 필요하며 자연 및 기상조건에 좌우되고, 1일 중에서도 빛의 방사 및 도달정도에 따라서 전기의 출력

량이 다르다. 또한, 태양전지에서 출력되는 형태가 직류이기 때문에 교류전원에는 반드시 인버터가 필요하다. 태양전지는 출력 전력을 축적하는 기능을 가지고 있지 않기 때문에 축전지와 같은 전력저장 시스템이 필요하다.

그림 1은 광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용한 태양전지의 등가회로를 보여주고 있다. 이상적인 경우, 광 투사시의 전압 전류 특성은

$$I = I_{Ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

이 되지만, 실제로는 직렬 저항  $R_S$ 와 병렬 저항  $R_{Sh}$ 가 가해져 그림 1과 같이 되고

$$I = I_{Ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{q(V + IR_S)}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{2} \quad (2)$$

가 된다. 여기서,  $I$ 는 출력전류,  $I_{Ph}$ 는 광전류,  $I_0$ 은 다이오드 포화전류,  $n$ 은 다이오드 상수,  $K$ 는 볼츠만 상수이고  $q$ 는 전자 1개의 전하이다. 이를 전압 전류 특성 곡선으로 나타내면 그림 3과 같이 된다.

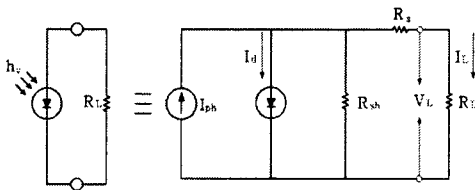


그림 1. 태양전지의 등가회로  
Fig. 1 Equivalent circuit of solar cell

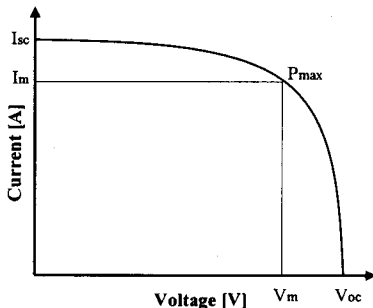


그림 2. 태양전지의 전압, 전류곡선  
Fig. 2. Voltage and current curve solar cell

그림 2에서 개방 전압  $V_{OC}$ , 단락전류  $I_{SC}$ , 곡

선인자  $FF$ (Fill Factor)등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련되는 파라미터로서, 우선 개방전압은

$$V_{OC} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{Ph}}{I_0} + 1\right) \quad (3)$$

이 되고, 단락전류는

$$I_{SC} = I_{Ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{qIR_S}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (4)$$

이 된다.

## 2.2 풍력발전시스템

풍력발전시스템의 경우 기계적인 에너지를 전달해 주는 전달장치의 효율  $\eta_m$ , 발전기의 효율  $\eta_g$ 를 포함하게 된다.

따라서 바람으로부터 얻을 수 있는 풍력발전시스템의 전기적인 에너지,  $P_e$ 는 다음과 같다.

$$P_e = C_p \eta_m \eta_g P_w = C_p \eta_m \eta_g \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad (5)$$

그러나, 실제 풍력발전시스템의 운전시에는 시스템의 기계적 관성, 마찰 및 전기적 손실 등에 의해 시동풍속  $V_c$  이상의 풍속에서만 시스템이 출력되고 정격풍속  $V_R$ 에서의 정격출력  $P_r$ 까지

$V^3$ 에 비례하여 출력이 나타나며, 그 이상의 풍속에서는 시스템의 출력이 일정하게 유지된다. 또, 중단풍속  $V_F$ 에서 시스템의 보호를 위해 출력을 멈추게 된다. 그림 3은 일반적인 풍력발전시스템의 출력 특성모델을 보이고 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 바람은 순간적으로 특성이 변하므로 바람으로부터 얻을 수 있는 에너지는 쉽게 구할 수 없다. Weibull 분포를 이용하여 바람으로부터 얻을 수 있는 평균 에너지양  $\overline{P_w}$ 는 다음과 같다.

$$\overline{P_w} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty V^3 P(V) dV \quad (6)$$

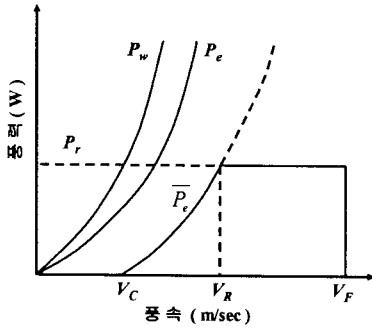


그림 3. 풍력발전기의 출력 특성

Fig. 3. Output characteristic of wind power generator

또한, 회전자의 동력계수, 기계적 전달효율 및 발전효율 등이 포함되어 있는 (5)에 의해서 풍력발전 시스템의 평균 풍력에너지  $\overline{P'_e}$ 는 다음 (7)과 같다.

$$\overline{P'_e} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^{\infty} C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \quad (7)$$

그러나, (7)에는 실제 시스템의 효율 등은 고려되었으나 평균 출력에너지에 영향을 미치는 시스템의 운전특성은 고려되어 있지 않으므로 실제의 시스템 운전특성을 모델화한 그림 1에 의해 풍력발전 시스템의 실제 평균 출력에너지  $\overline{P_e}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{P_e} = & \frac{1}{2} \rho A \int_{V_c}^{V_R} C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \\ & + \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g V_R^3 \int_{V_R}^{V_F} P(V) dV \\ & + \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g V_R^3 \int_{V_R}^{V_F} P(V) dV \end{aligned} \quad (8)$$

즉, 시동풍속  $V_c$ 에서 정격풍속  $V_R$ 까지는  $V^3$ 으로 증가하며, 동력계수 및 각 효율은 풍속  $V$ 와 회전자의 회전수에 관계하여 값이 결정되지만, 정격풍속  $V_R$ 에서 중단풍속  $V_F$ 까지는 그림 1에서 보인 모델과 같이 풍력에너지가 일정하게 유지되므로  $C_p \eta_m \eta_g V_R^3$ 의 값은 풍속  $V$ 에 무관하게 일정한 값을 갖게 된다.

### 3. 시스템의 구성

복합발전시스템의 구성은 태양광(500W), 풍력(400W), 그리고 복합발전 시스템으로부터 나오는 출력을 안정하게 해주는 컨버터, 부하로 들어가는 전력을 상용전원으로 변환하여주는 인버터, 마지막으로 본 논문에서 제안된 보조 전력발전장치로 구성되어 있다. 그림 4는 전체 시스템의 구성도이다.

태양광/풍력 복합발전시스템으로부터의 출력은 서로의 역전류를 방지하기 위한 다이오드를 통하여 제어회로로 전달된다. 마이크로프로세서(PIC16F84)를 사용한 제어회로에서는 기준전압과 비교하여 기준전압보다 출력이 높으면 컨버터와 인버터를 통하여 부하에 전력을 공급하고 DC 모터를 구동하여 스프링을 감다둔다. 만약 일시적인 기상조건의 변화로 출력이 기준전압보다 낮아지면 감아두었던 스프링이 풀리면서 DC 발전기를 구동하여 전력을 발생시킨다.

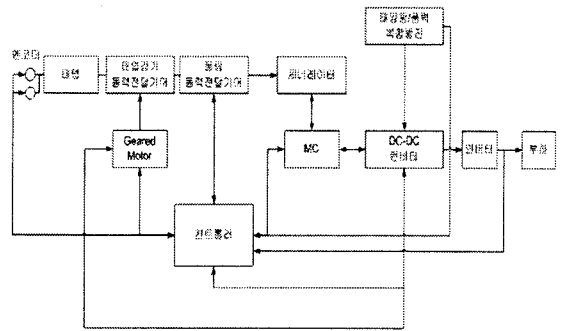


그림 4. 전체시스템의 블록선도

Fig. 4 Block diagram of system

스프링의 탄성에너지를 이용한 보조 전력발전장치는 DC 모터 (TD8025G-12, 12[V], 2.5[A], 25[W], 300[rpm])와 , 스프링(STC-5), 제어회로, 회전센서 등으로 이루어져 있다. 복합발전 시스템이 정상적으로 발전을 할 때 DC 모터를 이용하여 스프링을 감아 두었다가, 기상 조건의 변화로 출력이 기준전압인 24V보다 낮을 경우 스프링의 탄성 에너지를 이용하여 발전기를 구동시킨다. 표 1은 보조 전력발전장치의 사양이다.

표 1. 보조 전력발전장치의 사양

table 1. The specification of the auxiliary power generator

Maximum power	240[W]
Maximum voltage	24[V]
Maximum current	10[A]

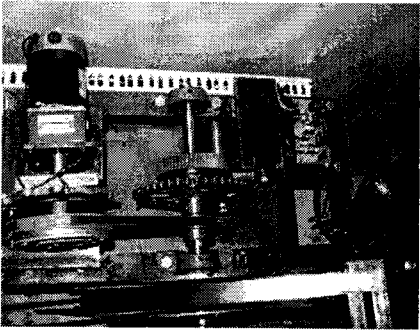
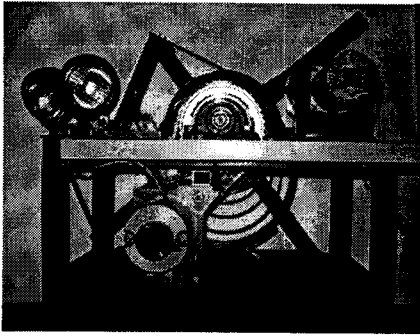


그림 5 보조 전력발생장치  
Fig. 5 The auxiliary Power generator

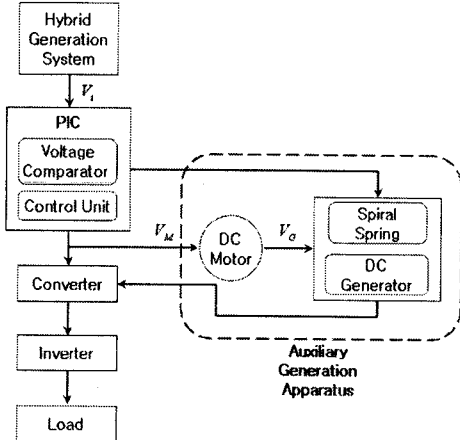


그림 6. 제어의 플로차트  
Fig. 6 Flowchart of control

#### 4. 시뮬레이션 및 실험

그림 9는 마이크로프로세서의 회로, 전원 공급장치, 복합발전시스템의 출력 단자, 비교기, DC 모터를 구동시키는 릴레이, 회전센서로 구성된 회로도이다. PIC와 비교기는 레귤레이터(7805)로부터의 출력 5V를 사용한다.

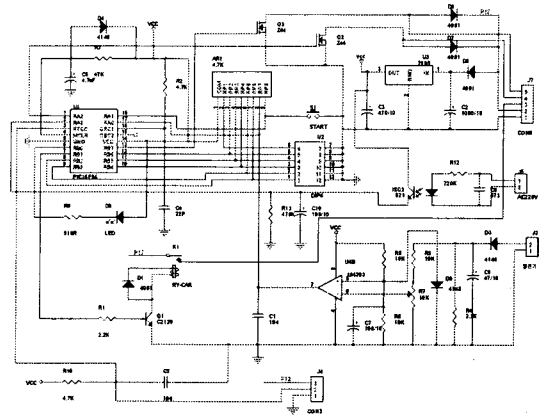


그림 7. 제어 회로도  
Fig.7 Control circuit

복합발전시스템은 출력이 불안정하기 때문에 안정적인 출력을 위해 컨버터가 필요하다. 본 논문에서는 높은 전류, 낮은 전압의 입력 특성을 갖고 있기 때문에 승압형 컨버터를 적용하였다. 또한 DC를 상용전원인 AC 220V로 변환하여주는 인버터의 회로도와 시뮬레이션 파형은 그림 9와 같다.

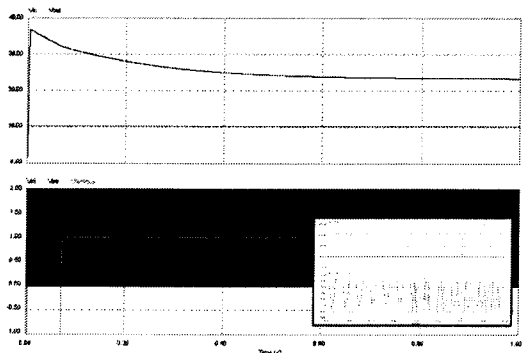
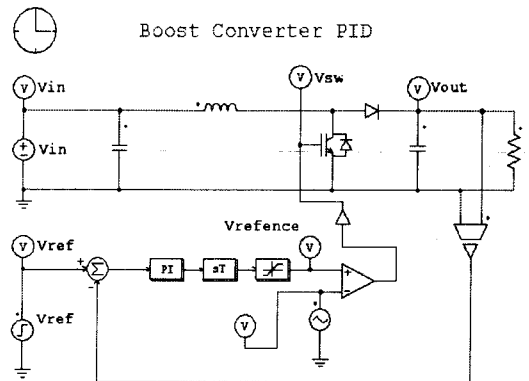


그림 8. PID제어 컨버터의 회로도와 시뮬레이션 파형  
Fig. 8. The circuit and waveform of the converter by PID control

## 5. 결론

본 연구에서 추가적으로 개발되어 설치된 태엽 스프링의 탄성에너지를 이용한 보조 전력발생장치는 태양광과 풍력발전시스템으로 이루어진 복합에너지 발전시스템의 출력이 24V 이상이 되면 보조 전력발생장치의 DC 모터를 동작시켜 소형발전기가 연결된 태엽 스프링을 감아 두었다가 각 시스템의 발전 출력이 24V 이하로 떨어지면 태엽 스프링의 탄성에 의한 회전에너지가 소형발전기를 구동하여 얻어진 전력을 인버터를 통하여 부하에 전력을 연속적으로 공급함을 확인 할 수 있었다.

현재의 보조 전력발생장치는 태양광/풍력 Hybrid 발전이 기상조건에 따라 정상적인 발전을 하지 못할 때 전력을 보상해주는 시간은 최대 약 10분 정도로 상용전원과의 연계, 축전시설, 보조 발전설비 등과 비교하여 신뢰도나 효율성을 떨어진다. 하지만 보조 전력발생장치에 쓰이는 스프링의 재질이 개선되어 탄성력이 월등히 좋아지거나, 스프링이 일정한 속도로 풀려서 안정한 출력을 낼 수 있도록 하는 기계적인 풀림 제어, 혹은 여러 개의 스프링을 병렬로 연계하여 순차적으로 풀리게 하면 전력을 보상해 주는 시간을 1시간 이상 늘릴 수 있다고 생각한다. 이 연구의 결과 도시보급형 중, 소형 태양광/풍력 복합발전기에 적용되어 대체에너지의 효과를 충분히 가질 수 있을 것으로 사료된다.

이 논문은 에너지관리공단 2002에너지학술진흥 2002-N-PV03-P-03-0-000에 의하여 연구되었음.

### [참고 문헌]

- [1] Jung-Yeol Lim, Byeong-Bok Kang, In-Su Cha. (2002) A Study on the Characteristic of the Combined Generation System by Solar and Wind Energy with Power Storage Apparatus for the Geographical Features. Journal of Power Electronics, Vol 2, No. 1, January 2002
- [2] Jeong Il Lee, Jang-Su Suh, Byeong-Bok Kang, In-Su Cha. (2002) Development of combined generation systems that power storage apparatus is applied. KIEE. Vol. 51P, No 4, DEC. 2002
- [3] 兵川圭弘, "太陽光發展入門", オーム社, 1981.
- [4] Dr. F. Lasnier, Tony Gan Ang, "Solar Photovoltaic Handbook", Energy Technology Division Asian Institute of Technology, 1988. Youkihiro Mori, (1987) "Methods for Estimating the Mean and the Standard Deviation of Wind Direction", Journal of Climate and Applied Meteorology, vol. 26, 1987.
- [5] 이춘식 외, "한·독 태양-풍력 복합발전에 관한 연구", 과학기술처, 2N418-3400-2, 1988.

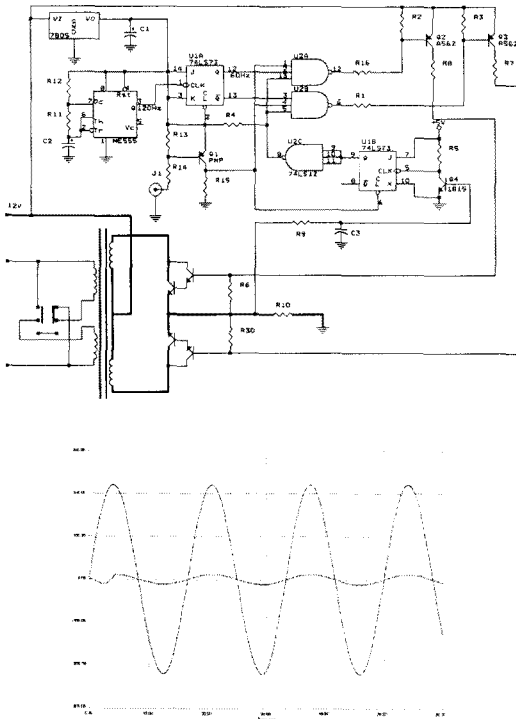


그림 9. 인버터의 회로도 및 시뮬레이션 파형  
Fig. 9. The circuit and the waveform of the inverter

표 2. 인버터의 사양

Table 2. The specification of inverter

Output voltage	AC 220 [V]
Output power	1 [kVA]
Output frequency	60 [Hz]
Type	PWM
Maximum efficiency	91 [%]

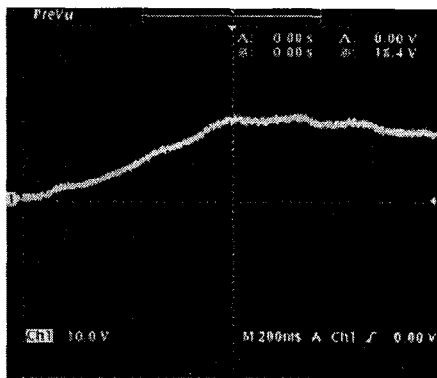


그림 10. 보조 전력발생장치의 출력파형  
Fig. 10. Waveform of the the auxiliary power generator