

직렬운전 소형풍력발전시스템의 해석 및 MPPT 기법

김창하, 구현근, 최성욱, 김장목
부산대학교

Analysis and MPPT scheme of series connected small wind turbine system

Kim Chang Ha, Ku Hyun Keun, Choi Sung Uk, Kim Jang Mok
Pusan National University

ABSTRACT

본 논문에서는 직렬운전 소형풍력발전시스템의 해석 방법과 최대 파워를 추종하는 MPPT(Maximum Power Point Tracking)기법을 제안한다. 소형풍력 발전시스템은 개별 발전기에서 생성되는 역기전력이 낮아 배터리 충전과 같은 독립적인 부하에 전원을 공급하는 용도로 쓰이나 발전기를 N개 직렬연결하면 계통연계가 가능하다. 일반적인 풍력발전 시스템에서의 블레이드 출력은 출력 계수(C_p) 곡선의 형태에 의해서 결정되고, 출력계수 곡선은 주속비(λ)의 함수로 표현된다. N개의 발전기를 직렬연결 하는 경우 각기 다른 풍속에 대하여 출력과 파워 해석이 곤란하므로, 직렬 운전 시 발전기토크를 기준으로 한 해석과 이에 적합한 MPPT 방법을 제안한다.

1. 서론

최근 산업이 발전하면서 에너지사용의 증가로 환경오염과 자연고갈문제가 대두되고 있으며, 이 문제의 해결책으로 신재생에너지를 이용한 발전시스템이 큰 관심을 받고 있는 추세이다. 이 중 풍력 발전 시스템은 바람이 가지는 운동에너지를 전기에너지로 변환하는 대표적인 신재생에너지 시스템이다. 블레이드 크기와 발전기 용량에 따라 대형과 소형으로 분류 할 수 있는데, 소형풍력발전은 크기가 비교적 작고 설치가 용이해 초고층 건물이나 공원 등에 설치가 가능하다. 일반적으로 소형풍력발전은 출력전압이 낮아 계통연계형 보다는 배터리 충전 등 독립형으로 주로 사용된다. 그러나 N개의 발전기를 직렬로 연결하여 출력전압을 높이면 계통연계가 가능하다. 발전기를 직렬로 연결하는 경우 각 발전기에서 DC단으로 들어가는 전류가 모두 같기 때문에 전체 출력 파워를 구하기 위해서 발전기의 토크를 기준으로 해석해야 한다. 따라서 본 논문에서는 계통연계형 소형풍력발전 직렬운전에 대한 해석과 이에 적합한 계통과위의 최대점을 추종하는 MPPT기법을 제안한다. 직렬운전에 대한 해석과 제안한 MPPT는 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

2. 직렬운전 해석과 제안한 MPPT 기법

2.1 일반운전 소형 풍력 발전 시스템 해석

일반적인 소형 풍력 발전시스템의 블레이드 출력 특성은 바람의 에너지(식 2.1)와 블레이드가 획득 가능한 에너지 출력 계

수인 C_p 를 통하여 나타낸다. 블레이드 종류에 따른 정확한 C_p 값은 수치해석을 통하여 획득 가능하다. 이를 통해 얻은 블레이드 출력 중에서 가장 높은 값을 찾는 것이 MPPT(Maximum Power Point Tracking)이라 한다.

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p \quad (2.1)$$

P_{wind} : 바람의 에너지, ρ : 공기밀도, A : 면적, V : 풍속

2.1.1 출력계수

출력계수(Power Coefficient, C_p)는 풍력터빈이 바람 에너지로부터 추출 가능한 파워 회수율을 말하며 이 출력계수가 높을수록 동일한 풍속에서 많은 에너지를 얻을 수 있는 것을 뜻한다.

$$C_p = \frac{P_{blade}}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \quad (2.2)$$

P_{blade} : 실제얻은출력 [Nm/s or $W, kgm^2/s^3$]

출력계수(C_p)는 풍속에 대한 블레이드의 회전 속도비인 주속비(TSR: Tip Speed Ratio) λ 의 함수로 표현되고, 수치해석을 통해 아래의 식(2.3)로 표현된다.

$$C_p = C_0 + C_1 e^{-C_2 \left(\frac{\lambda - C_3}{C_4} \right)^2} \quad (2.3)$$

$\lambda = \frac{Rw_m}{V}$: 주속비

R : 블레이드 반지름, w_m : 블레이드 속도

C_0, C_1, C_2, C_3, C_4 의 파라미터는 각각 Y축 이동, 최대값 조절, 기울기 조절, X축 이동, 기울기 조절에 영향을 미치는 파라미터 이다.[1] 주속비에 대한 출력특성 그래프는 그림1(a)와 같다.

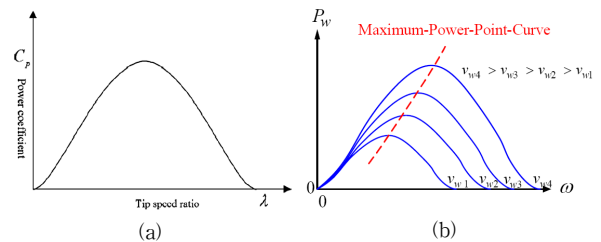


그림 1 (a)주속비에 대한 출력특성, (b)풍속의 변화에 따른 출력특성

2.1.2 개별 소형풍력발전 시스템의 MPPT

개별 운전은 출력계수 특성에 의해 최대지점이 나타나게 되

며, 그림 1(b)와 같이 각 해당 풍속의 최대 블레이드 파워 지점을 찾아 제어하는 방식이 MPPT이다.

2.2 직렬운전 소형 풍력 발전 시스템 해석

소형풍력발전 시스템 직렬운전은 역기전압이 낮은 소형풍력 발전기들의 출력을 직렬 연결하여 계통연계가 가능하고, 인버터 1대로 N개의 발전기 출력을 전달 할 수 있다.

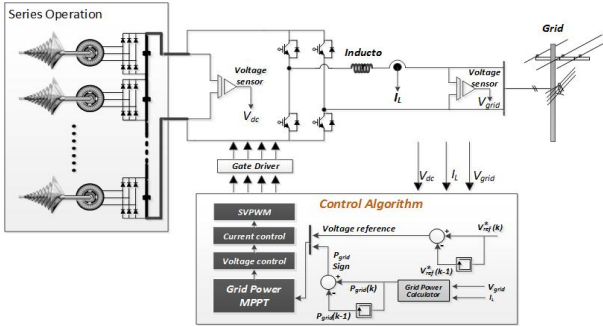


그림 2 소형풍력 발전 직렬운전 모델

2.2.1 직렬운전의 특성

직렬연결의 특성상 N개의 블레이드가 각기 다른 풍속조건에서 운전하여도 출력되는 전류는 같다. 그러므로 각 발전기의 토크역시 모두 같다.

각기 다른 풍속조건에서 직렬운전의 각 블레이드들은 서로 속도와 주속비가 일치 하지 않는다. 따라서 전체 블레이드 파워의 합은 발전기의 토크로 해석해야한다.

2.2.2 직렬운전의 MPPT

서로 다른 풍속으로 N개의 블레이드를 운전 한 경우 각 발전기의 토크는 같지만 주속비는 다르다. 그러므로 각 블레이드마다 최대 개별파워를 추종할 수 없고, 주속비에 대한 전체 파워도 구할 수 없다. 따라서 직렬운전 시 N개의 블레이드 최대지점을 추종하기 위해서는 발전기 토크를 제어해야한다. 그러나 다이오드 정류기 사용 시 발전기 측 토크를 직접 제어하기는 힘들다. 그러므로 DC단 전압을 가변하여 출력계수 특성에 따라 토크를 제어하고 부하단의 최대파워를 추종하는 MPPT를 제안한다.

2.2.3 제안한 직렬운전 MPPT 알고리즘

식(2.4)를 보면 DC단 전압을 가변하면 발전기 속도를 변화시킬수 있고, 식(2.5)와 출력계수 특성에 의해 토크를 제어할 수 있다.[2]

$$E = K\phi\omega_m \quad (2.4)$$

$$P_{blade} = T\omega_m \quad (2.5)$$

계통전압은 일정하므로 DC전압을 가변하여 계통전류의 최대점을 찾는 P&O알고리즘을 그림3과 같이 제안한다.[3]

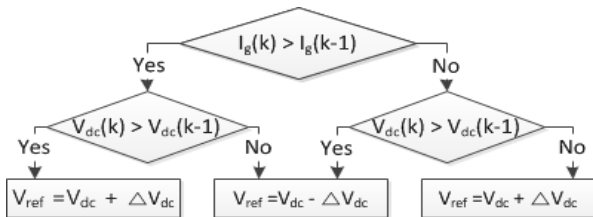


그림 3 제안한 MPPT 알고리즘

3. 시뮬레이션

제안한 MPPT 기법은 3개의 발전기를 서로 다른 풍속으로 (8m/s, 10m/s, 12m/s) 직렬 운전하여 계통연계 시뮬레이션을 하였다. 그림4에서 최대 계통전류를 추종하기 위해 전압지령이 가변 하는 것을 확인 할 수 있고, 그림5에서는 동기좌표계 q축 계통전류를 보여주고 있다.

이 시뮬레이션을 통해서 직렬운전 소형풍력 발전 시스템의 최대 출력을 추종하는 MPPT 기법을 검증하였다.

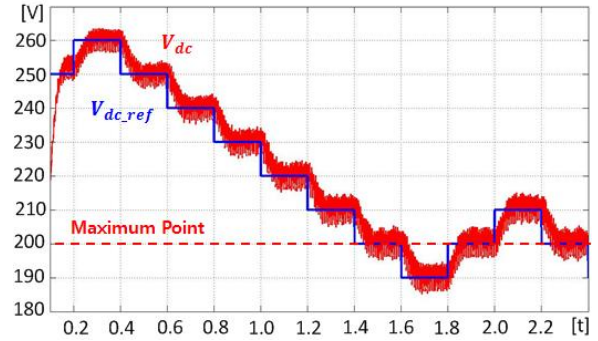


그림 4 DC단 전압 및 전압지령

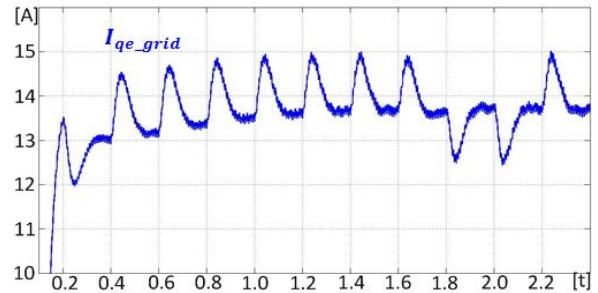


그림 5 동기좌표계 q축 계통전류

4. 결론

본 논문에서는 소형풍력발전 직렬운전의 해석과 이에 적합한 MPPT를 제안하였다. 직렬운전의 전체 파워를 토크로 해석을 하였고, DC단 전압을 이용한 계통전류 P&O기법을 제안하였다. 이에 대한 결과를 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

이 논문은 2012년도 정부재원(지역혁신 인력 양성 사업) 한국 연구재단의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. NRF 2012H1B8A2026153)

참고 문헌

- [1] 이형욱, 구현근, 김장목, “배터리 충전을 위한 소형풍력 발전 시스템의 한계풍속에 관한 연구”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 대한전기학회, pp.967-968, 2013, 7
- [2] 허성덕, 김영석 “계통연계 인버터를 기반한 풍력발전시스템에서 DC link 전압가변을 통한 새로운 MPPT 제어”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 대한전기학회, pp.1165-1166, 2013, 7
- [3] 정영석, 최주엽, 최재호 “P&O 알고리즘을 개선한 새로운 MPPT 알고리즘” 전력전자학술대회 논문집, pp 925-928, 2003, 7