

Development of combined generation systems that power storage apparatus is applied

李 廷 日* · 徐 將 守** · 姜 秉 福*** · 車 仁 洙§
(Jeong-Il Lee · Jang-Soo Seo · Byung-Bog Kang · In-Su Cha)

Abstract - The developments of the solar and the wind power energy are necessary since the future alternative energies that have no pollution and no limitation are restricted. Currently power generation system of existing problems, combined generation system of photovoltaic(400W) and wind power generation system(400W) was suggested. It combines wind power and solar energy to have the supporting effect from each other. However, weather condition, power compensation device that uses elastic energy of spiral spring to combined generation system was also added for the present study. In an experiment, when output of system gets lower than 12V(charging voltage), power was continuously supplied to load through the inverter by charging energy obtained from generating rotary energy of spiral spring operates in small scale generator

Key Words : combined generation system, power storage apparatus, elastic energy, spiral spring

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, 바이오 가스, 등을 포함한 환경 친화적인 에너지원의 개발 및 유효 이용에 관련된 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 특히 풍력과 태양광은 미래의 에너지원으로서 각광을 받고 있는데 태양에너지와 풍력에너지를 이용한 태양광 발전이나 풍력발전은 무한정, 청정에너지원이라는 장점으로 인하여 지속적인 연구가 이루어져 현재는 수MW급의 대형 풍력발전시스템이 실용화 단계에 있는 실정이다. 그러나 일사량, 온도, 풍속, 풍량 등의 기상조건의 변화에 따라 출력이 불안정하다는 단점을 가지고 있다. 현재 풍력과 태양광을 이용한 복합 발전 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[1]~[6].

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

2. 에너지의 특성

2.1 풍력에너지의 특성

풍력에너지의 크기는 바람의 속도와 밀접한 관계가 있다. 속도 V 로 통과면적 A 를 지나는 바람이 갖는 에너지의 총량은 다음과 같다[6].

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

여기서, P_w : 풍력 에너지 총량(운동에너지) [W], V : 풍속 [m/sec], C_p : 풍력시스템의 동력 계수, A : 통과면적 [m^2], ρ : 공기밀도 [kg/m^3]

회전자에서 발생하는 기계적인 에너지의 양은 회전자의 동력계수에 의해 좌우된다. 풍력발전시스템의 경우 기계적인 에너지를 전달해 주는 전달장치의 효율 η_m , 발전기의 효율 η_g 를 포함하게 된다. 따라서 바람으로부터 얻을 수 있는 풍력발전시스템의 전기적인 에너지, P_e 는 다음 식 (2)와 같다[4]~[5].

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

그러나, 실제 풍력발전시스템의 운전시에는 시스템의 기계적 관성, 마찰 및 전기적 손실 등에 의해 시동풍속 V_c 이상의 풍속에서만 시스템이 출력되고 정격풍속 V_R 에서의 정격 출력 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 1은 일반적인 풍력발전시스템의 출력 특성모델을 보이고 있다.

* 正 會 員 : 松源大學 Digital電氣情報科 專任講師 · 工博

** 正 會 員 : 松源大學 Digital電氣情報科 助教授 · 工博

*** 正 會 員 : 東新大學 電氣電子工學科 博士課程

§ 正 會 員 : 東新大學 電氣電子工學科 助教授 · 工博

接受日字 : 2002年 10月 24日

最終完了 : 2002年 12月 13日

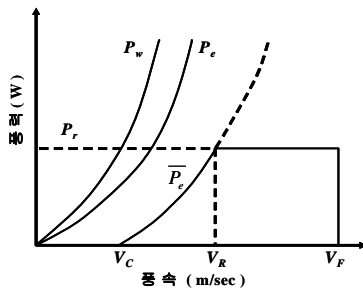


그림 1. 풍력발전기의 출력 특성
Fig. 1. Output characteristic of wind power generator

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.

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

또한, 회전자의 동력계수, 기계적 전달효율 및 발전효율 등이 포함되어 있는 식 (2)에 의해서 풍력발전시스템의 평균 풍력에너지 $\overline{P_e}$ 는 다음 식 (4)와 같다.

$$\overline{P_e} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \quad (4)$$

그러나, 식 (4)에는 실제 시스템의 효율 등은 고려되었으나 평균 출력에너지에 영향을 미치는 시스템의 운전특성은 고려되어 있지 않으므로 실제의 시스템 운전특성을 모델화한 그림 1에 의해 풍력발전시스템의 실제 평균 출력에너지 $\overline{P_e}$ 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 종단풍속 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[6].

2.2 태양에너지의 특성

태양전지 시스템은 그 구조가 비교적 단순하기 때문에 다른 시스템 방식에 비하여 점검·보수가 용이하다는 장점을 가지고 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 출력량이 다르다. 또한, 태양전지에서 출력되는 형태가 직류이기 때문에 교류전원에는 반드시 인버터가 필요하다. 태양전지는

출력 전력을 축적하는 기능을 가지고 있지 않기 때문에 축전지와 같은 전력저장시스템이 필요하다[1]~[3].

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

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (6)$$

이 되지만, 실제로는 직렬 저항 R_S 와 병렬 저항 R_{Sh} 가 가해져 그림 2와 같이 되고, 식 (6)은

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_S)}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{2} \quad (7)$$

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.

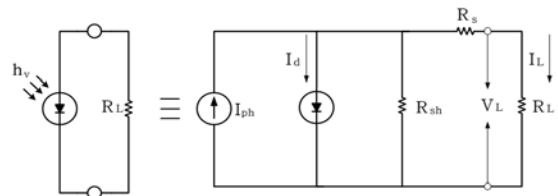


그림 2. 태양전지의 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of solar cell

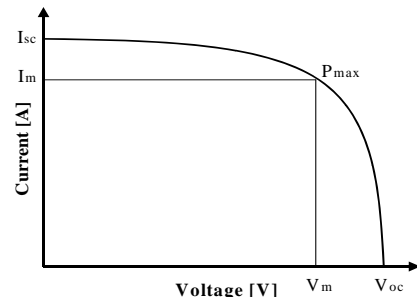


그림 3. 태양전지의 전압-전류 곡선
Fig. 3. Voltage-current curve of solar cell

그림 3에서 개방 전압 V_{OC} , 단락전류 I_{SC} , 곡선인자 FF (Fill Factor) 등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련된 파라미터로서, 우선 개방전압은

$$V_{OC} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \quad (8)$$

이 되고, 단락전류는 식(9)와 같다.

$$I_{SC} = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qIR_S}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (9)$$

2.3 탄성에너지의 특성

탄성은 복원력의 결과로서 안정된 상태의 특성이다. 즉, r_o 를 평형상태의 크기(길이), $x(=r - r_o)$ 을 늘어난(또는 줄

어든) 길이라고 할 때

$$F \propto -(r-r_0) \tag{10}$$

이다. 비례상수로서 스프링 상수 k 를 도입하여

$$F = -kx \tag{11}$$

라고 표시한다. 즉, 힘이 어느 값 이하일때, 물체의 변형량은 힘의 크기에 비례한다. 이 법칙이 성립되는 힘의 한계값을 비례한계라고 한다. 비례한계의 크기는 탄성 한계값과 거의 같은데, 어느 쪽이 큰가는 물질에 따라 다르다. 다만 주철이나 구리 등에는 후의 법칙이 성립되지 않으므로 비례한계는 존재하지 않는다. 힘을 받아 일시적으로 변형되고 있는 물체는 밖으로부터의 힘을 잠재적 에너지로 저장하고 있는 상태에 있다. 즉, 변형하고 있는 탄성체는 위치에너지를 가지게 되고 이것을 탄성에너지라 한다. 이러한 탄성 에너지를 이용해 발전기를 구동하게 된다. 에너지를 방출하는 비율은 사용 매개변수에 의해 결정된다. 또한, 늘려진 스프링이 퍼지면서 일을 하게 되므로 늘려진 스프링에는 일을 할 수 있는 능력 즉, 위치에너지가 저장되어 있다고 할 수 있다. 이 탄성(위치)에너지는

$$U = - \int F dx = \int kx dx = \frac{1}{2} kx^2 \tag{12}$$

라고 표시된다

그림 4는 스프링의 평형위치 부근에서의 $U = \frac{1}{2} k(r-r_0)^2$ 형태의 근사 위치에너지와 온도가 높아질 때 열팽창 특성을 설명해주는 스프링의 비대칭적인 위치에너지를 보여주고 있다.

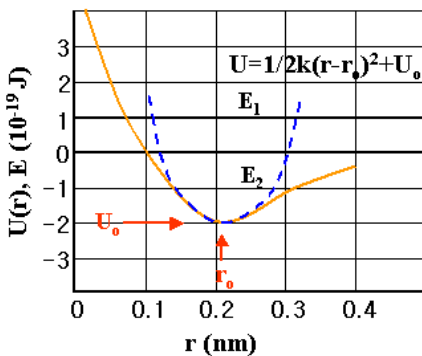


그림 4. 스프링의 에너지 특성
Fig. 4. Energy characteristic of spiral spring

3. 복합발전시스템의 구성

태양광이나 풍력에너지원은 DC/DC 배터리 충방전기에 의해 배터리로 충전 또는 방전되고 DC/AC 단상 인버터에 의해 사용전원으로 변환이 된다. 복합발전시스템의 충방전회로의 구성도는 그림 5와 같다.

충전회로는 복합발전시스템에서 나오는 DC전압이 12V 이상이 되면 부하에 연결된 축전지에 충전이 되는데 축전지에 충전된 전압이 13.5V가 되면 충전이 완료되어 자동으로 충전 전압이 차단되는 충전회로이며 제너다이오드와 1kΩ 가변저항으로 충전 전압값을 설정할 수 있다.

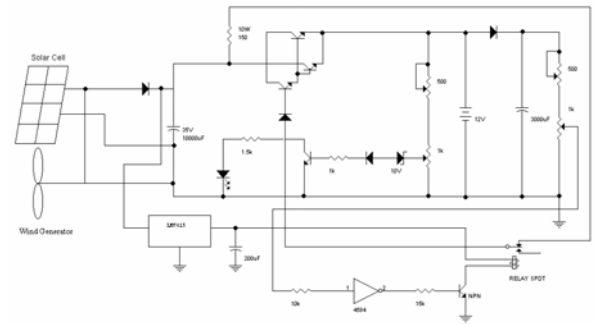


그림 5. 충방전 제어회로의 구성도
Fig. 5. schematic of charge-discharge control circuit

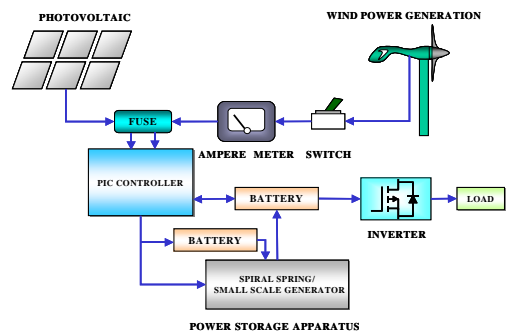


그림 6. 복합발전시스템의 구성도
Fig. 6. Block diagram of combined generation system

설정된 값의 전압이 축전지에 충전이 완료되면 슈미트 트리거에 의하여 트랜지스터가 동작하여 릴레이 접점이 떨어져 축전지의 충전이 자동으로 멈추게 되는 회로이다. 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 6은 동력저장장치를 추가 설치한 복합발전시스템의 구성도를 나타내고 있다.

여기서, 풍력발전기는 정격출력=400[W], 전압=DC12 [V], 시동풍속=3[m/sec], 정격풍속=12.5[m/sec]이고 태양광 어레이는 50[W] 태양전지 모듈 8개를 병렬 연결하여 최대출력=400[W], 전압=17.1[V], 전류=2.93[A]로 구성하였다. 에너지발생시스템의 출력은 15[V], 2[A]이다.

에너지발생시스템은 태양광과 풍력발전기의 출력이 DC 12[V]이하가 되었을 경우에 동작하며, DC 12[V] 이상이 되면 DC모터를 통해서 태엽을 감아두게 된다.

즉, 입력측의 전원이 낮아졌을 때 에너지발생시스템을 통하여 이것을 보상해주는 것이다. 인버터는 출력이 185[W]로써 입력전압은 DC 12[V]이고 출력전압은 AC 230[V], 주파수는 60[Hz], 효율은 80%이다. 축전지는 12[V], 200[AH]로써 2개를 병렬로 연결하여 구성하였다.

그림 7은 동력저장장치를 이용한 복합발전 보상 시스템의 블록선도를 나타냈다. 입력전압 V_i 가 PIC에서 전압을 비교

기에서 감지하여 DC 12[V] 이상이 되면 VB인 축전지에 충전과 동시에 VM인 DC 모터를 동작시켜 태엽을 감아두고 인버터를 통해서 부하를 동작시킨다. 그리고, VB인 축전지의 전압이 12[V]미만으로 떨어지거나 풍속이 작으면 태엽이 풀리면서 VG인 DC Generator가 동작하여 출력된 전류가 VB인 축전지에 충전시키면서 부하에 공급된다.

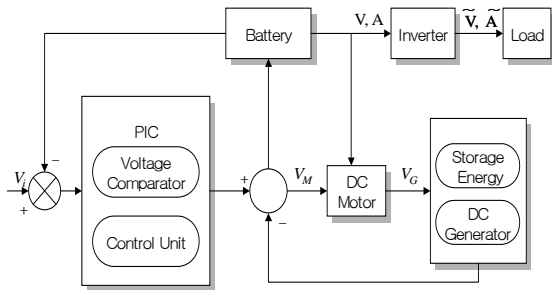


그림 7. 시스템의 블록선도
Fig. 7. Block diagram of system

복합 발전기는 페루프 시스템으로 운전되기 때문에 무인 운전이 가능하고 시스템을 스스로 보호할 수 있는 안전 장치로서 전기제어 시스템은 안전하게 운전 될 수 있도록 설계하였다. 동력저장장치로는 태엽을 이용하고 있으며 그림 8은 동력저장장치를 이용한 복합발전시스템의 동력저장장치부를 보여주고 있다. 태엽은 제어부의 신호에 따라 DC Motor(TD8025G-12, 12[V], 2.5[A], 25[W], 300[rpm]), Gear Motor(S8KA60B, 50[rpm])가 동작하여 태엽이 풀리거나 감긴다. 복합발전기의 출력 전압이 DC 12[V] 이상이 되면 제어부에서 감지하여 축전지를 충전시키고 충전된 축전지는 인버터에 의하여 부하를 동작시킨다.

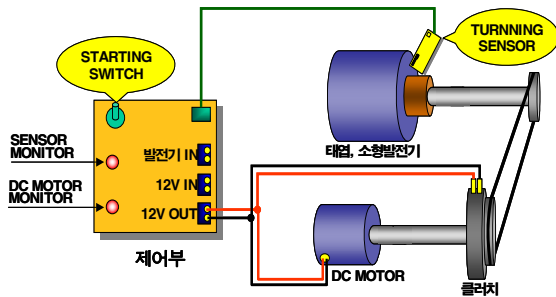


그림 8. 복합발전시스템의 동력저장장치부
Fig. 8. Power storage apparatus of combined generation system

제어부는 PIC(Peripheral Interface Controller)를 적용하여 제어프로그램에 의해 풍력에너지나 태양광 에너지중 출력 상태가 좋은 발전 시스템을 이용하게 되고 기상 조건이 불안정하게되어 이 두 발전시스템을 이용하지 못할 경우에는 동력 저장장치를 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 감아둔

다. 그림 9은 제어회로를 나타내며 Onechip 마이크로프로세서인 PIC(Peripheral Interface Controller; PIC16C54)을 사용하여 회로 구동용 전원부, 발전기에서 출력되는 입력 전원부, 비교기, DC 모터 구동부, 회전수를 감지하기 위한 센서부로 구성되어 있다.

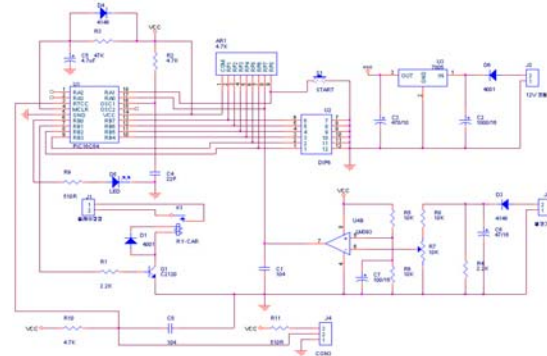


그림 9. 제어회로
Fig. 9. Circuit of control

4. 실험 및 결과 검토

그림 10은 동력저장장치의 실제 구성을 보여주고 있다. 복합발전시스템에서 출력된 전력을 충전하는 축전지와 동력저장장치인 태엽과 소형발전기 그리고 태엽을 감을 수 있는 DC 모터와 기어 모터, 제어부로 구성되어 있으며 제어부는 복합발전시스템에서 출력된 전력이 12[V]이하로 낮아지면 동력저장장치가 동작하여 소형발전기로부터 축전지에 에너지를 공급할수 있도록 한다.

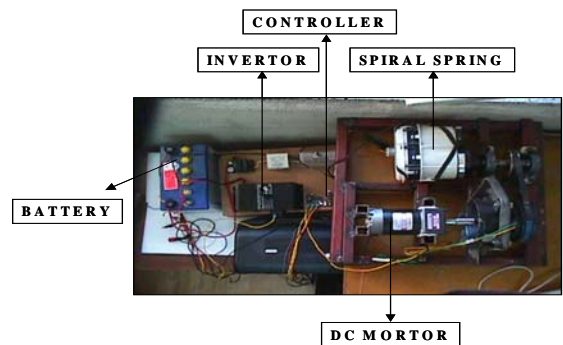


그림 10. 동력저장장치부의 사진
Fig. 10. Photograph of power storage apparatus

그림 11은 동력저장장치의 출력 전압을 보여주고 있다. 실험 결과 동력저장장치에서 출력된 전압과 전류로 축전지에 충전할 수 있는 에너지를 얻을 수 있었다. 동력저장장치에 축전지를 연결하였을 때의 전압 12V, 전류 3A가 출력됨을 보여주고 있다. 발전기의 출력 단에 다이오드를 설치함으로써 발전기보다 축전지의 출력이 더 크으로써 생기는 역출력을 방지했다. 그림 12는 에너지 발생시스템의 구동특성을 보여주고 있다. 에너지발생시스템은 복합발전기의 출력 전압이 12[V] 이상이 되면 DC 모터가 동작하여 소형발전기에 연

결된 태엽을 감아두었다가 출력 전압이 12[V] 이하로 떨어지면 태엽이 풀리면서 소형발전기가 동작된다.

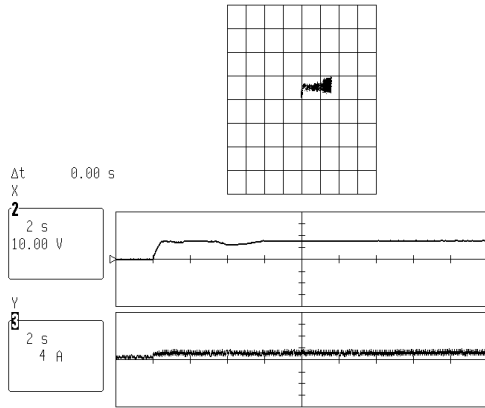


그림 11. 동력저장장치의 출력 전압, 전류
 Fig. 11. Output voltage and current of power storage apparatus

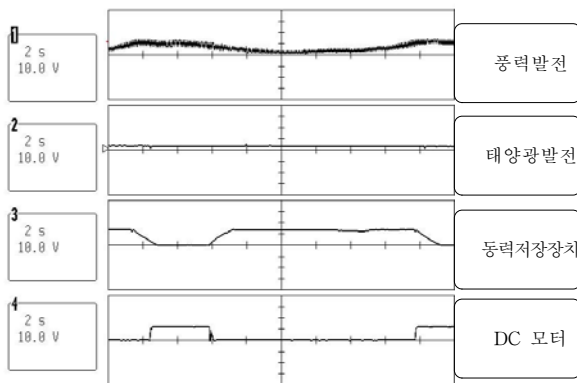


그림 12. DC 모터의 구동 특성
 Fig. 12. Driving characteristic of DC motor

이때 DC 모터가 동작되는 시간은 약 2분 정도이고 태엽이 풀리는 시간은 30~40분 정도이므로 DC 모터를 동작시켜 태엽을 감을 때의 에너지 보다 태엽이 풀리면서 소형발전기가 동작하여 얻어진 에너지의 효율이 더 크다는 것을 알 수 있다. 그림 13은 하루동안 전체시스템의 출력 특성을 보여주고 있다. 여기에서 각 과정은 위에서부터 태양광발전, 풍력발전, 에너지발생시스템, 전체 출력을 나타낸다.

기상 특성에 의하여 태양광발전은 낮동안에만 동작하고 풍력발전기는 불규칙적인 발전을 보여주고 있으며 부족한 발전을 에너지발생시스템을 통하여 보상해주고 있다. 그림 11에서 언급한 것처럼 현재 동력저장장치의 용량의 한계성 때문에 보상값은 미소하지만 전체 출력을 향상시키고 있음을 알 수 있고 용량을 증대시킨다면 전체출력은 크게 향상 될 것이다.

6. 결론 및 향후과제

기존의 태양광발전과 풍력발전을 연계한 복합발전시스템은 일사량이나 풍량과 같은 기상조건에 의한 제한을 최소화하여

전력 공급의 시간을 최대화하고 효율을 향상시키고 있으나, 근본적인 문제에 대한 해결책을 제시하지는 못했다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 동력저장장치를 제시하여 전력보상 역할을 수행하였으며 그 특성을 검토하고 타당성을 살펴보았다. DC 모터를 구동하는 시간은 2분이고 출력 시간은 약 30~40분 정도이기 때문에 에너지 변환효율이 크다는 것을 알 수 있고 전체 출력의 향상을 가져왔음을 확인할 수 있었다. 향후과제로써, 본 논문에서 제안된 에너지발생시스템을 소규모로써 상용부하에 적용하기는 아직 미흡하기 때문에 용량확장을 위한 설계나 직병렬 운전 설계를 통해 출력용량을 확장하고자 한다.

더불어 현재의 출력효율 향상을 위하여 여러 가지 비선형적인 변수에 의한 성능의 저하를 효과적으로 개선하기 위하여 퍼지나 신경망과 같은 인공지능 알고리즘을 제어부에 적용해야만 한다.

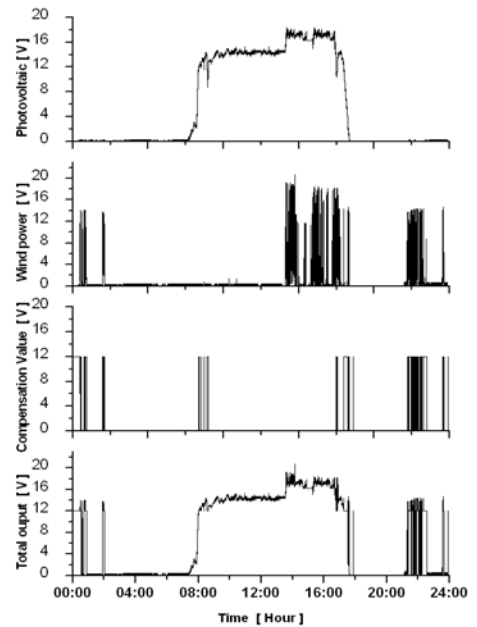


그림 13. 전체시스템의 출력 특성
 Fig. 13. Output characteristic of system

감사의 글

본 논문은 에너지관리공단의 에너지 학술진흥과제 (2002-N-PV03-P-03-0-000) 지원하에 연구하였습니다.

참고 문헌

- [1] 유권중외, "전력 Peak Cut를 위한 주택용 태양광발전시스템의 에어콘개발", 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.

저 자 소 개



이 정 일 (李 廷 日)

1996년 광주대 전자계산학과 졸업. 조선대 대학원 석사(1999), 동신대 박사 수료(2002). 1992년~현재 송원대학 디지털전기정보과 교수. 관심분야는 대체에너지, 전력전자, 제어계측

서 장 수 (徐 將 守)

1982년 조선대학교 전기공학과, 동대학원 석사(1985), 동대학원 박사(1993), 관심분야는 대체에너지, 나노소자, 반도체 전력전자



강 병 복 (姜 秉 福)

1995년 동신대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1997), 동신대 박사 과정(현재). 관심분야는 대체에너지, 전력전자, 제어계측, 원격계측, 마이크로프로세서



차 인 수 (車 仁 洙)

1982년 조선대 전자계산학과 졸업. 중앙대 대학원 석사(1984), 조선대 박사(1989). 1990년~현재 동신대 전기광전자공학부 교수. 관심분야는 대체에너지, 전력전자, 제어계측, 광전자, 로보틱스