

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 25, No. 3, 2005

## 남극 세종기지의 풍력자원 분석

배재성\*, 장문석\*\*, 주영철\*\*, 윤정은\*\*, 경남호\*\*

\*한국항공대학교 항공우주기계공학부(jsbae@hau.ac.kr),

\*\*한국에너지기술연구원 풍력연구센터

(msjang@kier.re.kr, ycju@kier.re.kr, yje0920@kier.re.kr, nhkyongc@kier.re.kr)

## Wind Resource Assessment of Antarctic King Sejong Station

Bae, Jae-Sung\*, Jang, Moon-Seok\*\*, Ju, Young-Chul\*\*,  
Yoon, Jeong-Eun\*\*, Kyong, Nam-Ho\*\*

\*School of Aerospace and Mechanical Engineering, Hankook Aviation University(jsbae@hau.ac.kr)

\*\*Wind Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research

(msjang@kier.re.kr, ycju@kier.re.kr, yje0920@kier.re.kr, nhkyongc@kier.re.kr)

### Abstract

Energy resource is very important to the survival in the polar region. Wind energy, which is one of renewable energy, can guarantee the clean, inexhaustible, natural resource in the polar region. It is essential to assess the wind energy resource of the site where wind turbines will be installed. In the present study, the wind characteristics of the antarctic King Sejong station are analysed from its meteorological observation data. The wind resource of the Sejong station is also simulated and predicted using WAsP program. From the results, the Sejong station has very excellent wind resource and the site where small wind turbines will be installed is determined.

**Keywords** : Wind Energy, Wind Turbine, Wind Resource Assessment, Antarctic King Sejong Station

### 1. 서 론

풍력 발전은 대기의 바람, 즉 공기의 유동이 가진 운동에너지를 공기역학적 특성을 이용하여 로터 블레이드를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키고,

발전기를 통해 로터의 기계적 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 것을 의미한다. 풍력 발전은 무한정의 청정에너지인 바람을 이용하므로, 기존의 화석 연료나 우라늄 등을 이용한 발전방식에 비해 대기오염이나, 방사능 누출 등과 같은 문제가 없는

접수일자: 2005년 7월 20일, 심사완료일자: 2005년 9월 16일

무한정의 무공해 발전방식이다. 전 세계적으로 2003년 누계 기준으로 약 40,000 MW의 풍력발전 시스템이 설치되어 운전되고 있으며, 2008년에는 약 95,000 MW의 풍력발전 시스템이 설치, 운전될 것으로 예측되고 있다<sup>1)</sup>.

지구 환경 변화에 대한 국제적 관심과 최근의 급속한 유가 상승으로 사용 에너지의 약 96 %를 수입에 의존하고 있는 우리나라는 에너지 문제로 인해 최근 들어 국내에서도 대체에너지와 관련하여 특히 풍력발전에 대한 관심이 높아지고 있다. 풍력발전은 무한정의 청정에너지인 바람을 이용하는 장점 이외에 다른 재생에너지 발전 방식에 비해 설치 단가가 낮고, 운영 및 관리가 쉬우며, 무인화/자동화 운전이 가능하다는 장점이 있다.

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, 에너지원으로부터 전기, 열, 깨끗한 물을 얻기 때문에 에너지원의 확보는 극지 생존에서 매우 중요하다. 현재 이러한 에너지원으로는 청정지역임에도 불구하고 주로 경유와 같은 화석연료가 사용되고 있어 장기간의 연료를 다량 비축하여야 한다. 그러나 문명오염이 지구상에서 가장 적은 청정지역에서의 화석연료 소비를 최소화하면서 필요한 에너지를 확보하는 차원에서 대체에너지원의 개발이 필수적으로 이는 에너지의 효율적 사용과 태양광, 해수와 대기의 온도차, 풍력 등의 재생에너지를 활용하여 화연료의 소비를 최소화할 필요가 있다.

한국해양연구소의 남극 세종기지의 기상연보<sup>2)</sup>로부터 1994년에서 1996년 사이의 기상자료 분

석데이터를 얻을 수 있다(표 1 참조). 기상 연보에 의하면 세종기지의 1994년 1월부터 1996년 12월까지의 평균풍속은 8.0 m/s이다. 이는 총 5.6 MW가 설치된 제주도 행원의 평균 풍속 6.9 m/s와 국내의 풍속이 측정된 지역 중 가장 높은 지역 중에 하나인 1200 m 고지의 태백 매봉산의 7.8 m/s 보다 높다. 따라서, 풍력발전은 극지 연구소의 에너지 절감을 위해 좋은 대안이 될 수 있다.

표 1. 남극 세종기지와 국내의 풍속 및 기온비교

	남극세종기지 (1994~1996)	제주도행원 (2001~2002)	태백매봉산 (2001~2002)
평균풍속(m/s)	8.0	6.9	7.8
최대풍속(m/s)	44.5	33.9	32.0
평균기온(°C)	-1.8	15.7	11.1

풍력발전기술은 전적으로 바람의 세기에 의존하므로, 바람의 강도가 풍력 발전전력의 양과 풍력발전시스템의 효율성에 절대적인 영향을 미치게 된다. 따라서, 풍력발전기술의 적용에 앞서 풍력자원 조사는 최우선적으로 수행되어야 한다. 풍력자원에 대한 실측자료를 통하여 풍력자원 특성의 분석이 가능하고, 이에 따라 풍력발전기의 용량 및 수량과 적용방안 및 최종적으로 정략적인 의미에서의 경제성 분석도 가능하게 될 것이다.

지금까지 국내의 풍력자원 분석에 대한 여러 가지 연구 사례들이 있으나<sup>3)4)</sup>, 남극 세종기지의 주변에 대한 풍력자원에 대한 분석이 이루어진 적은 없다. 본 연구에서는 본격적인 남극 세종기지 및 극지에서의 풍력발전기술의 적용에 앞서 남극 세종기지 주변의 풍력자원을 분석함으로써, 극지에서의 풍력발전의 가능성 및 효율성을 분석하고자 한다. 이를 위하여 남극 세종기지 대기과학연구소의 기상 관측자료를 이용하여 풍력자원을 분석하고, 덴마크 Risoe 연구소의 WAsP(the Wind Atlas and Application Programs)을 이용하여<sup>5)6)</sup> 세종기지 주변지형의 풍력자원을 예측하였다.

## 2. 세종기지 기상관측 자료분석

### 2.1 세종기지의 기상관측 자료

남극 세종기지의 기상관측소는 지난 1988년 2월 17일 기지건설과 함께 설치되었으며, 이때부터 세종기지의 기상요소와 각 기상현상을 관측하기 시작하였다<sup>2)</sup>. 세종기지에서의 기상관측은 10 m 높이의 관측탑 최상단에 설치한 풍향/풍속계를 비롯하여 온/습도계, 노점온도계, 강수량계, 기압계 등의 센서로부터 10초마다 scanning하여 10분마다 data logger에 저장되는 자동관측 방식으로 수행되고 있다. 그림 1은 세종기지 기상관측소를 보여준다. 세종기지의 기상관측소(62° 13' S, 58° 47' W)는 1989년 1월에 세계기상기구(WMO)의 정규 지상관측소로 등록되었다. 세종기지의 기상관측 목적은 일반 기상청에서 수행하고 있는 기상 관측 목적과 동일하다. 그러나, 남극 세종기지의 지역적, 환경적 특수한 상황에 비추어 볼 때, 세종기지의 기상관측자료는 풍력뿐만 아니라 타 연구분야에 중요한 참고자료로서 활용가능하다.

일반적으로 풍력발전시스템의 설치에는 후보지의 실측자료를 확보하기 위하여 풍력자원 계측시스템을 설치하여 정밀 측정을 수행하여야 한다. 그러나, 남극 세종기지의 지리적 접근의 어려움으로 인해 본 연구에서는 세종기지 대기과학연구실의 기상관측 데이터를 이용하고자 한다. 세종기지 기상관측탑의 높이는 10 m로서 설치대상으로 고려하고 있는 수kW급 소형풍력발전기 부터 100 kW급 풍력발전기의 통상적인 허브 높이 보다 낮으므로 기상관측 자료를 실제 높이로 보정하여 사용하였다<sup>3)</sup>. 본 연구에서는 가장 오차가 적으며 비교적 보정이 용이한 수정된 지수모델(modified power law model)을 이용하였다.

본 연구에서 사용된 기상관측자료는 2002년에서 2003년도까지의 2년간이며, 한국에너지기술연구원에서 보유하고 있는 컴퓨터 프로그램(WEAP)를 이용하여 분석하였다.

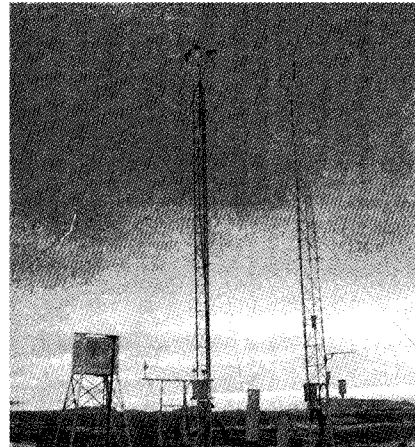


그림 1. 세종기지의 기상 관측소

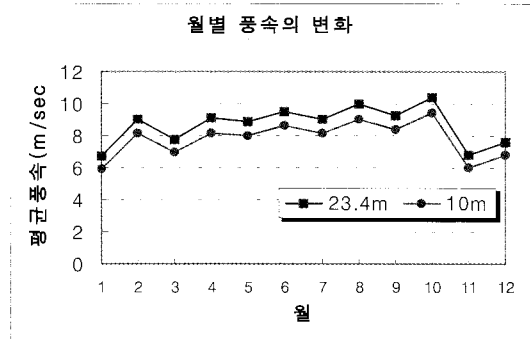


그림 2. 세종기지의 월별 평균풍속 변화

### 2.2 남극 세종기지의 기상관측 자료 분석

#### (1) 월별 평균풍속의 변화

세종기지 대기과학연구실에서 측정된 시간별 평균 풍속과 풍향자료를 분석한 결과 그림 2와 같이 월별 평균 풍속의 변화를 보이고 있다. 10m높이에서 측정된 평균풍속은 7.8 m/s 이며, 100kW 급 풍력발전기의 허브 높이인 23.4 m로 보정된 평균 풍속은 8.7 m/s로 분석되었다. 월별로는 남극의 겨울철인 8, 9, 및 10월에 약 10 m/s 정도의 가장 강한 바람이 있었고, 1월에 가장 낮은 6.8 m/s의 풍속을 보이고 있다. 가장 낮은 월별 풍속이 행원의 평균 풍속과 비슷할 정도로 세종기지의 평균

풍속은 상당히 높다. 그리고, 한국과 마찬가지로 남극의 겨울에 가장 풍속이 높고, 여름에 가장 낮은 특성을 보이고 있다.

(2) 월별 평균 풍속에너지 밀도 변화

그림 3은 세종기지의 월별 풍력에너지 밀도변화를 보여준다. 기상관측 자료로부터 보정한 높이인 23.4 m에서의 평균 에너지 밀도는  $772 \text{ W/m}^2$ 으로 국내의 제주도(행원,  $536 \text{ W/m}^2$ )<sup>7)</sup>, 강원도 대관령(매봉,  $711 \text{ W/m}^2$ )<sup>8)</sup>보다 훨씬 높은 수치이다. 전체적으로는 풍속의 변화와 유사한 변화를 보이고 있으며, 10월에  $1295 \text{ W/m}^2$ 의 가장 높은 풍력 에너지 밀도를 보이고 있다.

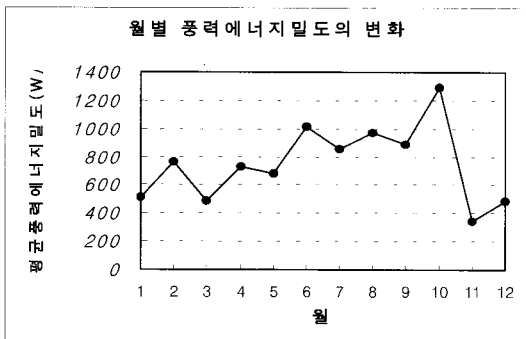


그림 3. 세종기지의 월별 평균풍력 에너지 밀도변화

(3) 바람장미의 변화

그림 4 및 그림 5는 세종기지에서 측정되어 보정된 높이 23.4m 지점에서의 바람장미 및 방위별 측정 빈도 변화를 보여준다. 그림 4에서와 같이 풍향별 평균풍속은 북쪽이 17m/sec로 제일 큰 값을 나타내고 있으며, 북쪽과 함께 동쪽이 10 m/s로서 다른 방향에 비해 큰 풍속을 가지고 있다. 방위별로 측정된 빈도수(시간비율)를 보면 주로 동쪽계열이 14.5%로 가장 높으며, 그 다음으로 북서계열이 12%, 서쪽계열이 10.6%로, 주로 동쪽과 서쪽계열이 높은 빈도수를 보이고 있다.

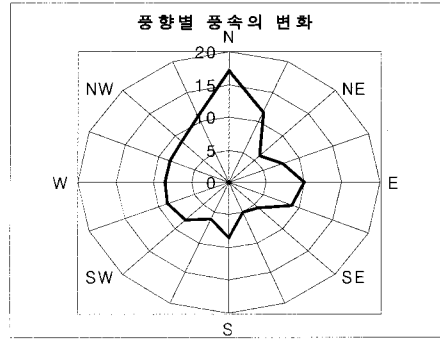


그림 4. 세종기지의 방위별 평균풍속변화

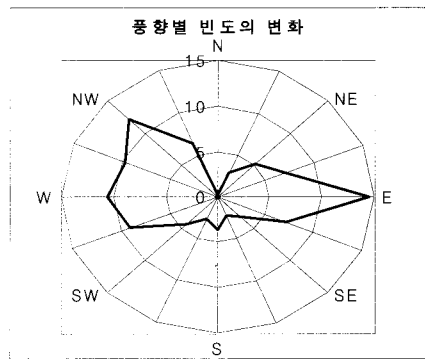


그림 5. 세종기지의 방위별 측정빈도 변화

(4) 방위별 유효 풍력에너지 변화

그림 6은 실질적으로 풍력발전기에서 유효한 에너지가 얻어지는 방위를 나타내는 그림으로 세종기지의 방위별 유효 풍력에너지의 변화를 보여준다. 앞서의 방위별 평균풍속과 방위별 빈도수로서 계산되어지는 방위별 유효 풍력에너지로서 가장 큰 풍력에너지를 갖고 있는 방위는  $1485 \text{ kWh/m}^2/\text{년}$ 의 에너지로서 동쪽임을 알 수 있다. 이와 같은 풍력에너지밀도로부터 세종기지가 풍력자원이 매우 우수한 지역임을 알 수 있다.

(5) 풍향 지속도의 변화

그림 7은 세종기지의 시간의 변화에 대한 풍향 지속도의 변화를 보이고 있다. 세종기지의 풍향지속도는 높은 풍속에 비해 모든 시간영역에서 매우

불안정한 상태를 보여 주고 있다. 따라서, 능동적인 요(yaw)제어 장치보다는 꼬리날개와 같은 수동적인 요제어 장치가 있는 소형 풍력발전기가 적당할 것으로 판단된다.

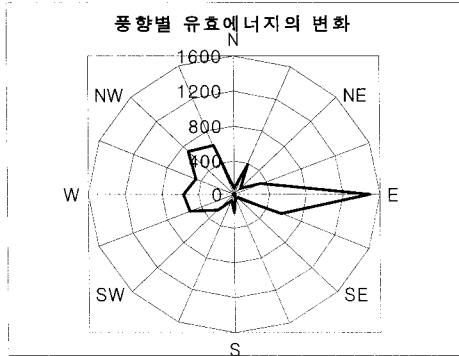


그림 6. 세종기지의 방위별 유효에너지변화

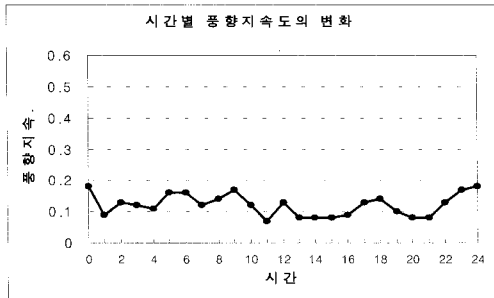


그림 7. 세종기지의 시간별 지속도 변화

(6) 요약

표 2는 세종기지 기상관측자료의 분석 결과를 보여준다. 주 풍향은 동쪽이며, 평균 풍속은 보정 높이인 23.4 m에서 8.7 m/s이고, 평균 풍력에너지밀도는 771.5 W/m<sup>2</sup>이다. Weibull 풍속분포의 C값과 K 값은 각각 9.79 m/s와 1.97이다.

이상과 같은 세종기지 기상관측자료의 분석 결과는 남극세종기지가 매우 우수한 풍력자원을 지니고 있음을 의미하며, 에너지 절감 및 환경보호에 있어서 풍력발전이 훌륭한 대안이 될 수 있음을 의미한다. 다음 장에서는 세종기지의 기상관측 자료를 이

용하여 세종기지 주변의 풍력자원을 예측하였다.

표 2. 세종기지 기상자료의 분석결과

비 교		지 역	세종기지
측정높이 연평균 풍속(m/s)			7.8
보정높이 연평균 풍속(m/s)			8.7
풍력에너지 밀도 (W/m <sup>2</sup> )			771.5
주 풍향			E
Weibull 풍속분포	C (m/s)		9.79
	K		1.97
표준편차 (m/s)			4.5
난류도 (%)			51.5

3. 세종기지 주변의 풍력자원 예측

3.1 WAsP을 이용한 풍력자원 예측

본 장에서는 세종기지 대기과학연구실에서 측정된 기상데이터를 이용하여 세종기지 주변의 풍력자원을 분석하였다. 풍력자원 분석을 위해 극지 연구소로부터 세종기지 주변의 전자지도를 확보하였다. 측정된 기상데이터와 덴마크의 Riso에서 개발한 WAsP 프로그램을 이용하여 풍력자원을 분석하였다.

그림 8과 그림 9는 남극 세종기지 주변 전경과 WAsP 계산을 위한 지형 데이터를 보여준다. 세종기지는 마리안소만의 남쪽해안에 위치하여 주변이 바다로 둘러싸여 있으며, 뒤쪽으로는 산악지형이 위치한다. 그림 10은 WAsP 계산을 위한 지형의 거칠도(roughness)를 보여준다. 세종기지 주변지역은 토양(soil)과 바다이며, 마리안소만 안쪽과 주변 산악지형은 눈으로 둘러싸여 있다. 그림 11은 풍속측정지점과, 세종기지의 건물위치 및 4 개의 풍력발전기 설치 예상 지점을 보여준다. 장애물은 기상관측장치 주변의 4 개의 건물을 높이 3 m로 설정하였다. 2장의 세종기지 기상관측데이터와 그림 9 ~에서 그림 11의 지형데이터를 이용하여

WAsP 프로그램을 실행하였다. 풍력발전기의 발전량 예측을 위해서는 Vestas V20-100 kW의 시스템 사양을 사용하였으며, 풍력발전기 사양은 표 3과 같다. 이 기종의 허브높이는 23.4m, 정격출력과 최대출력은 각각 100kW와 109kW이다.



그림 8. 남극 세종기지 전경

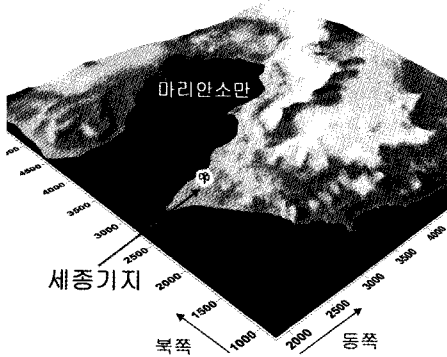


그림 9. 세종기지 주변 지형 데이터

표 3. Vestas V20-100 kW 사양

정격출력/최대출력 (kW)		100/109
설계풍속(m/s)	cut-in	3.4
	cut-out	23.0
	rated	14.5
발전기	3상비동기식	1200-1300 rpm
	개수	3
로터 블레이드	직경(m)	20.0
	회전속도(rpm)	45.8
	타워높이(m)	23.4
정격전압/주파수		480V/60Hz
기어박스	증속비	1:22.3

### 3.2 세종기지 주변지역의 풍력자원 예측 결과

그림 12는 세종기지 기상관측자료로부터 WAsP을 실행하여 얻은 세종기지 주변의 풍력에너지 밀도 분포를 보여준다. 세종기지 주변의 풍력에너지 밀도가 약 700~800 W/m<sup>2</sup>의 분포를 보이고 있으며 세종기지 뒤쪽은 풍력에너지밀도가 1,000 W/m<sup>2</sup> 이상으로 상당히 높아 풍력발전기 설치 후보지로 유망하다. 전체적으로 세종기지 주변 지역은 매우 높은 풍력에너지 밀도를 가지고 있으며, 풍력발전 효율이 매우 높다.

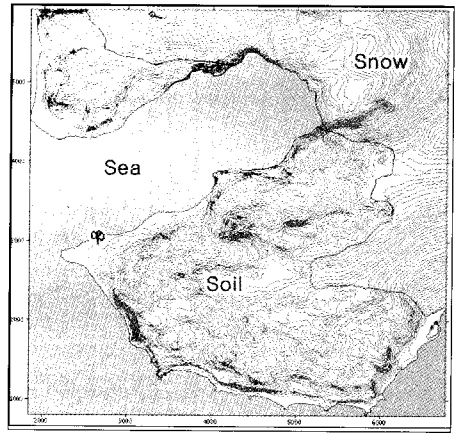


그림 10. 세종기지 주변의 surface roughness (water : 1m, snow : 0.001m, soil : 0.005 m)

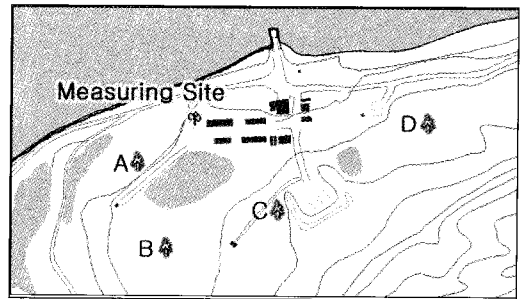


그림 11. 세종기지 건물의 위치 및 풍력자원 예측지점

표 4는 그림 11의 네 지점의 풍력자원 예측결과를 보여준다. 네 지점 모두 8.2 m/s 이상의 우수한 평균 풍속을 가지며, 특히 A지점이 가장 높은

평균 풍속을 보인다. Weibull 분포특성도 네 지점 모두 거의 같은 특성을 보인다. Vestas V20-100 kW 풍력발전기를 기준으로 연간 약 360 MWh 이상의 전력을 생산을 예측하고 있다. 이는 약 41 %의 매우 높은 가동률을 의미한다. 따라서, 세종기지 주변은 우수한 풍력자원을 지님을 알 수 있다.

표 4. 네 지점의 풍력자원 예측 결과

Turbine	Gross AEP [MWh]	Mean wind speed [m/s]	Mean power density [W/m <sup>2</sup> ]	C [m/s]	k [-]
A	380.4	8.47	743	9.5	1.92
B	369.4	8.32	706	9.4	1.91
C	375.8	8.42	732	9.5	1.91
D	361.6	8.20	679	9.2	1.90

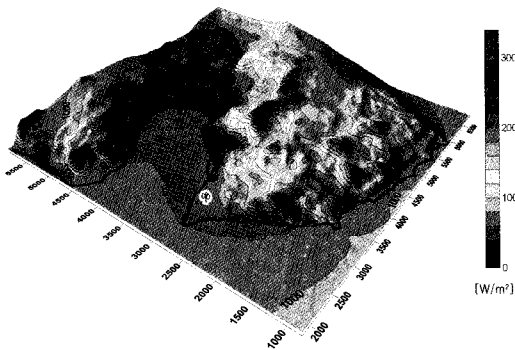


그림 12. 남극 세종기지 주변의 풍력에너지 밀도



그림 13. 소형 풍력발전기 설치 예정 위치

A 지점은 풍력자원은 가장 높으나, 고도가 해면의 수위와 비슷하며 위쪽에 조그만 호수가 위치해 호수의 물이 지반으로 스며들어 지반이 약할 것으로 예상된다. 이러한 문제는 남극과 같은 기온이 매우 낮은 지역에서는 지반 융기의 문제를 일으킬 수 있다. 따라서, 풍력에너지 밀도는 비슷하면서도 보다 나은 설치 위치인 C 지점이 소형 풍력발전기 설치위치로 선택되었다. 그림 13은 남극 세종기지에 2005년 12월에 설치될 소형 풍력발전기의 설치위치를 보여준다. 가까운 위치에 창고건물이 있어 독립전원의 배대리 및 기타장비들을 보관하기 편리한 위치이다.

### 5. 결 론

극지역은 지리적, 기후적으로 혹독한 환경하에 있다. 이러한 극지역에서의 생존을 위해 가장 기본적인 것은 에너지원의 확보이다. 현재 에너지원으로는 주로 경유와 같은 화석연료가 사용되고 있으나, 연료의 비축 및 환경오염 문제가 대두되고 있다. 무한의 청정에너지인 바람을 이용하는 풍력발전은 극지역에서의 에너지원 확보에 있어서 중요할 역할을 할 수 있다.

본 연구에서는 남극 세종기지 및 주변지역의 풍력자원을 예측하였다. 이를 위하여 세종기지의 기상관측자료를 이용하여 세종기지의 풍황특성을 분석하였다. 풍황특성 및 풍력자원 시뮬레이션 프로그램인 WAsP을 이용하여 세종기지 및 주변지역의 풍력자원을 예측하였다. 이를 바탕으로 향후 있을 소형 풍력발전기 설치 위치를 결정하였다. 또한 본 연구에서의 세종기지 풍력자원 예측결과는 미래의 세종기지 풍력발전 개발에 기초자료로서 사용될 수 있을 것이다.

### 후 기

본 연구는 공공기술연구회의 연구비지원으로 수

행되었으며, 관계자 여러분께 감사의 말을 전합니다. 또한, 연구에 도움을 주신 극지연구소의 이방용 박사님과 남상현 박사님께 감사의 말을 전합니다.

### 참 고 문 헌

1. BTM Consult Aps., World Market Update 2003, Denmark, March 2004.
2. 안인영 외3인, 남극 세종기지 기상연보(남극 세종기지 주변 인간활동으로 인한 환경변화 모니터링 연차보고서의 별책), EC PP 97 006 (별책), 한국해양 연구소, 1998.
3. 김건훈, 이동현, 주영철, 유승덕, 허종철, 변수환, 국내 풍력자원 측정 및 결과 분석, 한국풍력기술 및 정책 Workshop, 한국풍력기술연구회, 서귀포 리조트호텔, 6월12~13, 2003.
4. 경남호, 윤정은, 장문석, 장동순, 한반도 해역의 해상 풍력 자원 평가, 한국태양에너지학회, 23권, 2호, 2003, pp. 35-41.
5. 경남호, 윤정은, 허종철, 장동순, 복합지형에서의 WAsP 예측성 평가, 한국태양에너지학회, 23권, 1호, 2003, pp. 39-47.
6. 경남호, 윤정은, 허종철, 장동순, 복합지형에서의 WAsP 예측성 향상 연구, 한국태양에너지학회, 23권, 4호, 2003, pp. 21-29.
7. 김건훈 외, 제주도내 풍력발전 단지 성능 모니터링 및 평가(I), 1차년도 최종보고서, 제주도, 2002.
8. 김건훈 외, 강원도내 풍력발전 유망지역 건설 타당성 조사 연구, 최종보고서, 강원도청, 2001.