

소형 풍력 발전시스템의 연속 독립운전을 위한 전력 저장 및 변환 장치의 설계 및 구현

송승호 노도환 김동웅 신 찬 오영진 김성주 이래철  
 전북대학교 (주)코윈텍 (주)세방전자

Design and Implementation of Power Storage and Conversion Circuit for Continuous Operation of Stand-Alone Type Wind Power Generation System

Seung-Ho Song, Do-Hwan Rho, Dong-Yong Kim, Chan Shin, Young-Jin Oh, Sung-Ju Kim, Nae-Chel Lee  
 Chonbuk National University KOWINTEC Co. Global Battery Co.

**Abstract** - 새로운 대체 에너지원으로 주목받고 있는 풍력 에너지의 효율적인 이용을 위하여 개발되어 운용 중인 30kW급 수직-수평축 통합형 풍력발전시스템을 대상으로 낙도 지역 등에서 사용할 수 있는 독립형 전원 장치를 설계하였다. 설계된 시스템은 무보수 밀폐형 배터리와 자체 개발한 배터리 충전 제어 장치 및 교류 전원 출력용 인버터로 구성되며 장시간 바람이 불지 않는 경우에도 양질의 전원을 연속적으로 부하에 공급할 수 있도록 설계되었다.

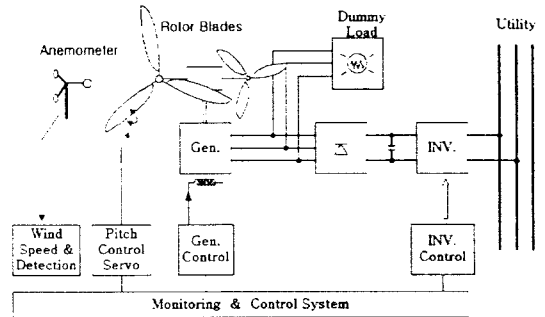


그림1. 운용중인 30kW급 풍력발전시스템의 기본 구성

1. 서 론

풍력발전 시스템의 전력 생산 단가가 점점 낮아져서 현재 4~6cents/kWh 에 이르고 있으며 독일, 덴마크, 미국 등 선진국에서는 풍력 발전 터빈의 대용량 상용화 기술이 개발되어 보급이 확대되고 있다. 국내에서도 재생에너지 분야중 풍력발전에 대한 관심이 고조되고 있다. 제주 행원 풍력발전 단지를 비롯하여 중대형 풍력발전기종을 도입하여 설치, 운영하고 있으나 도입 비용이 비싸고 원천기술을 확보하고 있지 못한 경우 유지보수에도 어려움이 많다. 또한 국내에서도 풍력발전 실증 연구단지를 조성하고 한국 풍력 에너지 학회(www.kwea.or.kr)를 창립하는 등 활발한 활동을 벌이고 있다. 이렇게 풍력을 비롯한 대에너지에 대한 관심을 바탕으로 원천 기술을 확보하고 세계풍력 발전기 시장에 도약할 기회로 삼아야 할 것이다.

전기가 공급되지 못하거나 시설비용이 비싼 도서 벽지의 전화사업을 위해서는 연속적인 출력이 가능한 발전 시스템이 필요하다. 바람이 불지않을 때에는 전력이 생산되지 않고, 바람이 세게 불 때에는 많은 전력이 생산되므로 이러한 수급 불균형을 완충할 수 있는 전력 저장 시스템 및 그 제어기가 필요하게 된다.

본 연구에서는 낙도 등지에 전화사업으로 적용할 수 있는 단독 운전형 풍력 발전 시스템을 개발하였다. 이러한 시스템은 기존의 풍력 발전기 시스템에 추가로 전력 저장장치인 배터리와 전력 변환용 인버터를 갖추고 있다. 바람이 불지 않는 경우에도 배터리에 저장된 에너지를 이용하여 부하에 전력을 공급하며, 바람이 많이 불어 충분한 전력을 생산할 때에는 잉여전력을 배터리에 저장하여 나중에 활용할 수 있도록 축적한다. 풍속의 변화 패턴을 고려하여 최악의 경우에도 전력 공급이 끊어지지 않도록 설계하였다.

2. 기존 시스템의 구성 및 특성

2.1 구성

전북 부안군 해장섬터에 설치되어 운용중인 수직수평축 통합형 30kW급 풍력발전시스템의 기본 구성은 그림

1 과 같다. 풍향 풍속계로부터 바람의 정보를 받아들여 최적의 피치제어를 수행하고 있다. 발전기는 권선형 동기발전기이며 시동풍속 이상에서부터 여자 전류를 제어하고 있다. 발전기 출력은 정류기를 거쳐 동기형 인버터에 의해 교류로 변환된 후 계통선로와 연결될 수 있다. 그러나 단상 인버터의 연속적인 계통 연계 운전이 곤란하므로 생산된 전력을 더미 저항 부하에서 열로 소비하는 실정이었다.

2.2 풍속 변화와 발전 전력량

기존 풍력 발전 시스템을 가동하여 얻은 월별 풍속량과 월별 발전 데이터는 다음 표 1과 같다. 본 시스템은 듀얼 블레이드를 사용하여 바람이 가진 에너지를 기계 운동 에너지로 변환하는 공기 역학적 효율이 우수하고, 넓은 범위의 풍속에서 발전이 가능한 것이 특징이다. 그러나 바람이 충분히 불지 않는 경우에는 출력을 지속적으로 낼 수 없는 문제가 있다.

표1. 월별 풍속과 발전량 측정 데이터

1. 월별 풍속측정 현황

월별	총 가동시간	최고풍속	평균풍속	풍속별 점유율(%)				비고
				3.0m/s~6.0m/s	6.0m/s~8.5m/s	8.5m/s 이상	10% 이상	
2월	246.4 hrs	13.8 m/s	4.6 m/s	41%	10%	1%		
3월	543 hrs	27.6 m/s(44종관)	5.8 m/s	31%	35%	7%		
4월	395 hrs	18.8 m/s	4.2 m/s	35%	14%	2%		
5월	598 hrs	20.3 m/s	5.9 m/s	39%	32%	6%		

2. 월별 발전량

월별	풍속별 발전량(kWh)				합 계	비 고
	3.0m/s~6.0m/s	6.0m/s~8.5m/s	8.5m/s 이상	10% 이상		
2월	423.3	227.7	147.6	798.6	2001.12.12 운전개시	
3월	1,195.0	1,288.5	593.0	2,976.5	Site Tuning 중	
4월	899.8	602.4	200.6	1,702.8	System Up-Grade 운전정지 6일	
5월	1,210.5	2,971.5	744.2	4,926.2	두인배용용-개시	
총 계				10,404 kWh		

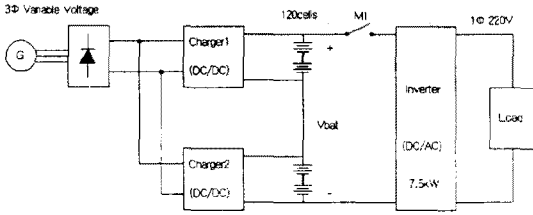


그림 2. 추가된 배터리, 충전기 및 인버터 구성도

### 3. 새로 설치된 전력 저장 및 변환 장치

추가로 설치한 전력 저장 및 변환 시스템의 구조는 그림 2와 같다. 충전기 2개를 사용하여 병렬 입력 직류 출력 형태로 배터리에 충전하며 인버터는 배터리 직류단 전압을 교류로 변환해 부하에 공급한다.

#### 3.1 전력저장 시스템의 설계

기존 발전 시스템의 운용데이터를 분석하여 최장기간 48시간동안 바람이 불지 않을 때에도 부하에 전력을 공급할 수 있도록 하기 위하여 배터리 용량을 1200Ah로 하였다. 또한 직류단 배터리 전압을 264V로 하였고 2.2V 셀을 모두 120개 직렬로 연결하여 배터리 뱅크를 구성하였다.

배터리는 납축전지를 사용하고 있으며 고수명의 무부수 밀폐형 전지를 사용하고 있다. 배터리를 오랜 수명동안 사용하려면 충방전 전류 패턴을 적절히 제어하고 설치 환경 (온도, 습도, 염분 등)을 쾌적하게 유지 시키는 것이 필요하다. 특히 부안에 설치된 풍력 발전기와 같이 바닷가에 설치되는 경우 배터리 보관 장소의 온도 변화 및 바닷바람에 의한 염분등에 의해 누설전류가 많이 흐르는 등의 문제가 발생할 수 있다.

배터리의 단자전압을 감시하여 고전압 설정치 보다 높은 경우 발전기 연결 스위치를 차단하여 충전을 정지하며 저전압의 경우에도 배터리를 보호하기 위하여 인버터 가동을 중단한다.

#### 3.2 배터리 충전용 컨버터 설계

배터리 단자전압은 비교적 일정한데 반하여 발전기에서 출력되는 전압의 크기는 바람의 변화에 따라 수시로 변동하므로 낮은 입력전압에서도 충전이 가능하도록 승압이 가능한 스위칭 컨버터를 사용하였다. 충전기 모듈 한 개의 주회로 구성은 그림 3에 보인 것과 같다. 하프 브리지 푸시-풀 컨버터 구조로서 출력 전류의 스위칭 리플 주파수가 2배 증가하는 효과를 가져오게 된다. 고전압에 유리하여 대용량화가 용이하며 부품수가 적고 스위칭 소자의 스트레스가 적은 특징이 있다. 변압기에 의해 입력출력 전압사이의 절연이 확보되며, 변압기의 누설 인덕턴스를 조절하여 추가적인 필터 인덕터 없이도 동작이 가능하다.

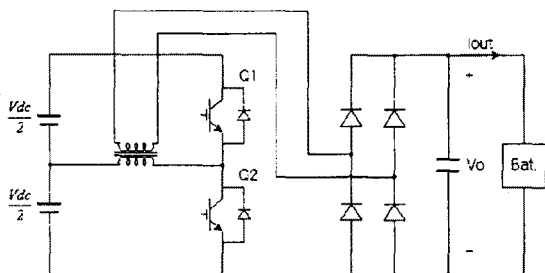


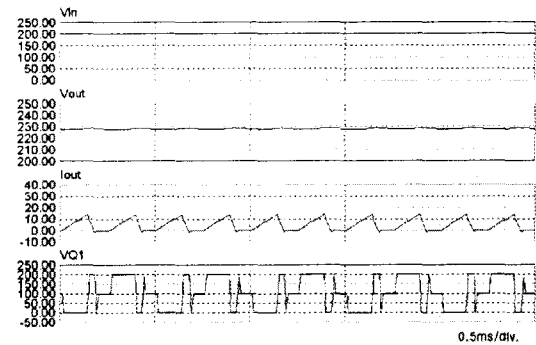
그림 3. 배터리 충전회로

발전기 출력을 정류한 직류 입력전압이 121V에서 283V 까지 폭넓게 변화해도 배터리에 일정한 직류 전압을 유지하며 충전할 수 있도록 변압기 권선비를 설계하였고 스위칭 듀티를 조절한다. 그림 4.는 듀티를 조절하여 출력 전압을 다르게 제어할 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다. 듀티비 조절에 의해 출력 전압이 잘 조절됨을 알 수 있다. 출력단 전류 리플은 회로 인덕턴스 값에 의해, 출력 전압 리플은 커패시터 값에 따라 달라진다.

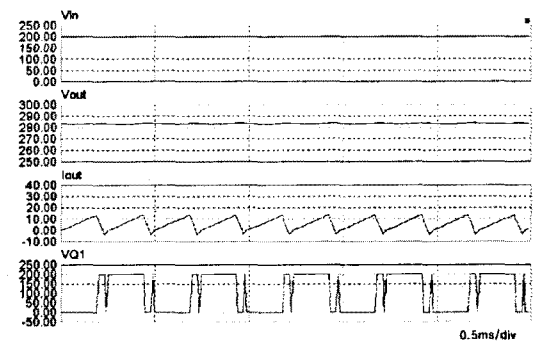
일시적인 과부하 내량을 크게하여 바람이 불 때 발전된 전력을 효과적으로 충전할 수 있게 하였으며 충전기를 모듈화하여 직-병렬 회로의 확장에 대응이 용이하도록 하였다. 보호기능으로서는 충전전류를 감시하는 과전류 방지기능, 스위칭 소자의 방열판 온도를 감시하는 과열 방지 기능 등을 갖추고 있다.

표 2. 배터리 충전기 사양

정격 출력 전압	132V
정격 출력 전류	45A
입력 전압 범위	121 ~ 283V
스위칭 주파수	30kHz



(a) D=0.7 Vin=200 Vout=230V인 경우



(b) D=0.85 Vin=200 Vout=280V인 경우

그림 4. 배터리 충전회로 제어서 시뮬레이션 결과

#### 3.3 출력 인버터 설계

출력 인버터로는 일반적으로 사용되는 VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) 인버터를 개조하여 CVCF(Constant Voltage Constant Frequency)출력으로 사용하였다. 직류단 전압변동을 고려하여 펄스폭을 조절하며 현재는 개루프 제어 방식으로 전압 지령에 따라 출력 전압을 발생하는 구조로 되어 있다. 출력 전압의 고조파 성분을 제거하기 위한 LC

필터를 설계 제작하였다.

인버터의 용량은 풍력 발전 시스템의 이용률을 고려하여 7.5kW로 하였으며 과전류 과부하 감시 및 차단 등의 보호기능을 가지고 있다. 부하로서는 발전소내 에어컨, 전등 부하, 음료 온냉기 등을 사용하고 있다. 한전 전원과 분리시켜 생산된 전력으로 부하에 공급하기 위한 절환용 스위치를 설치하였다.

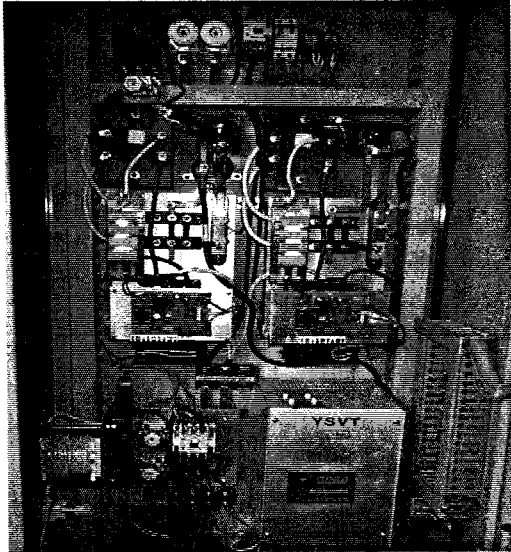


그림 5. 설치된 배터리 충전회로

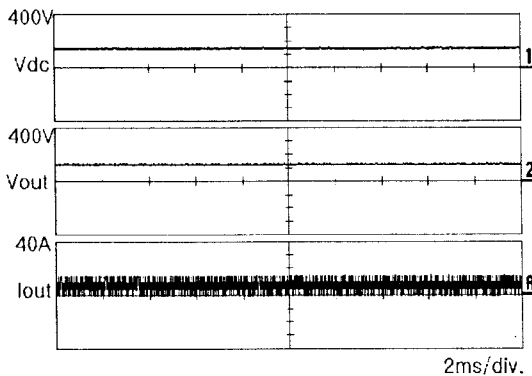


그림 6. 배터리 충전기의 입력 전압, 출력전압 출력전류

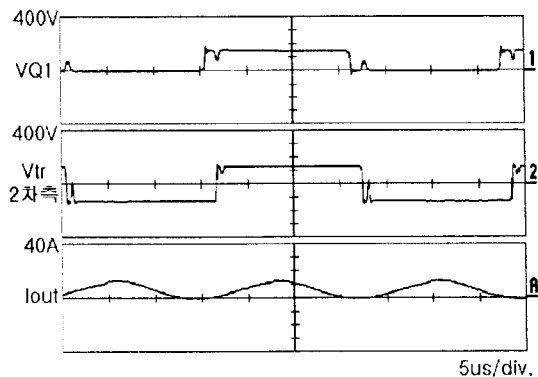


그림 7. 배터리 충전기의 스위치 Q1전압, 변압기 2차 전압, 출력전류 확대파형

그림5는 설치된 배터리 충전회로의 사진이며, 그림 6에서는 입력전압 150V 출력전압 130V일 때의 충전전류를 측정한 것이며, 그림 7은 스위치 Q1의 양단에 걸린 전압과 변압기 2차측 전압의 확대파형이다.

시운전 실험결과 그림 8에 보인 것과 같이 풍속이 4.5 m/sec 일 때 5A, 풍속이 10m/sec일 때 24A의 충전전류가 흘렀다. 또한 인버터를 이용하여 발전소내 각종 부하에 상용 주파수의 220V 60Hz 전력을 공급하였다. 특히 에어컨과 같은 돌입 전류가 큰 부하에 대해서도 안정된 전력을 공급함을 알 수 있었다.

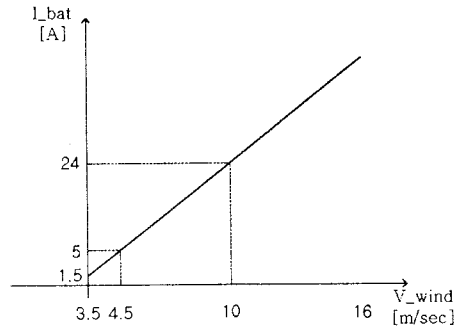


그림 8. 풍속에 따른 출력 전류

#### 4. 결 론

가변속 풍력 발전 시스템을 대상으로 생산된 전력 에너지를 저장하였다가 필요할 때 뽑아 쓸 수 있는 전력 저장 및 변환 시스템을 설계, 제작 하였다. 현재 시운전이 진행중이며 앞으로 도서 벽지 전하 사업용으로 적용이 가능하다.

향후 과제로서는

- (1) 배터리의 수명연장과 효율적 사용을 위한 충전 제어 알고리즘 및 유지 보수 방안 확립
- (2) 통계 기법을 이용한 풍력발전 용량 예측과 에너지 저장장치의 적정 용량 선정
- (3) 인버터 출력단 부하 변동에 강인한 페루프 제어기 설계 및 필터 설계 최적화 등을 진행할 예정이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 정병창, 임종연, 송승호, 김영민, 노도환, 김동용, "중대형급 풍력발전 시스템용 에너지 변환 방식에 대한 연구", 대한전기학회 춘계학술대회, p459~462, 2001
- [2] 신 찬, 김지연, 송승호, 노도환, 김동용, "30KW급 수직/수평축 통합형 풍력발전시스템 개발", 대한전기학회 춘계학술대회, p470~472, 2001
- [3] 고석철, 임성훈, 한병성, "전하펌프 역률개선 회로를 적용한 양방향성 AC-DC Converter 설계", 대한전기학회 춘계학술대회, p227~230, 2001
- [4] Siegfried Heier, "Wind Energy Conversion Systems", John Wiley & Sons, Inc., 1998
- [5] Billings, "Switchmode Power Supply Handbook", McGraw Hill, 1999

본 연구는 (00-지역-03)한국전력공사지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행되었음