

불연속 에너지 발생장치의 에너지 보상 시스템에 대한 연구

이정일, 임종열, 강병복, 차인수
 동신대학교 전기전자공학과

A Study on the Discontinuous Energy Generation System for Power Compensation

Jeong-Il Lee, Jung-Yeol Lim, Byung-Bog Kang, In-Su Cha
 Dept. of Electrical & Electronic Eng. Dongshin Univ.

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 MW scale has been developed, but it still has a few faults with the weather condition. In order to solve these 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, since even combined generation system cannot always generate stable output with ever-changing 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.

1. 서 론

화석에너지원의 유한성과 에너지 수요의 증가 추세에 비추어 볼 때 선진국을 포함한 여러 나라에서는 풍력, 태양광, 조력, 파력 등의 자연 에너지와 메탄올, Bio Gas 등을 포함한 환경 친화적인 에너지원의 개발 및 효율적인 이용에 관련된 기술 개발에 박차를 가하고 있다.

그 중 대표적인 대체에너지가 태양광과 풍력이지만 태양광발전과 풍력발전의 최대 난점인 기상조건과 운전특성을 고려해야 하고, 태양광과 풍력 복합에너지 발전시스템의 전 시간 안정된 전력 공급을 위해서는 태양광과 풍력자원이 충분하지 못할 때 에너지를 공급할 수 있는 백업 시스템이 요구되어 진다.

본 논문에서는 태양·풍력 복합발전시스템에 축전지와 같은 백업 시스템 일종으로 태엽 스프링의 탄성에너지를 이용한 전력보상장치를 추가적으로 설치하였다.

태양광과 풍력에너지가 부족할 때 백업시스템으로부터 축전지에 전력을 공급하므로 지역에 상관없고 기상조건의 변화에도 연속적인 에너지를 얻을 수 있다.

2. 에너지 특성

2.1. 태양에너지

그림 1은 빛이 조사될 때 광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용한 태양전지의 등가회로를 보여주고 있다(2), (3).

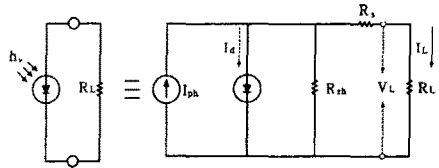


그림 1. 태양전지의 등가회로

여기에서, I_{ph} : 입사된 빛에 의해 생성된 캐리어(Carrier)가 외부로부터 방해받지 않을 때 폐회로를 통해 흐르는 광전류, I_d : 암전류로, 병렬저항 R_{sh} : 누설저항, R_s : 전지 내부 직렬저항 R_L : 부하저항

등가회로에서의 태양전지의 출력전류는 다음과 같다.

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

여기서, I_L 은 출력전류, I_{ph} 는 광전류, I_0 는 다이오드 포화전류, n 은 다이오드 상수, K 는 볼츠만 상수이고 q 는 전자의 전하량이다.

그리고 일정온도와 일정 일사 조건에서 태양전지의 전압-전류 특성 곡선은 그림 2와 같이 된다.

$I_L = 0$ 인 조건에서 개방전압 V_{oc} 는 다음과 같다.

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \quad (2)$$

단락전류 I_{sc} 는 $V_L = 0$ 인 조건으로부터 $I_{sc} = I_{ph}$ 가 된다. 전지에 연결된 부하저항의 크기를 조정함으로써 어떤 최적 동작점에서 최대의 출력 P_{max} 가 얻어지게 된다.

$$P_{max} = V_m \cdot I_m \quad (3)$$

부하저항에서 소비되는 에너지를 P_{out} 라하고 식은 다음과 같다.

$$P_{out} = V \cdot I = V \cdot I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4)$$

최적부하조건에서 $\frac{dP_{out}}{dV} = 0$ 임으로 최적동작전압 V_m 은 다음 식을 만족한다.

$$V_m = \exp\left(\frac{qV_m}{nkT}\right) \left(1 + \frac{qV_m}{nkT}\right) = \left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right) + 1 \quad (5)$$

또한 이때의 최적동작전류 I_m 은 다음과 같다.

$$I_m = \frac{(I_{sc} + I_0) \cdot (qV_m/nkT)}{1 + (qV_m/nkT)} \quad (6)$$

P_m 이 커지기 위해서는 특성곡선에서 I_m 과 V_m 이 각각 I_{sc} 와 V_{oc} 에 가까워야 한다.

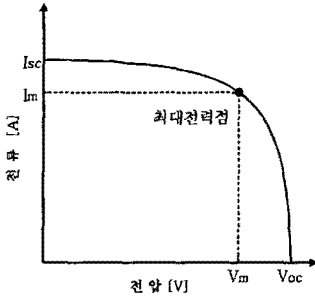


그림 2. 태양전지의 전압-전류곡선

2.2 풍력에너지 특성

그림 3은 일반적인 풍력발전시스템의 출력 특성모델을 보이고 있다.

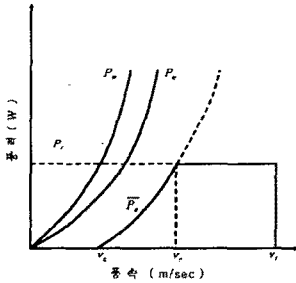


그림 3. 풍력발전시스템의 출력 특성모델

속도 V 로 통과면적 A 를 지나는 바람이 갖는 에너지의 총량은 다음과 같다.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho v^3 A \quad (7)$$

여기서, P_w 는 에너지로서 그 단위는 W이고, v 는 풍속 [m/sec], A 는 통과면적 [m^2], ρ 는 공기밀도 [kg/ m^3]이다.

P_w 의 에너지는 회전자에 의해 기계적인 동력으로 변환되는데 동력계수 C_p 의 값은 회전자 및 운전상태에 따라 다르고 일반적으로 0.35~0.5정도의 값을 갖게 된다. [4]-[9]. 또한, 풍력발전시스템의 경우 기계적인 에너지를 전달해 주는 전달 장치의 효율 η_m 와 발전기의 효율 η_g 가 포함되어야 하므로 실제로 이용 가능한 동력 P_e 는 다음 식과 같다.

$$P_e = C_p \eta_m \eta_g P_w = C_p \eta_m \eta_g \frac{1}{2} \rho v^3 A \quad (8)$$

그러나 실제 풍력발전시스템의 기동시에는 시스템의 기계적 관성, 마찰 및 전기적 손실 등에 의해 시동풍속

V_c 이상의 풍속에서만 시스템의 출력이 생산되기 시작하고 정격풍속 V_r 에서 정격출력 P_r 까지는 V^3 에 비례하여 출력을 나타내며, 그 이상의 풍속에서는 시스템의 출력이 일정하게 유지되고, 종단풍속 V_s 에서 시스템의 보호를 위해 출력을 멈추게 된다.

따라서 이상의 확률밀도 분포와 풍속이 V 일 때의 순간적인 에너지의 양을 표시하는 (8)에 의해 통과면적 A 을 지나는 바람의 평균 에너지 $\overline{P_w}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{P_w} &= \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty V^3 P(V) dV \\ &= \frac{1}{2} \rho A C^3 I \left(1 + \frac{3}{k}\right) \end{aligned} \quad (9)$$

또한, 회전자의 동력계수, 기계적 전달효율 및 발전효율 등이 포함되어 있는 풍력발전시스템의 평균 풍력에너지 $\overline{P_e}$ 는 다음 관계에 의해 표시되어 진다.

$$\overline{P_e} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \quad (10)$$

그러나 식(10)에는 실제 시스템의 효율 등은 고려되었으나 평균 출력에너지에 영향을 미치는 시스템의 운전 특성은 고려되어 있지 않으므로 실제의 시스템 운전특성을 모델화한 그림 3에 의해 풍력발전시스템의 실제 평균 출력에너지 $\overline{P_e}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{P_e} &= \frac{1}{2} \rho A \int_{V_c}^{V_r} C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \\ &+ \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g V_r^3 \int_{V_r}^{V_s} P(V) dV \end{aligned} \quad (11)$$

3. 에너지 보상 불연속 에너지 발전시스템

에너지 보상 불연속 에너지 발전시스템은 태양광발전시스템, 풍력발전시스템, 에너지 보상장치, 감시시스템, 부대 장치로 인버터, 다이오드, 축전지 등으로 구성되어 있다. 그림 4는 에너지 보상 복합에너지 발전시스템의 전체 구성을 보여주고 있다.

풍력발전시스템의 출력은 풍속의 변화에 따라 변하게 되지만 부하의 전체 크기는 고정되어 있기 때문에 풍력발전기로부터 출력이 부족한 만큼 태양광발전시스템이나 추가적으로 설치된 태양 스프링의 탄성에너지를 이용한 에너지 보상장치와 연결되어 안정된 전력 공급이 가능하도록 구성되어 있다.

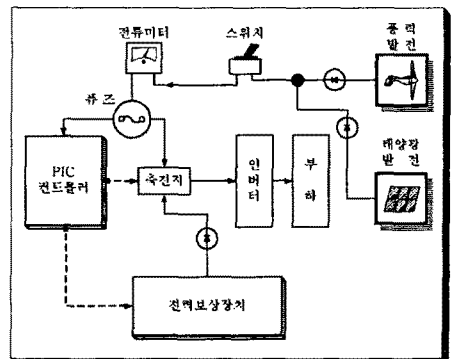


그림 4. 불연속 에너지 발전시스템의 구성도

3.1 태양광발전시스템

태양광발전시스템은 태양광에 의해 기전력이 발생하는 태양전지로 구성된 발전부, 과충전을 방지하는 안전장치와 지지대로 구성되어 있다[3]-[5].

태양광발전은 발생 전력이 일사량, 온도와 부하에 따라 전압이 변하게 된다. 그래서 만약 발전 전압이 너무 높아지면 축전지가 과충전 되므로 직접 부하에 연결하지 않고 과충전 방지 회로를 거쳐 전압 조절이 이루어진 후에 축전지단에 일정한 전압이 공급되며, 태양광의 일사량이 낮아지면 축전지와 풍력발전기의 전압이 높을 때 발생하는 역전류를 막기 위해 역전류 방지 다이오드가 꼭 필요하다. 이외에 AC 부하를 구동하기 위한 인버터 등이 필요하다.

표 1. 태양광 모듈의 제품 사양
Table 1. Specification of photovoltaic module

| 구분 | 사양 |
|------|------------------|
| 모델 | SAMSUNG SM-50 |
| 최대전력 | 50 [W] |
| 최대전압 | 17.1 [V] |
| 최대전류 | 2.92 [A] |
| 무게 | 6.3 [Kg] |
| 타입 | MULTICRYSTALLINE |

설치된 태양광 어레이의 최대 전압 17.1V 그리고 최대 전류 26.3A, 최대 전력 450W급의 특성을 가지며 사용된 태양광 모듈은 표 1과 같은 사양을 가지고 있다.

3.2 풍력발전시스템

본 연구에서 투입된 400W 풍력발전시스템은 과충전 회로가 내장된 풍력발전기, 풍향의 변화에 따라 발전기를 풍향과 일치시켜주는 풍향 추적 장치, 축전지, 인버터로 구성되어 있다.

풍력발전기의 주요 기능은 축전지의 상태와 무관하게 터빈이 오버 스피드 되지 않게 발전기의 부하를 유지하면서, 축전지가 충전될 때에는 자체 내장된 전압 조절기가 정기적으로 라인을 점검해 전압 손실을 보정할 수 있으며 축전지가 만충전 상태가 될 경우에는 전압조절기가 전류를 차단시켜 축전지가 과충전되는 것을 방지한다.

표 2는 사용된 400W급 풍력발전기의 제원 및 특성을 보여주고 있다.

표 2. 풍력발전시스템의 사양

| 구분 | 사양 |
|-------|--|
| 풍력발전기 | AIR 403(미국, Southwest Windpower, Inc.) |
| 형식 | 동기-브러시리스-영구자석형-1φ |
| 정격출력 | 400 [W] |
| 전압 | DC 12[V] |
| 주파수 | 60 [Hz] |
| 로터 | 날개수 3개, 직경 1.17 [m] |
| 블레이드 | Wood-Epoxy 사용 |
| 시동풍속 | 2.7 [m/sec] |
| 정격풍속 | 12.5 [m/sec] |

3.3 시스템 구성

그림 5는 태엽 스프링의 탄성에너지를 이용한 에너지 보상장치의 구성을 나타내고 있다. 에너지 보상장치의 전체적 구성은 운동에너지를 기계적 회전에너지로 바꾸는 회전자, 감속장치, 단계별 작동 원리에 의해서 감속된 회전에너지를 대용량의 탄성에너지로 저장시키는 태엽 스프링, 태엽을 감을 수 있는 DC 모터와 기어 모터, 탄성에너지가 충전 되었을 때 축 이동장치에 작동에 의해서 감속장치가 역으로 증속장치의 역할을 함으로써 충분한 전력을 발전할 수 있도록 하는 태엽 스프링과 연결된 소형발전기, 그리고 복합에너지 발전시스템의 출력된 전력이 기준전압 이하가 되면 에너지 보상장치의 탄성 에너지를 이용한 태엽 스프링이 동작하여 소형발전기를 구동하여 축전지에 저장할 에너지를 발생할 수 있도록 지시하고 감속하는 제어부로 되어있다.

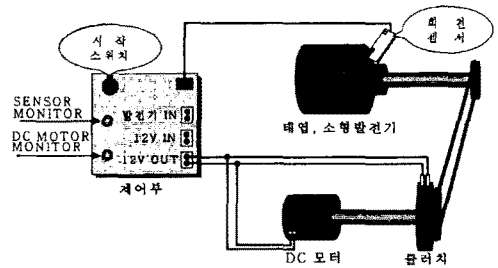


그림 5. 에너지 보상장치 구성도

태엽 스프링은 제어부의 신호에 따라 DC Motor(TD8025G-12, 12V, 2.5A, 25W, 300rpm)와 Gear Motor(S8KA60B, 50rpm)가 동작하여 풀리거나 감긴다.

제어부는 PIC(Peripheral Interface Controller), 전압 비교기, 회전수를 측정하는 검출부로 구성되어 있고 스프링 보호를 위해 회전수를 40회로 제한하였으며 덤스위치를 이용하여 값을 조정할 있다.

그림 6은 에너지 보상장치를 이용한 시스템의 블록선도를 나타냈다. 입력전압 V_i 가 들어오면 마이크로프로세서(PIC16C54)에서 입력전압과 기준전압을 비교하여 기준전압 이상이 되면 축전지에 V_B 를 충전하고 동시에 V_M 은 DC 모터를 동작시켜 태엽을 감는 동작과 병행하여 충전된 출력이 인버터를 통해서 부하를 동작시킨다. 반면에, V_B 인 축전지의 전압이 기준전압 미만으로 떨어지거나 복합 발전기의 입력 전압이 기준전압보다 작으면 에너지 보상장치의 태엽 스프링이 소형발전기를 동작시켜 얻어진 발전 전압 V_G 가 축전지에 충전을 하면서 동시에 축전지 전압 V_B 는 인버터를 통해 부하에 지속적으로 전압을 공급한다.

그림 7은 시스템의 흐름 선도를 나타내고 있다. 복합발전기가 구동하여 출력전압이 발생하면 마이크로 프로세서(PIC16C54)를 이용한 제어기가 입력전압을 판단하여 기준전압 이상이 되면 축전지를 충전하여 인버터를 통해서 부하를 작동시킴과 동시에 DC 모터를 이용해 태엽 스프링을 감는다.

그리고 복합발전기가 동작하지 않거나 기후조건에 따라 복합발전기의 출력전압이 기준전압 미만이면 DC 모터가 동작하여 감아 놓았던 태엽이 풀리면서 소형발전기가 동작하여 축전지에 충전된 에너지가 인버터를 통해 부하를 동작시킨다.

그림 11. 나주 지역의 최대순간 풍속과 일사량
(2001. 1. - 12.)

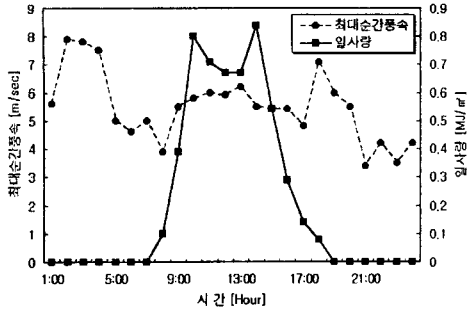
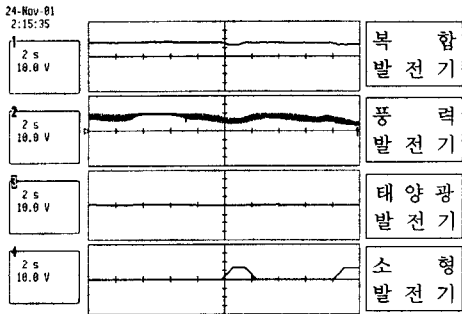


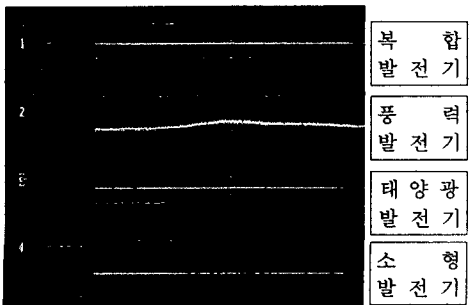
그림 12. 나주 지역의 하루동안 최대순간 풍속과 일사량
(2001. 12. 16.)

그림 13은 에너지 보상 복합발전시스템의 시간별 출력 특성을 보여주고 있다. (a)는 새벽 2시경 일사량이 Zero로서 태양광 발전의 출력이 발생하지 않을 때 바람이 불어 풍력에너지에 의해 풍력발전기 출력이 발생하고 (b)는 아침 9시경 약한 바람이 불어 풍력발전기 출력이 약할 때 일사량에 의한 태양광발전기의 출력을 확인할 수 있다. (c)는 오후 1시경 에너지 보상 복합발전시스템의 각각의 출력 파형으로 바람에 의한 풍력에너지는 미흡하지만 일사량으로 인한 태양광 에너지의 양이 가장 많은 시간대로 태양광 발전량이 최대로 출력된다. (d)는 오후 7시경 일사량이 없어 태양광 발전의 출력이 없을 때 풍력에너지에 의한 출력을 확인할 수 있다.

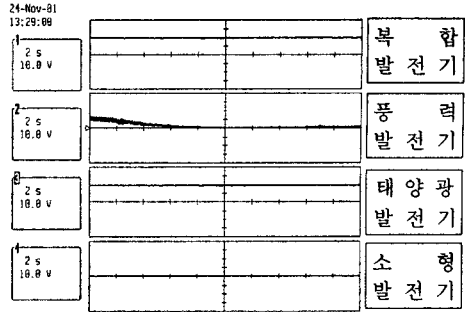
즉, 태양과 풍력에너지는 계절과 시간에 따라 서로 반대의 경향을 보이고, 에너지 보상 복합발전시스템이 설치된 학교 주변도 건물의 위치에 따라 풍속과 풍향이 변하므로 두 에너지를 함께 사용하여 상호 보완할 수 있음을 알 수 있었다.



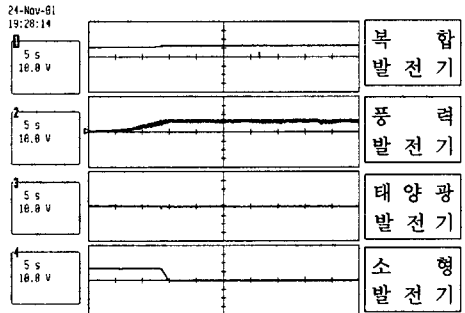
(a) AM 2:00



(b) AM 9:00



(c) PM 1:00



(d) PM 7:00

그림 13 시간에 따른 시스템의 출력 특성

그림 14는 구름이 있는 날 두 발전시스템(태양광과 풍력)과 에너지 보상장치의 소형발전기의 동작 특성을 보여주고 있다. 태양광과 풍력발전시스템 모두의 출력 전압이 12V 이하로 떨어질 때, 에너지 보상장치의 소형발전기가 구동됨을 볼 수 있다.

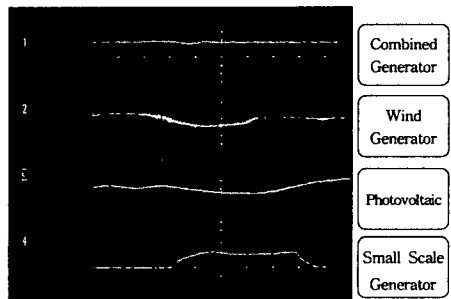


그림 14 에너지 보상장치의 구동 특성

그림 15는 시스템의 출력 전압이 12V 이하로 떨어져 에너지 보상장치의 소형발전기가 구동되고 있을 때 기상 조건이 다시 호조 되어 복합에너지 발생 시스템이 출력을 시작하면 제어부가 이를 감지하여 태양 스프링을 잠 DC 모터가 구동됨을 보여주고 있다.

본 실험에서는 축전지에 연결된 인버터를 통해서 전압, 전류가 부하에 공급된다. 그림 16은 220V, 180W 부하를 사용하여 인버터의 출력을 측정 한 결과이다. 여기에서, 인버터 입력은 12V, 출력은 60Hz, 180V, 0.8A 정도의 전압이 출력되었다.

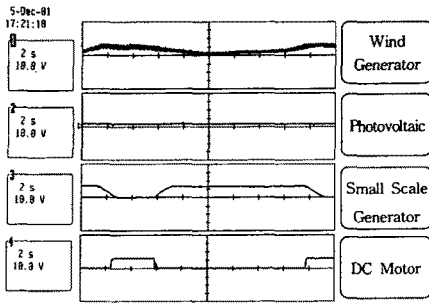


그림 15 에너지 보상장치의 DC 모터 구동 특성

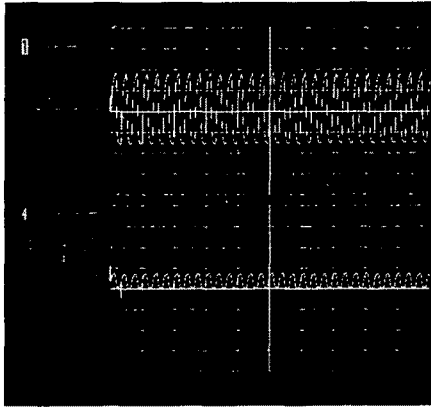


그림 16 부하시 인버터의 출력 파형

5. 결 론

본 논문에서는 태양광에너지와 풍력에너지를 이용한 50W 태양전지 9개를 병렬로 연결한 태양광발전시스템과 정격 400W 풍력발전시스템을 복합한 복합발전시스템에 전 시간 안정된 전력 공급을 위하여 태양광과 풍력 자원이 충분하지 못할 때 전력을 공급할 수 있는 백업 시스템으로 태엽 스프링의 탄성을 이용한 에너지 보상장치를 추가적으로 설치하였다.

실험결과 추가적으로 개발되어 설치된 태엽 스프링의 탄성에너지를 이용한 에너지 보상장치는 태양광과 풍력발전시스템으로 이루어진 복합에너지 발전시스템의 출력이 12V 이상이 되면 에너지 보상장치의 DC 모터를 동작시켜 소형발전기가 연결된 태엽 스프링을 감아 두었다가 각 시스템의 발전 출력이 축전지 충전전압 12V 이하로 떨어지면 태엽 스프링의 탄성에 의한 회전에너지가 소형발전기를 구동하여 얻어진 전력을 12V 축전지에 저장하여 인버터를 통하여 부하에 전력을 연속적으로 공급함을 확인 할 수 있었다.

이때 DC 모터가 동작되는 시간은 약 2분 정도이고 태엽이 풀리는 시간은 약 30분 정도로써 DC 모터를 동작시킬 때 필요한 에너지 효율보다 태엽이 풀리면서 소형발전기가 동작하여 얻어진 에너지의 효율이 더 크다는 것을 알 수 있었다.

향후 본 실험이 진행된 계절이 일사량이 적은 겨울이라는 점을 감안해서 에너지 보상장치의 용량을 증대시켜 현재의 구동 시간 30분을 4시간~6시간 정도로 운전할 수 있도록 새롭게 제작하고 축전지에 안정된 에너지를 공급하기 위해 DC-DC 컨버터 제작하고자 한다. 더불어 연구 수행 시간상 아직 미흡한 복합에너지 발전시스템의 계절별 평균 발전 출력을 산출하고 에너지 보상장치의 평균 보상 전력을 산출하여 이 자료를 근거로 복합

에너지 발전시스템에 설치된 에너지 보상장치의 최적용량을 선정한다면 태양 에너지와 풍력에너지가 가지고 있는 간헐적인 에너지 특성상 생기는 복합에너지 발전시스템의 발전 출력 공백을 극복할 수 있으리라 생각된다.

(참고 문헌)

- [1] L. A. Schienbein and D. J. Malcolm, "Design performance and economics of 50kW vertical axis wind turbine", J. of Solar Energy Engineering, vol. 105, no. 11, pp. 418-423, 1983.
- [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] Victorio Arcidiacono, Sando Corsi, Luciano Lambri, "Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Power Plants", IEEE, pp. 507-512, 1982.
- [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] R. J. Templine, "Aerodynamic performance theory for the NRC vertical-axis wind turbine", National Research & Council Canada, Laboratory Technical Report, LTR-LA-160, 1974.
- [7] B. G. Newman, "Multiple actuator-disc theory for wind turbines", J. of Wind Engineering & Industry Aerodynamics, vol. 24, no. 3, pp. 215-225, 1980.
- [8] R. E. Wilson and S. N. Walker, "Fixed wake theory for vertical axis wind turbine, J. of Fluids Engineering", vol. 105, pp. 389-393, 1983.
- [9] Jung-Yeol Lim, "Analysis on the operation characteristic of the combined electric power generation system by photovoltaic and wind energy with power storage apparatus", 2001 International Conference on Power Electronics, pp.677-682, 2001