

**특집 : 풍력발전 시스템 동향**

# 제주 행원 풍력발전 단지의 운전현황

김 일 환\*, 허 종 철\*\*, 김 건 훈\*\*\*

(제주대 전기전자공학부\*, 제주대 기계공학과\*\*, 한국에너지기술연구원\*\*\*)

## 1. 서론

최근 중국과 인도의 급속한 경제성장에 따라 과도한 에너지 소비로 말미암아 국제 에너지 시장에서 수급 불균형을 초래하여 국제 에너지 가격의 변동 시기 및 폭을 예측할 수 없는 상황으로 치닫고 있다. 그래서 세계 각국은 향후 화석연료 고갈에 대비한 에너지원의 다변화와 국제 기후변화 협약등 국제적인 환경규제에 능동적으로 대처하고, 미래의 국가 동력 에너지원을 확보하기 위해 부단한 노력을 기울이고 있는 상황이다. 특히 풍력을 포함하는 대체 에너지는 이러한 맥락에서 국제적인 관심과 초점을 유도하고 있는 친환경 미래 에너지이라 할 수 있다. 하지만 이러한 대체에너지에 관련된 기술은 과다한 초기 투자라는 장애 요인에도 불구하고, 화석에너지 고갈 문제와 환경 문제에 대한 핵심 해결방안이라는 점 때문에 선진 각국은 정부 주도하에 대체 에너지 기술 육성을 위해 과감한 연구 개발과 보급정책을 추진해 오고 있다.

이러한 추세에 부응하여 우리나라에도 풍속자원이 가장 풍부한 제주 행원 지역에 풍력에너지의 개발과 보급을 위하여 중앙정부와 지방 정부 지원 하에 1997년 8월부터 행원 지역에 600kW 급 풍력발전기 2기를 설치한 후 동시에 설비 확충 사업에 착수하여 2003년 12월 까지 총 15기 9.8 MW급 풍력발전 단지를 조성하여 상업운전을 하고 있는 상황이다. 하지만 아직 국내에서는 행원 풍력발전 단지 같은 대규모의 발전단지를 운용한 경험이 없어서 이 분야에 기술적 노하우를 확보하지 못하고 있다. 따라서 본고에서는 행원풍력 발전 단지의 전반적인 운용사항과 특징에 대해서 간략하게 소개하고자 한다.

## 2. 행원 단지의 지형학적 특성

### 2.1 행원단지의 지형

제주 행원 풍력발전 단지는 제주시로부터 약 30[km] 정도 동쪽방향으로 떨어져 있으며 한라산을 중심으로 북동부단에 위치하고 있다. 그림 1에서와 같이 전체적으로 북쪽은 바다와 인접한 지형이며 남서쪽으로는 점차 지표고도가 높아지는 한라산 지역으로 연결되어 있다. 그러나 행원지역은 바다쪽으로 돌출된 지역으로서 다소 남서쪽 지형에 의한 영향을 제외한다면 거의 모든 방향에서 바람을 기대할 수 있는 지형적으로 우수한 지역이라 할 수 있다. 뿐만 아니라 주변에 잘 조성되어 있는 도로 등으로 인해 풍력발전 단지의 건설지로서도 좋은 지역적인 장점을 지니고 있다고 할 수 있다. 결론적으로 이 지역은 풍력발전 단지로서 아주 우수한 지형학적 특징을 지니고 있다고 볼 수 있다.

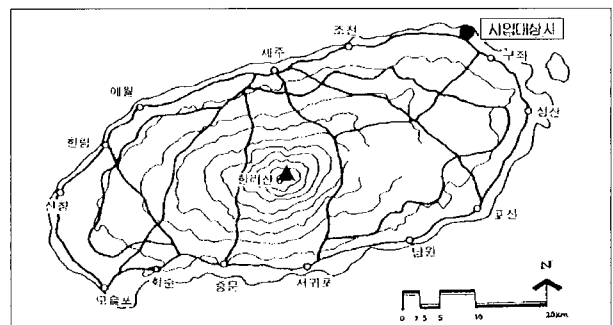


그림 1 행원 풍력발전 단지의 제주도내 위치도

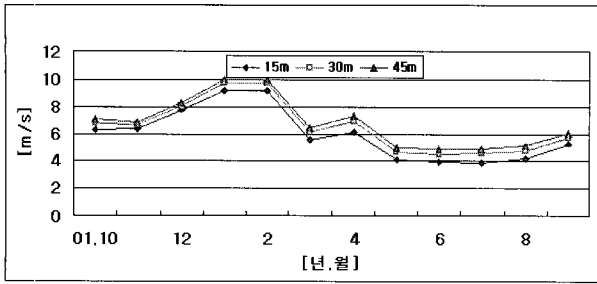


그림 2 행원단지의 년 평균 풍속(2001.10~2002.09)

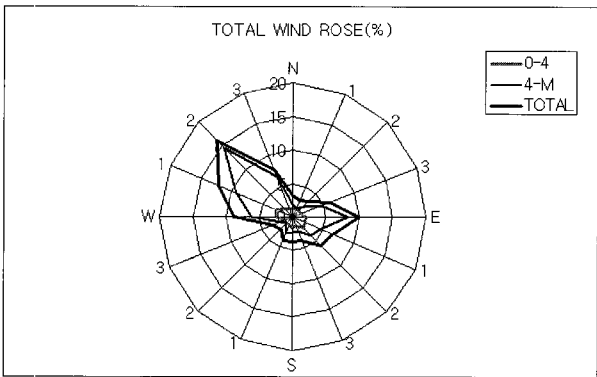


그림 3 행원단지의 바람장미



그림 4 행원단지의 조감도

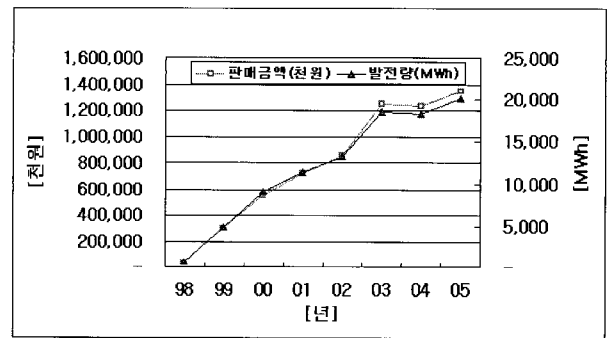


그림 5 행원단지의 년 간 발전량과 판매금액

## 2.2 행원단지의 풍속

행원 단지는 그림 1에서 나타난 것과 같이 제주도 동쪽 끝 부분에 가깝게 위치하고 있어서 북쪽으로는 바다가 있고 다른 쪽으로는 큰 장애물이 없어 제주지역 풍속의 큰 특징인 가을과 겨울의 북서풍과 봄과 여름의 동풍이 주풍속의 방향을 가진다. 이러한 풍속을 측정하기 위해 행원 단지내 풍력터빈의 허브높이인 45[m]에서 7.5[m]간격으로 지상 7.5[m]까지 6점을 측정하였다. 계측데이터는 2초 간격으로 샘플링되며 이들을 1시간 평균하여 평균풍속을 얻어낸다. 그림 2는 2001년 10월부터 1년간 측정된 자료의 월별 평균풍속을 나타내고 있다.

그림 3은 행원단지의 주 풍향을 알아보기 위해 단지내의 45[m] 높이에서 측정된 바람장미를 나타내고 있다. 이 그림에서 보면 각 방위별 측정된 풍속의 평균치를 나타내고 있으며 방위별로 가장 강한 바람이 있었던 방위는 북서쪽 방향으로서 전체의 약 24[%]를 차지하여 이 지역은 북서쪽의 주요한 풍향임을 보여주고 있다.

## 3. 행원 풍력 발전 단지의 운전 특성과 현황

### 3.1 행원단지의 현황

행원단지는 제주도에 무한한 풍속자원을 신재생 에너지로 개발하고 보급하기 위해 중앙정부와 제주도청이 1997년부터 2003년 까지 국비와 지방비를 포함한 총 203억원을 투입하여 단지를 조성하였다. 그림 4와 같은 단지에는 1998년에 600(kW)급 2기, 1999년에 660(kW)급 3기와 225(kW) 1기, 2000년에 750(kW)급 2기, 2001년에 660(kW)급 2기, 2002년에 750(kW)급 3기, 2003년에 660(kW)급 3기 등 총 9,795(kW) 용량의 15기의 풍력발전 시스템을 설치하여 상업운전을 하고 있다.

여기서 생산되는 전력은 전량 한국전력에게 판매되고 있으며 상업운전을 개시한 1998년 8월부터 2005년 12월 말 까지 총 39,252(MWh)의 전력을 발전하여 공급하였고 1998년부터 2005년 까지 판매된 금액은 그림 5와 같다. 이것은 신재생에너지의 공급에 따른 환경 보 존 및 에너지 수입의존도를 감축하는 효과 뿐 만 아니라 지방재정 확충에도 크게 기여하고 있음을 나타내고 있다.

### 3.2 발전단지의 운전 특성

풍력발전 시스템의 출력은 풍력발전 시스템의 운전 성과

표 1 행원단지에 설치된 시스템들의 제원

	V47-600	V47-660	NM-750
정격용량[kW]	600	660	750
회전자직경[m]	42	45	48.5
타워높이[m]	45	45	45
날개회전수[rpm]	28.5~32	28.5~32	14~22
기동풍속[m/s]	4	4	4
정격풍속[m/s]	13	13	13
정지풍속[m/s]	25	25	25
발전기 형식	유도기	유도기	유도기
전압[V]/ 주파수[Hz]	690/60	480/60	600/60
회전수[rpm]	1,890	1,890	1,890
Nacelle중량[ton]	20	20	20
날개중량[ton]	7.2	7.2	7.2
제어방식	Pitch /OptiSlip	Pitch /OptiSlip	stall /OptiSlip
브레이크	유압	유압	유압

풍속 자원에 전적으로 비례한다. 그런데 풍력발전 시스템의 출력성능을 최적화하기 위해서는 설치하고자 하는 지역의 풍속 특성에 알맞은 시스템을 선택하여야 한다. 그래서 행원단지에는 국내의 풍력운영에 관한 경험이 없었기 때문에 세계적으로 많이 운용되고 있는 유도발전기형 풍력발전 시스템 중에서 블레이드 제어의 형태가 피치형(V47-600, V47-660)과 스톨형(NM-750)으로 선택하여 시스템을 설치하였다. 표 1은 행원단지에 설치되어 운용되고 있는 시스템들의 제원들을 나타내고 있다. 이 모든 시스템들은 계통 연계형이기 때문에 한전 계통에 연계가 필요하다. 그렇지만 행원 지역은 제주 전력계통망에서 부하 말단에 속하는 배전선로이기 때문에 직접 이 선로에 연계하는 것은 배전계통에 영향을 줄 수 있다. 그래서 행원 성산포간 24[km]의 전용 배전선로를 개통하여 성산변전소 송전계통에 연계시켜 운용하고 있다.

또한 시스템들의 출력이 제주 행원 지역의 풍속에 어떠한 성능을 내는지 분석하기 위해서 2003년 4월부터 2004년 3월 까지 1년간 풍속에 대해 각 풍력 발전 시스템들의 이론적 출력과 실제출력을 비교 분석하여 그림 6, 그림 7, 그림 8에 나타내었다. 이를 종합해보면 계절별 약간의 차이는 있지만 거의 비슷하게 나타나고 있다. 이것은 제주행원 지역의 풍속 특성에 대해서는 피치형이나 스톨형에 상관없이 출력이 양호하게 나타날 수 있음을 나타내고 있다. 하지만 이론치와 실제의 출력값이 큰 경우는 시스템 고장에 의해 가동이 정지된 때 문인 것으로 볼 수 있다.

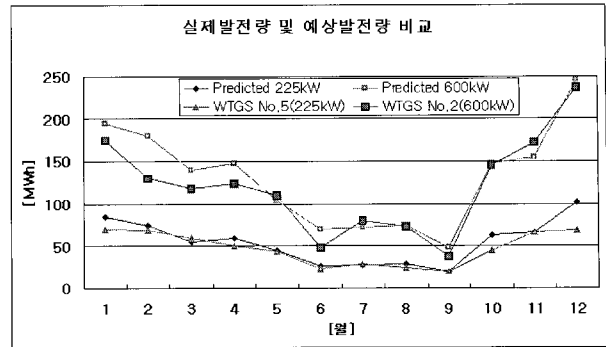


그림 6 225kW, 600 kW의 풍력발전 시스템의 실제와 예상 발전량

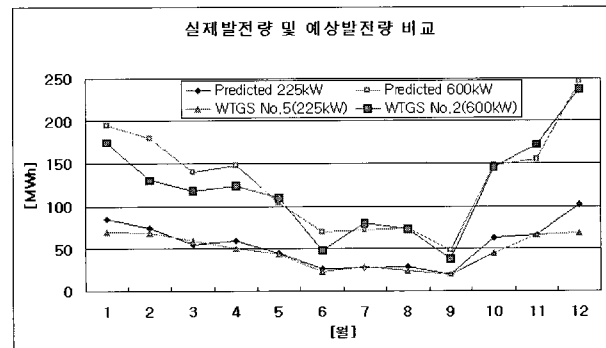


그림 7 660 kW의 풍력발전 시스템의 실제와 예상 발전량

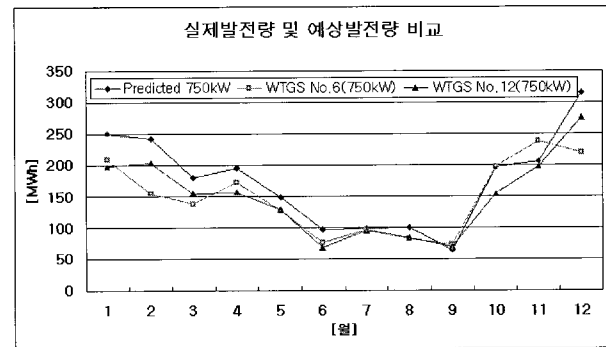



그림 8 750 kW의 풍력발전 시스템의 실제와 예상 발전량

#### 4. 맺음말

국내 최초의 상업 발전용 행원 풍력발전 단지는 1998년 2기를 시작으로 현재 까지 총 15기를 도입하여 상업운전을 하고 있는데 행원단지의 풍속자원과 운전 결과에 대한 여러 가지의 특성을 분석한 결과 높은 운전 효율과 안정된 출력을 내고 있어 국내 대표적인 풍력단지로서의 위상을 확립하고 있다고 볼 수 있다. 이것은 풍력 기반 기술이 매우 취약한 국내

의 실정을 감안하면 현재 운용되고 있는 행원 발전 단지는 매우 성공적이라 할 수 있다. 이러한 성공적인 결과는 국내의 풍력발전에 대한 인식을 획기적으로 바꿔 놓았고 또한 많은 연구와 투자를 유도하는데 결정적인 역할을 하였다고 볼 수 있다. 이를 바탕으로 국내의 풍력에 관련된 기반기술을 한 단계 올리는데 기여를 할 것으로 기대된다. 

### 참고 문헌

- [1] IEC, 1994, Wind Turbine generator Systems-Part2 : Safety Requirements, IEC1400-1:1994.
- [2] 김건훈/허종철외, 2002, 제주도내 풍력발전 단지 성능 모니터링 및 평가(I), 제주도.
- [3] 김건훈/허종철외, 2003, 제주도내 풍력발전 단지 성능 모니터링 및 평가(II), 제주도.
- [4] 김건훈/허종철외, 2004, 제주도내 풍력발전 단지 성능 모니터링 및 평가(III), 제주도.

### 《저 자 소 개》



#### 김일환(金一煥)

1962년 3월 29일생. 1985년 중앙대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~1996년 오하이오 주립대 Post\_Doc. 2004년~2005년 와싱턴대 Visiting Scholar 1991년

~현재 제주대학교 전기전자공학부 교수.



#### 허종철(許鐘哲)

1955년 6월 11일생. 1980년 인하대 기계공학과 졸업. 1982년 동 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 기계공학과 졸업(박사). 1984년~현재 제주대학교 기계공학과 교수.



#### 김건훈(金建勳)

1960년 10월 27일생. 1983년 인하대 항공공학과 졸업. 1985년 KAIST 기계공학과(항공공학) 졸업(석사). 1995년 KAIST 기계공학과 기계공학 박사수료. 2000년~2005년 풍력자원조사사업 및 풍력발전단지 건설 타당성 분석사업 책임

자. 2001년~2004년 풍력성능평가사업 사업책임자. 2002년~현재 산업자원부 기술표준원 풍력발전시스템(IEC/TC88) 전문위원. 1985년~현재 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부 선임연구원.