

제주도에서의 풍력에너지 이용을 위한 공학적 예측에 관한 연구(1)

— 풍속특성에 관하여 —

高長權, 許鐘哲*

A Study about the Estimation of Potential for Using the Wind Energy in Cheju Island (I) —On the Charateristics of Wind Speed—

*Koh Jang-kwan , Huh Jong-chul**

Summary

This paper examined the characteristics of wind speed from the self-recording paper which had been measured at local weather stations at Cheju, Seogui, Sungsan and Daejung from Oct. 1984 to Sep. 1985 by computerizing the 10-minute average wind speeds according to monthly and regional items.

The results are as follows:

1. We counted the monthly Weibull parameters(k, c) throughout the same period described above from Cheju, Seogui, Sungsan and Daejung stations.
2. The measurement of the Weibull parameters at intervals of 10 minutes per hour gave almost all the same estimating values. Even if we calculate the Weibull parameters for any 10 minutes per hour, there appears to be no significant difference.
3. When the monthly average wind speed distribution is low, it is clear that a Weibull function is well fitted to the data when observations of calm cannot be included in calculation of $p(v)$.

序 論

풍력발전에 관한 연구는 유가가 상승한 1970년 이래 전세계적으로 활성화되어 왔으며, 공해나 에너지 소비가 없는 이상적인 발전시스템으로 크게 각광받

고 있는 실정이다.

풍력발전시스템은 설치예정지역의 지역 특성, 기상조건에 상당한 영향을 받기 때문에 그 지역에서의 발전량 예측은 물론 시스템의 최적설계는 쉽게 추정될 수 없다. 이러한 문제점 때문에 순차적으로 후보지에 대한 풍속자료분석 및 출력예측, 시스템의 최

理工大學 教授 , 理工大學 專任講師*

적설계, 기타 작동상의 문제점으로 분별되어 연구되고 있다. 풍속자료 분석에 있어서 풍속측정은 일정한 기간을 두고 측정되는 평균풍속에 불과하므로 풍력에너지변환시스템(wind energy conversin system)의 출력을 예측하기 위해서는 측정된 풍속자료를 이용하여 정확한 통계적 Model이 요구된다.

위와같이 측정된 풍속자료를 이용하여 풍속특성을 결정하기 위해 Justus(1976)는 풍속분포가 Weibull 확률밀도함수에 가장 적합함을 실증하였고, Stevens (1979)는 Weibull계수(shape, scale)를 산정하기 위해 5가지 방법을 제시하였으며 그 중 최소자승법이 측정치와 오차가 가장 적음을 구명했다. 또한 Excell(1985)는 풍속분포중 정온(calm)을 풍속자료에서 제외시켜 Weibull밀도함수에 적용하였다.

본 연구는 제주도내 풍력발전시스템 설치시 예상되는 출력을 예측하기 위한 기초적 연구로서 제주도내 2개 측후소와 2개 분실의 풍속자료를 이용 최소자승법에 적용시켜 실측 풍속분포와 가장 근접하는 Weibull계수 즉 shape parameter와 scale parameter를 지역별 월별로 산출하는데 있다.

解析方法 및 風速資料

1. 解析方法

Weibull분포가 풍속자료를 통계분석함에 있어서 가장 적합한 것으로 알려져 있다. Weibull확률밀도함수(probability density function) $p(v)$ 는

$$p(v) = \left(\frac{K}{C}\right) \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \text{EXP}\left(-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right) \dots\dots\dots (1)$$

이다. 여기서 V 는 풍속을 나타내며 C 는 scale parameter로 풍속분포의 평균값이 크기에 비례하는 계수이고 K 는 shape parameter로 분산 혹은 편차의 크기를 나타내는 계수이다. 측후소에서 측정된 실제 풍속자료를 이용하여 C, K 값을 구하기 위해서는 누적밀도함수(cumulative density function) $F(V)$ 를 사용해야 하며, $F(V)$ 는 다음과 같다.

$$F(V) = \int_0^V p(v)dv = 1 - \text{EXP}\left(-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right) \dots\dots\dots (2)$$

식 (2)를 정리하여 양변에 \ln 을 두면 취하면

$$\ln(-\ln(1-F(V))) = K \ln V - K \ln C \dots\dots\dots (3)$$

로 되어 $Y = AX + B$ 의 형태가 된다. 그러므로

$$\left. \begin{aligned} Y &= \ln(-\ln(1-F(V))) \\ X &= \ln V \\ A &= K \\ B &= -K \ln C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

로 된다. 식 (4)에서 Y 는 누적분포에 관한 항이며 X 는 풍속에 관한 항으로 표시된다. n 개의 (X, Y) 자료, 즉 n 개의 누적밀도함수의 항 Y 와 풍속에 관한 항 X 에 대하여 최소자승법(least square method)를 적용하여 A, B 를 구하면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} \\ B &= \frac{1}{n} \sum Y - \frac{A}{n} \sum X \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

$$R = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{[\ln \sum X^2 - (\sum X)^2][\ln \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}^{1/2} \dots\dots\dots (6)$$

위 식 (4)와 식 (5)로부터 K, C 를 결정할 수 있다. 식 (6)은 식 (3)의 직선이 sample data와 얼마나 잘 일치하는가를 나타내는 sample correlation coefficient이다.

2. 風俗資料

본 연구에 사용된 풍속자료는 1984년 10월부터 1985년 9월까지 제주, 서귀측후소 및 성산, 대성분소의 풍속기록지로 부터 발췌했다. Fig.1은 제주,

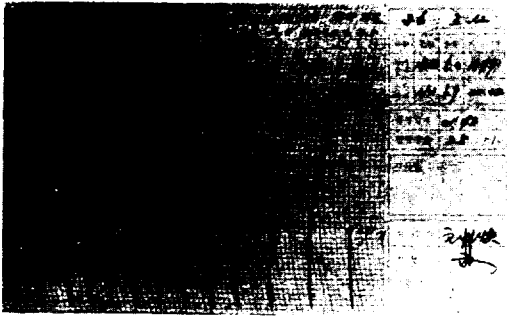


Fig. 1. The self-recording paper of three-cup anemometer at Cheju and Seogui stations.

서귀측후소의 풍속기록지의 예이다. x축은 시간을 나타내며 y축은 3배풍속계의 풍배가 회전한 풍정을 나타내고 있다. 이 경우 10분평균 풍속은 10분(x축상의 1칸)동안 y축이 이동한 풍정을 60초로 나눈 값이다. 또한 성산, 대정(Fig.2)의 경우 x축은 시간을 나타내고 y축은 풍속을 나타내므로 직접기록지로부터

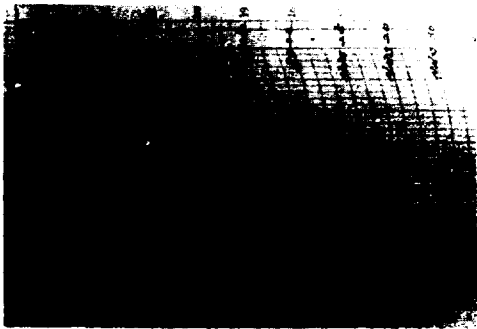


Fig. 2. The self-recording paper of three-cup anemometer at Daejung and Sungsan stations.

10분평균 풍속을 구할 수 있다. 따라서 제주, 서귀, 성산, 대정의 풍속기록지로부터 10분평균 풍속을 산출하여 시간별, 월별, 지역별로 computer에 입력하여 풍속자료로 이용하였다.

위 4개 지역의 선정은 Fig.3에서 보여주는 것처럼 미약하나마 제주도 전 지역을 포괄할 수 있는 것으로 생각되고, 더욱이 이외(1984)이 연구보고서에서 완만한 언덕이나 좁은 계곡을 지날 때 유동이 압축되어 속력의 증가외에는 해변가가 가장 풍속이 높게 보고 되었기 때문에 해변가에 위치한 위 4개 지역을

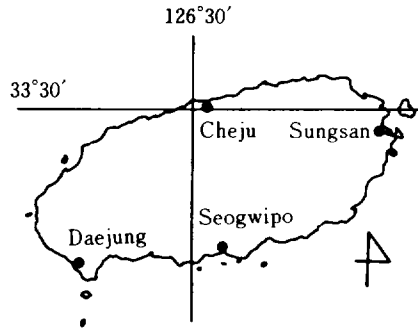


Fig. 3. Locations of local weather stations utilized in this study.

선택하였다.

그리고 지면으로부터 풍속측정 높이는 제주, 서귀측후소가 10m이며, 성산, 대정분소는 6m이다. 풍속측정계기는 3배풍속계(three-cup anemometer)이다.

結果 및 考察

Fig.4, 5, 6은 풍속자료분석결과의 일례이다. 즉 제주 11월(0~10분)의 풍속자료를 이용하여 Weibull확률 밀도함수에 fitting시킨 결과를 단계적으로 도시화한 것이다. Fig.4는 계급값이 1m인 경우 계급값내의

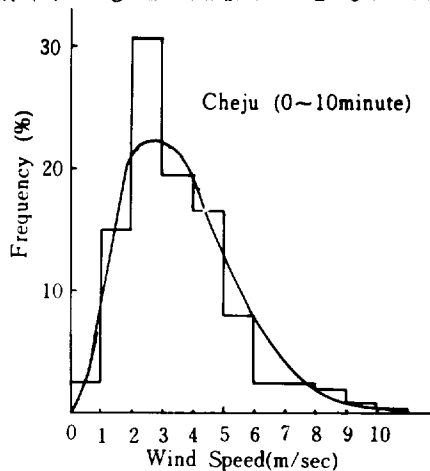


Fig. 4. Histogram of wind speeds at Cheju, Nov. 1984. Curve shows Weibull function fitted to the observed distribution.

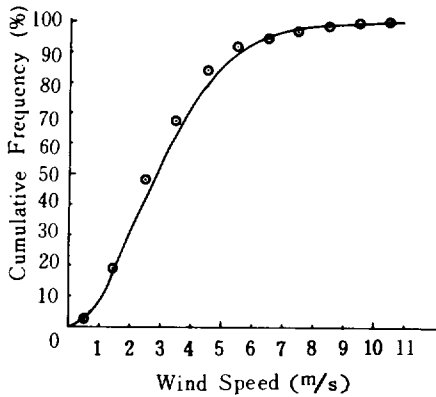


Fig. 5. Cumulative density function of Weibull and cumulation of the observed data at Cheju, Nov. 1984.

풍속을 count한 케센트와 최소자승법으로 계산된 Weibull밀도함수 $p(v)$ 를 보여 주고 있다. Fig.5는 측정치의 누적과 누적분포함수 $F(V)$ 를 나타내고 있다. 여기서 $F(V)$ 는 풍력발전시스템의 운전시간과 관계가 있다. 만일 풍력발전시스템 시동 풍속이 4m 일때, Fig.5로부터 제주 11월 운전시간은 200시간

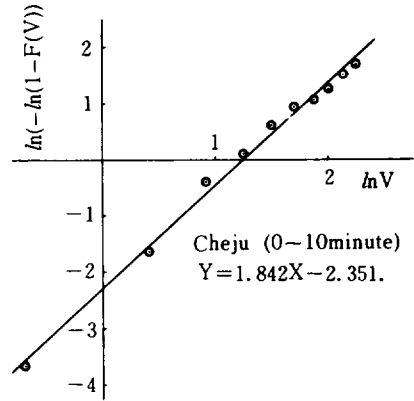


Fig. 6. Plot for determining Weibull distribution at Cheju, Nov. 1984.

임을 알 수 있다. 또한 Fig.6은 $F(V)$ 에 \ln 을 취해 선형화한 graph로서 기울기는 shape parameter이며 절편은 scale parameter를 의미한다.

표1은 11월 제주지역의 자료중 10분 단위로 구한 scale, shape parameter을 보여주고 있고 σ 는 평균값에 대한 표준편차를 나타낸다. 이 표로부터 σ 가 상당

Table 1. The value of shape and scale parameters at Chuju in nov. 1984.

Time	Shape para. (σ)	Scale para. (σ)	Calm (%)
0 - 10 minute	1,842	3,583	0
10-20 minute	1,856	3,636	0
20-30 minute	1,759	3,630	0
30-40 minute	1,878	3,654	0
40-50 minute	1,773	3,542	0
50-60 minute	1,819	3,526	0
average	1,821(0.048)	3,595(0.055)	0

히 적은 값을 나타내므로 임의의 10분간을 취해 K, C를 구해도 거의 변화가 없음을 보여주고 있다.

그리고 월평균풍속 분포가 낮은 경우, 측정치가 Weibull밀도함수 $p(v)$ 와 fitting이 안되어 K, C값에 상당한 오차를 예상할 수 있었다. 일례가 Fig.7이다. 결국 식 (6)을 이용하여 정온(3.0%)을 뺀 경우와 정온을 포함시킨 경우의 결과치를 비교한 결과

($R_{noncalm}=0.9936$, $R_{calm}=0.9882$), 정온을 풍속 자료에서 제외시킨 경우가 Weibull밀도 함수에 잘 fitting됨을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 정온을 풍속자료에서 제외시키고, 또한 시간당 10분 간격으로 K, C를 산출하였으며 산출된 값을 평균하여 최종 결과를 얻었다. 그 결과를 지역별 월별로 표2, 3, 4, 5에 나타냈다.

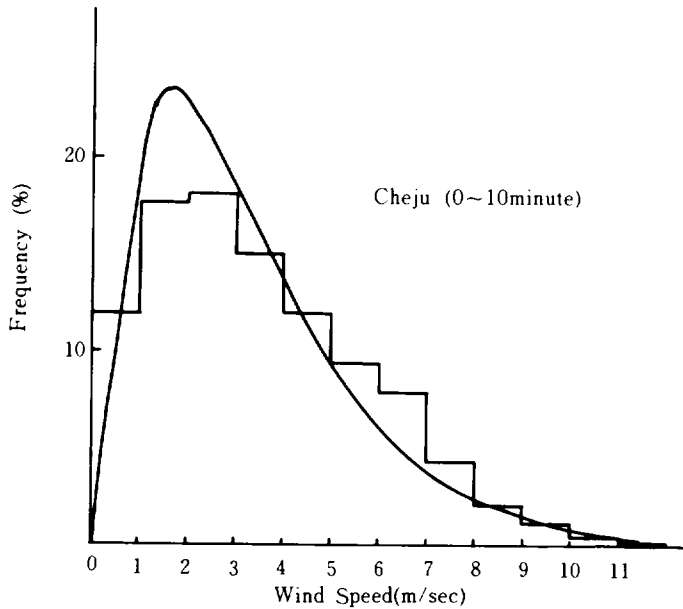


Fig. 7. Histogram of wind speeds at Cheju, Jun. 1985. Curve shows Weibull function fitted to the observed distribution.

Table 2. Various values at Cheju station; Weibull shape(k) and scale(c) parameters, average velocity(\bar{v}), variance(σ^2), calm(%)(1984,10-1985,9)

Month	$K(\sigma^*)$	$C(\sigma^*)$	\bar{v}	σ^{2**}	Calm (%)
Oct. '84	1.878(0.077)	4.379(0.098)	4.034	5.629	0
Nov.	1.821(0.048)	3.593(0.055)	3.393	3.520	0
Dec.	1.737(0.042)	5.534(0.043)	5.246	9.703	0
Jan. '85	1.901(0.044)	5.546(0.057)	5.013	7.942	0
Feb.	1.809(0.047)	5.617(0.077)	5.358	9.976	0
Mar.	1.706(0.032)	4.183(0.039)	3.934	5.452	0.1
Apr.	1.412(0.025)	3.485(0.061)	3.440	5.756	1.7
May	1.283(0.031)	4.031(0.058)	3.027	8.695	1.6
Jun.	1.403(0.032)	3.280(0.033)	3.432	5.250	3.0
Jul.	1.299(0.046)	3.482(0.091)	3.381	7.277	7.6
Aug.	1.357(0.034)	3.963(0.059)	3.804	7.554	1.6
Sep.	1.677(0.026)	3.096(0.018)	3.074	3.192	0.1
Tot. ave.	1.607	4.183	4.002	6.662	1.3

*:Standard deviation for average shape and scale parameters.

** :Variance for average velocity.

*** :Anemometer height: 10m from surface.

Table 3. Various values at Sungsan station; Weibull shape(k) and scale(c) parameters, average velocity(\bar{v}), variance(σ^2), calm(%)(1984,10-1985,9)

Month	K($\hat{\sigma}$)	C($\hat{\sigma}$)	\bar{v}	σ^{2**}	Calm(%)
Oct. '84	1.738(0.035)	3.047(0.036)	3.016	3.071	4.8
Nov.	2.002(0.125)	2.862(0.060)	2.541	2.259	5.7
Dec.	2.202(0.037)	3.352(0.019)	3.277	2.660	2.1
Jan. '85	1.942(0.058)	3.137(0.008)	2.983	2.830	5.1
Feb.	1.956(0.034)	3.711(0.029)	3.264	3.465	1.5
Mar.	1.978(0.029)	3.294(0.034)	3.190	2.665	2.3
Apr.	2.076(0.137)	3.745(0.160)	2.842	3.694	14.1
May.	1.683(0.044)	3.130(0.040)	2.689	3.874	14.3
Jun.	1.745(0.058)	2.768(0.045)	2.401	2.674	10.3
Jul.	1.569(0.036)	2.819(0.043)	2.597	3.352	11.0
Aug.	1.000(0.020)	3.623(0.060)	3.305	11.940	10.0
Sep.	1.605(0.034)	2.502(0.044)	2.397	2.376	6.5
Tot. ave.	1.791	3.166	2.875	3.734	7.3

*:Standard deviation for average shape and scale parameters.

** :Variance for average velocity.

*** :Anemometer height: 6m from surface.

Table 4. Various values at Daejung station; Weibull shape(k) and scale(c) parameters, average velocity(\bar{v}), variance(σ^2), calm(%)(1984,10-1985,9)

Month	K($\hat{\sigma}$)	C($\hat{\sigma}$)	\bar{v}	σ^{2**}	Calm(%)
Oct. '84	1.619(0.032)	4.134(0.063)	4.020	6.080	2.3
Nov.	1.613(0.029)	4.480(0.052)	4.350	6.702	1.7
Dec.	1.960(0.067)	5.489(0.048)	5.367	7.035	1.0
Jan. '85	1.926(0.058)	5.467(0.098)	5.409	7.460	0.3
Feb.	1.726(0.035)	5.420(0.059)	5.242	8.689	1.2
Mar.	1.859(0.022)	5.579(0.067)	5.440	7.945	0.7
Apr.	1.592(0.024)	4.039(0.053)	3.930	5.840	2.1
May.	1.672(0.029)	3.959(0.027)	3.827	5.451	3.0
Jun.	1.683(0.032)	3.928(0.074)	3.761	4.956	3.1
Jul.	1.851(0.027)	3.064(0.029)	3.049	2.738	1.8
Aug.	1.449(0.027)	4.616(0.057)	4.202	8.484	3.9
Sep.	1.798(0.033)	3.592(0.027)	3.476	3.893	2.1
Tot. ave.	1.729	4.481	4.339	6.273	1.9

*:Standard deviation for average shape and scale parameters.

** :Variance for average velocity.

*** :Anemometer height: 6m from surface.

Table 5. Various values at Seogui station; Weibull shape(k) and scale(c) parameters, average velocity(\bar{v}), variance(σ^2), calm(%)(1984,10-1985,9)

Month	K($\bar{\sigma}$)	C($\bar{\sigma}$)	\bar{v}	σ^{2**}	Calm(%)
Oct. '84	2.097(0.061)	3.841(0.061)	3.691	3.506	0.1
Nov.	1.879(0.044)	3.006(0.054)	2.955	2.348	0.5
Dec.	1.787(0.079)	2.982(0.083)	2.920	2.424	0.6
Jan. '85	1.876(0.043)	2.899(0.087)	2.852	2.225	1.9
Feb.	1.860(0.059)	4.368(0.067)	4.171	5.188	0.2
Mar.	1.631(0.047)	3.082(0.029)	3.103	3.273	0.5
Apr.	1.513(0.040)	3.390(0.042)	3.214	4.583	0.5
May	1.367(0.081)	3.422(0.121)	3.334	5.975	0.4
Jun.	1.475(0.175)	3.263(0.103)	3.196	4.056	1.0
Jul.	1.836(0.060)	2.401(0.049)	2.514	1.564	0.5
Aug.	1.367(0.025)	3.824(0.087)	3.567	6.418	0.4
Sep.	1.620(0.060)	3.183(0.067)	3.111	3.511	0.3
Tot. ave.	1.692	3.305	3.219	3.756	0.6

*:Standard deviation for average shape and scale parameters.
 **:Variance for average velocity.
 ***:Anemometer height: 10m from surface.

摘 要

1984년 10월부터 1985년 9월까지 제주, 서귀축우소 및 성산, 대정분소에서 측정된 풍속기록지로부터 월별 지역별 10분 평균풍속을 산출 computer에 입력하여 풍속특성을 분석한 결과 요약하면 아래와 같다.

1. 제주, 서귀, 성산, 대정지역에 대하여 1984년

10월부터 1985년 9월 까지 월별 K, C, σ^2 을 산출했다.

2. 1시간을 10분 간격으로 Weibull계수를 구한 결과 산출된 값이 거의 일치함을 보였다. 이것은 1시간중 임의 10분간을 택하여 Weibull계수를 계산해도 큰 차이는 없는 것으로 생각된다.

3. 월별 평균풍속 분포가 낮을 때, 정온을 풍속 자료에서 제외시켜 Weibull계수를 구할 경우 측정치에 잘 fitting된 Weibull밀도 함수를 얻을 수 있었다.

參 考 文 獻

Excell. R. M. B., 1985. The Wind Energy Potential of Thailand.. *Solar Energy Vol.35. No.1. pp.3-13.*
 Justus. C. G. et al. 1976. National Assessment of Potential Output from Wind Powered Generators.. *J. Applied Meteorology. Vol. 15. No. 7. pp.673-678.*
 Stevens. M. J. M. and P. T. Smulder. 1979. The Estmtnion of the Parameters of the Weibull Wind Speed Distribution for Wind Energy Utilization Purposes. *Wind Engineering. Vol. 3. No. 2. pp.132-145.*
 이춘식의, 1983, 한독 태양풍력복합발전에 관한 연구, 연구보고서, 과학기술처.