

## 태양광 및 풍력 하이브리드 발전 시스템에 관한 연구

오진석<sup>†</sup> · 조관준<sup>1</sup>

(원고접수일 : 2009년 7월 2일, 원고수정일 : 2009년 9월 16일, 심사완료일 : 2009년 11월 11일)

### A study on solar-wind hybrid power generation system

Jin-Seok Oh<sup>†</sup> · Kwan-Jun Jo<sup>1</sup>

**요약** : 본 연구는 해양 시설물용 태양광-풍력 하이브리드 발전 전력 제어 시스템에 대한 연구를 수행하였다. 해양시설물은 대부분 태양광 기반의 발전 시스템으로 되어 있다. 이러한 태양광 발전 시스템은 흐른 날씨에는 전력 생산량이 감소한다. 이러한 발전 특성을 보완하기 위해 태양광과 풍력을 연계하는 시스템을 연구 하였다. LabVIEW를 이용하여 태양광과 풍력 발전 시스템을 시뮬레이션 하였다. 전력 특성을 반영하여 백컨버터를 이용한 발전 전력 시스템을 개발하였다. 이를 실험을 통하여 풍력과 태양광 전력을 안정적인 충전을 수행하였다.

**주제어** : 태양광 풍력 복합 발전 시스템, 해양시설물, 전력 생산 시스템, 전력 특성

**Abstract**: In this paper, a solar-wind hybrid system is described for Stand-Alone(SA) power generation system. Mostly SA power generation system for ocean facilities composes a solar system. Normally, the output power of solar system is decreased with weather condition as cloudy and rainy. Solar-wind hybrid system can be operated as complement system each other. In this paper, the characteristic simulation of solar and wind is performed by LabVIEW. The hybrid power generation system is designed according to simulation results, and is tested for checking the complement characteristic.

**Key words**: Solar-wind hybrid generation system, Ocean facility, Power generation system, Power characteristic

### 1. 서 론

해상에 운용되는 다양한 해양시설물은 독립형 전력체계로 필요한 전력을 확보한다. 대부분의 해양 시설물은 태양광 발전을 기본 시스템으로 운용하며, 기상에 따른 한계를 극복하기 위하여 풍력, 파력, 조력 등의 발전시스템과 하이브리드 발전체계에 연동한다.

본 연구에서는 해양시설물에 적합한 태양광-풍력 하이브리드 발전시스템에 대한 연구를 수행하고, 연구결과를 활용할 수 있도록 설계를 하며, 더불어

시뮬레이션을 수행하고자 한다. 일반적으로 해상에서 운영되고 있는 해양시설물은 상용전력을 연계하기가 어려운 것이 가장 큰 문제이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 효율개선, 고효율 알고리즘 개발 등의 다양한 연구가 수행되고 있지만, 태양광 기반의 발전환경의 한계를 극복하기는 매우 어려운 것이 현실이다[1-2].

해양시설물이 가진 전력 환경에 효과적으로 대처하기 위하여 태양광 기반의 태양광-풍력 하이브리드 발전시스템을 설계하고, 더불어 독립형 전력체

<sup>†</sup> 교신저자(한국해양대학교 선박전자기계공학부, E-mail: ojs@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4283 )

<sup>1</sup> 한국해양대학교 대학원 메카트로닉스공학과

계에 적합한 해양시설물용 태양광-풍력 하이브리드 전력체계를 제안하고자 한다. 특히, 해양시설물 중에서 발전환경이 가장 열악한 등부표에 활용이 가능한 보완형 하이브리드 발전시스템에 대하여 연구와 시뮬레이션을 수행한다.

## 2. 발전 시스템 구성

해양시설물에는 대부분 태양광 발전시스템이 운용되고 있다. 태양광 발전시스템은 기상의 영향을 직접적으로 받는다. 특히 여름철 장마 기간에는 전력생산에 많은 문제점을 야기한다. 또한 해양시설물의 파도에 대한 운동으로 인하여 태양광 입사각이 실시간으로 변하는 것도 태양광 발전시스템의 발전효율에 심각한 영향을 미친다. 또한 풍력발전시스템도 수평축 및 수직축에 따라 발전특성에 많은 영향을 미친다. Figure 1은 하이브리드 발전시스템의 구성을 나타낸 것이다.

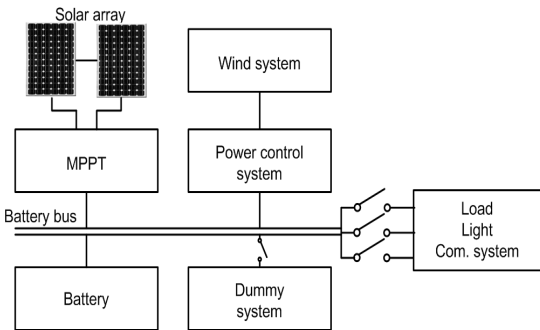


Figure 1: Configuration of hybrid generation system

### 2.1 태양광 발전 시스템

육상에 설치한 태양전지는 태양의 궤적에 따라 일정한 입사각을 가지며, 입사각에 따른 발전전력의 변화는 예측이 가능하다. 그러나 해양시설물에 설치한 태양전지는 해상상태에 따라 실시간으로 태양광 입사각이 변한다[3-4].

태양전지판의 출력은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = I_{ph} V_p - I_o V_p \left[ \exp\left(\frac{q}{AKT} V_p\right) - 1 \right] \quad (1)$$

식(1)에서  $I_{ph}$ 는 셀 광전류,  $V_p$ 는 PV 출력전압,  $I_o$ 는 포화전류,  $q$ 는 충전 전하량,  $K$ 는 볼츠만 상수 (Boltzman's constant),  $T[K]$ 는 셀 온도,  $A$ 는 PN 접합 재료 상수이다.

해상의 경우 지속적으로 전력량이 변화하기 때문에 MPPT(Maximum power point tracking) 알고리즘 중에 P&O(Perturb & Observe)알고리즘을 보완한 MPPST(Maximum power point searching and tracking)알고리즘을 적용하여 실험하였다. Figure 2는 MPPST제어 알고리즘을 나타낸 것이다[5]. 이때 MPOP(Maximum power operating point)는 태양 전지판의 최대 출력을 나타내는 전압 지점을 나타낸다.

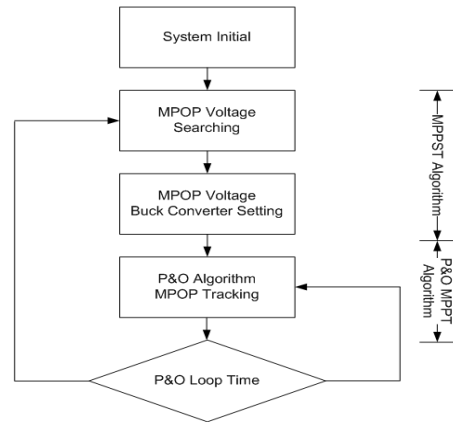


Figure 2: P&O MPPST algorithm flowchart

일반적으로 최대 전력 출력점에서 에너지가 저장된다고 할 때 모듈당 연간 하루 일사량 평균  $\bar{I}_t$  (kWh day<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>)로 표현할 수 있다. 실제의 경우 에너지는 최대 출력 점에서 저장되지 않는다. 그러므로 매칭효율(matching efficiency)  $\eta_1$ , 저항 손실  $\eta_2$ , 축전지 충방전 효율  $\eta_3$ 를 고려한 출력은  $P_s$ 로 나타낼 수 있다. 이를 수식으로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$P_s = \frac{E_d \times 1k W m^{-2}}{\eta_1 \eta_2 \eta_3 \bar{I}_t} \quad (2)$$

2.2 풍력 발전 시스템

해상에서 운용되는 등부표는 설치 및 운용성이 매우 중요하다. 특히 부이에 설치되는 풍력발전시스템은 부이의 운동특성에 영향을 적게 받는 구조로 설치되어야 한다. 본 연구에서는 부이에 설치성 및 운용성이 좋은 터빈의 축이 바람방향에 수직인 다리우스(Darrieus)형 터빈을 활용한 하이브리드 발전시스템을 구축 하였다.

다리우스형 풍력발전시스템은 수평축 풍력발전시스템에 필요한 피치(pitch) 및 요(yaw) 등의 제어시스템이 필요 없고, 발전시스템을 하부에 들 수 있는 장점이 있다. 또한 풍향이 일정하지 않는 해상에서 잦은 선수각 제어(yawing)을 해야하는 수평축보다는 바람의 방향에 상관없는 수직축 풍력발전기가 적합하다. 다리우스형 발전시스템 터빈의 출력  $P_W$ (발전기 출력단의 출력)는 식 (3)와 같이 주어진다.

$$P_W = \frac{1}{2} \rho C_p(\lambda) A V^3 \tag{3}$$

여기서  $A$ 는 회전면적,  $V$ 는 풍속,  $C_p$ 는 출력계수이다. 또한 토크  $T$ 는 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{1}{2} \rho A \gamma^3 \frac{C_p(\lambda)}{\lambda^3} w^3 \tag{4}$$

여기서  $\lambda$ 는 주속비(tip speed ratio)이며,  $w$ 는 발전기의 각속도, 출력계수  $C_p(\lambda)$ 는 주속비 함수로 나타낼 수 있다. 일반적으로 수직축 풍력터빈은 자기기동(self starting)이 어려운 특성을 가지고 있다. 풍력발전기 적용대상인 부이는 독립형 전력체계를 가지고 있는 시스템이며, 축전지와 연동한다[6-8].

2.3 하이브리드 발전 특성

본 연구에서는 태양광 및 풍력 하이브리드 발전시스템을 구성하여 발전특성을 파악하였다. 태양광 기반의 하이브리드 발전시스템의 출력은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_H = \sum (P_S(t) + P_W(t)) \tag{5}$$

여기서,  $P_H$ 는 하이브리드 발전시스템의 출력,  $P_S(t)$ 는 태양전지의 출력,  $P_W(t)$  풍력발전기의 출력을 나타낸다. Figure 3은 하이브리드 시스템 전력계통도이다.

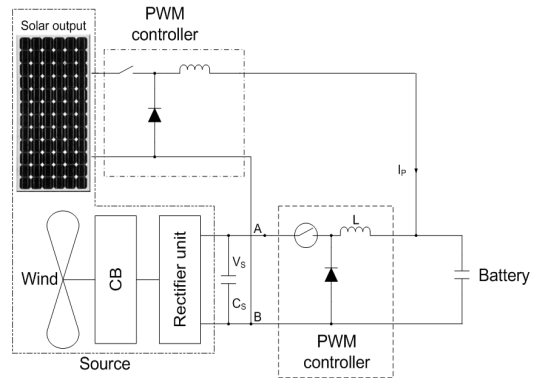


Figure 3: Block diagram of hybrid power system

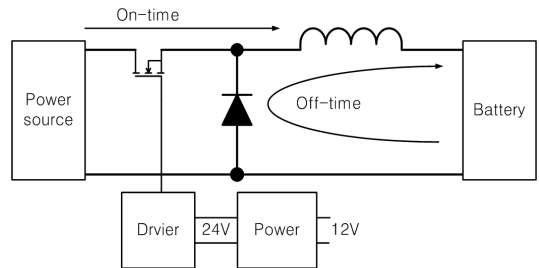


Figure 4: Power system with buck-converter

해상에서 운용되는 부이용 태양광-풍력 하이브리드 발전시스템의 출력은 기상 상태에 따라 변동이 심하다. Figure 3에 도시한 전력계통의 출력을 안정화하기 위하여 축전지 전압(12.5V) 이상에서는 벡-컨버터로 전력계통이 운용되도록 한다. Figure 4는 벡-컨버터를 활용한 전력계통도이다.

3. 실험 및 고찰

본 연구에서는 3가지에 대한 실험을 수행하고 실험결과를 분석하여 해양시설물에 적합한 태양광-풍력 하이브리드 발전시스템을 구성하고자 한다.

첫째, 부이의 운동특성에 능동성을 갖는 태양광

발전시스템용 최대 출력점 추적기법에 대한 성능실험.

둘째, 수직축 풍력발전시스템의 토크특성을 이용한 출력 시뮬레이션.

셋째, 태양광-풍력 하이브리드 발전시스템의 출력 실험.

최대 출력점 추적기법에 대한 성능실험은 식 (1)을 활용하여 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다.

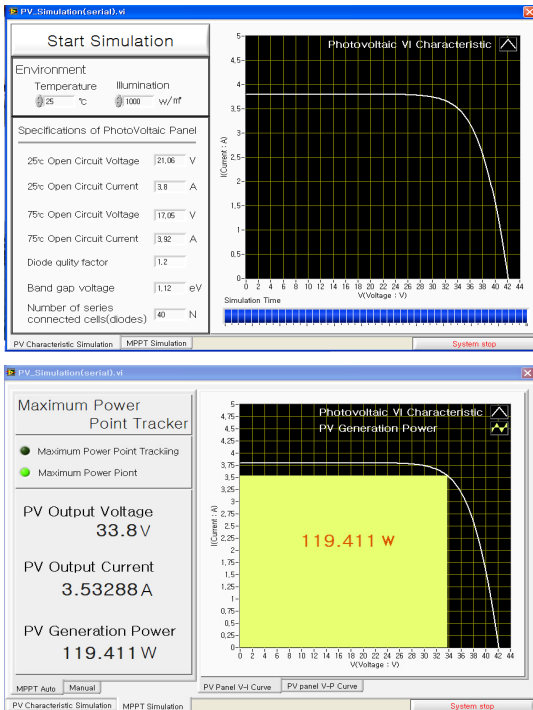


Figure 5: PV power simulation

Figure 5는 태양전지판은 80W급 2장을 직렬 연결한 형태를 가정하여 MPPST알고리즘을 적용하여 최적 전력점을 찾은 것이다. Figure 5는 태양 전지판의 특성 곡선을 시뮬레이션 하고 이를 바탕으로 전압 강압형 컨버터로 최적 지점을 추종하였을 때의 최적 전력 값을 나타낸다.

풍력발전시스템의 토크 특성은 식(3)을 활용하여 수행하며, 토크 특성을 바탕으로 풍력 발전기의 속도의 속도에 따른 시뮬레이션 결과 다음과 같은 특성을 나타내었다.

Figure 6은 풍력 발전기(50W)의 동일 풍속

(10m/s)에서의 발전기의 회전 속도에 따른 출력 전력 값을 나타낸 것이다. 동일 풍속에서 풍력 발전기의 속도에 따라 출력 값이 변화하게 된다. 풍력발전기의 속도는 출력 전류의 변화에 따라 변화하게 된다. 실제 시뮬레이션한 사양으로 실제 실험을 수행하였다.

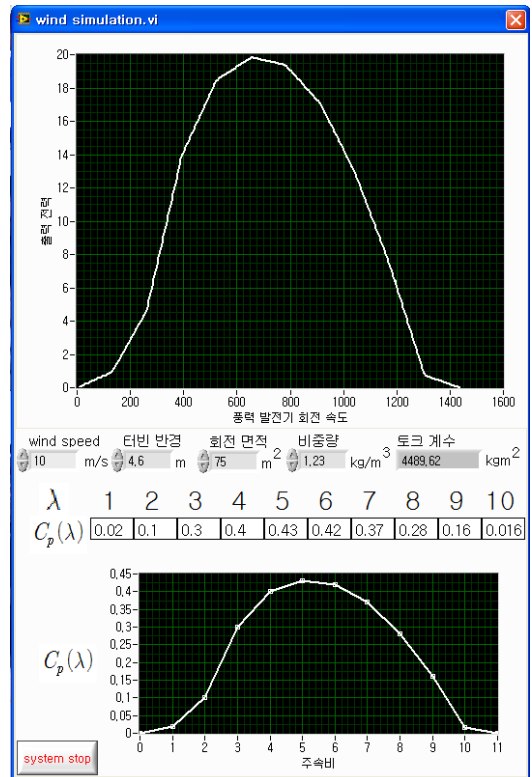
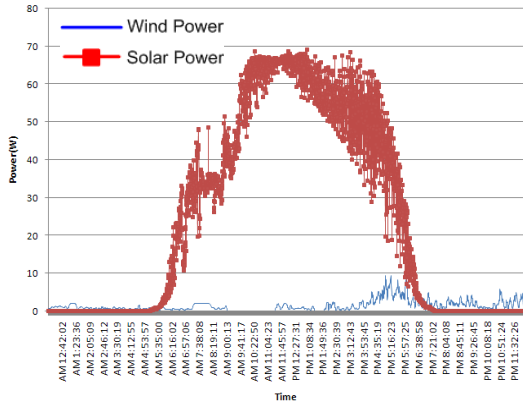


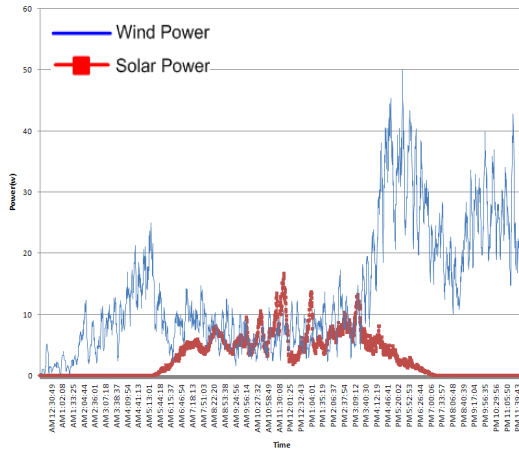
Figure 6: Wind power simulation

Figure 7은 발전 특성의 비교를 위하여 맑은 날과 흐린날의 전력생산량의 변화를 나타낸 것이다. 점선 그래프가 태양광 발전 전력량이고, 실선 그래프가 풍력 발전의 발전 전력량을 나타낸다.

실험 결과에서 날씨가 맑은 날의 경우에는 태양광의 발전량은 크고 풍력의 발전량은 낮고, 비오는 날의 경우 태양광의 발전량은 낮고 풍력 발전의 발전량은 높은 것을 알 수 있다. 또한 태양광의 경우 태양의 영향을 받기 때문에 해가 뜨는 시간에서만 발전이 가능한 반면 풍력의 경우에는 풍속만 있으면 가능한 것을 알 수 있다.



(a) Sunny day



(b) Rainy day

Figure 7: Experimental waveforms of hybrid generation power system(dotted line: solar power, line : wind power)

### 4. 결 론

본 논문은 태양광 발전 기반의 해양 시설물용 부이에 환경적 요인에 의한 발전량 감소를 보완하기 위하여 풍력 발전과 연계한 형태의 하이브리드 발전 시스템에 관하여 연구 하였다. 태양광과 풍력 발전의 발전량을 시뮬레이션을 통하여 유추하고 이러한 발전량에 맞추어 충전 제어 시스템을 제작하여 실험하였다.

실험결과 태양광과 풍력 발전은 발전 환경적 특성이 서로 상대 적인 것을 알 수 있었다. 태양광은 맑은 날씨에서 풍력은 바람이 많이 부는 흐린 날씨

에서 발전량이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 하이브리드 형태의 전력을 생산할 경우 전체 생산 전력의 맥동을 줄일 수 있어 부하 시스템에 안정적인 전력을 공급할 수 있을 것으로 판단된다.

앞으로 실제 해양 시설물에 풍력 발전기를 설치하여 해양 시설물의 풍력 발전기와 태양광 발전을 하이브리드한 형태의 전력 제어기의 특성을 연구 하는 것이 과제로 남아 있다.

### 후 기

본 연구는 국토해양부 “해양시설물용 Hybrid 전력 생산 시스템 기술 개발”의 지원으로 작성됨.

### 참고문헌

- [1] Kwan-Jun Jo, Hee-Han Yoo, Seung-Gi Gug, Jin-seok Oh “Design and analysis of power system for buoy”, Journal of the Korean Navigation and port research, vol. 31, no. 3, pp. 229-233, 2007.
- [2] 항로 표지 기능 향상 개선 방안 및 업무 편람 개정 연구요역에 관한 최종 보고서, 해양 수산부, 2006.
- [3] Gwon-Joung Yu, Young-seok and Jung, Ju-Yeop Choi, “A study of New Highly Efficient MPPT control algorithm” Journal of the Korean Solar Energy Society. vol. 22, No. 3. 2002.
- [4] 정영석, 유권중, 소정훈, 최주엽, 최재호, “P&O 알고리즘을 개선한 새로운 MPPT 알고리즘”, 전력전자학술대회논문집, pp. 925-928, 2003.
- [5] 조관준, 정성영, 배수영, 이지영, 오진석, “부이용 태양광 최대 전력 추적 알고리즘에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회지, 제33권, 제4호, pp. 588-594, 2009.
- [6] 박세준, 윤정필, 강병복, 윤형상, 차인수, 임중열, “독립형 소형 태양광/풍력 복합 발전 시스템의 출력 안정화를 위한 보조 전력 보상 장치 개발에 관한 연구”, 한국태양에너지학회논문집,

vol. 24, no. 3, 2004.

- [7] 정병찬, 정세중, 송승호, 노도환, 김동용, “가변 관성 모의 기능을 가진 풍력 발전기 시뮬레이터의 제어알고리즘”, 대한전기학회 학술대회, pp. 170-173, 2002.
- [8] 오철수, “다리우스 풍력터빈의 부하변동에 따른 속도제어”, 한국에너지공학회, 제4권, 제3호, pp. 402-406, 1995.

## 저 자 소 개



### 오진석(吳珍錫)

1960년 3월생. 한국해양대학졸업. 한국해양대학 대학원 수료(공학박사). 일본큐슈대학 대학원 수료(공학박사). 1983년-1986년 영국 ZODIAC 선박회사 엔지니어. 1989년-1992년 국방과학연구소 연구원. 1992년-1996년 양산대학교 교수. 1996년-현재 한국해양대학 교수.

2001년-2002년 영국 CARDIFF 대학 교환 교수. 2002년-2009년 중소기업산학협력단 단장. 2004년-2006년 한국마린엔지니어링학회 기획이사. 2001년-2006년 영국 K.O.Tech. 컨설턴트. 2005년-2006년 부울산학연협의회 회장. 2009년-현재 산학연ETRS센터 소장 2009년-2011년 선박전자기계공학부장



### 조관준(趙瑄濬)

1982년 5월생. 2005년 한국해양대학교 선박전자기계공학부 제어 시스템 전공(공학사), 2007년 동 대학원 메카트로닉스공학과 졸업(석사), 동대학원 박사과정, 현재 수중 운동체 특화 연구 센터 연구 보조원