

동력저장장치를 이용한 풍력·태양광 복합발전시스템의 특성분석

임중열*, 이정일*, 정학수*, 차인수**

* 동신대학교 대학원 전기전자공학과

** 동신대학교 전기전자공학부

Analysis on the Operation Characteristic of the Combined Electric Power Generation System by Photovoltaic and Wind Energy with Power Storage Apparatu

Jung-Yeol Lim*, Jung-Il Lee*, Hak-Su Jung*, In-Su Cha**

* Dept. of Electrical & Electronics Eng. Graduate School of Dongshin Uni.

** Dept. of Electrical & Electronics Eng. Dongshin Uni.

ABSTRACT

Photovoltaic and wind power generation have an advantage of unlimited and unpolluted amount of energy resource.

In conventional wind generation systems, since the blade rotates at low speed when the velocity of wind decreases their operations are possible only under limited conditions.

Therefore they are in trouble of self-generation without the help of auxiliary generation devices outside.

The system driven by the wind force in this paper consists of a generator, an invertor, batteries and sets for power storage with a spring. In this paper, the operation characteristics of system were analyzed through experiments for a trial product.

1. 서 론

최근 한정된 자원과 심각한 환경 오염 문제에 대한 인식이 대두됨에 따라 대체 에너지 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 선진국을 포함한 여러 나라에서는 풍력, 태양광, 조력, 파력 등의 자연 에너지와 메탄올, Bio Gas 등을 포함한 환경 친화적인 에너지원의 개발 및 유효이용에 관련된 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 특히 풍력과 태양광은 미래의 에너지원으로서 각광을 받고 있는데 태양에너지와 풍력 에너지를 이용한 태양광 발전이나 풍력발전은 무한정, 청정에너지원이라는 장점으로 인하여 지속적인 연구가 이루어져 현재는 수 MW급의 대형 풍력발전시스템이 실용화 단계에 있는 실

정이다. 그러나 일사량, 온도, 풍속, 풍량 등의 기상조건의 변화에 따라 출력이 불안정하다는 단점을 가지고 있다.

현재 풍력발전기와 태양광을 이용한 복합발전 시스템이 실용화 단계에 있으나, 기후에 의존하는 발전방식 때문에 지속적인 에너지 생산은 불가능하다고 볼 수 있다. 그래서 어떤 기후 변화에도 연속적인 에너지를 얻을 수 있는 동력저장장치가 필요하다고 생각된다.

본 논문에서는 풍력에너지와 태양에너지를 결합 상호 보완효과를 갖는 풍력·태양광 복합발전시스템에 동력저장장치를 추가 구성하여 시스템의 동작특성을 분석하고자 한다.

2. 풍력에너지와 태양전지의 특성

2.1 풍력에너지 특성

풍력에너지의 크기는 바람의 속도와 밀접한 관계가 있다. 속도 v 로 통과면적 A 를 지나는 바람이 갖는 에너지의 총량은 다음과 같다.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho C_p v^3 A \quad (1)$$

여기서, P_w : 풍력 에너지 총량 [W]

v : 풍속 [m/sec]

C_p : 풍력시스템의 출력 계수

A : 통과면적 [m²]

ρ : 공기밀도[kg/m³]

그림 1은 일반적인 풍력발전시스템의 출력 특성모델을 보이고 있다.

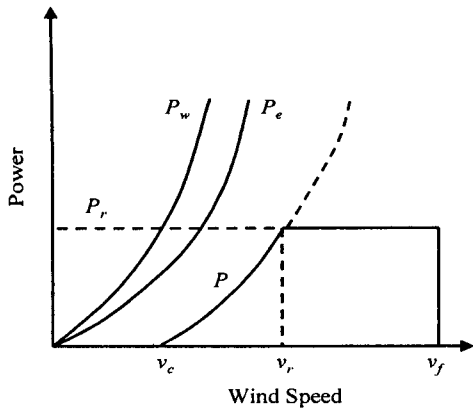


그림 1 풍력발전시스템의 출력 특성모델
Fig. 1 Output characteristic model of wind generation system

그림 1에 의해 풍력발전시스템의 실제 평균 풍력에너지 $\overline{P_e}$ 는 다음과 같다.

$$\overline{P_e} = \frac{1}{2} \rho A \int_{v_c}^{v_r} C_p \eta_m \eta_g v^3 P(v) dv + \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g v_r^3 \int_{v_r}^{v_f} P(v) dv \quad (5)$$

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, 정격 풍속 v_r 에서 중단풍속 v_f 까지는 그림 1에서 보인 모델과 같이 풍력 에너지가 일정하게 유지되므로 $C_p \eta_m \eta_g v_r^3$ 의 값은 풍속 v 에 무관하게 일정한 값을 갖게 된다.

2.2 태양전지 특성

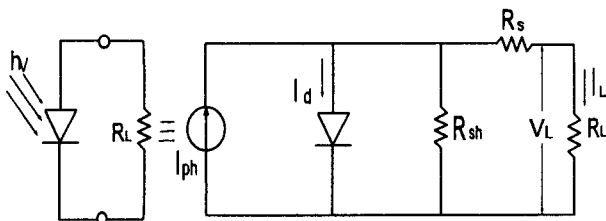


그림 2 태양전지의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of solar cell

그림 2는 광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용한 태양전지의 등가회로를 보여주고 있다. 이상적인 경우, 광 투사시의 전압 전류 특성은 그림 2와 같고, 등가식은 다음과 같다.

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

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.

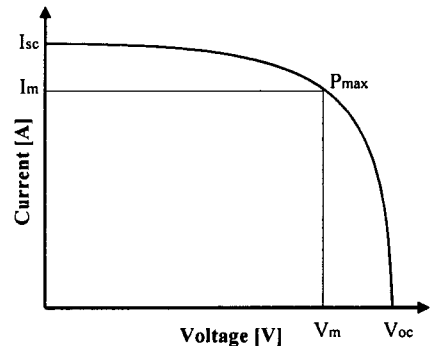


그림 3 태양전지의 전압, 전류곡선
Fig. 3 Voltage, current curve of solar cell

그림 3에서 개방 전압 V_{OC} , 단락전류 I_{SC} , 곡선인자 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

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

3. 복합발전시스템 구성

동력저장장치를 이용한 복합발전시스템은 기존의 복합발전시스템에 동력저장장치를 추가 설치함으로써 기후의 변화에 따라 태양광이나 풍력을 활용할 수 없을 경우 복합발전시스템에서 출력된 전압이 작아도 배터리에 충전된 전압을 연속적으로 사용할 수 있게 구성하였다. 그림 4는 동력저장장치를 추가 설치한 복합발전시스템의 구성도를 나타내고 있다.

태양을 이용한 동력저장장치는 시동풍속이 3[m/s]이하에서 동작하여 발전되는 소형발전기로 구성되었고 이 발전기에서 축전지를 충전을 시켜서 부하에 지속적인 전력을 공급하게 한다.

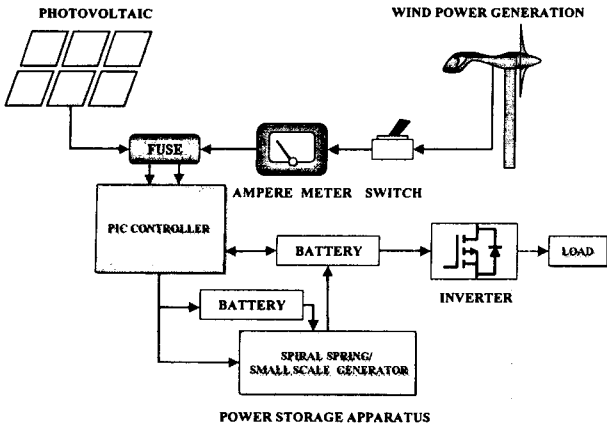


그림 4 복합발전시스템의 구성도
Fig. 4 Diagram of conventional generation system

복합발전시스템의 출력전압이 DC 12[V] 이상이 되면 배터리의 충전과 더불어 동력저장장치의 DC모터가 태엽을 감는 동작을 병행하면서 인버터를 통해서 부하를 작동시킨다. 반대로 DC 12[V] 미만이 되면 태엽이 풀리면서 소형발전기가 동작하여 축전지에 충전시켜서 부하를 작동시킨다.

그림 5는 동력저장장치를 이용한 복합발전 보상 시스템의 블록선도를 나타냈다. 입력전압 V_i 가 PIC에서 전압을 비교기에서 감지하여 DC 12[V] 이상이 되면 V_B 인 축전지에 충전과 동시에 V_M 인 DC 모터를 동작시켜 태엽을 감아두고 인버터를 통해서 부하를 작동시킨다. 그리고, V_B 인 축전지의 전압이 12[V]미만으로 떨어지거나 풍속이 작으면 태엽이 풀리면서 V_G 인 DC Generator가 동작하여 출력된 전류가 V_B 인 축전지에 충전시키면서 부하에 공급된다.

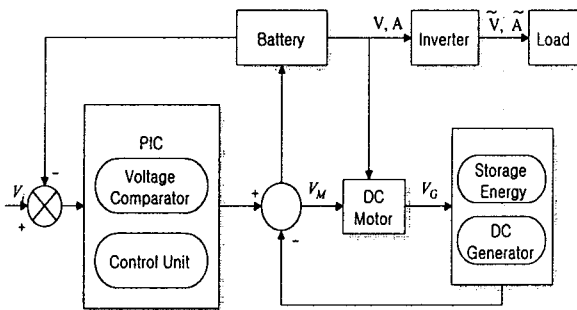


그림 5 제안된 시스템의 블록선도
Fig. 5 Block diagram of the proposed system

동력저장장치로는 태엽을 이용하고 있으며 그림 7은 동력저장장치를 이용한 복합발전시스템의 동력저장장치부를 보여주고 있다.

태엽 구동부는 DC Motor(TD8025G-12, 12[V], 2.5[A], 25[W], 300[rpm])와 Gear Motor(S8KA60B, 50[rpm])로 구성됐으며, 제어부는 PIC(Peripheral Interface Controller)를 적용하여 제어프로그램에 의해 풍력에너지나 태양광 에너지중 출력 상태가 좋은 발전 시스템을 이용하게 되고 기상 조건이 불안정하게되어 이 두 발전 시스템을 이용하지 못할 경우에는 동력저장장치를 이용하게 된다. 또한, 충방전 제어회로의 감지도 하게된다. 풍력 발전기에서 12[V] 이하의 전압이 출력되면 제어부에서 감지하여 태엽을 풀어 소형 발전기(15[V], 2[A])를 동작시키며 여기서 출력된 전압으로 축전지를 충전시킨다. 태엽이 다 풀리면 제어부에서 감지하여 다시 태엽을 감아둔다.

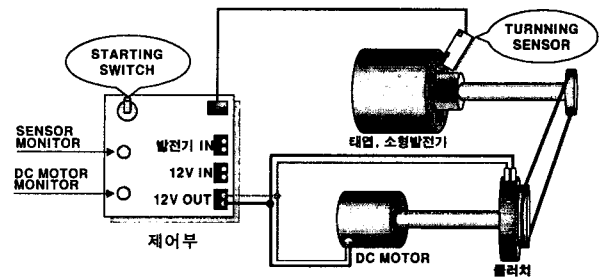


그림 6 복합발전시스템의 동력저장장치부
Fig. 6 Conventional generation system by power storage apparatus

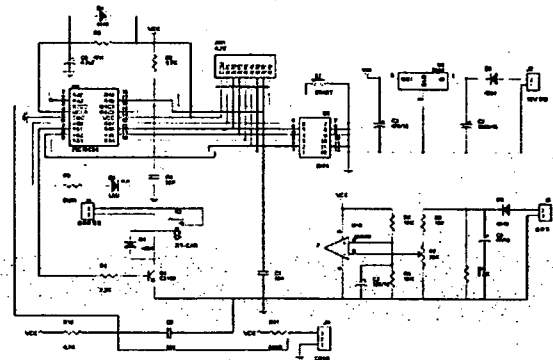


그림 7 제어회로
Fig. 7 Control circuit

그림 7은 제어회로를 나타내며 Onechip 마이크로프로세서인 PIC(Peripheral Interface Controller; PIC16C54)을 사용하여 회로 구동용 전원부, 발전기에서 출력되는 입력 전원부, 비교기, DC 모터를 구동할 수 있는 릴레이 그리고 회전수를 감지하기 위한 센서로 구성되어 있다.

축전지의 전원부에서는 12[V]가 입력되므로 레귤레이터인 7805를 사용하여 PIC과 비교기인 LM393 전원은 5[V]를 사용하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

그림 8은 풍속의 변화에 따른 풍력발전기의 출력 파형을 나타내고 있다. 풍속이 증가함에 따라 전압이 변화함을 볼 수 있다.

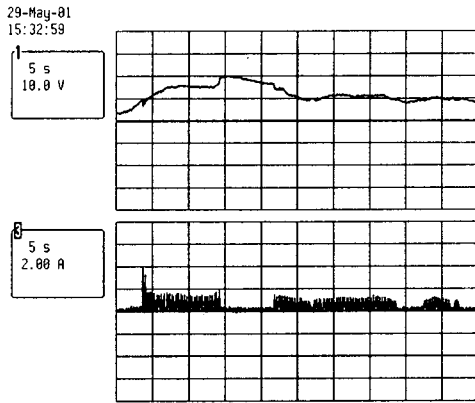


그림 8 풍력발전기 운전전압, 전류 파형
Fig. 8 Operating voltage and current wave of wind power generator

그림 9는 태양광발전시스템의 구름이 없는 등의 기상 조건이 좋았을 때의 출력 전압, 전류파형을 보여주고 있는데 다른 여러 가지 기상조건이 좋지 않았을 때와 비교해 보았을 때 기상조건이 좋을 경우에는 비교적 안정된 특성을 보여주었다.

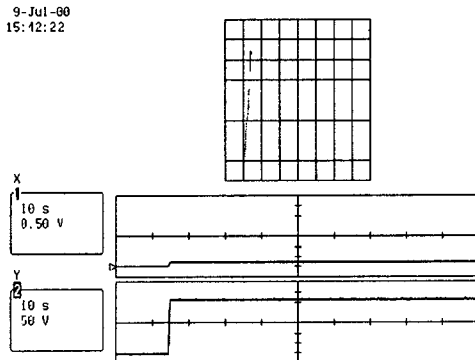


그림 9 태양광발전기의 운전전압
Fig. 9 Operating voltage photovoltaic system

그림 11은 복합발전기의 시동 전압, 전류 파형을 보여주고 있다.

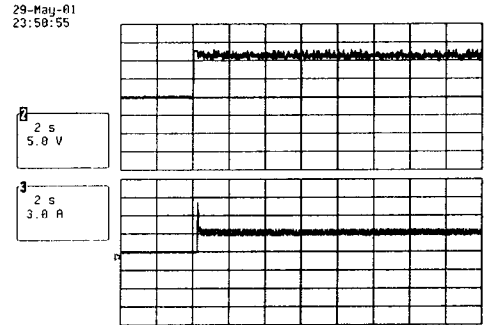


그림 10 복합발전기의 시동 전압, 전류 파형
Fig. 10 Starting voltage, current of conventional generation system

그림 11은 부하 상태 인버터의 전압, 전류 파형과 전력계적을 보여주고 있다. 여기에서, 인버터 입력은 12[V]이고, 부하는 220[V], 200[W]이다.

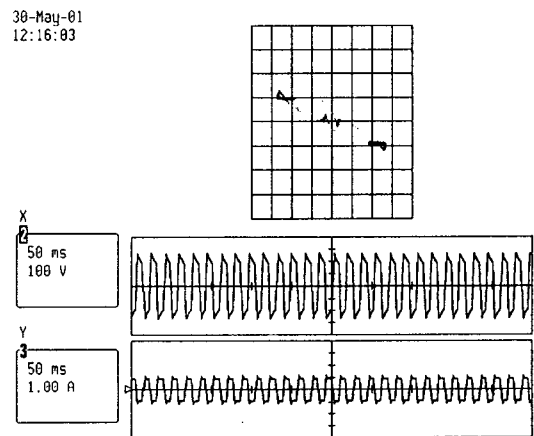


그림 11 부하 상태 인버터의 출력 전압, 전류
Fig. 11 Output wave for a load of inverter

그림 12는 소형발전기의 무부하 상태의 출력 전압을 보여주고 있다. 실험 결과 동력저장장치가 작동하여 소형발전기에서 출력된 전압과 전류로 축전지에 충전할 수 있는 에너지를 얻을 수 있었다.

29-May-01
0:21:48

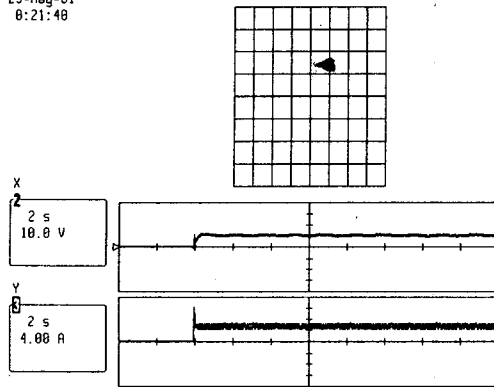


그림 12 무부하시 소형발전기의 출력 전압, 전류 파형

Fig. 12 Output wave for a unload of power storage device

그림 14는 운전 중인 복합발전기와 소형발전기 구동특성을 나타내는 전압 파형으로써 복합발전기의 출력이 12[V] 이하가 되면 소형발전기가 동작하는 상태를 알 수 있다.

30-May-01
4:14:11

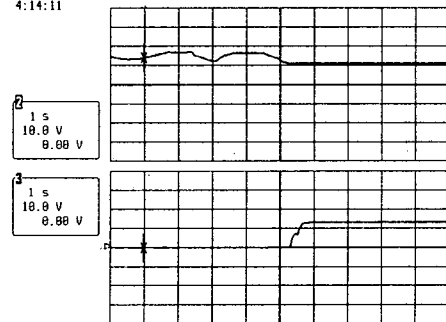


그림 13 복합발전기와 소형발전기의 구동특성 전압 파형
Fig. 13 Wave of output voltage from conventional system and small scale generator

본 시스템의 소형 발전기는 복합발전기의 출력 전압이 12[V] 이상이 되면 DC 모터가 동작하여 소형발전기에 연결된 태엽을 감아두었다가 출력 전압이 12[V] 이하로 떨어지면 태엽이 풀리면서 소형발전기가 동작된다. 이때 DC 모터가 동작되는 시간은 약 2분 정도이고 태엽이 풀리는 시간은 2시간 정도이므로 DC 모터를 동작시켜 태엽을 감을 때의 에너지 보다 태엽이 풀리면서 소형발전기가 동작하여 얻어진 에너지의 효율이 더 크다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

기존의 풍력발전시스템은 풍속이 감소되면 블레이드가 저속으로 회전하기 때문에 보조발전의 도움이 없이는 자가 발전이 어려워져서 한정된 풍속 조건에서만 작동이 가능하며, 풍속의 특성 때문에 풍력에너지의 이용효율이 대부분 매우 낮다는 문제점이 있다. 마찬가지로 태양광 발전시스템도 낮은 변환효율과 일사량이나 온도에 따라 변화하는 등의 날씨에 민감하게 반응하며 태양전지 제조업체마다 특성이 각각 다르기 때문에 이와 같은 종래의 문제점을 해결 할 수 있으며 지역이나 지형에 크게 구애됨이 없이 시스템을 운용할 수 있도록 동력저장장치를 추가함으로써 태양광이나 풍속의 저하로 출력이 적어지면 소형발전기를 동작시켜 얻어진 에너지를 축전지에 저장하여 부하에 전력을 연속적으로 공급하게 한다.

본 논문에서 제안된 동력저장장치를 이용한 복합발전 보상시스템은 실험결과 풍속이 3[m/s] 이하인 경우에도 동력저장장치가 작동하여 소형발전기에서 출력된 에너지를 축전지에 축전시켜 지속적인 에너지를 부하에 공급할 수 있었다. 향후 실증 실험 연구에 적용함으로써 일반 가정, 도서 벽지 및 오지의 소규모 전력수요처에 보급하여 청정에너지 효율적인 이용에 이바지하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 유권종의, "전력 Peak Cut를 위한 주택용 태양광발전 시스템의 에어컨개발", 한국에너지기술연구소 보고서, 1994.
- [2] Z. Salameh, D. Taylor, "Step-Up Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays", Solar Energy, Vol. 44, No. 1, pp. 57~61, 1990.
- [3] 정연택외, "마이크로프로세서를 이용한 태양광發電 시스템의 最大出力 追跡制御 方式", '93 전력전자 연구 발표회, pp. 90~94, 1993.
- [4] Randall C. Maydew and Paul C. Kimas. "Aerodynamic performance of vertical and horizontal axis turbine". J. of Energy(USA), vol 5, no. 3, pp. 189~190, 1981.
- [5] De Vries, "Fluid Dynamic Aspect of Wind Energy Conversion, Advisory Group for Aerospace Research & Development", AGARD-AG-243, 1979.
- [6] 이춘식 외, "한·독 태양-풍력 복합발전에 관한 연구", 과학기술처, 2N418-3400-2, 1988.