

이중여자 유도형 풍력발전기 제어를 위한 PCS 개발

정병창, 정용호, 김성환
LS산전 중앙연구소

Development of PCS for Doubly-fed Induction-type Wind Turbine

Byoung-Chang Jeong, Yong-Ho Chung, Sung-Hwan Kim
LS Industrial Systems Co., Ltd.

Abstract - In this paper, we develop PCS for doubly-fed induction-type wind generator(DFIG). PCS consists of a converter set and a controller. PCS controls the active power of wind generator and the reactive power of wind turbine system according to rotating speed, instantaneous power, grid quality, and order by transmission system operator.

1. 서 론

전력변환 장치를 사용하는 가변속 풍력발전 시스템은 기계적 부하가 감소하고 더 많은 출력을 얻을 수 있다.[1] 가변속 방식은 동기기를 사용하는 방식과 권선형 유도기를 사용하는 방식으로 구분할 수 있다. 권선형 유도기를 사용하는 방식은 이중여자 유도형 풍력발전(Doubly Fed Induction-type Generation, 이하 DFIG)이라고 한다. DFIG 방식은 동기기를 사용하는 방식에 비하여 전력변환 장치의 용량이 작은 특징이 있다.[1,2]

본 논문에서는 DFIG의 제어를 담당하는 PCS를 개발하였다. PCS는 전력변환 장치와 발전기의 전기적 부분 제어를 포함한다. 전력변환 장치는 회전자측 컨버터와 계통측 컨버터로 구성된다. 발전기 제어기는 유효전력 제어기와 무효전력 제어기로 구성된다. 유효전력 제어기는 풍력발전기의 발전량을 제어한다. 발전기의 운전점은 회전속도와 발전량에 따라서 최적으로 제어된다. 무효전력 제어기는 풍력발전 시스템이 공급/소비하는 무효전력을 제어한다. 풍력발전기의 무효전력은 계통 운영자의 지령값, 발전량, 그리고 전압 등의 조건에 따라서 제어된다. 개발한 PCS는 1.5MW급 풍력발전 시뮬레이터를 사용하여 검증하였다.

2. PCS 설계

2.1 PCS 설계 사양

Table 1과 Fig. 1은 개발한 PCS의 사양과 외관이다. PCU를 설계할 때 목표한 발전기는 1.5MW, 60Hz, 4극이다. 발전기의 유효전력은 회전속도와 발전량에 따라서 최적점으로 제어한다. 풍력발전기 전체의 무효전력은 역률 제어, PCC 단자 전압 제어, 그리고, 계통 운영자에 의한 제어를 준비하였다. 또한, 계통 전압의 급격한 강하로부터 DFIG를 보호하기 위하여LVRT 알고리즘도 구비하였다

그림 1은 DFIG의 제어 블록도이다.[2~5] 발전기를 제어하기 위하여 MSC는 고정자 자속 기준 벡터 제어를 수행한다. 회전자측의 q축 전류와 d축 전류는 각각 발전기의 유효전력과 무효전력에 관계된다. Power Controller는 발전기의 유효전력을 제어한다. GSC도 벡터 제어를 수행한다. GSC의 q축 전류와 d축 전류는 각각 직류단 전압과 GSC의 무효전력을 제어하기 위하여 사용한다. 풍력발전기의 전체 무효전력은 Reactive Power Controller에서 제어하고, MSC와 GSC에 각각의 무효전력 기준값을 공급한다.

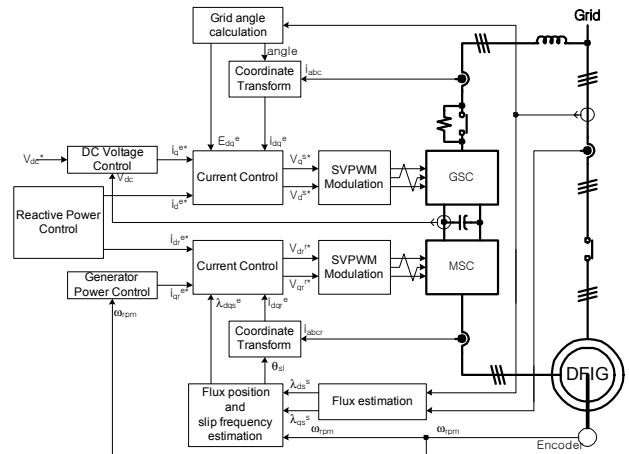
PCS는 1.5M의 DFIG를 제어한다.

2.2 유효전력 제어

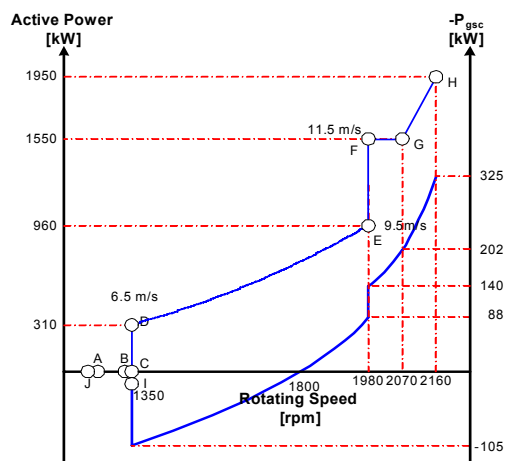
풍력발전기는 풍속과 회전속도 등에 따라서 발전기의 출력이 달라진다. 이상적인 풍력발전기 제어기라면 풍속에 비례하는 회전속도로 발전기를 제어하면 된다. 그러나, 블레이드 각부분에 풍속이 다르고, 정확한 풍속 측정도 어렵기 때문에 풍속을 사용하여 발전기를 제어하는 것은 거의 불가능하다. 또한, 제어에 사용하는 컨버터의 용량도 제한되었기 때문에 회전속도를 제한할 수밖에 없다.

본 논문에서는 DFIG를 제어하기 위하여 그림 2와 같은 유효전력 곡선을 사용하였다. 회전속도에 따라서 발전기 전체 유효전

력(발전량)을 그림 2의 왼쪽 Y축과 같이 설정하였다. 발전량과 회전속도에 따라서 제어 구간을 구별하면 다음과 같다. 첫 번째, 발전량이 310kW 미만일 경우에는 발전기의 회전속도를 1350rpm으로 일정하게 제어한다. 두 번째, 발전량이 310kW보다 높아지면 발전기는, 블레이드가 최대 출력점에서 운전하도록, 회전속도의 3승에 비례하는 유효전력을 발전한다. 세 번째, 회전속도가 1980rpm에 도달하면 회전속도를 일정하게 유지한다. 네 번째, 발전량을 1550kW로 제한한다. 이때 회전속도는 증가할 수 있다. 다섯 번째, 2170rpm이상에서는 회전속도에 비례하게 발전량도 증가시킨다. 발전량과 회전속도가 감소할 경우에는 역순으로 진행된다.



<그림 1> 이중여자 유도 발전기 제어 블록도



<그림 2> 풍력발전기 유효전력 곡선

2.3 무효전력 제어

DFIG는 발전기의 고정자와 GSC에서 각각 무효전력을 독립적으로 제어할 수 있으며, 풍력발전 시스템의 전체 무효전력에 따라서 적절하게 분배해야 한다.[5]

본 논문에서는 3가지 무효전력 제어 알고리즘을 통합하여 풍

력발전기의 무효전력 제어 알고리즘으로 개발하였다.

첫째, 계통에서의 사고 또는 계통 전력 품질의 유지를 위하여 계통 운영자가 풍력발전기에 무효전력값을 직접 요구할 수 있다.

둘째, 주어진 역률 기준값에 따라서 풍력발전기가 계통에 공급하는 무효전력량을 제어한다. 역률 기준값을 별도로 제공하지 않을 경우에는 역률 '1'로 제어한다.

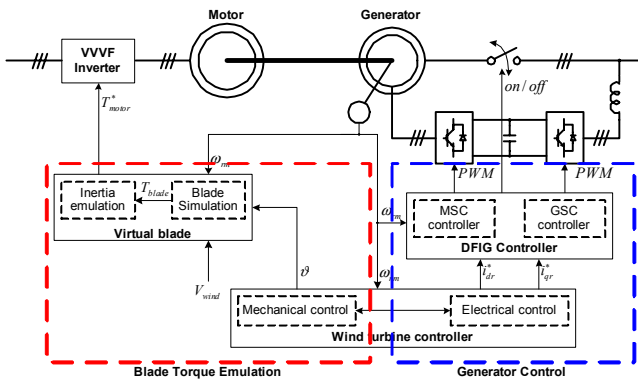
셋째, 풍력발전기가 연계된 지점의 전압이 설정 범위에서 벗어나면 연계지점의 전압을 정격으로 제어하기 위하여 무효전력을 공급/소비하도록 하였다. 전압 제어기로 PI 제어기를 사용하였으며, 제어기의 출력은 풍력발전 시스템 전체의 무효전력이 된다.

세가지 제어 알고리즘 중에서 계통 운영자에 의한 무효전력 기준값 제어의 우선 순위가 가장 높으며, 평소에는 역률 기준값으로 운전한다. 역률 제어로 운전할 때 연계지점의 전압이 설정값을 벗어나면 전압 제어로 변경한다. 본 논문에서는 역률 제어 유지 범위를 정격전압 $\pm 5\%$ 로 하였다. 또한, 연계지점 전압 제어에서 역률 제어로 변경해도 연계지점의 전압이 설정범위를 유지할 경우에는 역률 제어로 전환하도록 하였다. 역률 제어에서 전압 제어로 변경할 때에는 다르게, 정격전압 $\pm 4\%$ 를 전압 제어에서 역률 제어로 전환하는 기준으로 설정했다.

3. 실험

3.1 실험 세트

개발한 PCS를 시험하기 위하여 그림 3과 같은 풍력발전 시뮬레이터를 제작하였다. 발전기의 정격은 1.5MW이다. 또한, 전동기를 사용하여 블레이드의 동특성을 모의하였으며, 발전기에 토크를 공급하였다. 전동기에서 발전기에 공급할 토크는 가상 블레이드에서 계산한다. 가상 블레이드는 1.5MW급 블레이드의 토크 특성을 모의하고, 실제 블레이드와 전동기의 관성차를 보상한다.



〈그림 3〉 풍력발전 시뮬레이터

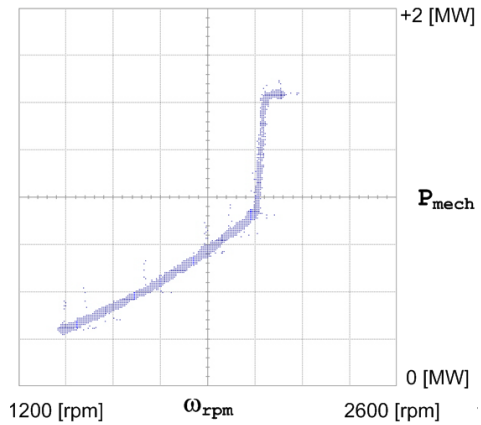
3.2 실험 결과 분석

3.2.1 유효전력 제어 결과

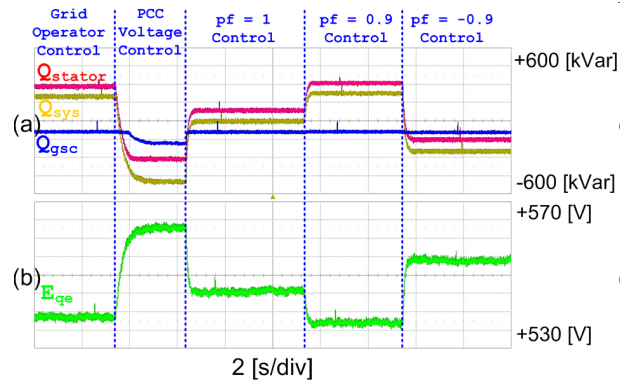
그림 4는 DFIG를 가변속 운전했을 때 회전속도와 발전기의 기계적 에너지 곡선이다. 발전기와 컨버터에서 발생하는 모든 손실은 대략 10~20kW 정도 된다. 그리고, 그래프에서 확인가능한 것처럼 운전모드가 변할 때 자연스럽게 변화된다. 그림 2와 비교했을 때, 1980rpm에서 회전속도를 일정하게 제어하는 부분을 1950rpm에서 1980rpm까지의 회전속도에서는 발전량을 일정하게 증가시켰다. 1980rpm 이상에서 발전량은 1.55MW로 제한된다.

3.2.2 무효전력 제어 결과

그림 5는 풍력발전기의 무효전력을 임의로 제어했을 때 결과이다. 제어 순서대로, 첫 번째 계통 운영자가 풍력발전기의 전체 무효전력을 200kVar로 제어, 두 번째 연계 지점 전압 제어(563V), 세 번째 역률 1제어, 네 번째 역률 0.9 제어, 다섯 번째 역률 -0.9 제어로 변경했을 때 결과이다. 풍력발전 전체 무효전력에 따라서 고정자와 GSC에서 무효전력을 분배하고, 연계 지점의 전압이 변화한다.



〈그림 4〉 회전속도-발전기 기계적 에너지 곡선



〈그림 5〉 풍력발전기 무효전력 임의의 제어
(a) 풍력발전 시스템 무효전력 Q_{sys} , 고정자와 GSC 무효전력 Q_{stator} 와 Q_{gsc}
(b) 계통 q축 전압 E_{qe}

4. 결 론

본 논문에서는 DFIG를 제어하기 위한 PCS를 개발하였다. PCS는 유·무효전력 제어기와 전력변환 장치로 구성된다. 유효전력 제어기는 발전량을 최적점으로 제어하고 무효전력 제어기는 계통에서 전력 품질을 만족하도록 제어한다. 개발한 PCS를 검증하기 위하여 실제 크기의 풍력발전 시뮬레이터를 개발하여 실험적으로 검증하였다. 앞으로는 DFIG의 LVRT(Low-Voltage Ride Through)를 개발할 계획이다.

[참 고 문 헌]

[1] S. Müller, M. Deicke, R. W. De Doncker, "Adjustable Speed Generators for Wind Turbines based on Doubly-fed Induction Machines and 4-Quadrant IGBT Converters Linked to the Rotor," IEEE IAS 2000 Conference Record, Vol. 4, pp. 2249-2254, 2000.
 [2] R. Pena, J. C. Clare, G. M. Asher, "Doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters and its application to variable-speed wind-energy generation," IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 143, No. 3, pp. 231-241, May 1996.
 [3] A. D. Hansen, F. Iov, P. Soerensen, F. Blaabjerg, "Overall Control Strategy of Variable Speed Doubly-Fed Induction Generator Wind Turbine," 2004 Nordic Wind Power Conference, March 2004.
 [4] 정병창, 송승호, "이중역자 유도형 가변속 풍력발전기 제어 기술," 전력전자학회지 Vol. 11, No. 1, pp. 19-25, 2006.
 [5] 정병창, 김희중, 정용호, "2MW급 이중역자 유도형 풍력발전기용 Power Conditioner Unit 개발," 전기학회 하계학술대회 논문집, 2007.