

[논문] 한국태양에너지학회 논문집  
*Journal of the Korean Solar Energy Society*  
Vol. 26, No. 4, 2006

## 극한환경에서의 소형풍력발전 실증운전

김석우\*, 경남호\*\*

\*한국에너지기술연구원 풍력발전연구단(wemins@kier.re.kr), \*\*한국풍력기술개발사업단(nhkyong@kier.re.kr)

### Demonstration of 10kW Wind Turbine System at the King Sejong Station

Kim, Seokwoo\*, Kyong, Nam-Ho\*\*

\*\*Wind Energy Research Group, Korea Institute of Energy Research(wemins@kier.re.kr)  
\*\*Korea Wind Energy Development Organization(nhkyong@kier.re.kr)

#### Abstract

10kW wind turbine has been successfully commissioned at the King Sejong station in April, 2006. The wind turbine installed is a part of the R&D program for developing a solid wind/diesel hybrid power control system for a remote area such as Antarctica. At the same time, the current research aims to develop an anti-icing and de-icing technologies for a small wind turbine rated under 50kW.

Since its commissioning, the turbine has generated about 500kWh for 47days without any system faults. Although sufficient data have not been obtained yet, any trouble has not occurred in the wind/diesel hybrid system based on the current analysis.

Concerning on the environmental impact by the wind turbine operation, the turbine is installed within the station boundary in order to meet the Madrid protocol. Therefore, wind turbine operation meets the international requirements for preservation of antarctic ecosystem.

Keywords : 풍력발전기(Wind Turbine), 복합발전(Hybrid Operation), 방빙(Anti-Icing), 회전날개(Blade), 극지(Polar Region)

접수일자:2006년 9월 4일, 심사완료일자:2006년 11월 24일

Journal of the Korean Solar Energy Society Vol. 26, No. 4, 2006

25

## 1. 서 론

극지연구는 남북 양극지역의 잠재력을 발굴하는 교두보적 활동이며, 순수 과학 탐구를 비롯한 석유 및 해양자원 조사/개발을 위한 중요한 국가적 과제이다. 우리나라는 1987년부터 극지연구 및 탐사 경험을 축적해 오고 있으며, 1988년에는 남극 남셴틀랜드군도(South Shetland Island)의 맥스웰만(Maxell Bay) 연안에 세종기지를 설치하여 연구원들이 상주하며 극지연구를 진행하고 있다.

극지에서의 생존 및 극지연구에 있어서 가장 기본적인 것은 에너지원의 확보이며, 이러한 에너지원으로는 주로 경유와 같은 화석연료가 사용되고 있다. 극지 연구소에서의 생활에 필요한 에너지 절감을 위한 방법으로는 타이머(timer), 운동감지기(motion detector)등의 고효율의 전기기구 사용과, 단열재 설치 등의 건물 열특성 증대, 디젤 발전기에서 발생하는 온수와 배기가스 이용(cogeneration), 에너지 이용을 최적화하기 위한 전기부하의 효율적 제어 등이다. 이와 더불어, 태양광, 해수와 대기의 온도차, 풍력 등의 재생에너지의 이용 등이 있다. 특히 남극 세종기지는 디젤발전기에 의해 기지에서 소요하는 전력을 생산하고 있으며, 이를 위해 선박수송에 의해 경유를 보급하고 있으며 열악한 보급 환경으로 인해 상당량의 경유를 기지 내 연료 저장탱크에 장기 보관하여야 한다. 극지에 기지를 운용하고 있는 각국은 이러한 과정에서 선박의 좌초 등으로 인한 해양오염과 저장 과정에서의 토양오염 등을 방지하기 위해 풍력 및 태양광 등의 재생에너지 활용에 많은 관심과 노력을 기울이고 있다. 그러나 극지 특성 상 태양광은 운전 조건이 매우 제한적으로써 우수한 풍황자원의 활용 노력이 활발히 이루어지고 있다.

그러나 남극 세종기지의 혹독한 기상조건은 풍력발전기의 설치/운전에 매우 가혹한 조건이 되며, 기존의 풍력 발전기의 운전 시 풍력 발전기의 손상 및 파괴를 일으킬 수 있다. 따라서, 극지의 풍력 발전을 위한 소형 풍력 발전기의 설치 및 운영에 대한 기술

확보와 극지용 풍력발전기의 개발/보완/개조 및 혹한 환경에서의 성능평가 및 실증이 필수적이다.

이를 위해 극지 풍력발전 시스템의 운영 기술 확립을 목표로 하여 남극 세종기지에 10kW급 소형 풍력발전기를 설치하고, 기존의 디젤발전기와의 복합(hybrid) 발전 시스템을 구축/운영하여 극지 풍력발전 및 소형 풍력발전기에 적합한 방빙 및 탈빙 기술의 효율성을 입증하고자 시도했다.

## 2. 극지에서의 풍력발전

남극 지역에 기지를 운영 중인 대다수의 국가들은 연료보급 및 저장 과정에서의 환경오염 방지와 기지 운영비 절감을 위하여 중소형 풍력발전기를 운전하고 있다.

가장 적극적으로 풍력발전시스템을 개발 및 운영 중인 호주는 1993년 10kW급 소형 풍력발전기를 실증한 이후 2003년 300kW급 풍력발전기 2기를 설치하여 운전 중에 있으며 2009년까지는 기지 소요전력의 90%를 풍력발전으로 대체하는 것을 목표로 하고 있다.

이외에도 프랑스는 뒤몽 뒤르벨(Dumont D'urville) 기지에 12kW급 풍력발전기를 설치한 실적이 있으며, 미국 역시 남극에 위치한 McMurdo 및 Palmer 기지에 소형 풍력발전기를 설치할 계획이다. 다음의 표 1은 각국의 극지 기지에 설치된 풍력발전기 현황이다.

표 1. 극지 풍력발전기 설치 현황

국가	기지명	풍력발전기 용량
호주	Casey	10kW
	Mawson	300kW
독일	Neumayer	20kW
인도	Maitri	90W 및 360W
일본	Syowa	5kW
스페인	Juan Carlos I	1kW 및 2kW
핀란드	Aboa	100W
중국	중산	10kW
벨기에	Sor Rondane Mt.	22kW

### 3. 세종기지 풍황자원

한국해양연구소의 남극 세종기지의 기상연보<sup>1)</sup>(1994~1996)로부터 1988년에서 1996년 사이의 기상자료 분석데이터에 의하면 세종기지의 1994년 1월부터 1996년 12월까지의 평균풍속은 8.0 m/s이다. 측정 풍속은 지상 10m 높이에 설치된 프로펠러식 Skyvane에 의해 측정되었다. 이는 약 10MW 용량의 풍력발전기가 설치된 제주도 행원의 평균 풍속 6.9 m/s와 국내의 풍속이 측정된 지역 중 가장 높은 지역 중에 하나인 1,200 m 고지의 태백 매봉산의 7.8 m/s 보다 높다. 특히, 남극 세종기지는 평균 풍속이 높을 뿐만 아니라, 최대 풍속이 44.5 m/s에 달한다. 이는 행원지역 33.9 m/s, 매봉산지역 32.0 m/s 에 비해 남극 세종기지의 최대 풍속이 풍력 발전기가 설치된 국내에 비해 상당히 높다. 남극 세종기지의 평균 기온은 -1.8 °C 이며, 최고 9.7 °C, 최저 -25.6 °C 이다. 이는 행원지역의 평균 온도 15.7 °C보다 상당히 낮은 온도이다. 기상현상 발생 일수(연평균)는 맑은 날(12일), 구름 조금 또는 흐린 날(353일), 눈은 날(194일) 이며, 특히 Blizzard 발생 회수(연평균)는 19회이며, 지속시간 합계는 185.3시간이다. 따라서, 남극 세종기지의 기상 조건은 높은 평균 풍속으로 인해 풍력발전 조건은 좋으나, 국내의 풍력단지 지역보다 상당히 높은 최대 풍속, 낮은 평균 기온, 자주 발생하는 눈보라 등을 고려하면, 풍력발전기의 구조나 운전에 대해서는 최악의 외부기상조건으로 볼 수 있다. 따라서, 극지 연구소의 에너지 절감을 위해 풍력 발전이 좋은 대안이 될 수 있다.

본 연구에서는 보다 정확한 풍황분석을 위하여 세종기지 대기과학연구실의 2002년에서 2003년까지의 2년간 10분 평균 기상자료를 한국에너지기

술연구원에서 보유하고 있는 프로그램(WEAP)를 사용하여 분석한 결과 다음의 결과를 얻었다.

표 2. 세종기지 풍력자료 분석 결과<sup>2)</sup>

비교		지역	세종기지
측정 높이			10m
측정높이 연평균 풍속			7.8 m/s
보정높이(23.4m) 연평균 풍속			8.7 m/s
풍력에너지 밀도			771.5 W/m <sup>2</sup>
주 풍향			E
Weibull 풍속분포	C		9.79 m/s
	K		1.97
표준편차			4.5 m/s
난류도			51.5 %

### 4. 10kW 소형 풍력발전기 실증운전

#### 4.1 풍력발전기

극지는 혹한과 함께 높은 평균 풍속, 순간적인 강한 바람, 눈, 비 등으로 인해 매우 혹독한 기후환경 하에 있다. 따라서 이러한 혹독한 기후환경에서 지속적인 운영이 가능한 신뢰성 높은 풍력발전기를 필요로 한다.

특히 2008년 이후로 예정된 세종기지 대수선 및 남극 대륙기지 건설 시 풍력발전기를 도입 예정인 우리나라의 경우 이러한 극지 환경에 풍력발전 시스템의 신뢰도 확보를 위한 사전 연구는 필수적이다. 따라서 2차년도 연구기간 중 극지 환경에 최적화된 풍력발전 시스템에 대한 조사 및 분석을 통해 미국 Bergey사의 10kW급 풍력발전기인 Excel-S 모델을 채택하게 되었다.

설치된 풍력발전기는 별도의 날개 회전제어시스템이 없으며, 단지 풍속이 15.7m/sec를 초과 할 경우 풍력발전기 꼬리날개 부분이 자동으로 접합과

1) 남극 세종기지 기상연보(1994~1996), 한국해양연구소, 1998. 2

2) 극지 풍력발전시스템 개발 및 운영 1차년도 보고서, 한국에너지기술연구원, 2005

피짐을 반복함으로써 Overspeed에 의한 시스템 손상을 방지할 수 있도록 설계되었다. 또한 이같은 Furling 시스템은 수동으로 작동이 가능하도록 윈치가 설치되어 있으며 강풍이 예상되거나 시스템 이상 발생시에는 수동으로 윈치를 이용하여 꼬리 날개 부분을 접어 고정시킴으로써 Overspeed에 의한 시스템 손상을 사전에 방지할 수 있다. 다음의 표 3은 도입 풍력발전기의 주요 사양이며, 그림 1은 설치된 풍력발전기(EXCEL-S) 제작사 출력 곡선도이다.

표 3. 10kW급 소형 풍력발전기(Excel-S) 주요 제원

Cut-in Wind Speed	3.1 m/sec
Rated Wind Speed	13.8 m/sec
Furling Wind Speed	20 m/sec
Max. Wind Speed	54.0 m/sec
Rated Power Output	10kW, 60Hz
Rotor Diameter	7.0 m
Operation Temp.	-40 ~ 60°C

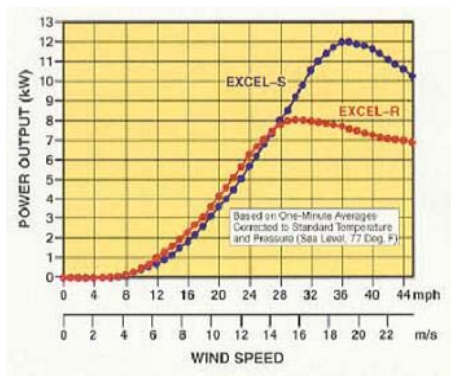


그림 1. 10kW 풍력발전기 출력 곡선

#### 4.2 방빙/탈빙 기술

스웨덴 및 노르웨이 등 일부 북유럽 국가에서는 동절기 풍력발전기 블레이드에 발생하는 결빙 현상 등으로 인한 공력소음의 증가와 출력 저하 등의 문제를 경험하면서 결빙 방지 또는 결빙의 제거가 매우 중요하다는 점을 인식하게 되었다. 이와 더불어 결빙은 시스템의 진동 증가 및 이에 따른 피로수명

단축 등 시스템 전반에 미치는 구조적 영향이 매우 크며 동시에 안전성에서도 심각한 고려요소이다. 즉, 날개에 결빙된 얼음 조각이 일부 또는 전체가 분리되어 원심력에 의해 풍력발전기로부터 먼 곳까지 날아가게 되며 이러한 과정에서 주변을 지나가는 차량이나 사람 또는 건조물 등에 큰 피해를 입힐 수 있다. 따라서 풍력발전기 회전날개의 방빙/탈빙은 매우 중요한 분야로써 능동적 기술과 수동적 기술로 구분할 수 있다. 능동적 방빙/탈빙 기술은 대형 풍력발전기 회전날개에 적용되며 날개 제작시 열선을 함체시키는 방법과 발전기 폐열을 날개 내부로 유동시키는 기술 등이 있다. 그러나 금년에 설치된 10kW급 풍력발전기는 그 길이가 약 3.5m로써 별도의 열선을 설치하거나 폐열을 이용하기에는 출력이 너무 적고, 날개 구조 역시 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 수동적 기술의 가장 대표적인 방법인 날개 표면의 특수 코팅을 적용하였다. 이 방법은 비용 대비 효율성이 뛰어나며, 특히 소형 풍력발전기에 적합하다. 설치된 풍력발전기의 회전날개는 항공기용 폴리우레탄 흑색 도료로 코팅되었다. 이는 복사열에 의한 결빙 방지를 목적으로 하는 것으로서 태양으로부터의 복사열 흡수율이 증가하게 되고 이는 날개표면 온도를 주위 대기온도보다 높게 유지시킴으로써 결빙을 방지할 수 있다. 또한 결빙이 발생하는 경우에도 복사열로 인해 날개와 결빙된 얼음의 접촉면이 일부 녹게 되어 마찰 저감효과와 날개 회전력에 의해 결빙된 얼음이 쉽게 날개표면으로부터 분리되어 떨어질 수 있다.

다음 그림은 세종기지에 설치된 10kW 풍력발전기의 날개의 설치 전 습으로써, 설치 이후 현재까지 결빙 현상 없이 정상적으로 작동하고 있다.



그림 2. 결빙방지 코팅 처리된 회전날개

### 4.3 풍력/디젤 복합발전.

풍력발전과 디젤발전은 서로 다른 부하 추종성을 지니고 있다. 풍력발전의 경우 생산전력은 풍속의 변화에 따라 매우 신속하게 변화하지만 디젤발전은 출력변화 속도가 풍력발전에 비해 매우 완만하다. 따라서 디젤 및 풍력발전이 기지 부하를 공동으로 담당하여 운전되는 경우 바람이 갑작스럽게 잦아들면 풍력발전에서 담당하는 만큼의 출력이 없어지게 되고 이를 디젤 발전기에서 신속하게 보충하기 위해 출력을 높여야 한다. 그러나 디젤 측의 부하응답속도가 늦으므로 인해 순간적이거나 기지에서 요구하는 부하량의 일부가 부족하게 생산되는 경우가 발생할 수 있으며 이는 디젤발전기의 비상정지 상태를 야기할 수도 있다.

이를 방지하기 위해서는 복합 전력계통망에서 최대 수용 가능한 풍력발전 용량 분석을 위해 전력계통에 대한 측정과 분석이 수행되어야 하며 이 부분은 차년도에 수행 예정이다. 현재까지 디젤/풍력 복합발전이 이루어지고 있는 상황에서 복합발전으로 인한 기지 내 전력계통의 단락 등의 심각한 문제가 발생한 경우는 없다. 그러나 이는 정성적인 평가 결과이며 실질적으로 정량적 영향이 있는지에 대한 분석결과는 아니다.

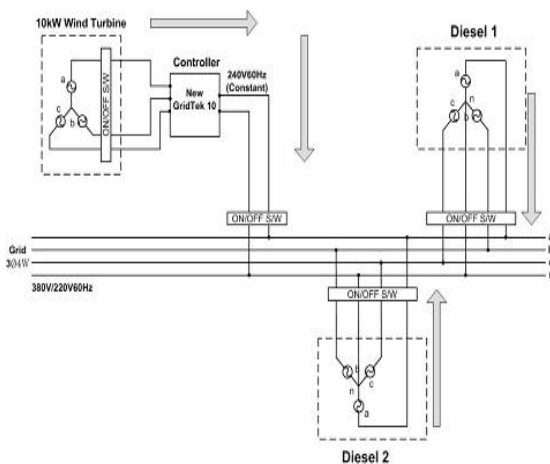


그림 3. 세종기지 복합발전 계통연계도

현재 풍력발전기에서 생산되는 전기는 창고동의 조명등 1차측 전원으로 공급되며 조명등이 꺼져있을 경우에는 기지 부하로 혼입되도록 배선이 연결되어 있다. 현재 측정자료가 확보된 2006. 4. 14 ~ 2006. 5. 30까지의 풍력발전기 운전 모니터링 결과에 의하면 평균풍속이 약 10m 정도를 유지하고 있으며 동 기간 중 총 생산 전력량은 약 500kWh(10.6kWh/일)<sup>3)</sup>로써 세종기지 일일 전력 부하량인 1,500kWh의 약 0.7%에 해당한다. 이는 풍력발전기가 10kW급의 소용량이라는 점에 기인한다. 극지의 풍황자원과 기지 부하량을 감안한다면 보다 대용량의 풍력발전기 설치가 가능할 것이며 그 적정 용량은 100kW까지가 한계일 것으로 판단되나, 디젤 전력계통에 대한 보다 정밀하고 정확한 분석이 필요하다.

다음 그림은 풍력발전기에서 생산된 전력에 대한 측정결과로써 출력량은 풍력발전기 제작사에서 제시한 출력곡선보다 더 우수한 출력성능을 나타내고 있으며 이는 기지 주변의 양호한 풍황조건에 기인한다. 더불어 역률의 경우 1에 근접하는 특성을 보여주고 있다.

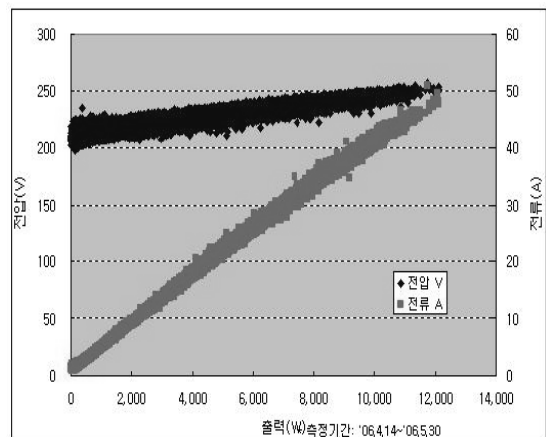


그림 4. 출력 vs. 전입/전류 특성곡선

3) Wind-Diesel Hybrid Operation at the King Sejong Station, SCAR-COMNAP Conference, 2006

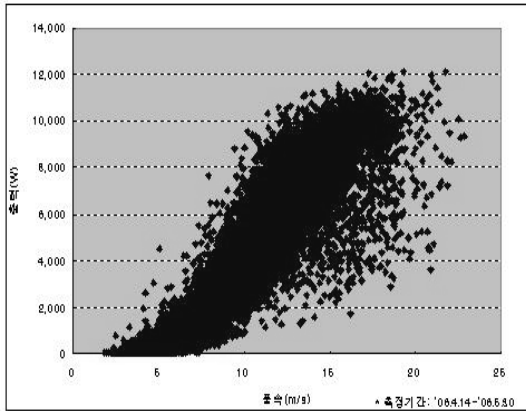


그림 5. 풍속 vs. 출력 특성곡선

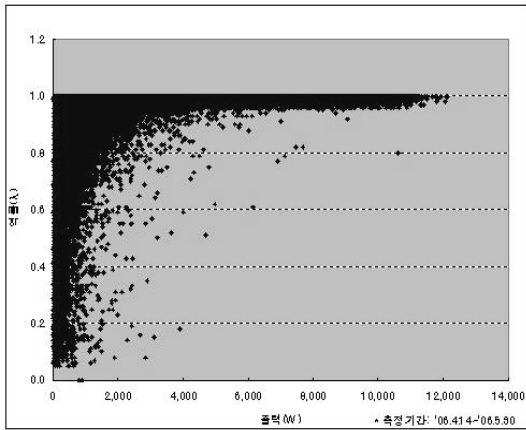


그림 6. 역률 특성곡선

## 5. 결론

남극과 같은 극한 환경에서의 풍력발전시스템 실증운전을 통해 기존 풍력발전시스템의 기술적 보완 요소의 도출 및 해결과 함께 복합발전 운영기술 확보를 목표로 수행된 본 연구를 통해 다음과 같은 결론이 도출되었으며, 연구결과의 일부는 동절기 중 많은 강설량을 기록하고 있는 대관령 등 강원 산악 지역에 설치된 풍력발전기의 운전 및 도서 지역 풍력발전 시스템 보급에 활용될 수 있다.

(1) 남극 기지에서의 풍력발전시스템 운영은 우수

한 풍황자원 분포로 인해 상당한 잠재력을 지니고 있다.

- (2) 따라서 향후 예정된 세종기지의 대수선 공사 및 남극대륙 기지 건설 및 운영 시 풍력발전의 적극적 수용이 필요하며, 세종기지의 일일 전력소요량 등을 고려 시 100kW 이하의 소형 풍력발전시스템이 적합하다.
- (3) 동절기 중 발생하는 Blizzard 등으로 인한 날개의 결빙 방지를 위해서는 날개 구조를 고려한 방빙/탈빙 시스템이 적용되어야 하며, 10kW급 소형의 경우에는 본 연구를 통해 적용된 특수 코팅 기술의 가능성이 2006년 동절기 중 무결빙 및 정상운전함으로써 입증되었다.
- (4) 그러나 100kW급 이상의 경우에는 발전기 폐열을 이용하는 방안이 보다 적합할 것으로 판단된다.
- (5) 디젤/풍력 복합발전의 경우 현재 설치된 풍력발전기의 용량이 기지 부하량 비교 시 그 비율이 너무 낮은 관계로 최대 수용 가능 풍력발전 용량에 대한 정확한 분석이 이루어지지 못했다.

## 후 기

본 연구는 공공기술연구회의 연구비지원으로 수행되었음.

## 참 고 문 헌

1. 남극 세종기지 기상연보(1994~1996), 한국해양연구소, 1998. 2
2. 경남호 외, "극지 풍력발전시스템 개발 및 운영 1차년도 보고서, 한국에너지기술연구원, 2005.
3. S. Kim, N.H. Kyong, S.O. Kim, Y.C. Ju, B.Y. Lee "Wind-Diesel Hybrid Operation at the King Sejong Station", SCAR- COMNAP Conference, 2006