

boost 컨버터에 퍼지제어기를 적용한 조류 발전의 MPPT제어

김천규*, 강형석*, 김영조**, 김영석*
 인하대학교*, 유한대학**

The MPPT Control Method of The SeafLOW Generation by Using Fuzzy Controller in boost Converter

Cheon Kyu Kim*, Hyoung Seok Kang*, Young Jo Kim** , Young Seok Kim*
 Inha University*, Yuhan College**

Abstract - In this paper, the control method of extracting maximum power from the seafLOW energy is proposed. This paper describes a variable speed seafLOW generation system with permanent magnet synchronous motor, bridge rectifier, buck-boost converter and Fuzzy controller. In this proposed seafLOW generation system, the duty ratio of buck-boost converter is controlled by the fuzzy controller. An advantage of MPPT control method presented in this paper don't need to use the characteristic of seafLOW turbine at various seafLOW speed and measure the tidal speed and the rotating speed of tidal turbine. Therefore, the proposed system has the characteristics of lower cost, higher efficiency and lower complexity. The effectiveness of algorithm is simulated based on Matlab Simulink.

1. 서 론

최근 풍력, 조력, 태양광, 지열과 같은 환경친화적인 신재생에너지는 환경오염과 화석에너지자원의 고갈문제, 교토의정서 규약에 의한 CO₂방출규제로 인해 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 신재생 에너지 자원 중 조류 에너지는 다른 에너지 자원에 비해 에너지 밀도가 높고 발전 효율 및 전환이 용이한 장점을 지니고 있다. 따라서 가까운 미래에 에너지 자원으로서 각광을 받을 것이다.[1]

본 논문에서는 기존의 고정속 발전 시스템에 비해, 보다 효율적으로 전력 생산이 가능하며 전체 시스템에 가해지는 기계적, 전기적 스트레스를 감소시키기 위해, 퍼지제어기를 이용한 가변속 발전 시스템을 구현하고 있다. 특히 제안된 시스템은 조류의 흐름이 항상 변화하는 곳에서, 특정 조류속도에서 최대전력(Maximum power point tracking)을 얻을 수 있는 곳으로 발전기의 회전속도를 제어함으로써 고정속 발전시스템에 비해 높은 효율을 갖는 시스템을 구현하였다. 또한 기존의 MPPT제어 방법에서는 조류속도를 측정하여 제어변수로 이용하였으나, 이러한 방법은 부가적인 측정장비가 필요로 하고 측정시 에러가 존재한다는 단점이 있다.[2]

따라서 위와 같은 단점들을 개선하여 조류 속도 측정을 필요로 하지 않는 buck-boost 컨버터를 이용한 가변속 MPPT 발전 시스템을 본 논문에서는 제안하려고 한다.

2. 본 론

2.1 조류 발전의 특성

그림1은 발전기의 회전속도에 대한 출력특성을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 특정 조류 속도에서 최대출력을 얻을 수 있는 조류 발전기의 회전 속도가 곡

선을 따라서 존재하고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 조류 발전기가 최대출력을 얻기 위해서는 발전기의 회전속도가 가능한 곡선 상에 존재하도록 제어하여야 한다. 그림1을 통해 다음과 같은 식으로 발전기 회전 속도와 최대 출력점과의 관계식을 알 수 있다.

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

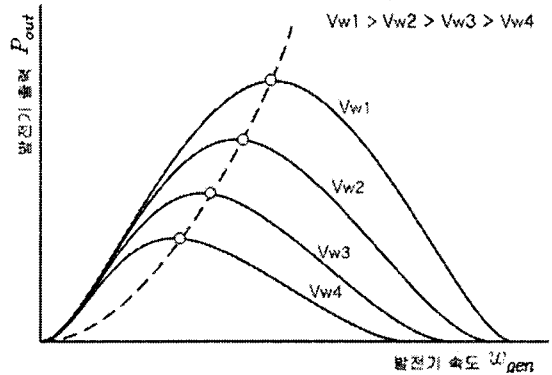


그림 1. 조류 속도에 대한 조류 터빈의 특성 곡선

2.2 MPPT 제어 원리

위에 진술된 조류 발전 시스템의 특성에 따라, MPPT 제어를 위해 다음과 같은 관계를 유도해 낼 수 있다.

boost 타입의 DC/DC 컨버터의 경우, 듀티비(D_{boost})는 식(2)와 같이 입력 전압(V_{in})과 출력 전압(V_{out})의 관계로 나타낼 수 있다.[3]

$$V_{out} = \frac{1}{1-D_{boost}} V_{in} \Rightarrow D_{boost} = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (2)$$

위의 관계식을 D_{boost}에 대해 미분하면 식(3)과 같은 관계를 얻을 수 있고 이 값은 0보다 작다.

$$\frac{dD_{boost}}{dV_{in}} = -\frac{1}{V_{out}} < 0 \quad (3)$$

식(1)을 연쇄법칙(chain rule)을 적용하여 전개하면 식(4)와 같다.[4]

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

또한 정류기의 출력전압(V_{rec.out})은 발전기의 회전 속도에 대해 양의 값을 갖고, 여기서 정류기의 출력전압은 boost 컨버터의 입력 전압과 동일하므로, 식(5)와 같이 컨버터의 입력전압과 회전속도의 관계식을 얻을 수 있다.

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

식(3)과 식(5)을 식(4)에 대입하여 정리하면 식(6)과 식(7)을 얻을 수 있다[5].

$$\frac{dP_{out}}{d\omega_{gen}} = 0 \Leftrightarrow \frac{dP_{out}}{dD_{boost}} = 0 \quad (6)$$

식(6)로부터 발전기의 회전 속도 변화에 대해 발전기의 출력전력 변화가 0인 점은 컨버터의 듀티 변화에 대해 발전기의 출력 전력이 0인 점과 같다는 것을 알 수 있다. 따라서, 컨버터의 듀티비 제어를 통해 발전 시스템의 MPPT제어 동작을 수행할 수 있음을 알 수 있다.

그림 1에서 조류 발전기 P_{max} 에 도달하기 이전의 구간에서는 발전기의 회전 속도가 증가해야 하므로, 식(6)로부터 식(7)을 얻을 수 있다.

$$\frac{dP_{out}}{d\omega_{gen}} > 0 \quad \frac{dD_{boost}}{dV_{in}} < 0, \quad \frac{dV_{in}}{d\omega_{gen}} > 0 \quad (7)$$

$$\frac{dP_{out}}{dD_{boost}} < 0$$

즉, dP_{out}/dD_{boost} 은 0보다 작은 값을 가져야 함을 알 수 있다. 또한 P_{max} 이후의 회전 속도 구간에서 최대출력에 도달하려면 발전기의 회전 속도가 감소해야 하므로, 식(7)로부터 식(8)을 얻을 수 있다.

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

$$\frac{dP_{out}}{dD_{boost}} > 0$$

즉, dP_{out}/dD_{boost} 은 0보다 큰 값을 가져야 함을 알 수 있다. 위의 결과에 따라 컨버터의 듀티비를 조절하여 MPPT 제어 동작을 수행할 수 있다.

본 논문에서는 컨버터의 듀티비 조절을 퍼지 제어를 사용하여 수행하였으며, 사용된 퍼지 제어기의 구조는 표 1과 같은 퍼지 룰 베이스 행렬(fuzzy rule base matrix)로 구성되어 있다. 삼각형 멤버쉽 함수(The triangular membership functions)는 입력과 출력 벡터의 모든 퍼지 집합을 위해 사용되었으며, 비 퍼지화(defuzzification)를 위해서 무게 중심법(Center of Gravity Method)이 사용되었다. [5]

		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)

2.4 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 MPPT 제어 시스템의 효율성과 견고성은 Matlab Simulink를 사용하였다.

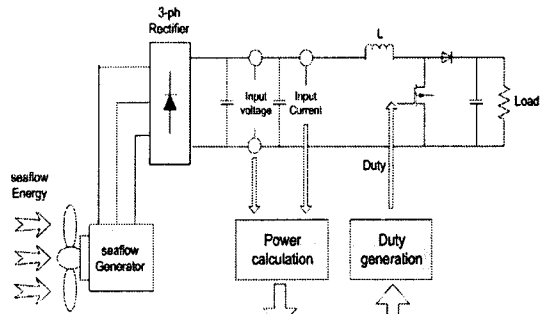


그림 2. 조류 발전 시스템의 블록 다이어그램

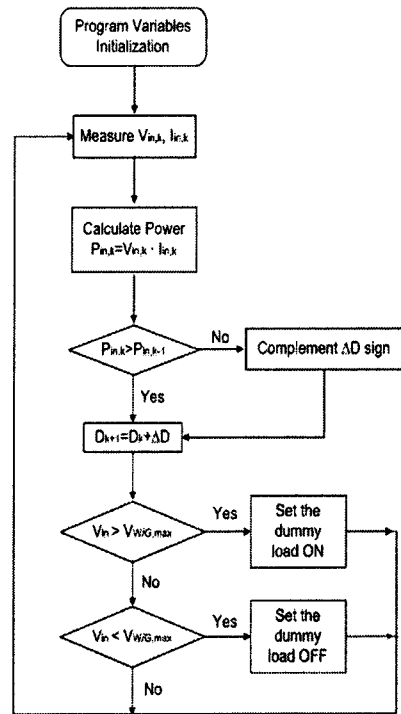


그림 3. MPPT 제어 알고리즘의 순서도

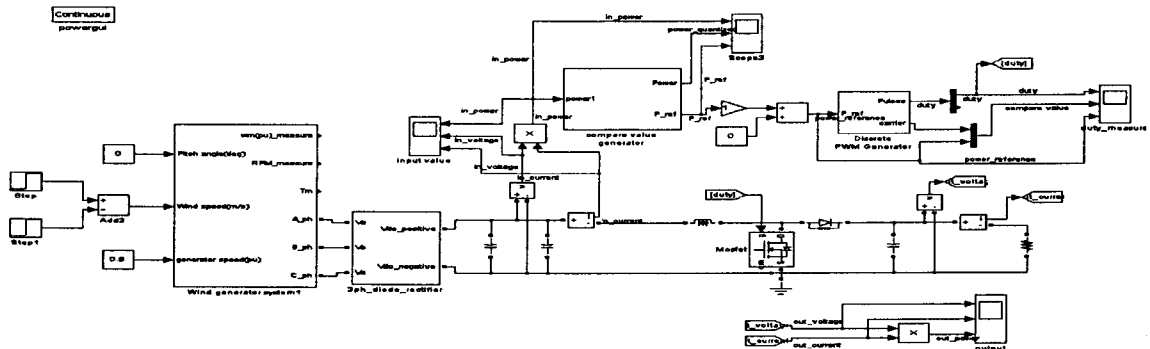
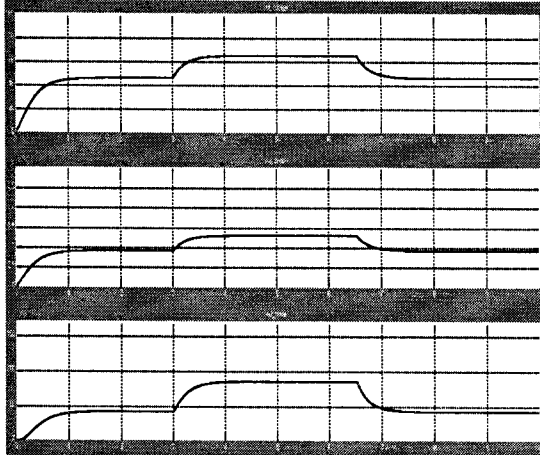
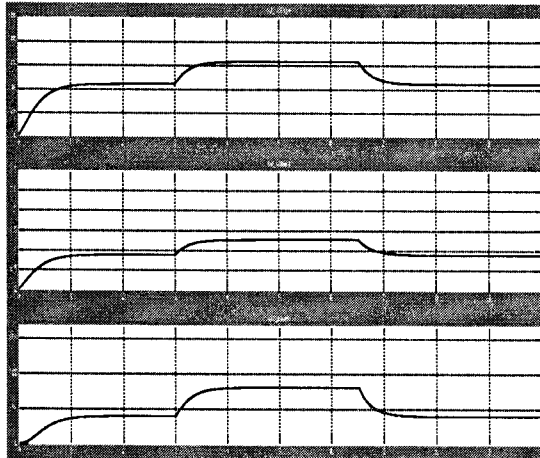


그림 4. Matlab Simulink를 위한 전체 시스템 블록도

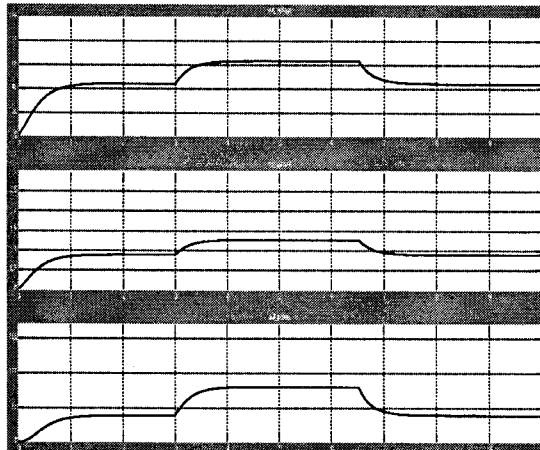
실험 조건을 조속이 3초에서 증가하고 7초에서 감소하는 조건으로 하여 고정듀티와 가변듀티에서 시뮬레이션을 하였다. 그림 5는 고정 듀티(20%, 50%, 80%)에서의 결과를 보여 주고 있다. 출력 파형을 비교해보면 듀티비 20%에서 최대 출력을 보여주고 있다는 것을 알 수 있다. 이 결과를 그림 6의 퍼지제어기를 이용한 가변 듀티 시뮬레이션과 비교하면, MPPT제어를 함으로써 출력전력이 높게 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.



(a) 고정 듀티비 적용시 전압,전류,전력(20%)



(b) 고정 듀티비 적용시 전압,전류,전력(50%)



(c) 고정 듀티비 적용시 전압,전류,전력(80%)

그림 5. 고정듀티 적용시 출력파형

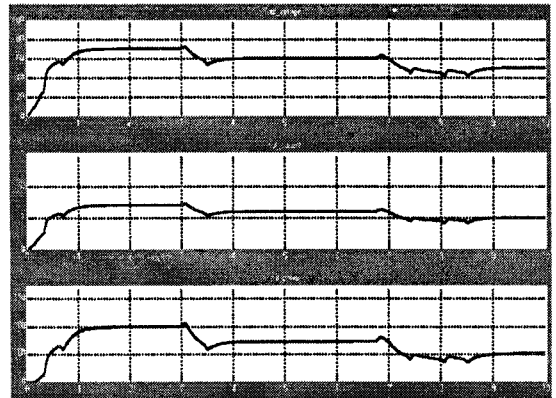


그림 6. MPPT 적용시 전압, 전류, 전력의 출력파형

3. 결 론

퍼지제어기를 이용한 boost 컨버터의 MPPT 시스템을 구성하여, 발전기로부터 얻어지는 출력 전력을 정류기를 통해서 DC 값으로 변환한 후에, boost 컨버터를 이용하여 전압 전류를 조절하여 출력전력을 제어하였다. 이때 제어를 위해서 발전기 출력이 정류기를 지난 후에 얻어진 전압, 전류 성분의 곱을 통해서 전력을 구하고, 이 값을 제어변수로 하여 boost 컨버터의 듀티비를 제어하고, 이를 통해 최대 출력 전력을 얻을 수 있도록 앞에서 유도한 관계식을 이용하여 시스템을 제어하여 전체 시스템을 구성하였다. 조류 속도의 측정이 없는 센서리스 알고리즘을 통해서 제어된 가변속 MPPT방법은 고정속 MPPT방법에 비해서 더욱 높은 전력을 얻을 수 있다는 것을 실험을 통해서 알 수 있으며, 이는 조류 속도가 항상 변화하는 환경에서, 제안한 시스템이 조류 에너지로부터 더욱 효율적으로 전기적 에너지를 얻을 수 있다고 판단된다.

그러므로 본 논문에서 제시한 시스템은 다음과 같은 장점이 있다고 판단된다. 첫째, 가변속 시스템을 채택함으로써 기계적인 스트레스가 줄어들고 효율이 좋아진다. 둘째, 조류 속도의 측정 없이 시스템의 파라미터 제어만으로 변화하는 조류속도에서 최대 출력을 얻을 수 있다. 따라서 전체적인 시스템의 신뢰성이 향상되고, 시스템 비용을 절감할 수 있다. 실험 결과를 토대로 향후 back to back 컨버터를 이용하여 계통연계도 가능할 것이라 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] Amei, K., Takayasu, Y., Ohji, T., Sakui, M., "A maximum power control of wind generator system using a permanent magnet synchronous generator and a boost chopper circuit" Power Conversion Conference, 2002. PCC Osaka 2002, Proceedings of the Volume pp 1447 - 1452 vol.3, April 2002
- [4] E. Koutroulis, 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.
- [5] Chen, Z., Gomez, S.A., McCormick, M., "A fuzzy logic controlled power electronic system for variable speed wind energy conversion systems" IEE Conf. Publ. No. 475, pp.114 - 119, 2000

감사의 글

이 논문은 2008년 산업자원부 신재생 에너지 기술사업의 고효율 부유식 조류발전시스템 개발의 지원으로 연구 되었음