

2MW급 DFIG용 풍력 PCS 개발

김원상, 김영신, 김정중, 강윤중, 정우창, 정병창, 홍정기, 서인영
(주)효성 중공업연구소

PCS Development for a DFIG in 2MW Wind Turbine

W.S. Kim, Y.S. Kim, J.J. Kim, Y.J. Kang, W.C. Jung, B.C. Jeong, J.K. Hong, I.Y. Suh
Power & Industrial Systems R&D Center, Hyosung

ABSTRACT

본 논문은 2MW급 풍력시스템의 이중여자유도형 발전기(DFIG)를 제어하기 위한 PCS의 전력변환장치와 주변장치 및 제어기술에 대해서 기술한다.

최근 국내 뿐만 아니라 해외 전력회사에서는 계통전원 사고 시 풍력시스템이 계통연계를 유지하면서 계통의 전력품질에 기여할 수 있는 기능(FRT)을 요구하고 있다. FRT기능 구현을 위한 H/W와 제어 시퀀스를 소개한다.

1. 서론

최근 화석연료를 대체하기 위한 에너지원으로 풍력발전이 주목받으면서 매년 30%이상 고속 성장하고 있다. 최근 설치되는 풍력발전 시스템의 단위 용량은 2MW에 근접한 수준이다.

MW급 이상 풍력발전 시스템 시장은 PMG(Permanent Magnetic Generator)를 사용하는 방식과 DFIG(Doubly-Fed Induction Generator)를 사용하는 방식으로 양분되어 있다. DFIG를 사용하면 PMG를 사용하는 것보다 유지보수 비용이 많고 발전기 제어가 복잡하다. 그러나, 전력변환 장치의 용량이 발전 시스템 정격의 50% 수준으로, 정격용량의 100%인 PMG 방식에 비하여 가격이 저렴하고 계통에 주입하는 고조파 크기가 작은 장점이 있다.

계통의 전체 발전 설비용량에서 풍력이 차지하는 비중도 증가하고 있다. 독일의 경우 2009년까지 25GW이상 설치되었으며, 2020년에 전체 설비용량의 50%를 차지하는 50GW를 초과할 것으로 예상된다. 이에 따라 계통운영자는 계통사고 시 풍력발전시스템의 기능 추가를 요구하고 있다.^[1] 기존에는 계통사고 시 전력변환장치의 손상을 막기 위해서 즉각적으로 계통과 분리했지만, 최근에는 계통이 안정적으로 회복되도록 계통과 지속적인 연계와 무효전력 공급을 요구하고 있다. 이러한 기능 구현에는 전력변환장치의 보호회로 설계와 제어알고리즘의 추가는 필수적이다.^[2]

당사에서는 DFIG방식 PCS(Power Condition System)의 국산화를 목표로 개발을 진행하였다. PCS 기구물에 대한 설계와 제작, 그리고 풍력발전 시스템 보호 기능을 포함한 PCS 제어 프로그램을 개발하였다.

2. DFIG용 풍력발전 시스템

풍력발전 시스템에서 발전기에 대한 제어는 풍력발전 시스

템 제어기(Wind Turbine Controller : 이하 WTC)와 PCS 제어기 두 부분으로 구성된다. 그림 1에서, WTC는 피치 제어와 요 제어를 수행하는 기계적인 제어부와 발전기의 출력이 최적이 되도록 토크와 무효전력을 제어하는 전기 제어부로 구성된다. PCS 제어기는 WTC로부터 지령값을 받아서 발전기 회전자 슬립전력제어를 수행한다.

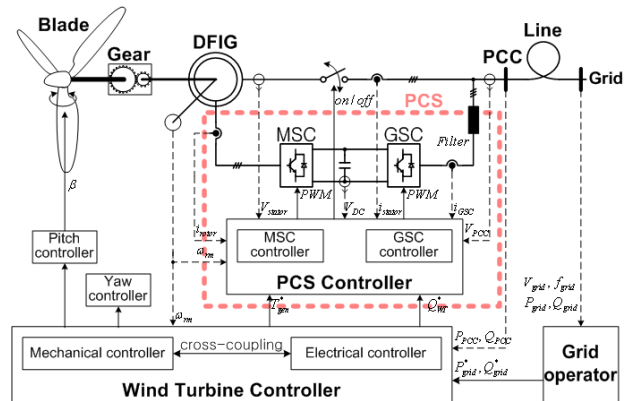


그림 1 2MW급 이중여자 유도형 풍력발전시스템
Fig. 1 2MW Wind turbine system with DFIG

3. 2MW급 DFIG용 PCS 전력변환부 설계

3.1 전력변환장치 설계

2MW급 DFIG의 발전사양은 다음과 같다.

- 정격전압 : 690[V]
- 발전용량 : 2000[kW]
- 속도범위 : 1350 - 2250[rpm]
- 역률범위 : 진상 0.9 - 지상 0.9
- 권선비 : 고정자 권수/회전자 권수 1/2.45

전력변환장치의 MSC와 GSC 용량선정은 전압벡터기준 제어기법을 이용하여 계산한 결과는 표 1과 같다.

표 1 전력변환장치 사양선정
Table 1 Specification of converter for a 2MW DFIG

	슬립	전력	전류	직류단 전압
MSC	0.25	830[kVA]	690[Arms]	1050[V]
GSC	0.25	450[kVA]	372[Arms]	

3.2 필터 설계

IEEE1547 분산 전원 계통 연계 규정과 IEC 61400-21에 따르면 2 - 50차까지 전류의 THD는 5% 이내로 제한되어야 한다. 하지만 최근 풍력발전기에 사용되는 컨버터에서는 수 kHz의 스위칭 주파수를 사용하기 때문에 50차 이상의 고조파 전류가 방출된다. 하지만 IEEE 1547의 최대 고조파 전류 제한치 (Table 2)를 살펴보면 35차 이상의 고조파 전류는 0.3% 이하로 제한되기 때문에 LCL filter는 이를 기준으로 설계한다.

표 2 최대 고조파 전류 제한치

Table 2 Maximum harmonic current distortion in percent of current

Individual harmonic order h (odd harmonics) ^a	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	Total demand distortion (TDD)
Percent (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

^a I = the greater of the Local EPS maximum load current integrated demand (15 or 30 minutes) without the DR unit, or the DR unit rated current capacity (transformed to the PCC when a transformer exists between the DR unit and the PCC).

^b Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

그림 2는 2MW급 DFIG용 PCS 판넬이다. 판넬 최 상부에는 계통 사고시 전력변환장치의 보호의 목적으로 Active-crowbar 가 설치되어있다.



그림 2 2MW급 DFIG용 PCS 판넬
Fig. 2 PCS for a 2MW DFIG system

4. PCS 제어 시퀀스

PCS에 적용된 시퀀스는 그림 3과 같다. PCS는 400us 주기로 PCS 내외부의 상태를 모니터링하고 각종 스위치의 on/off를 결정하며 최종적으로 컨버터에서 합성할 3상 전압 기준값을 계산한다. 시퀀스는 Initial, PCS Start, PCS Stop, PCS Fault, 그리고 FRT로 구성된다. Initial 시퀀스는 PCS에 제어 전원이 공급된 이후부터 컨버터 직류단을 충전하기 전까지이다. 정상 상태에서 발전기를 계통에서 분리하고 PCS에서 제어를 수행하지 않는 경우와 PCS가 fault를 reset 하고 정상상태로 복귀할 때 Initial 시퀀스를 거친다. PCS Start 시퀀스는 PCS에서 제어 전원이 공급된 이후, 발전기가 계통에 연결되어 출력을 제어할 때까지이다. PCS Stop 시퀀스는 발전기의 출력을 제어할 때부터 GSC를 계통에서 분리할 때까지이다. PCS Stop 시퀀스 이후에 Initial 시퀀스로 전환된다.

FRT 시퀀스는 계통에서 Voltage fault가 발행하면 풍력발전기를 계통에서 분리하지 않고 계통연계 상태를 계속 유지하기 위한 시퀀스이다. 풍력발전기가 수 MW급으로 대형화 되면서 계통 전원에서 이상이 발생했을 때, 풍력발전기를 즉시 계통에

서 분리하면 계통에 더욱 심각한 사고를 유발할 수 있다. FRT 과정에서 고장상태에서 회복되면 발전기 출력 제어로 전환되고, 고장상태가 회복되지 않으면 풍력발전기를 계통에서 분리한다. PCS에서 fault가 발생하면 PCS Fault 시퀀스로 전환된다. Fault의 경우 PCS 자체적으로 reset이 가능한 fault와 자체적으로 reset이 불가능한 fault로 구분된다.

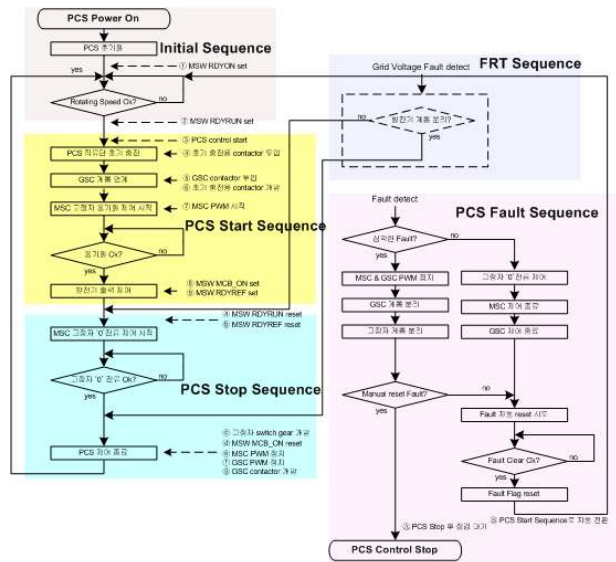


그림 3 PCS control sequence for a 2MW DFIG
Fig. 3 2MW급 DFIG용 PCS 제어 시퀀스.

5. 결론

당사에서는 2MW급 DFIG용 PCS의 H/W를 제작하고 보호 기능을 포함한 제어 프로그램을 개발하였다. 개발한 제품은 실험실 환경에서 성능 검증이 이뤄졌으며 실제 2MW급 풍력발전 시스템에서 실증 시험을 추진하고 있다. PCS 개발을 통하여 해외 제품과 동일한 성능의 제품을 해외 제품 단가의 80% 수준으로 공급할 수 있게 되었다. PCS 국산화를 통하여 국내 풍력발전 시스템의 경쟁력 향상에 기여하였으며, 향후 PCS 단독으로 해외에 수출도 가능하게 되었다.

이 논문은 에너지관리공단 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] J. Lopez, P. Sanchis, X. Roboam, L. Marroyo, "Dynamic Behavior of the Doubly Fed Induction Generator During Three-Phase Voltage Dips", IEEE Trans. Energy Convers., Vol. 22, No. 3, pp. 709-717, 2007, Sep.
[2] Grid Code, E.ON Netz GmbH, Bayreuth, Germany, Apr. 2006