

## buck-boost 컨버터를 이용한 조류 발전의 MPPT제어

김천규<sup>\*</sup>, 양이우<sup>\*</sup>, 김영석<sup>\*</sup>  
인하대학교<sup>\*</sup>

## The MPPT Control Method of The Seafow Generation by Using Buck-boost Converter

Cheon Kyu Kim<sup>\*</sup>, Lee Woo Yang<sup>\*</sup>, Young Seok Kim<sup>\*</sup>  
Inha University<sup>\*</sup>

**Abstract** - In this paper, the control method of extracting maximum power from the seafow energy is proposed. This system consists of buck-boost converter, bridge diode. The control is performed by using the variable duty ratio control of buck-boost converter. For extracting maximum power, it is necessary to know the seafow turbine's maximum power curve and the seafow speed measurement. But this makes the system difficult and expensive to implement. So this paper proposes the MPPT control method where the seafow speed and the maximum power curve of the seafow turbine are not required.

The effectiveness of algorithm is simulated based on Matlab Simulink<sup>®</sup>.

## 1. 서 론

풍력, 조력, 태양광, 지열, 화석연료와 같은 환경친화적인 신재생에너지는 최근 환경오염과 화석에너지자원의 고갈 문제, 또한 앞으로 실행될 교토의정서 규약에 의해 CO<sub>2</sub> 규제로 인해 여러나라에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 신재생 에너지 자원 중 조류 에너지는 친환경적인 에너지로써, 비교적 다른 신재생 에너지 자원에 비해 에너지 밀도 밀도가 높고 에너지 발전 효율 및 전환이 용이한 장점을 지니고 있다. 따라서 가까운 미래에 에너지 자원으로서 각광을 받을 것이다.[1].

모든 신재생 발전시스템에서 그려하듯이 에너지원에 서 어떻게 최대의 전력을 얻을 것인가가 주된 관심사이다. 본 논문에서는 조류 발전 시스템의 가변속 제어 발전 시스템(the variable-speed control generation system) 중 MPPT(Maximum Power Point Tracking)제어 시스템을 적용하여 기존의 고정속 제어 발전 시스템에 비해, 보다 효율적이고 유용한 전력 생산이 가능하며 발전 시스템에 가해지는 기계적, 전기적 스트레스를 감소시킬 수 있어 시스템의 유지, 보수비용을 절감할 수 있는 장점을 가지고 있다[2]. MPPT 제어를 구현하는 방법 중에 조류의 속도, 터빈의 특성, 발전기의 회전속도에 대한 정보를 필요로 하는 방법 있는데, 이와 같은 방법은 부가적인 측정 장비 및 제어 알고리즘이 필요하므로 실제 발전 시스템 구현시 비용과 복잡성의 증가와 측정 오차를 야기시킬 수 있어 시스템의 신뢰성 저하를 가져올 수 있다.

따라서 본 논문에서 제안된 제어 방법은 위와 같은 단점을 개선하여 buck-boost 컨버터를 이용한 조류 발전의 MPPT제어를 적용하여 효율성, 신뢰성, 경제성을 시민 조류 발전 시스템을 구현한다.

## 2. 본 론

## 2.1 조류 터빈의 특성

그림1에서 볼 수 있듯이, 조류 속도에 대한 조류 터빈의 특성 곡선에서 각각의 조류 속도에 따라 특정한 조류 발전기의 회전 속도에서 발전기의 출력전력이 최대가 되는 것을 알 수 있다. 즉 조류 발전기의 최대출력은 발전기의 회전 속도의 변화에 대해 특정한 지점에서 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 그림1을 통해 다음과 같은 식으로 최대 출력을 얻는 수 있는 곳을 표현할 수 있다.

$$\frac{dP_{out}}{d\Omega} = 0 \quad (1)$$

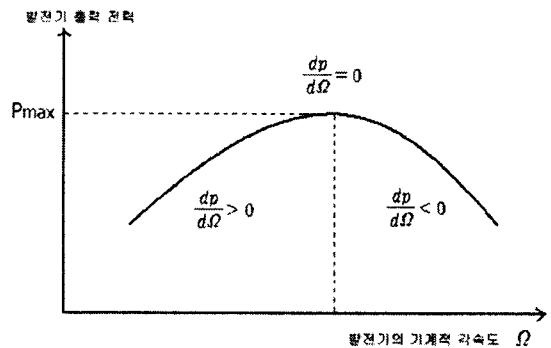


그림 1. 조류 속도에 대한 조류 터빈의 특성 곡선  
이때  $P_{out}$ 은 조류 발전기 출력전력이고  $\Omega$ 은 조류 발전기의 기계적 각속도이다.

## 2.2 컨버터 설계

그림2는 조류발전시스템의 구성도이다. 3상 PMSG DC battery bank가 정류기를 통해서 연결되어 있고 DC/DC 컨버터는 정류기와 DC battery bank를 지나서 연결되어 있다. 위와 같은 시스템구성은 발전기 터빈을 통해 발생된 전력을 unit power factor를 갖는 다이오드 정류기를 통해서 DC 전력으로 전환되고, 부하전류는 연속이다. [3]

$$P_t = 3VI = V_{dc} I_{dc} \quad (2)$$

이때  $V_{dc}$ ,  $I_{dc}$ 는 각각 DC측 전압 전류이다. 또한 DC 전압의 평균값은 다음과 같다.

$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}} V_{LLmax} \cos \theta d\theta \quad (3)$$

$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} V_{LLmax} \quad (4)$$

이때  $V_{LLmax}$ 는 선간 전압의 최대값이다. 이와 같은 관계식을 통해서 다음과  $V_{dc}$ ,  $V_{LL}$ 와  $V$ 의 관계를 도출할 수 있다.

$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} V_{LL} \quad (5)$$

$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} \sqrt{6} V \quad (6)$$

또한 식(2)와 식(6)으로부터  $I_{dc}$ 와  $I$ 의 관계를 얻을 수 있다.

$$I_{dc} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} I \quad (7)$$

연속적인 모드에서 buck-boost converter의 입력전압과 출력전압은 다음과 같은 관계식이 존재한다.

$$\frac{V_{bat}}{V_{in}} = \frac{D}{1-D} \quad (8)$$

컨버터의 손실을 무시하면, 에너지 보존 법칙에 의해서 다음과 같은 식을 만족한다.

$$P = \frac{V_{bat}^2}{R_{load}} = \frac{V_{dc}^2}{R_{dc}} \quad (9)$$

이때  $R_{load}$ 는 전기부하를 의미한다.

$$R_{dc} = R_{load} \left( \frac{1-D}{D} \right)^2 \quad (10)$$

식(6), 식(7)과 식(9)로부터 다음과 같은 방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{V_{dc}}{I_{dc}} = \frac{18}{\pi^2} \frac{V}{I} = R_{dc} \quad (11)$$

정류기 회로의 상당 저항값  $R_g$ 은 다음과 같이 단자전압  $V$ 와 정류  $I$ 로 나타낼 수 있다.

$$R_g = \frac{V}{I} \quad (13)$$

또한 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$R_g = \frac{\pi^2}{18} \left( \frac{1-D}{D} \right)^2 R_{dc} \quad (14)$$

위와 같은 식을 얻을 수 있다. 따라서 buck-boost 컨버터의 드라이브율은 최대 전력을 얻기 위해 제어되어져야만 한다.

### 2.3 센서리스 MPPT 제어방법

그림1에서 볼 수 있듯이 최대전력점을 중심으로 왼쪽과 오른쪽 부분으로 두가지의 동작영역이 존재한다. 따라서 최대전력을 얻기 위해 적용해야 할 법칙 또한 영역에 따라서 구분해야 하는데 이번 장에서는 그것을 분석할 것이다.

제안된 제어 방법은 조류 속도에 관한 정보를 이용하지 않고, 오로지 측정된 전압과 전류 값을 이용하여 전력 값을 구하고 현재의 전력 값을 이전 전력 값과 크기 비교하여 buck-boost 컨버터의 드라이브 제어를 통해서 조류 터빈의 동작점을 변화시켜 최대 전력 값으로 섭동하면서 추종하도록 하는 MPPT 제어방법이다. 위와 같은 방법은 최대전력점의 왼쪽 부분(zone1)과 오른쪽 부분(zone2)로 구분하여 설명할 수 있다. 다시 Zone1과 Zone2는 두가지로 구분할 수 있다. 따라서 총 4가지의 경우가 성립한다.

표 1. 동작영역에 따른 최대출력점 분석

영역	관계식	동작특성
Zone 1	$dp/d\Omega > 0$ $P(k) > P(k-1)$ $\Omega(k) > \Omega(k-1)$	섭동 후에 최대출력점을 잘 추종하고 있다고 볼 수 있다. 따라서 동일한 방향으로 드라이브 값을 계속 증가시킨다.
Zone 1	$dp/d\Omega > 0$ $P(k) < P(k-1)$ $\Omega(k) < \Omega(k-1)$	섭동 후에 전력은 감소한다. 따라서 MPPT의 방향은 잘못된 것이며 반대방향으로 드라이브 값을 증가시켜야 한다.
Zone 2	$dp/d\Omega < 0$ $P(k) > P(k-1)$ $\Omega(k) < \Omega(k-1)$	섭동 후에 최대출력점을 잘 추종하고 있다고 볼 수 있다. 따라서 동일한 방향을 유지하고, 드라이브 값을 증가시킨다.
Zone 2	$dp/d\Omega < 0$ $P(k) < P(k-1)$ $\Omega(k) > \Omega(k-1)$	섭동 후에 전력은 감소한다. 따라서 MPPT의 방향은 잘못된 것이며 반대방향으로 드라이브 값을 증가시켜야 한다.

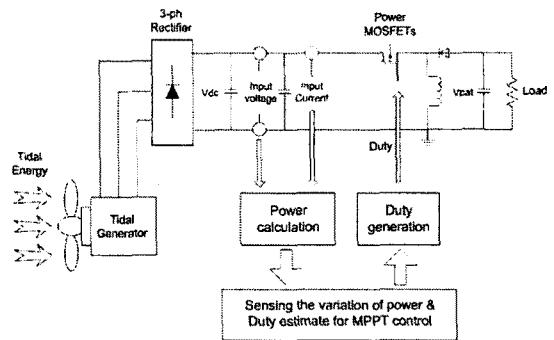


그림 2. 조류 발전 시스템의 블록다이어그램

### 2.4 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 MPPT 제어 시스템의 효용성과 견고성은 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 입증하였다. 시뮬레이션 프로그램으로는 제어 시뮬레이션 프로그램으로 널리 사용되어지는 Matlab Simulink®를 사용하였다.

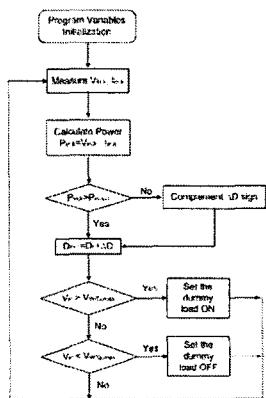


그림 3. MPPT 제어 알고리즘의 순서도

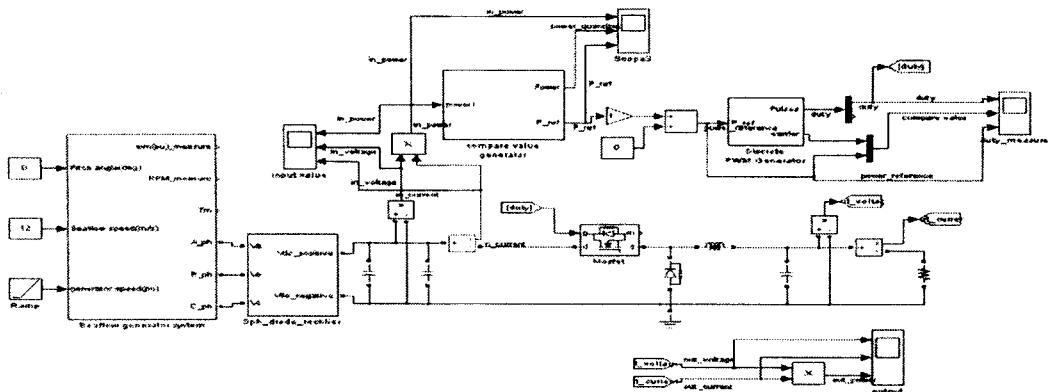
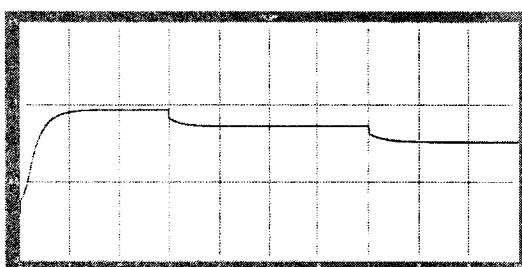
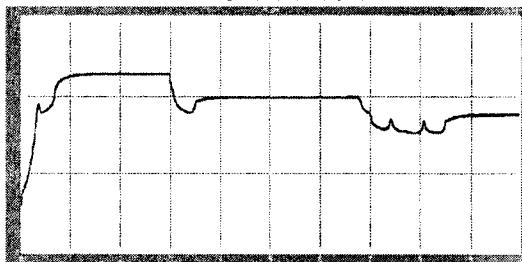


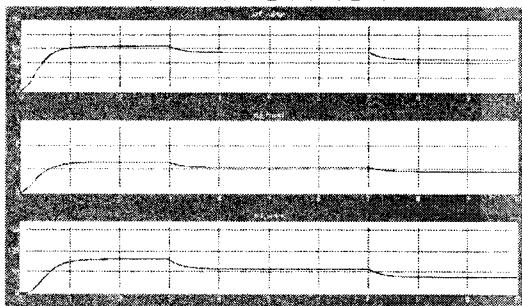
그림 4. Matlab Simulink를 위한 전체 시스템 블록도



(a) 고정 드ュ티비 적용시



(b) 제안된 MPPT 가변드ュ티비 제어 방법 적용시



(a) 고정 드ュ티비 적용시

그림 4는 2초에서 조류 속도가 증가하고 7초에서 조류 속도가 감소하는 조건에서의 조류 발전기의 회전 속도에 대한 결과 과정으로 고정 드ュ티시에는 정해진 속도로 발전기가 회전하지만 본 논문에서 제안한 MPPT 제어 방법 적용시에는 최대 전력을 낼 수 있는 속도로 발전기가 회전하는 것을 볼 수 있다.

그림 5는 그림 4와 동일한 조건에서 조류 시스템의 출력 전압, 출력 전류, 출력 전력의 과정을 나타낸 것으로 본 논문에서 제안한 MPPT 제어 방법 적용시 고정 드ュ티비 적용시보다 더 큰 전압, 전류, 전력의 출력값을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

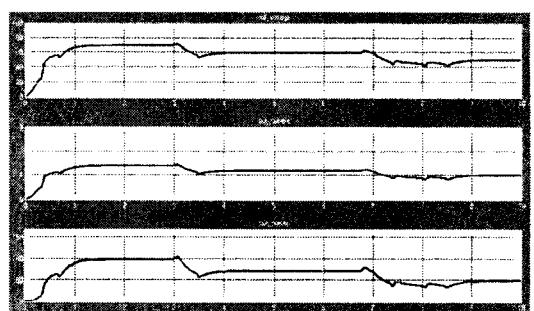


그림 6. 조류 시스템의 전압, 전류, 전력의 출력파형

### 3. 결 론

그림 2에서 보여지는 전체 시스템의 구성도에서 발전기로부터 얻어지는 출력 전력이 3상 교류 전압·전류는 3상 컨버터를 통해 직류 성분으로 변환한 후, 이때의 직류 전압·전류를 측정하여, 그에 따른 컨버터의 드ュ티비를 결정하여 최대 전력을 부하에 공급할 수 있게 한다. 또한 위의 시스템에서는 각 블록의 결과 과정을 스크립트를 통해 관찰할 수 있으며 간단한 상수의 변화를 통해 시스템의 입력 값을 쉽게 변화시킬 수 있다.

결과적으로 센서리스 알고리즘을 통해서 얻어진 가변속 MPPT방법은 고정속 MPPT방법에 비해서 더욱 높은 전력을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 조류발전시스템이 최대 출력을 얻기 위해 buck-boost 컨버터의 드ュ티비 제어가 필요하다는 것을 알 수 있고, 조류속도의 측정값 없이 오로지 전압과 전류 측정을 통해 얻어진 전력값의 비교를 이용하여 최대 전력점에 도달한다는 결과를 얻을 수 있었다. 향후 인버터와 같은 전력기기의 적용을 통해서 계통연계가 가능하다고 생각된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] A. G. Bryans, B. Fox, P. Crossley, and T. J. T. Whittaker, "Tidal energy resource assessment for the Irish grid," Universities Power Engineering Conference UPEC 2004 39th International, vol.2, pp.614-617, 2004.
- [2] Q. Wang, and L. Chang, "An Intelligent maximum power extraction algorithm for inverter-based variable speed wind turbine systems," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol.19, no.5, pp.1242-1249, 2004.
- [3] M. Machoum, F. Poitiers, C. Darengeosse and A. Queric "Dynamic performances of a Doubly fed induction machine for a variable speed wind energy generation Power system Technology," Proceeding international Powercon Conference vol. 4, pp. 421-428, Sept.1992.

감사의 글
이 논문은 2007년 산업자원부 신재생 에너지 기술사업의 고효율 부유식 조류발전시스템 개발의 지원으로 연구 되었음