

퍼지 제어기를 사용한 조류발전의 MPPT 제어법

최재신^{*}, 김영조^{**}, 김영석^{*}

인하대학교^{*}, 유한대학^{**}

The MPPT Control Method for The Seafow Generation by Using Fuzzy Controller

Jae Sin Choi^{*}, Young Jo Kim^{**}, Young Seok Kim^{*}

Inha University^{*}, Yuhan College^{**}

Abstract - This paper proposes new control method of maximum power point tracking for the seafow generation system. This control system is performed by using the duty ratio control of DC/DC converter. An advantage of MPPT(Maximum Power Point Tracking)control method presented in this paper is not necessary to use the seafow turbine characteristic at various seafow speed and measure the tidal speed and/or the rotation speed of the seafow generator. Therefore the resulting system has the characteristics of lower cost, higher efficiency and lower complexity.

The fuzzy controller is used to control the duty ratio of DC/DC converter. So the reactivity and the reliability of the generation system is developed.

Proposed control method was analyzed mathematically and tested by computer simulation by using Matlab Simulink^b.

1. 서 론

최근, 화석 연료와 같은 천연 자원을 사용함에 의해 발생하는 에너지 자원의 고갈과 환경 오염의 문제 때문에 신재생 에너지 자원에 대한 필요성이 점점 증대되고 있다. 많은 신재생 에너지 자원 중 조류 에너지는 친환경적인 에너지로, 그 에너지 변동이 일정하며 다른 신재생 에너지 자원에 비해 에너지 밀도가 높고 다른 형태의 에너지로의 전환이 쉬운 장점을 가지고 있어 미래의 에너지 자원으로서 많은 주목을 받고 있다[1].

조류 발전 시스템에서 가변속 제어 발전 시스템(the variable-speed control generation system)중 MPPT(Maximum Power Point Tracking)제어 시스템은 기존의 가변속 제어 발전 시스템에 비해 보다 효율적인 전력 생산이 가능하고 발전 시스템에 가해지는 기계적, 전기적 스트레스를 감소시킬 수 있어 시스템의 유지, 보수 시 비용 절감의 장점을 가지고 있다[2]. 이때 기존의 MPPT 제어 방법의 경우 조류 터빈에 대한 특성 및 조류의 속도와 조류 발전기의 회전 속도에 대한 정보를 필요로 하므로 추가적인 측정 및 제어 알고리즘이 필요하므로 시스템 구현시 비용과 복잡성의 증가와 측정 오차에 의한 시스템의 신뢰성 저하의 단점을 가지고 있다[3].

본 논문에서는 퍼지 제어기를 적용한 DC/DC 컨버터의 드티비 제어를 통해 보다 높은 신뢰성과 응답성을 지닌 조류 발전 시스템의 제어 방법을 제시한다.

2. 본 론

2.1 조류 발전 시스템의 특성

조류 속도에 대한 조류 터빈의 특성 곡선(그림 1)에서 각각의 조류 속도에 따라 특정한 조류 발전기의 회전 속

도에서 발전기의 출력전력이 최대가 되는 지점이 존재하게 된다. 즉 조류 발전기의 출력 전력의 변화가 발전기의 회전 속도의 변화에 대해 일정한 지점에서 조류 발전 시스템으로부터 최대 전력을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이를 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

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

이때 P_{out} 은 조류 발전기 출력전력이고 ω_{gen} 은 조류 발전기의 회전속도이다.

2.2 MPPT 제어 방법

위에 진술된 조류 발전 시스템의 특성에 따라, 본 논문에서 제시하는 조류 발전기의 MPPT 제어 방법은 다음과 같다.

buck 탑입의 DC/DC 컨버터의 경우, 드티비(D_{buck})는 컨버터의 출력 전압(V_{out})을 입력 전압(V_{in})으로 나눈 형태이다[4].

$$D_{buck} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (2)$$

이때 컨버터의 드티비를 컨버터의 입력 전압으로 미분하면 그 값은 0이 아니다. 식(2)를 위에 진술된 내용에 적용하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dD_{buck}}{dV_{in}} = -\frac{V_{out}}{V_{in}^2} \neq 0 \quad (3)$$

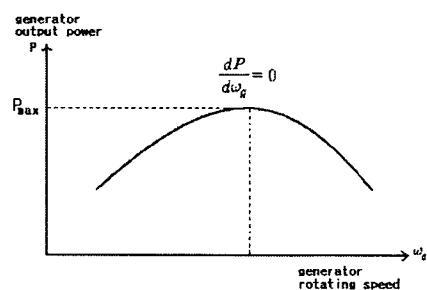


그림 1. 조류 속도에 대한 조류 터빈의 특성 곡선

식(1)에 식(3)을 적용하여 전개하면 다음과 같다.

$$\frac{dP_{out}}{d\omega_{gen}} = \frac{dP_{out}}{dD_{buck}} \cdot \frac{dD_{buck}}{dV_{in}} \cdot \frac{dV_{in}}{d\omega_{gen}} = 0 \quad (4)$$

또한 정류기의 출력전압($V_{rec.out}$)은 발전기의 회전 속도에 대해 양의 값을 갖는다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{dV_{rec.out}}{d\omega_{gen}} > 0 \quad (5)$$

이때 컨버터의 입력 전압은 정류기의 출력전압과 동일하므로 컨버터의 입력 전압을 발전기의 회전 속도로 나누면 양의 값을 갖는다.

$$\frac{dV_{in}}{d\omega_{gen}} > 0 \quad (6)$$

식(3)과 식(6)을 식(4)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다[5].

$$\frac{dP_{out}}{d\omega_{gen}} = 0 \Leftrightarrow \frac{dP_{out}}{dD_{buck}} = 0 \quad (7)$$

식(7)로부터 발전기의 회전 속도에 대해 발전기의 출력전력의 변화가 0인 점은 컨버터의 드티비 변화에 대해 발전기의 출력 전력이 0인 점과 같다는 것을 알 수 있다. 즉, 컨버터의 드티비 제어를 통해 발전 시스템의 MPPT 제어 동작을 수행할 수 있음을 알 수 있다.

그림 1에서 조류 발전기의 최대 출력 지점인 P_{max} 이전의 회전 속도 구간에서는 발전기의 회전 속도가 증가해야 하므로, 식(7)로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dP_{out}}{d\omega_{gen}} > 0, \frac{dD_{buck}}{dV_{in}} < 0, \frac{dV_{in}}{d\omega_{gen}} > 0 \quad (8)$$

즉, dP_{out}/dD_{buck} 은 0보다 작은 값을 가져야 함을 알 수 있다. 또한 P_{max} 이후의 회전 속도 구간에서는 발전기의 회전 속도가 감소해야 하므로, 식(7)로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dP_{out}}{d\omega_{gen}} < 0, \frac{dD_{buck}}{dV_{in}} < 0, \frac{dV_{in}}{d\omega_{gen}} > 0 \quad (9)$$

즉, dP_{out}/dD_{buck} 은 0보다 큰 값을 가져야 함을 알 수 있다. 이와 같은 규칙에 따라 DC/DC 컨버터의 드티비를 발전기의 출력 전력의 변화에 따라 조절함으로서 발전 시스템의 MPPT 제어 동작을 수행할 수 있다.

본 논문에서는 발전 시스템의 신뢰성과 응답성의 향상을 위해 컨버터의 드티비 조절을 퍼지 제어기를 사용하여 수행하였다. 사용된 퍼지 제어기의 구조는 표 1과 같은 퍼지 룰 베이스 행렬(fuzzy rule base matrix)로 구성되어 있다. 삼각형 퍼지 함수는 입력과 출력 벡터의 모든 퍼지 집합을 위해 사용되었다. 비 퍼지화를 위해서 무게 중심법(Center of Gravity Method)이 사용되어졌다[6][7].

조류 발전 시스템을 위한 제안된 MPPT 제어 방법의 효용성과 견고성은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 입증하였다.

	ΔD					
	NL	NS	Z	PS	PL	
Δe	NE	VH	H	H	M	L
	ZE	VH	H	M	L	VL
	PE	H	M	L	L	VL

표 1. 퍼지 룰 베이스 행렬(fuzzy rule base matrix)

2.3 조류 발전 시스템의 개요

본 논문에서 제안한 조류 발전 시스템은 그림 2와 같다. 조류 발전기를 통해 기계적 에너지인 조류 에너지로부터 변환된 전기 에너지는 3상 다이오드 정류기를 통해 직류의 전압, 전류 성분으로 변환되게 된다. 이때 변환된 전압, 전류 성분을 측정하여 조류 발전기의 출력 전력을 계산하고 계산된 출력 전력의 변화를 감지하여 본 논문에서 제안한 MPPT 제어 동작 수행을 위한 규칙에 따라 DC/DC 컨버터의 드티비를 조절하게 된다. 이때 드티비 조절에 있어서 보다 높은 신뢰성과 응답성을 갖게 하기 위해 퍼지 제어기를 사용한다. 이러한 제어 과정의 블록 다이어그램을 그림3에 나타내었다.

본 논문에서는 부하로 저항을 사용하였는데 저항 대신 인버터나 전력기기를 사용하여 전력 계통 연계 시스템으로 조류 발전 시스템을 확장 시키는 것도 가능하다.

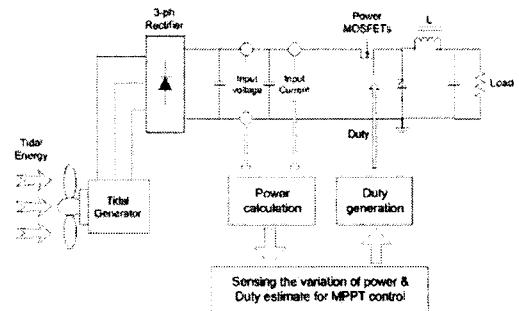


그림 2. 조류 발전 시스템

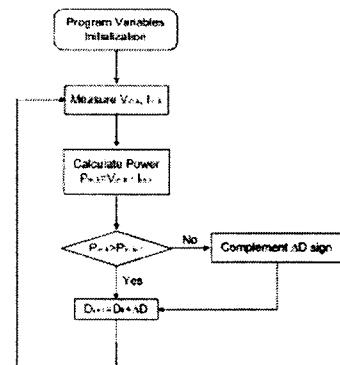
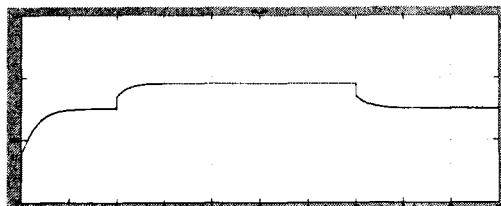


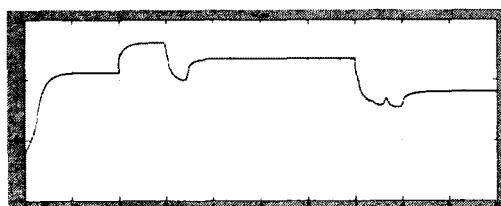
그림 3. 제어 블록 다이어그램

2.4 시뮬레이션 결과

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

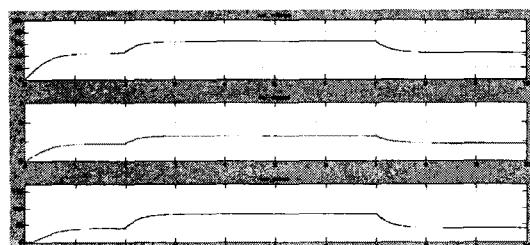


(a) 고정 듀티비 적용시

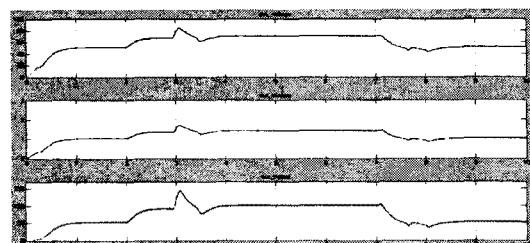


(b) 제안된 MPPT 제어 방법 적용시

그림 4. 조류 발전기의 회전 속도



(a) 고정 듀티비 적용시



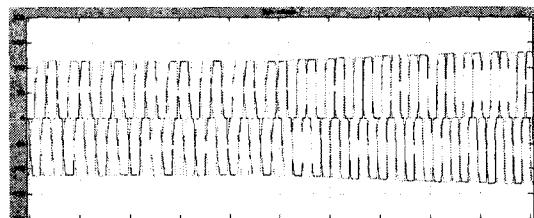
(b) 제안된 MPPT 제어 방법 적용시

그림 5. 조류 시스템의 전압, 전류, 전력의 출력파형

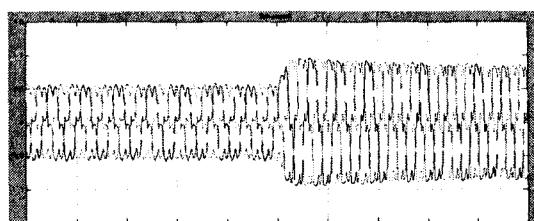
그림 4는 2초에서 조류 속도가 증가하고 7초에서 조류 속도가 감소하는 조건에서의 조류 발전기의 회전 속도에 대한 파형으로 본 논문에서 제안한 MPPT 제어 방법 적용시에는 최대 전력을 낼 수 있는 속도로 발전기가 회전하는 것을 볼 수 있다.

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

그림 6은 발전기의 출력 전압, 전류 파형을 나타낸다.



(a) 조류 발전기 출력전압 파형



(b) 조류 발전기 출력전류 파형

그림 6. 제안된 MPPT 제어 방법 적용시 발전기 출력파형

3. 결 론

본 논문에서는 조류 발전 시스템에서 조류 속도에 따라 조류 발전기를 통해 얻을 수 있는 출력 전력의 특성을 살펴본 후 이를 기초로 임의의 조류 속도에서 최대 출력 전력을 얻을 수 있는 MPPT 제어 방법을 제시하고 그 타당성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 입증하였다. 제시된 MPPT 제어 방법은 조류 속도 및 발전기의 회전 속도 정보를 필요로 하지 않으므로 시스템이 단순하고 시스템 구현과 유지, 보수시에 비용을 절감할 수 있다. 또한 펴지 제어기를 사용하여 보다 높은 응답성과 신뢰성을 가지므로, 보다 고효율, 고신뢰성을 지닌 발전 시스템을 구현 할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2007년 중소기업 기술혁신 개발 사업의 지원으로 연구 되었음

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] S. Morimoto, H. Nakayama, M. Sanada, and Y. Takeda, "Sensorless output maximization control for variable-speed wind generation system using IPMSM", IEEE Transactions on Industry Applications, vol.41, no.1, pp.60-67, 2005.
- [4] M. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, "Power Electronics", John Wiley & Sons INC., 3rd ed., pp.164-171, 2003.
- [5] E. Koutoulis, and K. Kalaitzakis, "Design of a Maximum Power Tracking System for Wind Energy-Conversion Applications", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.53, no.2, pp.486-494, 2006.
- [6] S. Bolognani, and M. Zigliotto, "Fuzzy Logic Control of a Switched Reluctance Motor Drive", IEEE Transactions on Industry Application, vol.2, no.5, pp.1063-1068, 2006.
- [7] 변중남, "퍼지논리제어", 홍릉과학출판사, pp.109-172, 1997.