

2.5MW 풍력터빈용 DFIG 제어 컨버터 개발

구성영, 박정우*, 이기욱*, 김동욱*
현대중공업, 한국전기연구원*

PCS Development for DFIG Control in 2.5MW Wind Turbine

S. Y. Koo, J. W. Park*, K. W. Lee*, D. W. Kim*

Hyundai Heavy Industries CO.,LTD. Korea Electrotechnology Research Institute*

ABSTRACT

본 논문에서는 2.5MW급 풍력터빈에 적용된 이중여자 권선형 유도발전기 제어를 위한 풍력발전시스템의 핵심요소인 전력 변환장치 제작기술과 풍력발전시스템 제어를 위한 요소기술에 대해 기술한다.

2.5MW급 풍력터빈을 계통연계하기 위해서는 풍력제어기와 컨버터를 설계하고 상호 인터페이스등을 고려하여 적절한 풍속 조건에서 계통측에 발전전력을 전달하여야 한다. 또한, 최근 계통 사업자측에서 요구하는 Grid-code에 대응하기 위한 제어알고리즘을 설계하여야 하고, 타워의 진동억제를 위한 축진동 억제 알고리즘 등을 추가로 전력변환장치에 적용하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 2.5MW급 풍력터빈용 PCS개발을 위한 각종 제어알고리즘과 H/W설계기술에 대해서 기술한다.

1. 서론

최근 신재생에너지 분야에 대한 산업계의 요구가 증대되고 있으며, 특히 풍력발전과 태양광발전분야에서 괄목할만한 성장을 나타내고 있다. 본 논문에서는 풍력발전 분야의 핵심기자재인 풍력제어기와 전력변환장치의 개발에 대해서 논하고자 한다. 풍력발전 분야의 전력변환장치는 사용되는 풍력터빈용 발전기 형태에 따라 여러가지로 구분할 수 있으며 발전기와 전력변환장치의 조합에 의해서 분류된다.^[1]

2MW급 풍력터빈은 권선형 유도발전기의 기어드타입과 영구자석형의 기어리스형태의 풍력터빈으로 구분되고 있다. 영구자석형 동기발전기의 경우 전부하 용량의 전력변환장치가 필요하고 기어리스형태의 구조로 가지며 유지보수의 측면에서 장점이 있다. 그러나 전력변환장치의 가격이 전체 기자재의 약 10%를 차지하고 발전기는 약 23%를 차지하는 등 핵심기자재의 비용이 상당한 부분을 차지한다. 반면, 권선형 유도발전기를 채용한 시스템은 발전기와 전력변환장치의 기자재 비용이 약 10%를 넘지 않는다는 점에서 비용면에서 유리하다. 속도범위가 제한적이라는 단점이 있으나 발전기와 전력변환장치의 가격적인 측면에서 유리하다.^[2] 권선형유도기를 채용한 풍력발전 시스템이 전체 풍력터빈의 약 60% 이상을 차지하고 있으며, 전력변환장치 제작이라는 측면에서 유리한 구조이다.

본 논문에서는 이중여자 권선형 유도발전기 제어를 위한 전력변환장치(PCS : Power Converter System)의 제작과 설계요소와 기능 등에 대해 기술한다.

2. 풍력터빈 제어시스템

2.1 DFIG를 가지는 풍력터빈 시스템

이중여자 권선형 유도발전기(DFIG : Doubly-Fed Induction Generator)를 이용하는 풍력터빈 시스템은 그림 1과 같다. 풍력터빈에 의해 발생된 전력은 고정자와 회전자측을 통해 계통으로 전력이 전달되고, 전력변환장치는 이러한 회전자측의 슬립전력제어를 위해서 회전자측에 위치한다. 또한, 풍력터빈 제어기가 풍속에 따른 운전모드를 결정하고 부분부하 및 전부하에서의 운전모드를 결정하여 전력변환장치를 제어하게 된다. 즉, 풍력터빈 제어기에서 결정된 부분부하(Partial Load)시의 전력기준값에 의해서 전력변환장치는 전력제어를 수행하는 구조를 가진다.

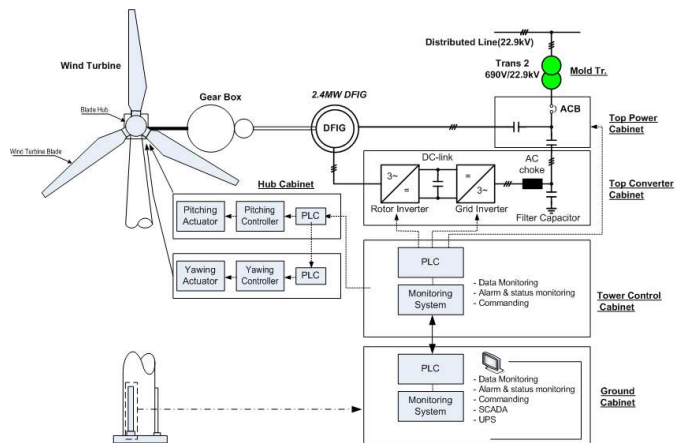


그림 1 2.5MW 풍력터빈용 제어시스템 구성
Fig. 1 Configuration of control system for 2.5MW wind turbine

풍력터빈 제어기(Wind Turbine Controller : WTC)는 운전 모드에 따라 대기모드, 기동모드, 발전모드, 정지모드, 및 비상 정지모드로 구분할 수 있으며 각각의 제어모드에 따라 전체 풍력터빈의 운전시퀀스를 결정하게 된다. 발전영역은 크게 그림 2와 같이 부분부하 운전모드와 전부하 운전모드로 구분되며, 부분부하 운전모드에서는 풍력터빈에서 발생된 전력을 최대한 출력할 수 있도록 최대전력제어를 수행하고 전부하 운전모드인 정격풍속 이상 영역에서는 발전전력을 일정하게 유지시키기 위해 피치제어를 수행하게 된다. WTC는 발전 범위내에서 피치

시스템과 컨버터시스템에 제어신호를 내보내 안정된 영역에서 항상 발전이 가능하도록 제어한다.

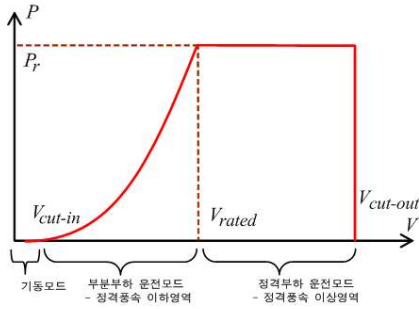


그림 2 풍속에 따른 전력곡선
Fig. 2 Power curve according to wind speed

3. DFIG 제어용 전력변환장치 설계

3.1 2.5MW DFIG용 전력변환장치 설계

MW급 전력변환장치의 개발은 풍력터빈의 나셀 내부의 취부공간을 고려하여 경량 및 소형화 설계가 중요하다. 또한, 풍력터빈의 환경조건과 유지보수 등을 고려하여 신뢰성을 확보하는 것이 매우 중요하다.

개발된 전력변환장치의 기본 사양은 아래와 같다.

- 정격용량 : 2520kW (정격속도 1360rpm 이상 영역)
- 과부하 조건 : 1360-1595rpm범위에서 2520kW 10분 유지
- 역률범위 : 0.9 진상 - 0.95 지상
- 속도제어범위 : 815-1531rpm
- 출력전압 : 690V±10%, 50/60Hz±5%
- 냉각방식 : 수냉식, 최대입력온도 55℃이하
- 설치장소 : 나셀 내부 설치

또한, Grid-code를 만족시킬 수 있도록 설계하고, 발전기의 토크리플을 저감할 수 있는 기능을 추가하여 개발하였다.

3.1.1 전력변환부의 설계

DFIG 제어에 사용되는 전력변환장치의 가장 중요 부분인 PWM 컨버터의 설계는 풍력터빈의 출력 및 발전기 효율등을 고려하여 설계한다.

표 1 DFIG 출력특성표 : $V_{out}=690V$, $\cos\pi=0.95$ 과여자시.

Table 1 DFIG output performance table at $V_{out}=690V$, $\cos\pi=0.95$ overexcited.

n[rpm]	Pgen[kW]	P1[kW]	P2[kW]	I1[A]	U2[V]	I2[A]	Ploss[kW]
815	-729	-1,085	367	930	666	457	14.6
870	-926	-1,290	375	1,109	579	521	15.6
962	-1,271	-1,602	341	1,385	429	622	17.5
980	-1,396	-1,727	342	1,495	400	662	17.9
1,120	-1,900	-2,058	163	1,799	157	779	21.5
1,196	-2,205	-2,238	34	1,968	24	844	23.8
1,305	-2,440	-2,270	-175	2,015	182	866	27.6
1,360	-2,520	-2,251	-277	2,007	283	866	29.8
1,413	-2,520	-2,167	-364	1,941	380	844	32.1
1,595	-2,520	-1,924	-615	1,753	710	781	41.1

표 1은 컨버터 스택의 용량산정을 위한 발전기의 기본데이터이다. 전체 시스템의 발전용량과 전류용량으로 발전기측 컨버터와 계통측 컨버터의 용량을 설계한다. 또한, 전류센싱 및 계통연계 스위치 등 각종 파워소자류의 용량을 산정한다.

시스템의 주요 구성은 전력소자부와 시퀀스부로 나뉘며 각종 차단기나 전자접촉기의 상태와 동작은 제어회로를 통해 PCS 제어기에서 직접 제어한다. 설계된 용량으로 구성된 회로는 그림 3과 같은 구조를 가진다.

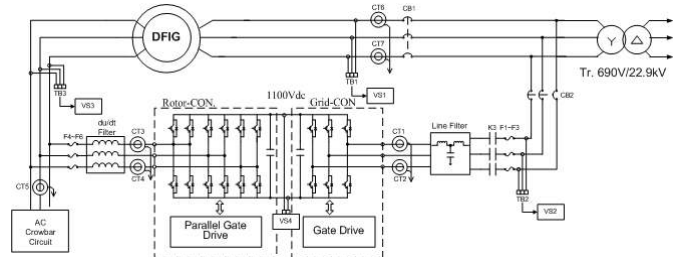


그림 3 2.5MW DFIG 제어용 파워회로
Fig. 3 Power Circuit for 2.5MW DFIG Control

3.1.2 전력변환장치의 제작

전력변환장치의 가장 중요 부분인 IGBT 전력스택의 설계는 취부공간과 보호등급을 고려하여 수냉식 냉각구조를 가지는 스택으로 설계한다. 그림 4는 설계된 전력변환장치의 조립도를 나타낸다. 또한, 냉각시스템은 컨버터의 예상손실의 10%의 냉각용량을 고려하고, 최대 외기온도를 40℃로 설계한다. 주요 설계요소는 냉각수량, 압력, 냉각수 입출력 온도, 최대 허용 온도 조건 등이다.

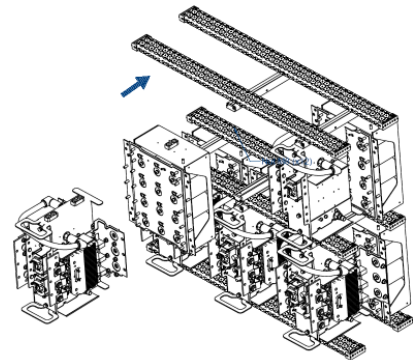


그림 4 수냉식 전력스택
Fig. 4 Water-cooled power stack

그림 5는 전체 제작된 DFIG 제어용 PCS이다. 관벨은 컨버터부와 풍력시스템 전체 전원공급용 파워부와 제어부로 나뉜다. 또한, PCS는 낙뢰나 노이즈에 대한 저감대책이 고려하여 설계한다.



그림 5 2.5MW DFIG용 PCS 장치
Fig. 5 PCS Cabinet for 2.4MW DFIG

3.2 PCS 제어기 설계

본 개발에 적용된 제어기는 제어알고리즘 처리를 위한 DSP 보드와 각종 디지털 IO처리 및 아날로그 신호처리를 위한 보드로 구성된다.

3.2.1 제어알고리즘

PCS 제어알고리즘은 계통측 컨버터와 회전자측 컨버터를 구분하여 제어하고, 최근 계통사업자측에서 요구하고 있는 Grid-code를 반영하여 계통고장 시 능동적으로 전력을 공급할 수 있도록 전력회로를 설계하였다. 즉, 계통전력이 sag, swell, 3상불평형, 순간정전, 정전 등의 비정상적인 특성을 나타낼 경우 grid code (LVRT, Reactive power assistance, Power factor control, Anti-islanding, Synchronization)를 만족시킬 수 있도록 설계하였다.

그림 6는 DFIG 제어를 위한 표준형의 제어블럭도를 나타낸다. 계통측 컨버터는 직류단의 일정전압제어와 역률제어를 수행하고 발전기측 컨버터는 고정자의 유효/무효전력을 수행하는 구조이다. 계통특성을 만족시키기 위해서 그림 6의 표준 제어블럭도에 LVRT를 구현할 수 있도록 제어기를 반영하였다.

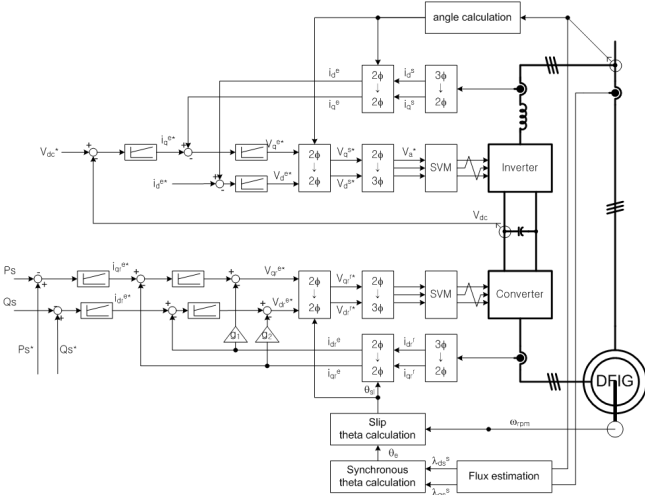


그림 6 DFIG용 제어 블럭도
Fig. 6 Control block diagram for 2.5MW DFIG

또한, 대용량의 발전기를 사용하여 풍력터빈을 설치할 경우, 기어트레인의 축진동으로 인하여 전체 시스템에 영향을 미치는 것을 제거하기 위해 축진동 억제 알고리즘을 반영하여 제어기를 설계한다.^[3] 축진동 억제를 위한 댐핑필터를 PCS 제어기에 추가한다. 이는 풍속에 둔감하게 하여 축진동등을 억제하고자 함이다.

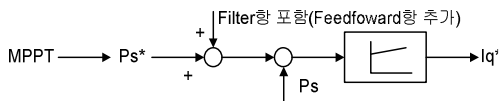


그림 7 진동 억제 시스템
Fig. 7 Vibration damping system

즉, 풍력발전 타워에서 발생하는 공진 주파수와 기어트레인(중속기-축-발전기)에 의해서 발생하는 공진주파수가 존재하게 되는데, 공진점에서 발생하는 진동을 억제할 수 있도록 각각의 공진주파수를 먼저 찾은 다음 공진주파수 지점에서 감쇄가 크게 나타나도록 제어기 내에서 발생 토크분 지령치(유효전력 비

례 성분, q-축 전류 성분)를 발생시킬 수 있도록 전달함수를 설계하였다.

3.2.2 제어 PCB 설계

제어기에는 그림과 같이 2개의 DSP를 사용하여 부동 소수점 연산을 사용하는 알고리즘과 고정 소수점 연산을 사용하는 알고리즘을 각각의 프로세서에 나누어 처리할 수 있도록 이중의 프로세서로 설계하였다. 주 DSP는 제어프로그램 연산에 사용되며 보조제어기는 각종 신호 입력과 풍력터빈 주제어기와의 통신을 위해서 사용된다. WTC와 CAN 네트워크로 구성되고 PCS 주제어기는 이러한 CAN통신을 위한 광컨버터를 내장하고 있다.

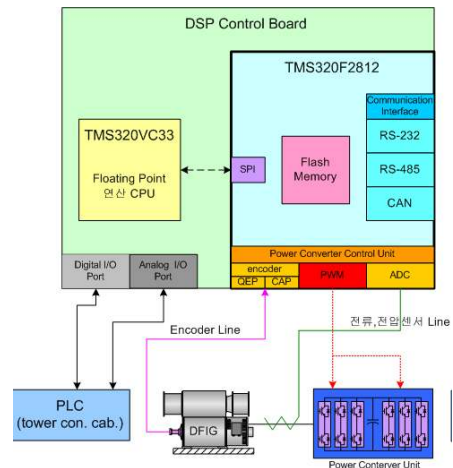


그림 8 풍력터빈용 PCS 제어기 구성
Fig. 8 PCS controller configuration for wind turbine system

4. 결론

2.5MW급의 이중역자 권선형 유도발전기를 가지는 풍력터빈의 제어를 위한 전력변환장치와 이를 제어하기 위한 풍력제어기에 대한 내용을 간단하게 논하였다. PCS는 WTC와 연동하여 전력제어를 수행하게 되는데 전체 제어시퀀스에 적절히 동작하도록 PCS의 제어알고리즘을 제작하였다. 풍력터빈의 기자재중 핵심장치인 풍력터빈제어기와 전력변환장치, 피치제어기 및 모니터링 장치 등의 기자재는 국산화율이 낮아 해외업체에 대한 의존도가 상당히 높다. 본 개발에서는 핵심 기자재의 국산화로 풍력터빈시스템의 설치 후 시운전 및 문제 발생시의 대처 등에 있어 신뢰성을 위한 기반기술을 확보하였다.

참고 문헌

- [1] Fred Blaabjerg, "Report Detailing Converter Applications in Future European Electricity Market", UNIPLEX-PM Project, pp 29-48, 2006.
- [2] G. Bywaters, V. John, "Northern Power Systems WinPACT Drive Train Alternative Design Study Report", pp. 140-143, 2005.
- [3] Shashikanth Suryanarayannan, U.S. Patent, "Vibration Damping System and Method for Variable Speed Wind Turbines", U.S. Patent, US7309930 B2, 2007, Dec.