

# 제동 및 전력변환 겸용 스위치를 이용한 풍력발전용 충전장치

주홍주, 이화춘, 박성준  
전남대학교 전기공학과

## Wind Energy Charger Using Breaking and Power Conversation Switch

Hong-Ju Ju, Hwa-Chun Lee, Sung-Jun Park  
Chonnam Nat. Univ.

### ABSTRACT

In this paper, we proposed new maximum electric power tracking algorithm by composing Buck-boost chopper circuit to charge electric power from wind energy generator which is under low and high wind velocity. The break function is also proposed with the existed buck-boost chopper switch. We made a proto-type as a lab level to verify appropriateness of using proposed circuit.

### 1. 서론

선진 각국에서 화석 에너지의 고갈문제와 환경문제에 대한 해결 방안으로 신·재생 에너지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이에 대한 국가 차원의 연구지원과 보급정책이 이루어지고 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 에너지의 고갈문제와 환경문제에 대한 해결 방안으로 최근 소용량 풍력발전기 설비가 증대되고 있다<sup>[2]</sup>. 풍력 발전기용 충전기 시스템은 충전기능 뿐만 아니라 강풍에서 블레이드의 과손을 방지하기 위해 브레이크 작동도 겸비하여야 한다. 기존의 풍력발전 시스템에서 일반적으로 브레이크 작용은 별도의 릴레이에 의해 행하며, 이때 릴레이의 접점 아크의 발생으로 릴레이의 수명이 단축되는 단점이 있다. 본 논문에서는 저 풍속 및 고 풍속에서도 풍력발전기에서 발생하는 전력을 충전하기 위해 Buck-boost 초퍼 회로를 구성하여 최대 전력추정 특성이 안정적인 새로운 알고리즘을 제안하였다. 또한 기존의 Buck-boost 초퍼의 스위치를 이용하여 브레이크 작동도 겸비하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 혼용회로의 타당성을 검증하기 위해 실험실 단위의 프로토타입을 제작하였다.

### 2. 충전기의 구성

#### 2.1 풍력발전기의 특성

풍력발전기는 바람을 이용한 전기 발생장치로 풍속에 따른 발전전력은 아래와 같다.

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A C_p(\lambda) v_w^3 \quad (1)$$

$\rho$  : air density

A : area swept by the blades( $\pi R^2$ )

$C_p(\lambda)$  : power coefficient

$\lambda$  : tip-speed ratio

$v_w$  : wind speed

식 (1)에서 하는 보는바와 같이 풍력발전기의 전력발생량은 풍속의 3승에 비례하게 된다. 따라서 풍력발전기의 설치는 바람이 많은 곳에 설치하여야 한다.

전력변환기에서 발전전력을 최대를 하기 위해서 제어가능 인자는  $C_p(\lambda)$ 이며, 이 값의 결정은  $\lambda$ (tip-speed ratio)의 함수이다. 일반적인 수평형 풍력발전기에서 tip-speed ratio는 아래와 같다.

$$\lambda = \frac{v_t}{v_w} = \frac{\omega_t R}{v_w} \quad (2)$$

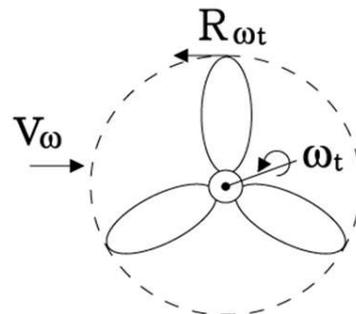


그림 1. 수평형 풍력발전기에서 tip-speed ratio 정의

식 (1)에서 보는바와 같이, tip-speed ratio에 따라  $C_p(\lambda)$ 가 다르게 나타나며, 이 값을 크게 하기위해 전력변환기에서 제어하여야 최대전력을 발생할 수 있다.

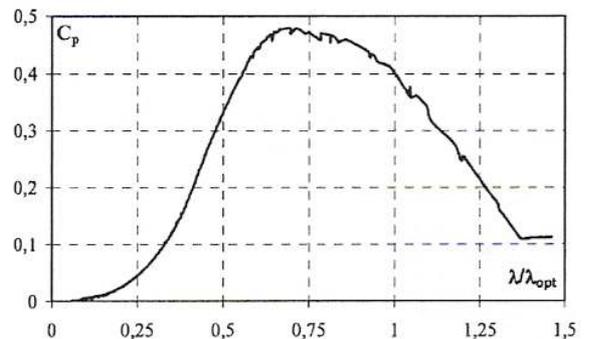


그림 2. tip-speed ratio에 따른 power coefficient 특성

그림 2는 tip-speed ration에 따른  $C_p(\lambda)$ 을 관측한 것이다. 그림에서 0.63일 경우에 최대전력이 발생함을 알 수 있으며, 이 값은 풍속에 따라 변하게 된다.

### 2.2 풍력발전용 전력변환기 및 보호 장치

그림 3은 기존의 풍력발전용 전력변환 시스템의 구조를 나타내고 있다. 일반적으로 소용량 풍력발전기는 영구 자석형 동기발전기로 교류를 출력한다. 이 교류를 정류다이오드를 통하여 직류로 변환한 뒤 DC/DC 컨버터에 의해 배터리에 충전하게 된다. 또한 태풍 등 풍력발전기의 정격 용량을 초과하는 바람에 대해서는 풍력발전기 출력 단을 릴레이와 같은 것을 이용하여 상 단락을 시켜 풍력발전기를 구속함으로 기계적으로 안정한 조치를 취하는 구조이다. 이 때 단락전류의 크기를 제한하기 위해 인덕터를 삽입하는 경우가 대부분이다.

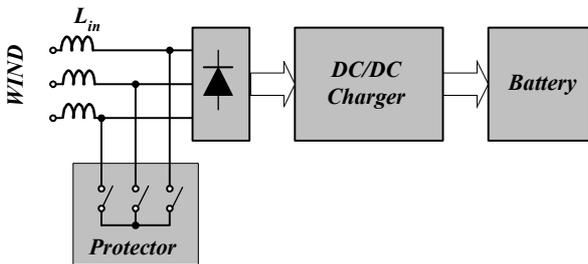


그림 3. 기존의 풍력발전용 전력변환 시스템의 구조

이와 같은 구조에서는 전류제한용 인덕터, 보호용 릴레이, 전력변환용 스위치가 독립적으로 존재하여 원가 상승의 원인이 되고 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 4와 같은 전력변환기의 스위치와 인덕터를 이용하여 브레이크 작용을 겸비할 수 있는 전력변환장치를 나타내고 있다.

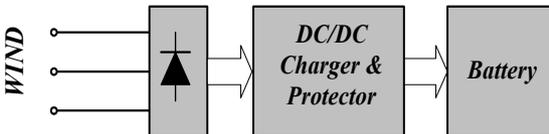


그림 4. 제안된 풍력발전용 전력변환 시스템의 구조

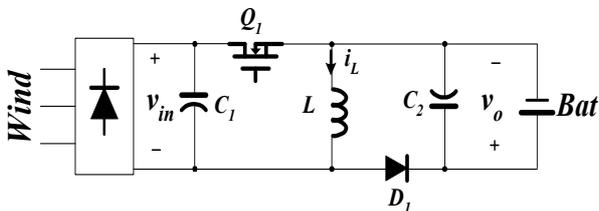


그림 5. 풍력발전 충전기용 Buck-Boost 컨버터의 구조

풍력발전기에서 발생하는 전력을 최대로 발생하기 위해서는 풍력 발전기용 충전기 입력 단 DC 전압을 원하는 레벨의 DC 전압으로 변환할 수 있는 전력변환기의 사용이 필수적이다. 이러한 전력변환기 중 buck 컨버터는 boost 및 buck-boost 컨버터에 비하여 그 특성이 우수하여 대부분 태양광 발전의 충전용 컨버터로써 사용되고 있다. 그러나 buck 컨버터를 사용하여 최대전력점추종(MPPT: maximum power point tracking)을 행할 경우 최대전력점이 충전지의 전압보다 높아야하는 문제점으로 인하여, 풍력발전기 출력전압이 충전지 전압보다 낮을 경우 풍

력에너지를 충전지에 충전하지 못하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 강압 모드일 때, buck-boost 컨버터를 사용하여야 최대전력점이 충전지의 전압보다 낮은 경우에도 충전할 수 있다. 풍력발전기용 충전기 시스템에서 Buck-Boost 컨버터 전력변환기를 사용할 경우 스위치는 인덕터와 입력을 단락 시키는 모드가 존재하고, 이 모드를 적절히 이용하면 풍력발전기를 구속 상태로 둘 수 있다.

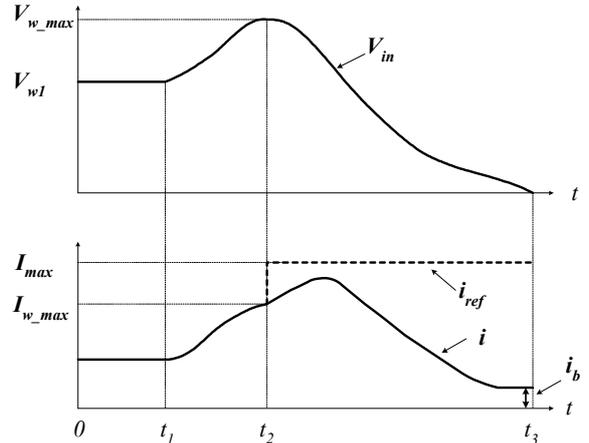


그림 6. 풍력발전기의 구속제어 개념도

그림 6은 풍력발전기의 구속제어 개념도를 나타내고 있다. 전력변환기는 풍력발전기의 전압, 전류를 순차적으로 관측하여 허용 최대전력(풍력발전기의 최대풍속에서 발전전력)이 발생하는  $t_2$ 에서 풍력발전기를 구속시키기 위한 전력변환기의 최대 허용전류로 지령치를 변경한다. 이 조건은 아래 식과 같다.

$$P_{max} = V_{w_{max}} I_{w_{max}} \quad (3)$$

이 경우 풍력발전기는 최대전력발생 전류보다 상당히 큰 전류가 되어 회전속도가 감소하게 되어 구속상태 시간인  $t_3$ 에서 풍력발전기는 매우 낮은 속도로 회전하게 된다.  $t_3$ 시간 이후에는 전력변환기에서는 풍속이 저감한 여부를 구속전류( $i_b$ )를 검출하여 판단한다. 본 논문에서는 1시간동안 연속하여 구속전류의 절반의 전류가 흐를 경우 구속모드를 해제하게 하였다.

### 2.3 최대전력 추정알고리즘 및 충전특성

P&O MPPT 알고리즘은 그림 7에 나타나 있으며, 주기적으로 풍력 출력전류를 미소 변동시켜, 변동 이전의 출력전력과 변동 이후의 출력전력을 비교하여 최대 동작점을 추정한다. 플로우 차트의 기본구성은 현 샘플링 시점에서 전력의 변동분과 전압의 변동분을 검출하여 그 변동분의 부호가 동일하면 출력지령 전류를 미소 변동분( $\delta i$ ) 만큼 증가시키고, 변동분의 부호가 반대이면 감소시키는 형태를 취하고 있다. 이런 경우 출력전류가 지령전류에 시 지연을 갖고 추종할 경우 그 동작이 불안한 경우가 발생한다. 따라서 본 논문에서 제안하는 MPPT 알고리즘은 그림 7과 같은 동일한 구조를 하고, 그림 8과 같이 전류 지령치를 실제전류를 기초로 하여 미소 변동분( $\delta i$ ) 만큼 증감함으로써 안정된 추정을 할 수 있다.

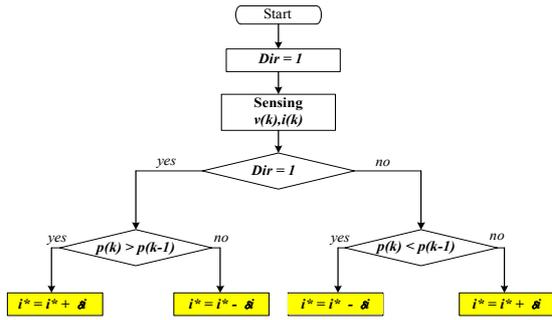


그림 7. 기존의 MPPT 알고리즘의 흐름도

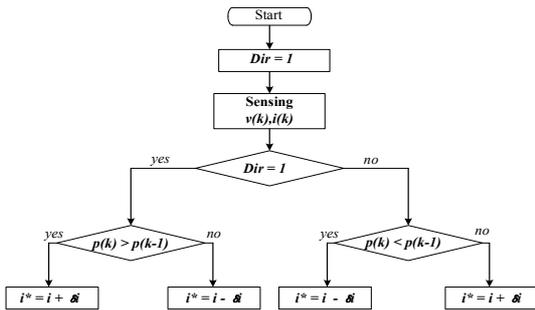


그림 8. 제안된 MPPT 알고리즘의 흐름도

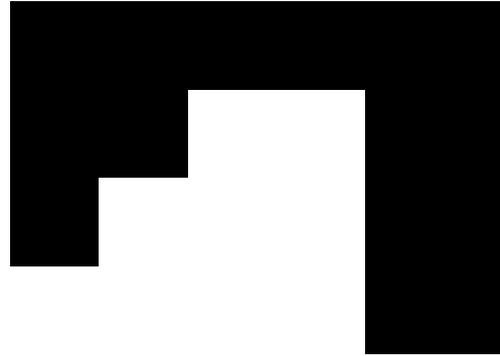
### 3. 실험 결과

그림 9는 실험실에서 제작된 풍력 발전기용 충전기 시스템을 나타내고 있다. 제어기는 AVR16을 실장하여 원보드 타입으로 제작하였다. 풍력 발전기의 출력전압, 전류에 대해 마이컴에서는 전력을 계산하고, 이를 바탕으로 MPPT제어를 위한 PWM신호를 AVR의 OCR1A를 통해 발생한다. 이때 MPPT 제어알고리즘은 기존의 P&O 알고리즘을 변경하여 개선된 제어 토폴로지를 사용하였다. 충전기의 구성은 내부 전류제어 루프를 가진 전압제어로 구성하였다. 충전완료 전압은 배터리의 공칭전압인 14.4[V]가 되도록 설정하였으며 저전압을 검출하는 회로에서는 10[V]이하를 저전압으로 인식하게 했다. 방열판 온도의 과온 여부를 확인 할 수 있는 외부 입력을 두었으며, 이는 포토인터럽트에 의해 마이컴의 외부 입출력 핀을 통해 받아들일 수 있다.



그림 9. 500W급 풍력 발전기 사진

그림 10은 풍력 발전기용 충전기 시스템 특성 실험 결과를 나타내고 있다. 그림 10(a)는 구속시험 특성으로 최대 지령전류를 16[A]로 설정한 경우의 풍력발전기의 전류특성 시험이다. 그림 10(b)는 충전특성을 고찰하기 위해 충전기의 기동 최대전력전달 구간 및 정전압제어구간으로 양호하게 나타남을 알 수 있었다.



(a) 구속시험 특성



(b) 충전시험 특성

그림 10. 풍력 발전기용 충전기 시스템 특성

### 4. 결론

본 논문에서는 풍력 발전기용 충전기 시스템은 충전기능 뿐만 아니라 강풍에서 블레이드의 파손을 방지하기 위해 브레이크 작동도 겸비한 500 [W]급 풍력발전 충전 시스템을 구성하여 실험한 결과, 그 특성이 우수함을 확인 할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부와 한국 산업 기술 재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구 결과임. 이 연구의 참여한 연구자는 2단계 BK21사업의 지원비를 받았음.

#### 참고 문헌

- 1] C.R Sullivan and M.J. Powers, "A high-efficiency maximum power point tracker for photovoltaic arrays in a solar-power race vehicle", IEEE-PESC Conf. Rec., pp. 574-580, 1993.
- 2] J.H.R. Enslin, M.S. Wolf. D.B. Snyman, and W. Swiegers, "Integrated photovoltaic maximum power point tracking converter", IEEE Trans. Ind. Electronics., vol. 44, pp. 769-773. Dec. 1997.