

울산 남동부 해안지역에서의 소용량 풍력발전 가능성에 관한 연구

박문동*, 백민식, 이간운, 이영수,
한전기공(주) 원자력기술연구소원

A Study of Wind-power Generations at the south-east coast of Ul-san

MD Park*, MS Park, GW Lee, YS Lee.
Nuclear Technology Training Center, Korea Plant Service Engineering Co.

Abstract - This paper presents the actual test data of 3 phase, 9 pole, 3.6 [kW] synchronized wind-power generator controlled by hinged vane system and the possibilities of the small mount wind-power generations at the south-east coast of Ul-san. It also shows the data of the wind-velocity acquired by wind-direction sensor, calculation and analysis of the estimated electrical generation power, energy storage systems, and the efficient usages of the wind-power system.

[표1] 월별 평균풍속 및 유효풍속(4m/s 이상)시간

월별	평균 풍속(m/s)			유효풍속시간(Hr) /측정일수(D)
	최대	최소	월 평균	
3	8.1	2.5	4.2	115/ 13
4	9.8	2.4	4.5	150/ 16
5	10.2	2.4	5.0	204/ 20
6	6.6	2.2	4.1	220/ 22
7	8.4	2.2	4.7	299/ 27
8	5.2	2.1	3.5	72/ 9
9	8.2	2.4	4.9	306/ 21

1. 서 론

풍력발전에 대한 선진국의 기술개발 현황은 이미 실용화 단계에 있으며, 독일, 덴마크, 미국 등의 경우 1.5~2.0 [MW]급의 상업용 풍력발전기를 제작 보급하고 있는 추세이다.

우리 나라의 경우 한국에너지 연구소에서 연구용으로 설치하여 운영중인 제주 월령의 풍력발전단지과 제주도청에서 설치 운영중인 행원풍력발전단지를 비롯하여 전남 무안의 풍력발전단지 등 100~750 [kW]급의 풍력발전기가 가동중에 있으며, 단독운전이 불가능한 특성으로 인하여 대부분 기존의 계통과 병렬로 운전하는 방식을 채택하고 있다.

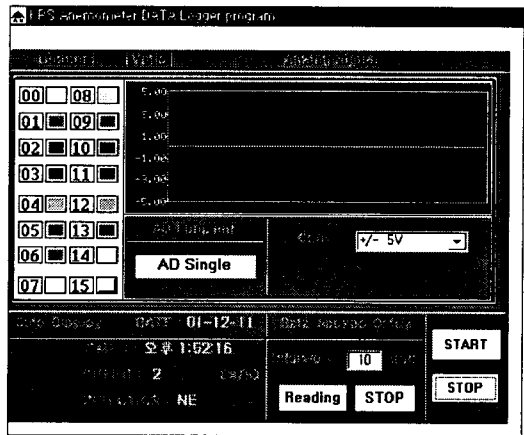
이번 연구용으로 채택한 소형 풍력발전기의 경우 독립가속이나 공원의 조명용 전원으로 널리 사용되고 있으며, 소용량 풍력발전방식에서 주로 사용하고 있는 독립전원 방식의 3-블레이드 프로펠러형, 3.6 [kW]급의 3상 교류식 동기발전기를 설치하여 풍속에 따른 발전량 산출, 발전출력에 대한 전력의 저장과 활용 방안 등을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 풍향/풍속 측정

풍력발전의 가능성을 확인하기 위하여 풍력발전기를 설치할 위치에 풍향/풍속계를 설치하고 2001.3.16일부터 9. 21일까지 128일 동안 풍향/풍속을 측정된 결과 [표1] 과 같이 측정되었다. 이 기간동안 평균풍속은 4.4 [m/s], 발전 가능한 유효풍속(4 [m/s] 이상) 시간은 1366시간으로 측정되었으며, 일일 풍력발전 가능시간은 10.7시간으로 나타났다. 풍향/풍속계는 지상 12m 높이에 주위가 개방된 곳에 설치하여 지상의 다른 구조물에 의한 간섭을 최소화하였으며, [그림1] 과 같은 컴퓨터를 이용한 풍향/풍속 전용 프로그램을 사용하여 실시간으로 데이터를 취득하였다.

그 결과 풍력발전기 설치시 풍력발전이 충분히 가능하다고 판단하였으며, 실제로 소용량의 풍력발전기를 설치하여 보다 정밀한 발전효과 측정이 필요함을 인식하였다.

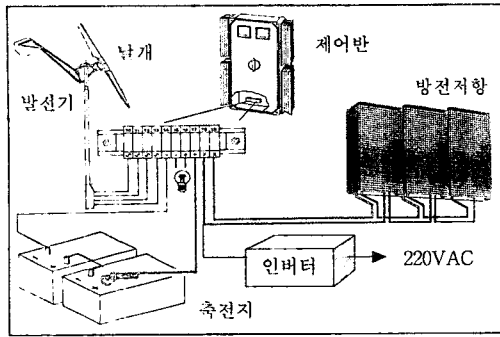


[그림1] 풍향/풍속 측정 프로그램

2.2 풍력발전시스템 구성

전력계통과 연계하여 병렬로 운전할 수 있는 유도발전 방식의 경우 풍속의 변화에 따른 발전기의 회전속도를 일정하게 유지하기 위하여 요잉(Yawing) 시스템과 가변속 기어박스가 필수적으로 설치되어야 하므로 경제성 측면에서 소용량 풍력발전방식에서는 사용하지 않는다. 따라서 소용량 풍력발전방식에서는 발전 및 제어방식이 비교적 간단한 동기발전방식을 채택하고 있다.

본 연구에서는 단독운전의 소용량 동기발전방식을 채택하였기 때문에 바람의 세기에 따라 발전기의 회전속도가 계속 변함으로서 속도의 변화에 따른 주파수의 변화 및 출력전압의 변화를 수용하기 위하여 아래의 그림과 같이 정류장치를 포함한 제어반, 축전지, 축전지의 과충전을 방지하기 위한 방전저항, 인버터 등으로 구성하여 바람이 많이 불 때 발생하는 풍력에너지를 축전지에 최대한 저장할 수 있도록 하였으며, 발전기의 고장이나 장기간 바람이 불지 않을 경우 외부의 전원을 사용할 수 있도록 시스템을 구성하였다.



[그림2] 풍력발전시스템 구성도

2.3 발전기 및 주요 기기

본 연구에서 현장 설치하여 실험한 풍력발전기는 특별 주문에 의해 제작 판매하는 네덜란드 포티스(FORTIS)사의 발전기 및 터빈날개를 구매하여 조립 설치하였다.

2.3.1 발전기

발전기는 무브러시 회전제자형 동기발전기로 발전기의 중량을 최대한 줄이기 위하여 고정자 프레임은 Cast Aluminium으로 제작되고, 회전자는 스텐레스-강 축에 내온-철-바륨(Ne-Fe-B)의 합금으로 제작된 18개(9극)의 돌극형 영구자석으로 제작된 발전기를 채택하였으며, 주요 사양은 다음과 같다.

- 출력 전압/ 용량 : 3상 0-24 [VAC], 3.6 [kW]
- 출력 주파수 : 0-70 [Hz] (풍속 4-15 [m/s] 기준)
- 회전속도 Normal/Max. : 300/420 [rpm]
- 속도제어 : Hinged Vane System

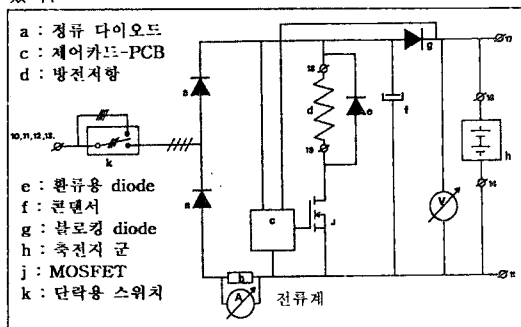
2.3.2 터빈(날개)

터빈(날개)형식은 3-블레이드의 프로펠러형으로, 날개의 내부는 나무로 제작하고 외부는 0.5mm 정도의 폴리에스터 강화 유리섬유로 처리하여 바람의 저항과 마찰에 의한 손상을 최소화 한 것으로 채택하였다.

- 날개 길이 : 2.3 m
- 날개 재질 : 폴리에스터 강화 유리섬유
- 날개(회전자) 방향 : 상향식(Up-Wind)

2.3.3 제어반

제어반은 발전기에서 생산된 0-24 [V]의 교류전력을 직류로 변환하는 부분으로, 무부하시의 발전기 과속방지, 발전기의 수동정지, 축전지의 과충전 방지 및 발전기와 부하를 안전하게 연결하는 기능을 가지도록 구성하였다.



[그림3] 풍력발전기 제어반 회로도

2.3.4 기타 설비

발전기에서 생산된 전력을 저장하기 위하여 내구성인

강한 12 [VDC], 200 [AH]의 이동용 알칼리 축전지를 5개의 군으로 병렬로 연결하여 축전지의 충전상태에 따라 A,B,C 군으로 차례로 충전되도록 설계하였다.

또한 축전지에 저장된 직류전원을 교류로 변환하기 위하여 용량 2 [kVA]의 고효율 인버터를 설치하여 풍력발전기 제어실의 조명용 전원과 전산시스템의 전원으로 활용할 수 있도록 설계하였으며, 인버터 출력전압 저하시 한전의 계통전력으로 절체되도록 구성하였다.

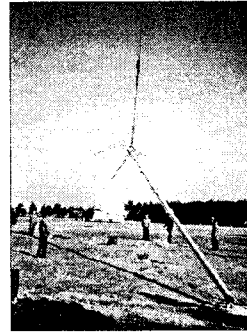
2.4 발전기 설치 및 운전

2.4.1 발전기 설치

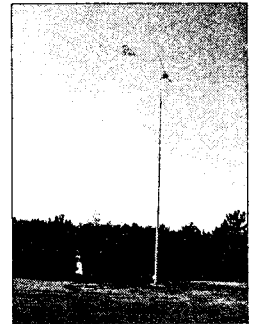
주변 시설물의 장애를 최소화하기 위하여 발전기 설치 위치로 주변 반경 400m 이내에 높이 5m 이상의 돌출 장애물이 없는 평지를 선정하고자 연수원의 남쪽 방풍림이 위치한 잔디밭에 발전기를 설치하기로 하였다.

발전기를 지지하는 방식으로는 18 [m] 높이의 pole을 설치하고, 주변 4개소를 2중의 wire 지지형으로 고정하며, pole의 지지점은 십자형의 Base Foundation를 적용하였다. 그리고, 풍력발전기 고정부의 기계적인 안정도를 향상시키기 위하여 설계치보다 강화된 배관(6" SCH80)을 pole용 배관으로 선정하였으며, 방풍림에 의한 바람의 간섭을 최소화하기 위하여 pole의 높이를 18m로 설정하였다.

또한, 바람 방향의 수시 변화에 따른 전원케이블의 꼬임을 방지하기 위하여 Pole의 하부에 브러시형 회전 슬립링을 설치하여 풍향의 변화에 대응토록 하였다.



[그림4] 설치중 사진



[그림5] 설치후 사진

2.4.2 시운전(출력전압 및 전류)

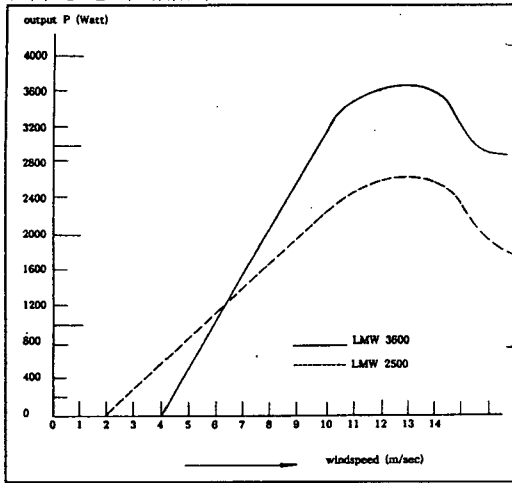
발전기 및 부속 기기를 설치 완료하고 발전기의 운전 상태를 점검한 결과 풍속 2-3 [m/s] 이상의 미풍만 불어도 풍력발전기의 날개는 회전을 시작하며, 풍속의 세기가 4-5 [m/s] 이상이 될 때 발전기의 출력단에서 축전지로 충전 전류가 흐르기 시작하였으며, 풍속 약 12-13 [m/s] 에서 정격출력에 달하는 충전전류가 측정되었다.

풍속이 15 [m/s] 이상이 되면 발전기 보호를 위해 Vane의 각도가 기계적으로 기울어져 회전날개가 바람 방향과 일치하지 않고 다소 기울어지게 하여 발전기의 출력을 감소토록 하는 장치(Hinged Vane System)를 채택하였으나, 실제 운전한 결과 20 [m/s] 이상의 강풍이 불 때 약 150 [A] 이상의 부하전류가 측정되어 발전기의 속도를 제어하는 Vane의 동작이 기준 설계치와 다소 차이가 있었다.

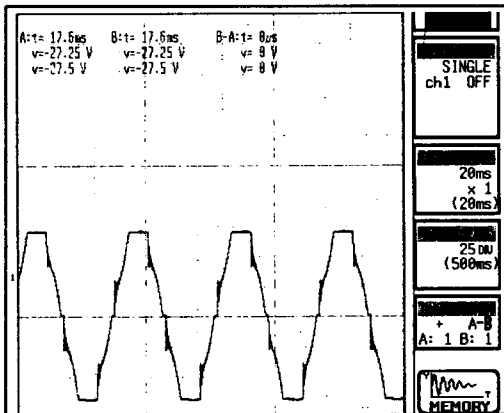
발전기 출력단에서 측정된 3상 교류전원의 경우 풍속 12 [m/s] 에서 출력전압 27.5 [V], 주파수 56.8 [Hz]의 구형파에 가까운 삼각파 형태의 교류전원이 측정되었으며, 제어반의 정류기에 의하여 양호한 상태의 직류전원으로 변환되었다.

풍속의 변화에 다른 단자전압과 출력전류의 변화를 점

검한 결과 발전가능 풍속(4-12 [m/s])에서의 풍속의 변화에 따른 단자 전압의 변화는 그리 크게 나타나지 않았으나 부하전류의 변화가 크게 측정되어 풍속의 증가에 따른 풍력 에너지가 증가할 경우 발전기의 출력증가로 나타남을 알 수 있었다.



[그림6] 풍속의 증가에 따른 발전기 출력전압



[그림7] 발전기 출력전압 파형

2.5 운전중 발생된 문제점 및 조치

풍력발전기의 운전중 바람의 방향이 순간적으로 바뀌는 돌풍이 불어올 때 고속도로 회전중인 발전기가 갑자기 정지하는 현상과 함께 발전기를 지지하는 pole의 최상부인 목 부위에서 육안으로 감지되는 심한 진동이 발생하였으며, 이러한 현상이 반복될 경우 목 부위가 파단될 것으로 우려되었다.

또한 20 [m/s] 이상의 강풍에서는 Hinged Vane System에 의하여 발전기의 출력이 감소되도록 설계되어 있으나, 풍속의 증가와 함께 증가한 출력전류에 의하여 케이블 꼬임 방식을 위하여 설치한 브러시-슬립링에서 아크가 발생하고 이로 인하여 3상 발전기의 단상 운전에 의한 과전류로 발전기 고정자 권선이 소손되는 사고가 있었다. 따라서 집전용 브러시와 슬립링을 150 [A] 용량으로 교체하고 발전기 고정자를 재권선 하였으며, pole 목 부위의 기계적 강도를 보강하였다.

2.6 풍력발전기의 에너지 저장과 효율

풍력발전기를 시운전하면서 풍속과 축전지에 저장되는 에너지를 측정하고 결과 풍속 4-5 [m/s] 시 발전기 단자의 교류전압 188 [VAC], 정류된 직류전압 24.5 [VDC] 정도에서 풍력에너지가 축전지로 저장되기 시작하였

으며, 이 전압의 크기는 축전지의 충전상태에 따라 조금씩 변하였다. 즉, 계속적인 발전으로 축전지의 충전과 충전에 따른 축전지의 단자전압이 상승하면 풍력에너지가 저장되는 초기전압도 높아지며, 축전지의 방전에 따른 축전지 단자전압이 낮아지면 풍력에너지가 저장되는 발전기의 초기전압도 낮아짐을 알 수 있었다.

풍력발전기를 운전하면서 발전기로부터 축전지로 저장되는 충전전류의 크기를 측정하고 결과 대체로 0~50 [A] 범위를 유지하였으며, 평균풍속 5-6 [m/s] 에서 전부하 전류의 약 24 [%] 되는 23 [A] 정도의 충전전류가 측정되었다.

풍속계로 측정된 유효풍속 자료(데이터)와 축전지로 저장되는 충전전류를 기초자료로 사용하여 3.6 [kW] 의 풍력발전기에 의하여 생산되는 전력 및 이용율(효율)을 아래와 같이 산출하였다.

- 풍속 데이터를 취득한 총 일수 : 128일(3072시간)
- 풍속에 의한 발전가능 시간 : 1366시간
- 측정기간의 평균 발전율 : $(1366/3072) \times 100 = 44.5$ [%]
- 풍속 5-6 [m/s] 시(충전전류 23[A]) 전력 생산율 : $(23/96.2) \times 100 \approx 24$ [%]
- (100% 출력시 전류 96.2[A] 적용)
- 월간 예상 발전량 : $3.6 \times 30D \times 24h \times 0.445 \times 0.24 = 276.8$ [kWh]
- 풍력발전기의 효율(이용율) : $(276.8 / (3.6 \times 30 \times 24)) \times 100 = 10.7$ [%]

3. 결 론

울산 남동부 해안지방(울산광역시 울주군 서생면)에서의 소용량 풍력발전 가능성에 대한 연구 시험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

풍력 에너지의 경우 사전 조사한 높이 12 [m] 에서의 평균 풍속 4.4 [m/s] 의 자료를 근거로 풍속은 비교적 양호하게 나타났으며, 풍향의 경우 돌풍이 불 때를 제외하고는 거의 일정한 양질의 바람이 측정되었다.

발전기의 권선 소손에 의한 분해 점검시 발견된 사항으로 강풍에 의한 자체 진동으로 발전기를 지지하는 구조물에 크랙이 발생하여 응급조치를 하였는데, 구조물에 대한 기계적인 강도를 보완과 태풍 등의 악천후에서 발전기 지지대를 보호할 수 있는 장치가 강구되어야 할 것으로 나타났다.

풍력발전기의 이용률 측면에서 볼 때 계통에 직접 연계하여 운전하는 중형급 이상의 유도발전기의 정격 용량 대비 평균출력이 25-30% 전후인 반면에, 본 연구시 채택한 소용량 풍력발전기는 이용률이 10% 내외로 낮게 나타났으며, 에너지 저장 수단으로 사용하는 축전지가 반복되는 충·방전으로 인하여 수명이 단축이 예상되고, 이를 계통의 전원과 연계하여 사용하기 위하여 인버터 등의 부속설비를 필요로 하는 등 경제적인 면에서는 보다 정밀한 실측이 필요한 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 전력연구원, "중형급 풍력발전시스템 운영기술개발", 1차년도 보고서, 1996.6월
- [2] 김진훈 한국에너지기술연구소 유체기기 연구팀, "대안 에너지로서의 풍력에너지 이용 및 보급방향"
- [3] 로켓트 전기, "축전지 유지관리 지침서"
- [4] Fortis Wind-energy, "FORTIS Montana 4000 Wind Turbine Manual"
- [5] Fortis Wind-energy, "Instructions for Assembly of FORTIS Montana 4000"
- [6] Met One Instruments, "Model 010C Wind Speed Sensor Operation Manual"