

# 대학교 캠퍼스의 풍력자원 측정 및 분석

## Wind Resource Measurements and Analysis at the University Campus

윤재옥\*  
Yoon, JaeOck

김명래\*\*  
Kim, Myung-Rae

### Abstract

The wind-power among the new and renewable energies uses the wind, a limitless, clean and pure energy which is available at any place. It requires low installation cost compared to the generation of other renewable energies, and is easy to operate, and furthermore, can be automated for operation. Korea has been taking a great deal of interest in the development of renewable energy generating equipment, specifically wind power generation as the nation has a nearly total reliance on imported petroleum.

A measuring poll 30m high was installed at a location with an altitude of 142m above the sea level in order to measure and analyze the wind power potentiality at H University's Asan Campus, and the wind velocity and wind direction were measured for 1 year. As for the wind power resource of the area adjacent to Asan campus, the Weibull Distribution coefficient was  $C=2.68$ ,  $K =1.29$  at H30m. Weibull Distribution coefficient was modified on the basis of compensated wind velocity ( $=3.1m/s$ ) at H 60m, and the energy density was  $42W/m^2$ . AEP 223,750 KWh was forecast based on the simulation of an 800KW grade wind turbine.

It is considered that the wind power generation has to be studied further in the inland zone with low wind velocity to cope with the possible exhaustion of fossil fuel and ensure a sustainable environmental preservation.

키워드 : 풍력자원, 신재생에너지, 풍배도

Key Words : Wind Resource, renewable energy, Wind power, Wind Turbine, Wind rose.

### 1. 서론

인류가 현시점에서 당면하고 있는 가장 심각한 문제는 에너지자원의 수급과 안정적인 사용이다. 그로 인하여 초래되는 환경문제는 전 지구적 차원에서 가장 큰 관심사로써 국제적인 비중이 높아지고 있다. 우리나라는 에너지의 대부분을 화석연료로 충당하고 있으며 그 중에서도 석유에 대한 의존도는 가속적으로 증가하여 심각한 수준이다. 석유 가격은 날로 급등하고 있으며 수급의 불안정은 더욱 심화할 전망이다. 이러한 정세에 따라 에너지수입 국가들은 에너지자원의 안정적 수급을 국가 최우선 정책목표로 설정 하고 있고, 세계 각 국은 다투어 화석연료의 고갈대비와 친환경적인 에너지 개발을 목표로 신·재생에너지 보급정책을 확대해 나가고 있다. 사용에너지의 97%를 수입에 의존하는 우리나라로서는 신·재생에너지 설비의 보급 확대야 말로 최우선되어야 할 에너지정책일 것이다. 신·재생에너지 중에서 풍력발전은 전국의 어느 곳에서나 이용 가능한 무한정의 청정에너지인 바람을 이

용하며, 다른 발전방식에 비해 설치가격이 저렴하고 무인 자동화운전이 가능하여 관리가 쉬운 장점이 있다.

H 대학교아산캠퍼스는 산자락에 위치한 농촌지역으로써 캠퍼스면적이 넓고 완만한 경사면으로 풍력발전의 입지조건을 두루 갖추고 있는 편이다<sup>1)</sup>. 풍력발전은 전적으로 바람의 지속적인 세기에 따르므로 풍력발전설비는 설치계획에 앞서 장기간에 걸친 풍력자원의 조사가 매우 중요하기 때문에 우선 선행연구의 고찰이 필요하다.

본 연구에 앞서 풍력자원의 측정 및 분석에 대한 선행 연구논문 6편을 검토하였다(표 1).

논문 ①에서 ④까지는 전국을 대상으로 광역 풍력자원의 특성을 연구하거나, 전국을 방안으로 세분화하여 풍력자원 지도를 작성하고 그 전체 풍력자원을 분석·연구하였다. 이러한 선행 연구는 국내의 풍력자원을 기상청 관측자료와 일부지역의 실측자료를 토대로 전국단위로 풍력자원을 추산한 연구였다. 논문 ⑤, ⑥은 특정지역의 관측자료를 풍력 전문프로그램을 이용하여 실제 상황과 비교 분석한 실용 연구였다.

검토결과 위의 선행연구로는 아직까지 어느 한 특정지역에서의 풍력자원의 자료로 사용하기에는 그 정확성이 떨어져 그대로 이용하기는 어려운 실정이었다.

\* 주 저자 호서대학교 건축공학과 교수  
\*\* 교신저자 호서대학교 건축공학과 박사과정(eco5157@naver.com)  
1) 캠퍼스 면적 33만m<sup>2</sup> 주위 산지면적 63만m<sup>2</sup>, 합계 93만m<sup>2</sup>

따라서 풍력발전을 계획하거나 어느 특정지역의 풍력자원을 정확하게 파악하기 위해서는 그 지역의 풍속을 1년 이상을 관측하여야 하는 해당 지역별 풍력자원에 관한 분석·평가 연구가 필요하다고 사료된다.

본 연구는 H 대학교아산캠퍼스 주변의 풍력자원을 분석하여 풍력발전의 타당성을 예측하기 위한 연구로, 풍속·풍향관측설비를 설치하여 풍력자원을 관측하고 분석·평가하는 것을 목적으로 하였다.

표 1. 선행연구 논문

| 저자                             | 논문 제목                                 | 연구내용  | 분석방법                                    |
|--------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| ① 이철형 (1985)                   | 풍속자료 분석에 의한 국내 풍력가용량 산정               | 전국을 206개 방안으로 구분하여 풍력밀도를 5등급으로 구분하여 등급화           | 2변수 와이불분포함수를 이용하여 풍속데이터와 풍력자원을 등급화하여 분석 |
| ② 박경호 (1990)                   | 풍력자원 특성 분석                            | 기상청71개소의 관측자료(10년)로 전국지표면의 풍력자원특성 연구              | 2변수 와이불분포함수를 이용하여 풍속데이터와 풍력자원을 분석       |
| ③ 김건훈 (2001)                   | 풍력자원 측정현황 및 결과 분석                     | 기상청71곳의 관측자료를 분석하여 풍력자원을 산출하고, 광역별 풍력자원 분포도 개발 연구 | 기상청자료를 바탕으로 풍력단지 실측결과를 광역별로 풍력자원을 전산 분석 |
| ④ 한반도해역의 해상풍력 자원 평가 (2003)     | 한반도 해상의 풍력자원을 분석하여 풍속지도 및 에너지밀도지도 작성  | 기상위성ADEOS의 측정자료를 C. FORTRAN-77 프로그램으로 분석          |   |
| ⑤ 복잡지형에서의 WASP예측성 향상 연구 (2003) | 4개의 근접지역에서 관측자료를 이용하여 풍황 예측의 정확도평가 연구 | 덴마크 Riso연구소의 WASP 프로그램을 이용하여 분석                   |   |
| ⑥ 남극 세종기지 풍력 자원 분석 (2005)      | 기지의 관측자료를 이용하여 풍력발전의 가능성과 효율성을 분석 연구  | 기상관측자료는 한국에너지연구원 보유 컴퓨터 프로그램(WEAP)을 이용            |   |

## 2. 풍력자원

### 2.1 풍속의 높이 보정

일반적으로 풍속과 풍향은 지표상 30m 높이에서 관측한다. 그러나 실제 중·대형 풍력발전기의 허브높이는 약 45m 이상이고, 풍속은 측정 높이와 주변의 지형상태에 따라 변하므로, 실측 높이에서의 풍속을 풍력발전기의 허브 높이까지 보정하여야 할 필요가 있다.

높이에 따른 풍속의 변화는 정상대기경계층에서 다음 식으로 표시한다.

$$\frac{V_z}{V_{zG}} = \left(\frac{z}{z_G}\right)^\alpha \quad \text{----- (1)}$$

여기서,  $V_{zG}$ 는  $z_G$ 의 높이에서 실측 풍속이고  $V_z$ 는 높이  $z$ 에서의 보정풍속이다.<sup>2)</sup> 여기서 지표면의 거칠기에 따른 지수  $\alpha$ 는 일반적으로 넓은 바다 매끄러운 모래나 눈에서 0.11, 작은 관목이나 잔디가 있는 교외에서 0.15, 다소 거친 소도시는 0.25, 매우 거친 도심은 0.36정도의 범위에 있다.

2) R. M. Aynsley, Architectural Aerodynamics, Applied Science Publishers LTD, London, 1977.

### 2.2 와이불 분포함수

실측 풍속자료는 급변하는 시간별 자료이므로 풍속특성을 예측하기 위해서는 통계적인 방법을 사용한다. 한 장소에서의 풍속특성은 반복하는 특성을 가진 것으로 알려져 있기 때문에 연간 측정 자료를 분석하여 풍속특성을 예측할 수 있는 것이다. 확률밀도함수(Probability density function)는 풍속의 단계별빈도수( $P(V)$ , %)를 통계적으로 처리하여 구하며, 와이불(Weibull)함수와 잘 맞는 것으로 밝혀졌으며 다음 식으로 표시한다.

$$P(V) = \left(\frac{K}{C}\right) \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right) \quad \text{----- (2)}$$

$V$ 는 예상하는 풍속,  $C$ 는 分布하는 연간 평균풍속에 비례하는 상수(Scale parameter),  $K$ 는 분포하는 풍속의 편차의 크기를 나타내는 형상계수(Shape parameter)이다. 와이불함수는 2변수로써 비교적 간단하고 정확도가 크게 저하하지 않으므로 대부분의 풍속특성의 예측에 이용하고 있다. 본 연구에서는 2변수 와이불분포함수를 이용하여 풍속자료와 풍력자원을 분석하였다. 확률밀도함수  $P(V)$ 를 구간적분하여 누적분포함수( $F(V)$ : Cumulative density function)를 나타내는 식은 다음과 같다.

$$F(V) = \int_0^V P(V)dV = 1 - \exp\left(-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right) \quad \text{----- (3)}$$

여기서, 누적분포함수  $F(V)$ 는 평균풍속( $\bar{V}$ )과 아래의 관계식으로 정의되며, 그 풀이는 중간 항과 같고 감마함수( $\Gamma$ )를 사용하면 우변 항과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \bar{V} &= \int_0^\infty V P(V)dV \\ &= C \int_0^\infty \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right) d\left(\frac{V}{C}\right)^K = C \Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right), \frac{1}{K} + 1 > 0 \quad \text{---- (4)} \end{aligned}$$

이 결과에서 아래의 모멘트관계식이 도출된다.

$$\bar{V}^n = C^n \Gamma\left(\frac{n}{K} + 1\right), \quad \frac{n}{K} + 1 > 0 \quad \text{----- (5)}$$

모멘트방법은 와이불함수의 계수  $C$ ,  $K$  값을 구하는 여러 가지방법 중에 실험치와 가장 일치한다. 풍력발전설비의 출력은  $V^3$ 에 비례하므로,  $V$ 와  $V^3$  값을 이용하여  $C$ ,  $K$  값을 구한다.  $V^3$ 의 표준편차는 식 (5)에 의해 다음과 같이 표시된다.

$$\sigma_{V^3} = C^3 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{6}{K}\right) - \left(1 + \frac{3}{K}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{----- (6)}$$

$C^3$ 항을 소거하기 위해 식 (5)에  $V^3$ 를 대입한 수식을 식 (6)으로 나누면, 좌변 항  $\sigma_{V^3}$ 와  $V^3$ 는 측정치로 얻어지므로 우선  $K$ 값을 계산하고, 식 (4)에  $K$ 를 대입하여  $C$ 값을 계산할 수 있다.<sup>3)</sup>

### 2.3 풍력에너지

와이불함수의 계수  $C$ 와  $K$ 값을 아래의 식에 대입하여 계산하면 풍력에너지를 산출할 수 있다.

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty V^3 P(V)dV = \frac{1}{2} \rho A C^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right) \quad \text{---- (7)}$$

여기서,  $\rho$ 는 공기의 밀도,  $A$ 는 공기의 투과면적, 즉 회전자 면적 ( $m^2$ )이며, 에너지밀도(Energy density)는

3) 한국동력자원연구소, “風力發電技術 開發”, 1986, p.133

아래의 식으로 나타낸다.

$$Pd = \bar{P}/A = \frac{1}{2} \rho C^3 \Gamma (1 + \frac{3}{K}) \quad \text{-----} \quad (8)$$

실제 평균발전출력은 풍력발전기의 시동풍속  $V_c$ , 정격풍속  $V_r$ , 중단풍속  $V_f$ , 풍력 동력계수는  $C_p$ , 동력전달 효율은  $\eta_m$  발전기 효율  $\eta_g$  일 때 아래의 식으로 구한다.

$$Pea = \frac{1}{2} \rho C_p \eta_m \eta_g \left[ \int_{V_c}^{V_r} V^3 P(V) dV + V_r^3 \int_{V_r}^{V_f} P(V) dV \right]$$

$$= g \left[ KC^3 \int_{\frac{V_c}{C}}^{\frac{V_r}{C}} \left(\frac{V}{C}\right)^{K+2} \exp\left(-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right) d\left(\frac{V}{C}\right) + C^3 \left(\frac{V_r}{C}\right)^3 \exp\left(-\left(\frac{V_r}{C}\right)^K\right) \right]$$

$$= g(S_1 + S_2) \quad \text{-----} \quad (9)$$

여기서  $g = \frac{1}{2} \rho C_p \eta_m \eta_g$ 이고,  $Pea$ 를 8,760시간 곱하면 연간 발전량이 되고,  $S_1$ 은 다음과 같이 수치적분 한다.

$$S_1 = kC^3 \int_{\frac{V_c}{C}}^{\frac{V_r}{C}} \left(\frac{V}{C}\right)^{K+2} \cdot \exp\left(-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right) d\left(\frac{V}{C}\right) \quad \text{----} \quad (10)$$

$S_2$ 는  $P(V)$ 를 직접 구간적분으로 구한다.

$$S_2 = C^3 \left(\frac{V_r}{C}\right)^3 \cdot \exp\left(-\left(\frac{V_r}{C}\right)^K\right) \quad \text{-----} \quad (11)$$

평균발전출력( $Pea$ )과 정격발전출력( $Pr$ )의 비를 풍력발전설비의 설비이용률( $Cf$ )이라고 하고 아래와 같다.

$$Cf = \frac{Pea}{Pr} \quad \text{-----} \quad (12)$$

### 3. 대학캠퍼스의 풍력자원 관측 및 분석

#### 3.1 대학캠퍼스의 풍력자원 관측

##### 1) 관측위치

관측위치의 입지 선정은 그 지역의 풍력자원을 대표할 지역이면서, 장차 풍력발전기를 설치할 수 있는 지점을 고려해야 한다. 따라서 H 대학교조형과학관에서 2백여 미터 떨어진 해발 142m지점에 풍속관측 유망지점을 선정하였다. 이 지점은 연구동 및 강의실에 소음이나 시각적인 영향이 미치지 아니하는 산림지역이고, 임도가 개설되어 있어서 풍력발전설비의 설치와 유지보수가 용이하고, 고도가 주위보다 높아서 향후 풍력발전기 설치 시 환경 이미지 효과가 큰 장점이 있는 곳이다.

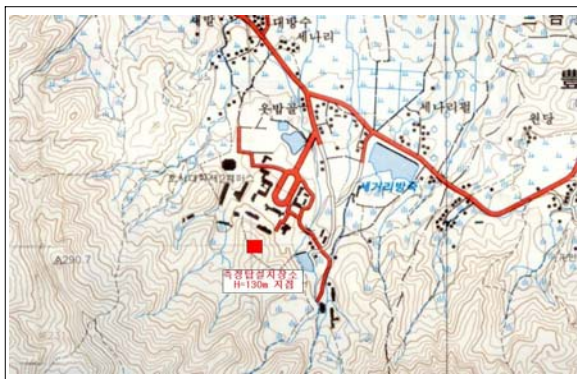


그림 1. 관측 위치

본 연구를 수행하기 위하여 관측지점은 위와 같이 현장조사를 통하여 그림 1에 표시한 지점을 선정하였고, 풍력 관측탑과 관측장비를 설치한 후 소정의 예비시험을 거쳐 2005년 9월부터 2006년 8월까지 1년간의 풍속과 풍향을 관측하여 분석하였다. 관측지점은 북위 36°44' 01", 동경 127°04' 25", 해발고도 H: 142m 이다.

##### 2) 관측 장비

풍력발전 후보지에 대한 풍력자료의 관측과 분석은 실제 풍력발전의 운전효율 예측이나 경제성의 평가에 반드시 필요한 선행 요소이다. 관측탑은 표준 높이인 30m 강관주를 설치하여 지상 30m(H:30m)와 지상 15m 높이(H:15m)에 각각의 풍속계와 풍향계를 그림 2와 같이 설치하였다. 관측장비는 미국 NRG회사의 제품을 사용하였으며, 로거와 풍향계 및 풍속계로 구성한다.

데이터 로거(Data Logger)의 제원은 표 2에 정리하였다. 풍향계는 NRG #200P를 사용하였고, 1° 단위로 풍향을 지시하며 풍향신호는 데이터 로거에서 저장(Raw file)하며, 제원은 표 3과 같다. NRG #40 풍속계의 풍속측정 범위는 1m/s에서 96m/s까지이며 그 제원은 표 4에 나타내었다.



그림 2. 풍력 관측탑

각 센서의 풍속·풍향 관측신호는 매 10분단위로 데이터 로거에 자동으로 저장한다. 메모리시스템은 매 일마다 10분 단위로 144개의 측정 자료를 묶어 파일(Raw file) 1개씩을 생성하여 메모리카드에 지속적으로 저장 된다. 데이터가 필요할 때는 언제나 메모리카드를 회수하여 컴퓨터로 분석이 가능하다.

표 2. 데이터 로거: NRG\_Symphonie

|                      |   |  |
|----------------------|---|--|
| Instrument type      | 12 channel internet-enabled micro power wind energy data logger |  |
| Applications         | wind resource assessment /power performance verification        |  |
| Sensor compatibility | anemometer rain gauge/ opto /reed switch anemometer             |  |
| Maximum data         | 16 MB MMC, storage 664 days<br>14 KB binary file per day        |  |
| Software             | Symphonie Data Retriever for Windows (included)                 |  |

표 3. 풍향계: NRG #200P Wind Direction Vane



|              |  |   |
|--------------|--|---|
| Sensor type  | continuous rotation potentiometric wind direction vane   |  |
| Sensor range | 360° mechanical, continuous rotation   |   |
| Signal type  | Analog-Output signal is a ratiometric DC voltage   |   |
| Applications | <ul style="list-style-type: none"> <li>wind resource assessment</li> <li>meteorological studies</li> </ul> |   |

표 4. 풍속계: NRG #40 Anemometer

|              |  |   |
|--------------|--|---|
| Sensor type  | 3-cup anemometer compatibility all NRG loggers   |  |
| Sensor range | 1 m/s to 96 m/s (2.2 mph to 214 mph) (highest recorded)  |   |
| Signal type  | $m/s = (Hz \times 0.765) + 0.35$<br>$[mph = (Hz \times 1.711) + 0.78]$                                     |   |
| Applications | <ul style="list-style-type: none"> <li>wind resource assessment</li> <li>meteorological studies</li> </ul> |   |

### 3.2 풍력자원 분석

2005년 9월부터 2006년 8월까지 1년간 관측한 풍력 원 데이터(Raw data)를 NRG -Text변환 프로그램과 자체 개발한 전산프로그램(MS Windows, Excel)을 이용하여 PC로 분석하였다.

#### 1) 월별 풍속의 변화

H 대학교아산캠퍼스에서 2005년 9월부터 2006년 8월까지 풍력데이터를 분석한 결과 월별 평균풍속은 H:30m에서 3월의 3.29m/s가 최대였고, 월별 평균풍속 최저치는 8월로 1.8m/s이다. 연평균풍속은 H:30m에서 2.6m/s, H:15m에서 2.1 m/s이며 동일한 기간 동안 기상청천안관측소에서 관측한 연평균풍속은 1.82m/s이었다.

풍속관측 분석결과 H 대학교아산캠퍼스의 풍력자원은 정밀분석에 앞서 월별 평균풍속 관측치만 보아도, 풍력발전을 운용하기에는 경제성이 떨어지는 저풍속으로 나타나고 있다. 풍속계급별 분포를 살펴보면 보통 풍력발전기의 시동풍속인 3.0m/s 이상이 되는 풍속빈도수가 연간 약 40%에 불과하고, 그 풍속역영에서 조차도 대부분이 낮은 풍속역임을 보여주고 있다.

표 5. 월별 평균풍속

| 년 월   | H 30m  |        | H 15m  |        |
|-------|--------|--------|--------|--------|
|       | 풍속 m/s | 표준편차SD | 풍속 m/s | 표준편차SD |
| 05. 9 | 2.64   | 0.76   | 2.01   | 0.73   |
| 10    | 2.17   | 0.61   | 1.84   | 0.59   |
| 11    | 2.46   | 0.76   | 2.10   | 0.74   |
| 12    | 2.65   | 0.70   | 2.19   | 0.69   |
| 06. 1 | 2.66   | 0.69   | 2.22   | 0.68   |
| 2     | 3.16   | 0.84   | 2.70   | 0.84   |
| 3     | 3.29   | 1.01   | 2.96   | 0.99   |
| 4     | 3.23   | 1.04   | 2.66   | 1.02   |
| 5     | 2.54   | 0.81   | 1.98   | 0.78   |
| 6     | 2.05   | 0.70   | 1.56   | 0.66   |
| 7     | 2.34   | 0.85   | 1.73   | 0.79   |
| 8     | 1.79   | 1.23   | 1.52   | 1.20   |
| 평균치   | 2.58   | 0.83   | 2.12   | 0.81   |

관측 높이별로 월별 평균풍속 값을 표 5에 정리하였고, 그림 3은 월별 평균풍속의 변화를 나타냈다. H:15m와 H:30m 위에서 측정된 풍속은 매월 유사하게 증가하고 감소하는 경향을 나타내었다. 2월, 3월, 4월의 풍속이 강하였고 6월, 7월, 8월의 풍속이 약하였다. 난류강도(Turbulence intensity)는 풍속과 표준편차의 비율이며 H:30m에서 30%, H:15m에서 36%이었다.

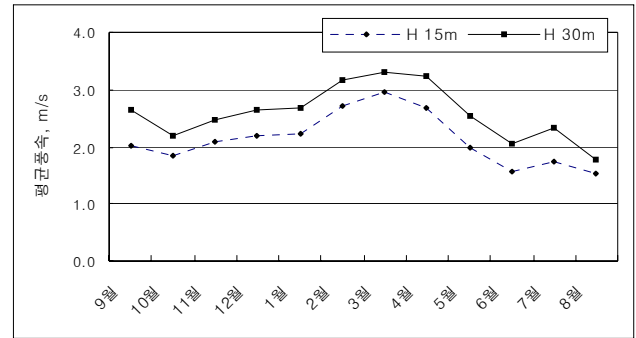


그림 3. 월별 평균풍속의 변화

#### 2) 풍배도

바람은 시시각각으로 방향이 바뀌지만 계절별로 가장 많은 빈도수를 갖는 바람의 방향이 있어, 이를 주풍향(Prevailing Wind direction)이라고 한다. 두 번째로 빈도가 높은 풍향을 부풍향이라고 한다. H 대학교아산캠퍼스에서 2005년 9월부터 2006년 8월까지 풍력데이터를 분석한 결과, 겨울철의 주풍향은 WNW이고, 여름철의 주풍향은 SE에서 WSW 범위로 변화가 있었다. 표 6에 의하면 H:15m와 H:30m에서 측정된 주풍향은 2005년 9월과 2006년 6월, 7월을 제외하고 모두 같게 나타났다. 11월부터 4월까지는 풍향이 모두 동일하게 WNW이었다. 계절별로 주풍향은 겨울철에 WNW방향에서 여름철에는 SE방향으로 바뀌고 있음을 알 수 있었다.

표 6. 월별 주풍향의 변화

| 월     | H 30m | H 15m | 월     | H 30m | H 15m |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 05' 9 | SE    | WNW   | 06' 3 | WNW   | WNW   |
| 10    | W     | W     | 4     | WNW   | WNW   |
| 11    | WNW   | WNW   | 5     | SE    | SE    |
| 12    | WNW   | WNW   | 6     | SE    | ESE   |
| 06' 1 | WNW   | WNW   | 7     | SE    | ESE   |
| 2     | WNW   | WNW   | 8     | WSW   | WSW   |

풍배도(Wind Rose)는 방향을 16방위로 나누어 방위별 풍향빈도를 표시하는 형식과, 방위별로 풍속계급별 빈도수를 나타내는 2종류의 형식이 있다. 주풍향이 차지하는 빈도수는 전체의 15.2% 이고, 방위별 풍속 빈도가 가장 큰 방위는 WNW방향으로 평균풍속 3.3m/s이다.

그림 4는 H:30m에서 관측한 방위별 풍향빈도수를 나타내는 풍배도와 방위별 풍속계급별 빈도수를 나타내는

풍배도를 도시하였다. 그림 5는 H:15m에서 관측한 풍향 데이터로 작성한 풍배도를 나타낸다. 두 지점의 풍향과 풍속 풍배도는 유사하였으며, WNW 빈도가 가장 높고, 풍속도 WNW의 경우 가장 강하게 나타났다.

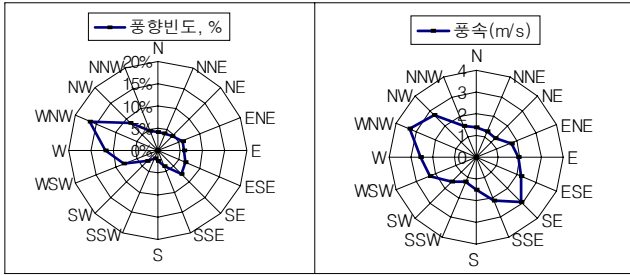


그림 4. 풍배도(H 30m)

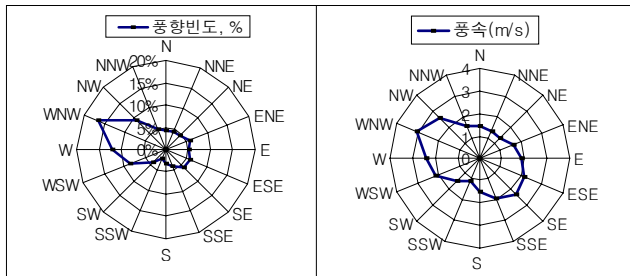


그림 5. 풍배도(H 15m)

### 3) 풍향 지속도

풍력발전을 하기 위하여 풍력자원을 조사할 경우 풍향 지속도는 중요한 요소가 된다. H:30m에서의 풍향지속도 (Constancy of Wind Direction)를 겨울(2005년10월-2006년4월)과 여름(2006년5월-2006년9월)으로 나누어 그림 6에 표시 하였다. 겨울철은 대체로 양호한 편이나 여름철 13-15시는 다소 불안정 상태를 보여주고 있다.

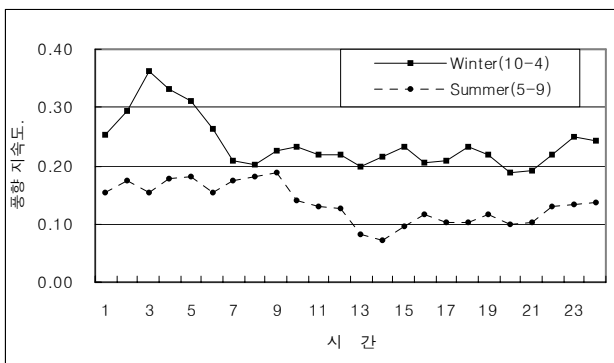


그림 6. 풍향 지속도

### 4) 와이불 분포

와이불분포(Weibull Distribution)는 식 (2)와 같이 표시되며 풍력자원분석에 있어서 대단히 중요한 상수로서 풍속의 예측과 풍력에너지 산출에 사용된다. 식 (2), 식 (3), 식 (4)를 이용하여 실측한 풍속 자료의 와이불분포 계수

를 구한 결과  $K$  1.30,  $C$  2.62이었다. 또한 풍속별빈도와 와이불분포곡선은 그림 7에 나타난 바와 같았다.

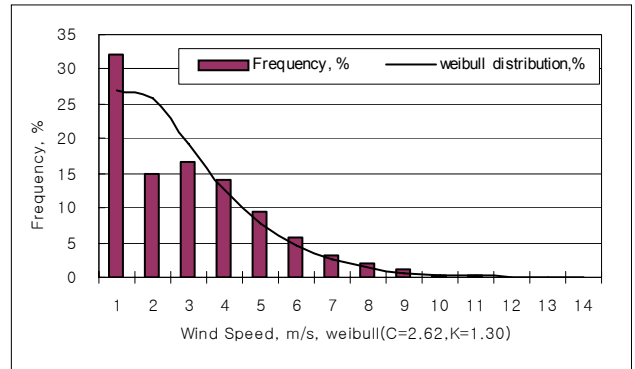


그림 7. 와이불분포 곡선

### 5) 에너지 밀도

에너지밀도(Energy Density:  $P_d$ )는 풍력자원을 판정하는 척도로써 H:30m에서 연평균 에너지밀도는 30.5W/m<sup>2</sup>, 최고치는 3월에 57W/m<sup>2</sup>이었다. 에너지밀도의 산출은 식 (8)을 이용하였으며 그림 8은 H:30m에서 관측한 월별 에너지밀도의 변화를 보여준다.

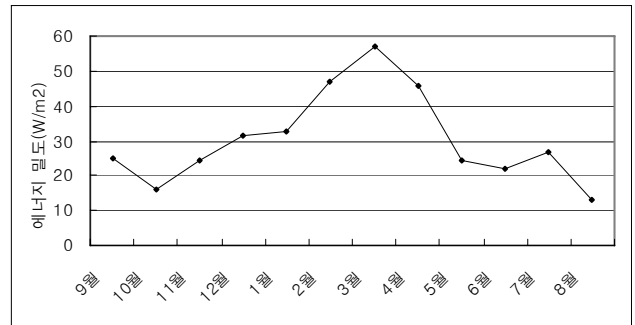


그림 8. 에너지밀도의 변화

## 4. 풍력에너지의 예측

### 4.1 풍속 보정

풍력발전기의 허브(hub)높이를 본 연구에서는 풍속의 가속효과 및 시각적인 효과를 고려하여 60m로 결정하고 풍속을 보정하였다. 식 (1)을 이용하여 지표상 60m 높이에서의 풍속을 계산한 결과 보정풍속은 3.1m/s이었고,  $a$ 는 0.283이었다. 여기서는 표 5에 정리한 H:30m 와 H:15m 높이에서의 실측 연평균풍속을 적용하였다.

### 4.2 풍력발전설비

현재 풍력발전기의 제작 추세는 영구자석과 인버터기술의 발달로 동기발전방식을 채택하고 있다. 이 방식은 기어박스가 생략되어 기어소음과 고장이 적고 효율도 좋다. 본 연구에서는 750KW/800KW급 2종류와 110KW급 2종류를 제안하여 표 7에 제원을 비교하였다.

표 7. 제안 풍력발전기 제원

| 모델                                     | N50/800   | NM750/48           | HJ-20-100         | V-20-100        |
|--|---|--------------------|-------------------|-----------------|
| 제작사                                    | NORDEX  | NEG-MICON Germany  | Hanjin Korea      | Vestas Denmark  |
| 정격출력(Kw)                               | 800/200   | 750/175            | 110               | 110             |
| 전압 /주파수                                | 690V/ 60Hz  | 690V/ 60Hz         | 380V/60Hz         | 480V/ 60Hz      |
| 발전기 형식<br>회전속도(RPM)                    | 3상 비동기<br>1510/1007   | 3상비동기<br>1200/1800 | 3상 동기<br>900/1200 | 3상비동기<br>1200   |
| 풍속, 시동/정격<br>중단/내풍속,m/s                | 2.5/ -<br>25/70   | 3.0/ -<br>25/60    | 2.8/12<br>24/60   | 4.5/13<br>25/50 |
| 회전자 직경(m)<br>RPM / 면적(m <sup>2</sup> ) | 50<br>23/15/1964  | 48<br>18-27/1809   | 22<br>41/380      | 20<br>46/314    |
| 중량(t)낫셀/로터                             | 20.9/15.9   | 23.5/13.5          | 5.4/1.2           | 4.6/1.6         |
| Rotor Regulated                        | stall제어   | stall              | stall             | ←               |
| 소음 SPL(8m/s)<br>음압(200m/dBA)           | 98.7<br>43.6  | 98.0<br>42.9       | -                 | -               |
| 풍력발전기<br>외 양                           |  |                    |                   |                 |

### 4.3 풍력발전량 예측

풍력발전기는 저풍속임을 감안하여 시동풍속이 3.0m/s 이하에서 기동하도록 제작한 NEG-MICON NM750/48과 NORDEX N50/800 2개 기종을 선정하였다. 선정된 발전기의 성능특성과 분석한 풍력자료를 바탕으로 풍력발전기를 설치하였을 때, 예정발전량과 설비이용률은 식 (9), 식 (12)를 이용하여 컴퓨터프로그램으로 산출하였다.

H:30m에서 와이불분포계수는 C=2.62, K=1.30이고, 에너지밀도는 30w/m<sup>2</sup>이었다. 허브 높이 H:60m에서 보정풍속(=3.1m/s)기준으로 와이불분포계수는 C=3.48, K=1.70이고, 에너지밀도는 42w/m<sup>2</sup>로 산출되었다. 기종별 풍력발전기의 연간 예정발전량과 이용률은 표 8에 정리하였다.

표 8. 연간 발전량과 설비 이용률

| 항 목                               | NEG_Micon NM750 | Nordex N50/800 |
|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| 보정풍속(m/s)                         | 3.1             |                |
| Energy Density(W/m <sup>2</sup> ) | 42              |                |
| Main Wind Direct.                 | WNW             |                |
| Weibull Parameter                 | C=3.48, K=1.70  |                |
| Cut in speed(m/s)                 | 3.0             | 2.5            |
| AEP*                              | 321,900         | 398,500        |
| AEP Average                       | 360,200         |                |
| Capacity factor                   | 4.8%            | 5.6%           |

\*AEP:Annual Energy Product ,KWh

평균발전량은 약 36만KWh/y로, 설비이용률은 약 5%로 예측되었다. H 대학교아산캠퍼스에서의 연간 사용전력량 135만KWh과 비교하여 볼 때 3.5%를 대체할 수 있는 것으로 평가되었다.

## 5. 결 론

H 대학교아산캠퍼스의 풍력자원을 관측·분석하기 위하여 해발고도 142m지점에 지상높이 30m와 15m에 관측탑을 설치하여 풍속과 풍향을 1년간 관측하였다. 관측한 풍속과 풍향 자료는 매 월별로 평균풍속, 풍배도, 풍속계급별 빈도, 방위별 풍향빈도, 풍향별 풍속의 변화, 와이불계수, 풍력 에너지밀도로 분석하였다.

H 대학교아산캠퍼스 주변의 풍력자원은 허브 높이 H:60m에서 보정풍속(=3.1m/s)기준으로 에너지밀도는 42W/m<sup>2</sup>로 산출되었고, 750KW급 풍력발전기를 가상 적용한 결과 약 36만KWh/y의 발전량을 예측할 수 있었다.

지금까지 국내의 풍력자원 분석에 대한 여러 가지 연구사례들이 있으나 캠퍼스 주변의 풍력자원 분석이 이루어진 사례는 찾아볼 수 없었다. 본 연구는 저풍속 지역에서의 풍력자원 실측자료를 통하여 풍력자원의 특성과 풍력발전의 가능성을 분석하여 앞으로 할 수 있는 기초를 마련한데 의의가 있다고 본다.

앞으로 화석연료의 고갈과 지속가능한 환경보전 측면에서 내륙 저풍속 지역에서의 풍력발전에 관한 연구가 계속 확대되어야 할 것으로 판단한다.

## 후 기

이 논문은 2005년도 호서대학교의 재원으로 정책연구비로 지원을 받아 수행된 연구 임.(과제번호:20050071)

## 참고문헌

1. Ackermann Thomas, Wind Power in Power Systems, Jhon s Willey and Sons Inc. pp.57-122, 2005
2. R. M. Aynsley, Architectural Aerodynamics, ASP Ltd, London, pp. 89, 1977
3. 이철형, 풍속자료분석에 의한 국내풍력 가용량 산정, 한국태양에너지학회(KSES)논문집, 제5권2호, pp.3-10, 1985
4. 경남호, 한반도해역의 해상풍력자원 평가, KSES논문집, Vol. 23, No.2, pp.35-41, 2003
5. 산업자원부, 대체에너지이용발전전력의 기준가격지침, 2002.
6. 신동열, 풍속자료분석에 의한 풍력발전 최적설계, KSES논문집 제4권2호, pp.3-12, 1 984,
7. 박경호, 풍력자원 특성 분석 ,KSES논문집, Vol.10, No.2, pp. 3-10, 1990
8. 김건훈, 풍력자원 측정현황 및 결과 분석, 한국태양에너지학회 춘계학술발표논문집, pp. 217-228, 2001
9. 장문석, 복잡지형에서의 WAsP예측성 향상 연구, KSES논문집, Vol. 23, No. 1, pp.39-47. 2003
10. 배재성, 남극 세종기지의 풍력 자원 분석, KSES논문집, Vol. 25, No. 3, pp.53-60, 2005
11. 윤재욱, 김명래, 풍력발전을 주에너지원으로 적용한 그린빌리지 디자인, 한국생태건축학회 추계논문집, pp.139-147, 2006
12. <http://www.Windpower.org/>
13. <http://www.nrgsystems.com/>