

風速資料 分析에 의한 國內 風力可用量 算定

Assessment of Domestic Wind Potential by Analyzing Wind Data

李 澈 珩*, 申 東 烈*, 趙 明 濟*
(Lee, Chul Hyung)(Shin, Dong Ryul)(Cho, Myong Jae)

ABSTRACT

This paper is concerned with the characterized method of wind speed distribution for calculation of wind power density of regional group and wind potential in Korea. It is shown that the Rayleigh distribution, $K = 2$, is not suitable for analyzing wind data in Korea. Simple relationship, $K = 0.21 \bar{V} + 0.84$, is derived from Weibull wind distribution by analyzing wind data obtained from 24 meteorological station and is a suitable tool for estimation of wind power density.

Application of this result, the domestic ideal and actual wind potential are estimated as 3.16×10^9 KWH/year and 7.14×10^8 KWH/year respectively for the case of 10 meter height, 1 m^2 swept area and $0.1 \times 0.1 \text{ Km}^2$ land area. And for the case of 50 meter height, ideal and actual wind potential are increased as 7.56×10^9 KWH/year and 2.37×10^9 KWH/year respectively.

記 號 說 明

A ; 바람이 통과하는 面積, 回轉子の 回轉面積 (m^2)
 C ; Weibull 分布의 Scale parameter (m/sec)
 C_a ; 風速計 높이에서의 Scale parameter (m/sec)
 C_p ; 回轉子の 動力係數
 K ; Weibull 分布의 Shape parameter
 K_a ; 風速計 높이에서의 Shape parameter
 P_e ; 風力發電시스템의 電力에너지 (Watt/m^2)
 P_{ea} ; 風力發電시스템의 平均電力에너지, 實際 平均風力密度 (Watt/m^2)
 P_r ; 風力發電시스템의 定格出力 (Kw)
 P_w ; 風力에너지 (Watt/m^2)

P_{wa} ; 平均風力에너지, 理想平均風力密度 (Watt/m^2)
 P(V); 확률밀도 함수
 V ; 風速(m/sec)
 V_c ; 風力發電시스템의 始動風速 (m/sec)
 V_f ; 風力發電시스템의 終단풍속 (m/sec)
 V_r ; 風力發電시스템의 定格風速 (m/sec)
 \bar{V} ; 年間平均風速 (m/sec)
 Z ; 地上으로부터의 높이 (m)
 Z_a ; 地上으로부터의 風速計높이 (m)
 α ; 높이 보정계수
 ρ ; 空氣密度 (kg/m^3)
 η_g ; 發電機 效率
 η_m ; 傳達裝置 效率
 Γ ; Gamma 함수

* 正會員 : 韓國動力資源研究所

I. 序 論

風力發電시스템에서 電力에너지로 변환될 수 있는 에너지 生産量은 地域別 風速分布에 따라 다르게 되며 風力可用量 算定은 國內에 산재되어 있는 風力에너지 現況과 총 可用量뿐 아니라 地域別 平均風力密度를 예상할 수 있게 하여준다. 또한 이러한 資料들은 시스템의 설치에 상지역을 제시하여 주며 설치에 상지역의 風速特性和 시스템의 경제성 분석에도 중요한 자료를 제시하여 준다.

風速資料 分析에는 몇가지 통계적인 방법이 사용되고 있으며 이에 대해서는 많은 선행연구가 있었다. G. L. Bowden¹⁾과 M. J. M. Steven²⁾은 측정된 風速資料를 利用하여 Weibull 分布의 係數를 구하는 方法에 관한 研究를 하였고 A. S. Mikhail³⁾은 높이 변화에 따른 Weibull 係數의 변화에 관해 研究하였다. 또한 J. Haslett⁴⁾와 G. L. Jhonson⁵⁾은 Weibull 係數를 利用하여 시스템의 제반 특성을 決定하는 方法과 이에 따른 風力可用量 決定 方法을 研究하였다. 한편 C. G. Justus⁶⁾는 정해진 風力發電시스템에서 年間 生産할 수 있는 風力可用量을 Weibull 分布를 利用하여 算定하였으며, N. G. Butler⁷⁾와 D. L. Elliott⁸⁾는 여러장소에서의 기상측정소의 風速資料를 利用하여 넓은 지역에서의 風力可用量을 산출하였다.

이상과 같은 研究들은 주로 Weibull 分포함수에 주안을 두었기 때문에 風力을 特性化하는데 방대한 資料와 計算의 복잡성이 따르게 되므로 실제 사용시에는 해당 지역에 맞게 수정된 分布함수를 사용하는 추세에 있다.

本 研究에서는 國內 24개 측후소의 風速資料를 利用하여 구한 Weibull 係數들을 기본으로 하여 國內 風速特성에 適合한 수정된 Weibull 係數를 決定하였으며, 수정된 Weibull 係數와 48개 분실의 平均風速 資料를 利用하여 높이 10 m와

50 m에서의 地域別 理想 平均 風力密度와 國內의 年間理想 風力可用量을 算定하였다. 또한 始動風速 5m/sec, 定格風速 10m/sec, 종단풍속 30m/sec, 回轉子의 回轉面積이 1m²인 風力發電시스템 (WECS; Wind Energy Conversion System)을 地上 10 m와 50 m에 설치하였을 경우 地域別 實際 平均 風力密度와 시스템에서 生産할 수 있는 年間實際 風力可用量을 算定하였다.

II. 風速資料 및 風力發電시스템 特性 分析

바람은 순간적으로 速度 및 方向이 바뀌는 가변성을 가지고 있으며 이러한 가변성을 特性化하기 위해서는 통계적인 方法을 사용한다. 實際 測定된 風速資料를 利用하여 風速特성을 예측하기 위해서는 Weibull 分布, Gamma 分布, Rayleigh 分布, Chi 分布, Exponential 分布 등이 있으나⁹⁾ 이 중 Weibull 分布가 가장 適合한 것으로 알려져 있다.

Weibull 分布에서 확률밀도함수, P(V)는 다음과 같다.

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

여기서 V는 風速을 나타내며, C는 Scale parameter 로 風速의 平均값의 크기에 비례하는 常數이고 K는 Shape parameter 로 편차의 크기를 나타내는 常數이다. 또한 Weibull 分布에서 平均 風速, \bar{V} 는

$$\bar{V} = \int_0^{\infty} VP(V) dV \dots\dots\dots (2)$$

이다. 식(2)에서 $(V/C)^K = x$ 로 치환하여 정리하면

$$\bar{V} = C \Gamma \left(1 + \frac{1}{K}\right) \dots\dots\dots (3)$$

로 되며, 여기서 Γ 는 Gamma 함수이다. 풍속특성 분석에 자주 이용되는 Rayleigh 分布의 확률

밀도함수, P(V)는

$$P(V) = \frac{\pi V}{2V^2} \exp\left(-\frac{\pi V^2}{4V^2}\right) \dots\dots\dots (4)$$

이며, 이것은 Weibull 分布에서 K=2인 특별한 경우의 分布가 된다.

實際 測定된 風速資料를 이용하여 C, K 값을 구하기 위해서는 몇가지 방법이 있지만, (ln(-ln)) 최소자승법을 이용하여 C, K를 구하기 위해 누적 밀도함수, F(V)를 정리하면,

$$\ln[-\ln\{1-F(V)\}] = K \ln V - K \ln C \dots\dots(5)$$

로 되어 Y=AX+B의 형태가 된다. 여기서 ln[-ln{1-F(V)}]는 누적분포함수에 관한 항이며 lnV는 風速에 관한 항으로 표시된다. 식(5)를 사용하면 n개의 누적밀도함수와 風速資料에 대해 Weibull 係數 C와 K를 구할 수 있다.

이와같이 결정된 風速特性은 地面의 마찰 등으로 인하여 地面으로부터의 높이에 따라 변하게 되며, 이러한 변화는 Weibull 係數에 영향을 준다. 만일 風速測定場所 주위의 상태를 알지 못하고 대기의 안정성에 대한 정보가 없을 경우에는 Justus와 Mikhail¹⁰⁾에 의해 개발된 경험식을 이용하여 높이에 따른 Weibull 係數의 변화를 예측할 수 있다. 風速計 높이 Z_a에서 決定된 C_a와 K_a를 알고 있을 경우 높이 Z에 따른 C(Z)와 K(Z)의 변화는 다음과 같다.

$$K(Z) = K_a [1 - 0.088 \ln(Z_a/10)] / [1 - 0.088 \ln(Z/10)] \dots\dots\dots (6)$$

$$C(Z) = C_a (Z/Z_a)^\alpha \dots\dots\dots (7)$$

여기서 α는 다음과 같이 주어진다.

$$\alpha = (0.37 - 0.088 \ln C_a) / [1 - 0.088 \ln(Z_a/10)] \dots\dots\dots (8)$$

식(6), (7), (8)을 이용하면 地上으로부터의 높이 변화에 따른 Weibull 係數의 변화를 地域別로 구할 수 있다.

(Fig.1)에서 P_w는 바람으로부터 얻을 수 있

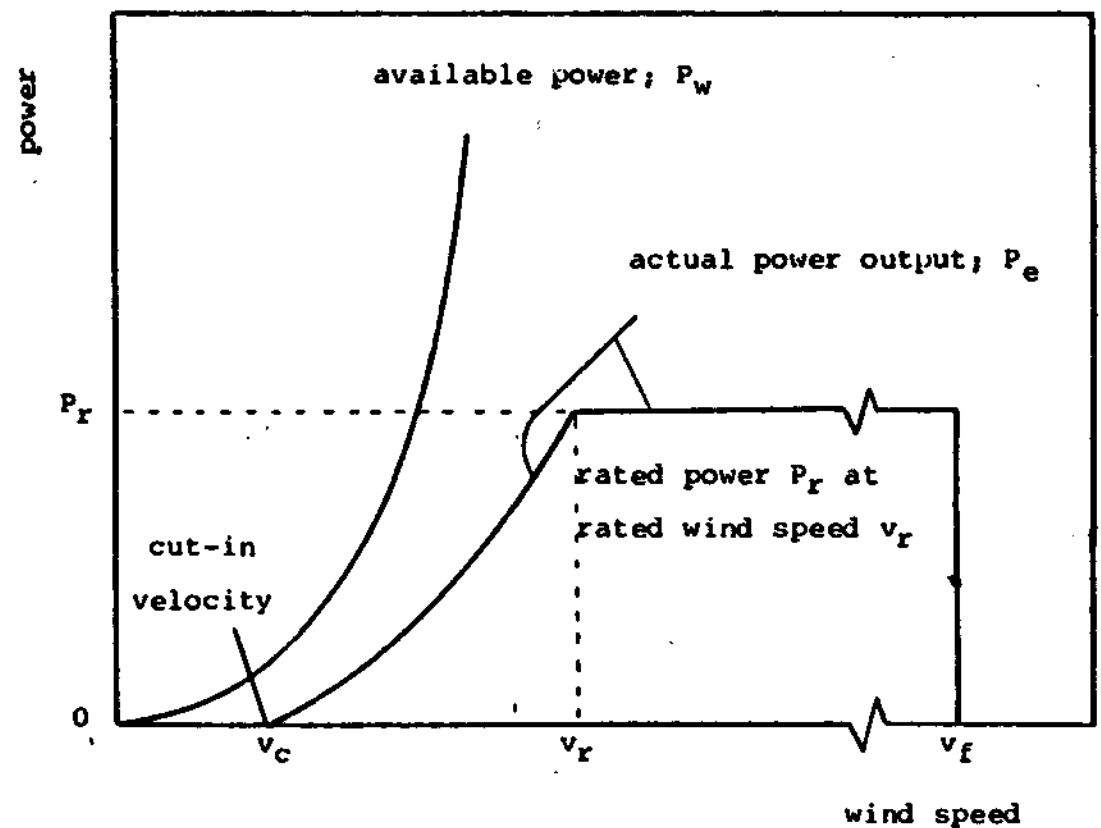


Fig. 1. Typical shape of the power output curve of WECS as compared to the available power in the wind.

는 風力에너지로서 P_w=½ρV³A로 표시되며 ρ와 A는 각각 공기의 밀도와 바람이 통과하는 면적을 나타낸다. 순수한 風力에너지는 風速 V의 3승에 비례하는 것으로 표시할 수 있으나 바람은 순간적으로 速度가 바뀌는 가변성을 갖고 있기 때문에 바람으로부터 얻을 수 있는 風力에너지 量은 쉽게 구할 수 없다. Weibull 分布를 이용하여 바람으로부터 얻을 수 있는 平均 風力에너지 量, P_{wa}를 구하면 다음과 같다.

$$P_{wa} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty V^3 P(V) dV \dots\dots\dots (9)$$

식(9)를식(4)에서와 같은 방법으로 정리하면

$$P_{wa} = \frac{1}{2} \rho A C^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right) \dots\dots\dots (10)$$

을 얻을 수 있다. 따라서 Weibull 分布를 이용하면 해당지역의 Scale parameter, C와 Shape parameter, K값을 이용하여 P_{wa}를 쉽게 구할 수 있다. 그러나 식(10)에서의 값은 바람의 平均 風力 에너지를 나타낸 것으로 실제 風力發電시스템에는 직접 適用할 수 없으며 해당지역의 理想 平均 風力密度를 제시하여 준다.

實際 風力發電시스템이 바람으로부터 動力을 얻기 위해서는 回轉子와 傳達裝置 그리고 發電機를 필요로 하게된다. 따라서 바람으로부터 얻을 수 있는 風力發電시스템의 電氣的인 에너지는 回轉子の 動力係數, C_p 와 傳達裝置의 效率, η_m 그리고 發電機의 效率, η_g 를 포함하게 된다. 이러한 效率들을 고려할 경우 시스템의 전기적인 에너지, P_e 는

$$P_e = C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot P_w \dots \dots \dots (11)$$

로 표시할 수 있다. 또한 實際 風力發電시스템은 시스템의 기계적인 마찰 및 손실이 있기 때문에 風速이 증가하여 回轉子에서 發生하는 토크가 이들을 극복할 때 回轉子が 回轉하게 되며 이때의 風速을 始動風速, V_c 라 한다. 이때부터 風速이 더욱 증가하면 시스템의 出力이 定格으로 되며 이때의 風速을 定格風速, V_r 이라 한다. 시스템의 出力이 定格으로 되면 그 이상의 風速에서는 시스템의 出力이 一定하게 유지되며 종단풍속, V_f 에서는 시스템의 安全을 위하여 運轉을 중단하게 된다. 이러한 사항을 고려하여 바람의 運動에너지로부터 風力發電시스템이 얻을 수 있는 平均電力에너지量, P_{ea} 를 구하면 다음과 같다.

$$P_{ea} = \frac{1}{2} \rho A \int_{V_c}^{V_r} C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV + \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g V_r^3 \int_{V_r}^{V_f} P(V) dV \dots \dots \dots (12)$$

식 (12)의 첫항에서 C_p 와 η_m, η_g 는 風速에 따라 변하는 값이지만 시동풍속, V_c 이상에서는 큰 변화가 없다고 가정하여 적분식 밖으로 빼내어 정리하면

$$P_{ea} = \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g \left\{ \int_{V_c}^{V_r} V^3 P(V) dV + V_r^3 \int_{V_r}^{V_f} P(V) dV \right\} \dots \dots \dots (13)$$

로 된다. 식 (13)에서 P_{ea} 는 해석적으로 결정할 수 없으며 수치적분을 통하여 값을 결정할 수 있다. 식 (13)에서의 값은 實際 風力發電시스템이 바람의 운동에너지로부터 얻을 수 있는 實際 平均 風力密度를 나타낸다.

Weibull分布를 이용하여 風力密度를 算定하기 위해서는 Weibull係數 C와 K를 지역별로 구해야 하며, 이러한 작업은 방대한 자료의 처리와 계산의 복잡성을 수반하게 된다. 이에 반해 Rayleigh分布를 이용할 경우에는 해당지역의 年間 平均風速만을 이용하여 쉽게 風力密度를 算定할 수 있다는 장점을 가지고 있으나 Weibull 分布에서 $K=2$ 로 고정한 分布이기 때문에 國內의 風速 特性分析에는 부적합하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 國內 24개 측후소의 風速 資料를 分析하여 구한 K값을 年間 平均風速에 대해 정리하여 年間 平均風速 변화에 따른 K값의 변화를 최소자승법으로 다음과 같이 선형화하였다.

$$K = 0.21\bar{V} + 0.84 \dots \dots \dots (14)$$

國內 48개 분실의 年間 平均風速에 대한 K값은 식 (14)를 이용하였으며 여기에서 결정된 K값을 이용한 Weibull分布를 사용하여 분실의 風力密度를 구하고, 風力可用量을 算定하였다.

III. 結果 및 檢討

現在 측후소에서 사용하는 風向風速計의 높이는 측후소의 주위 환경에 따라 각각 다르기 때문에 資料의 比較·分析은 동일한 높이로 환산하는 것이 바람직하다. 本 研究에서는 小型 風力發電 시스템의 설치높이에 적합하고 높이 변화에 따른 Weibull係數의 변화를 고려할 때 기본자료로 이용할 수 있도록 하기 위해서 지상 10m에 대하여 風速資料를 分析하였으며, 또한 大型 風力發電 시스템의 설치를 고려하여 지상 50m인 경우

에 대해서도分析하였다.

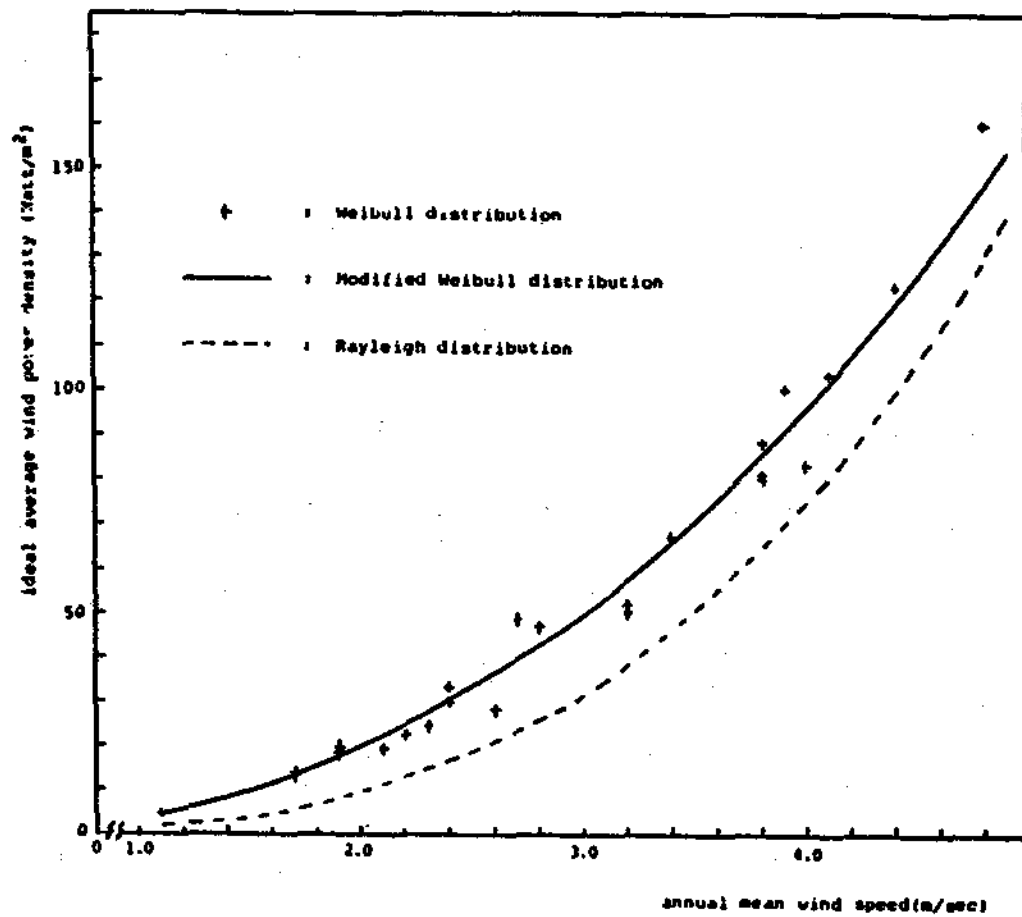


Fig. 2. Variation of ideal average with power density per unit swept area with annual means wind speed at 10 meter height

Fig.2 는 지상 10 m 높이에서 單位面積당 바람으로부터 얻을 수 있는 理想 平均 風力密度를 年間 平均風速에 대해 나타낸 그림이다. 실선으로 표시된 곡선은 국내 24개 측후소의 Shape parameter 를 年間 平均風速에 대해 정리하여 최소자승법으로 구한 $K = 0.21\bar{V} + 0.84$ 에 의해 年間 平均風速에 따라 수정된 K값을 갖는 Weibull分布를 사용하여 계산한 理想 平均 風力密度의 변화량을 나타낸 것이다. Fig.2에서 보는 바와 같이 Weibull分布의 Shape parameter의 영향은 理想 平均 風力 密度 算定에 중요한 역할을 하고 있으며 동일한 年間 平均風速을 갖더라도 K값에 따라 理想 平均 風力密度가 다르게 나타난다는 것을 보여준다.

Rayleigh分布를 사용할 경우의 理想 平均 風力密度는 Weibull分布를 이용한 값과 많은 차이를 나타낸다. 이러한 이유는 국내 측후소의 風速資料 分析에서 얻은 K의 값이 2를 초과하지 않는다는 것을 나타내는 것이며, 國內의 理想 平均 風力密度 산정시 Rayleigh分布가 適合하지 않는다는 것을 보여준다. 實際 Rayleigh分布는 年間

平均風速이 보통 5.0m/sec를 초과하는 장소에서 이용할 수 있으며 이때는 Weibull分布를 이용한 경우와 유사한 값을 얻을 수 있다. 이에 비해 年間 平均風速에 따라 K의 값을 수정한 Weibull分布를 사용할 경우의 곡선은 실제 Weibull分布를 사용한 값과 거의 근접된 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 또한 국내 내륙지방의 年間 平均風速은 2.0m/sec내외의 분포를 가지고 있으므로 수정된 K값을 갖는 Weibull分布를 사용할 경우 비교적 정확하게 국내의 理想 平均 風力密度를 算定할 수 있으며 국내 48개 분실의 年間 平均風速資料를 이용하여 수정된 K값을 구하여 理想 平均 風力密度를 決定할 수 있다는 것을 보여준다.

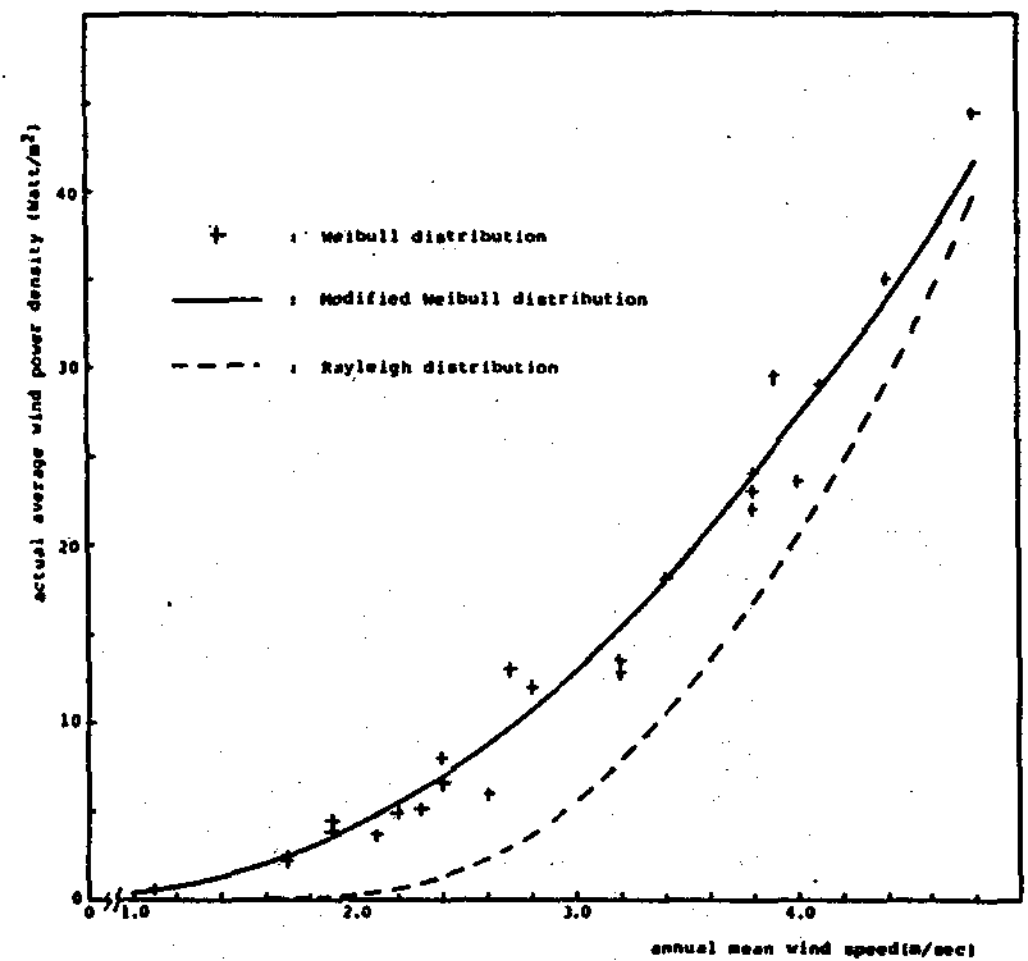


Fig. 3. Variation of actual average wind power density per unit swept area with annual mean wind speed at 10 meter height

Fig.3는 $V_c=5\text{m/sec}$, $V_r=10\text{m/sec}$, $V_f=30\text{m/sec}$, $C_p=0.45$, $\eta_m=0.95$ 그리고 $\eta_g=0.85$ 인 風力發電시스템¹¹⁾을 地上 10 m 높이에 설치하였을 경우 年間 平均風速에 따른 시스템 回轉子의 單位 回轉子 面積당 얻을 수 있는 實際 平均 風力密度를 나타낸 그림이다. 實際 平均 風力密度를 算定하기 위하여 단일기종의 시스템을 선택한 이유는 설치에 상지역에 따라 風速

特性이 다르기 때문에 이에 適合한 시스템을 선정하기 위해서는너무 많은 형태의 시스템이 고려되어야 하며, 이러한 경우 실제로 시스템을 운영할 수 없는 장소가 발생하므로 국내 전체의 風力可用量 算定에는 별 도움을 주지 못하기 때문이다.

年間 平均風速에 따른 實際 平均 風力密度의 변화는理想 平均 風力密度의 변화와 유사한 경향을 갖는다. 그러나 Rayleigh 分布를 사용할 경우 實際 平均 風力密度의 양이 年間 平均風速 1.6 m/sec 이하에서는 거의 0으로 나타나므로 Weibull 分布와 수정된 K값을 사용한 Weibull 分布에 의해 계산된 實際 平均 風力密度의 값과는 커다란 차이를 보여준다. 이러한 차이는 年間 平均風速이 5.0m/sec에 가깝게 될때까지 계속되며, Rayleigh 分布가 國內 風速特性에 적합하지 않다는 것과 수정된 K값을 갖는 Weibull 分布가 國內 風速特性에 적합하다는 것을 보여준다.

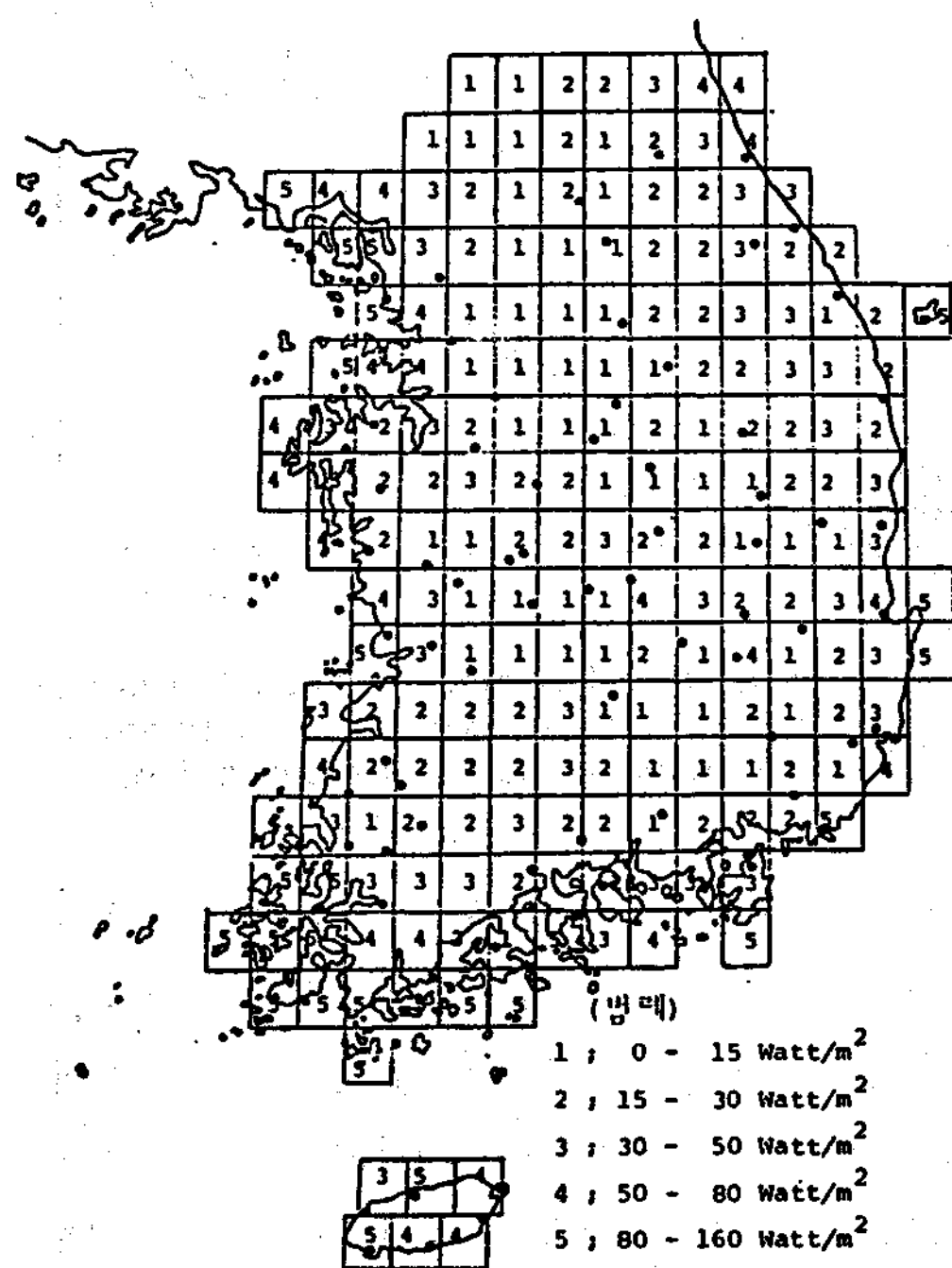


Fig. 4. Distribution of ideal average wind power density at 10 meter height.

Fig.4는 地上 10m에서의 理想 平均 風力密度의 분포를 나타내는 것으로 그림중 검은 점은 국내 24개 측후소와 48개 분실의 위치를 나타내고 있다. Fig.4에서 1방안의 크기는 가로 23 Km, 세로 28Km이며 전국을 206개 방안으로 구분하였다. 12) 理想 平均 風力密度의 등급은 0 ~ 15 watt/m², 15 ~ 30 watt/m², 30 ~ 50watt/m², 50 ~ 80watt/m², 80 ~ 160watt/m² 등의 5가지 등급으로 나누었으며 여기서 m²은 바람이 통과하는 單位面積을 나타낸다. 206개 방안의 등급을 決定하기 위해 먼저 24개 측후소의 자료를 Weibull 分布에 의해 分析하여 理想 平均 風力密度를 決定하고 해당방안에 해당 등급을 표시하였으며, 48개 분실에 대해서는 수정된 K값을 사용한 Weibull 分布를 이용하여 理想 平均 風力密度를 決定하여 해당방안에 해당등급을 표시하였다. 206개 방안중 측후소와 분실이 포함되지 않는 나머지 방안에 대해서는 풍속분포가 지형에 영향을 많이 받으며 인접지역일지라도 중간에 산악과 같은 장애물이 놓여있을 경우에는 많은 차이를 나타내기 때문에 국내의 지형을 0 ~ 500 m, 500 ~ 1000m, 1000m 등의 3 등급으로 나누어 이를 적용하여 해당등급을 결정하였다. 8)

Fig.5는 Fig.2에서 가정한 風力發電 시스템을 지상 10m에 설치하였을 경우의 實際 平均 風力密度의 분포를 나타내는 그림이다. 지상 10m 일 경우의 實際 平均 風力密度의 분포는 등급을 0 ~ 6 watt/m², 6 ~ 12watt/m², 12 ~ 20 watt/m², 20 ~ 40watt/m² 등의 4가지 등급으로 구분하고 Fig.4에서의 과정을 반복하여 수행하였다.

Fig.4와 Fig.5의 風力密度 분포도를 이용하여 國內의 理想 風力可用量과 實際 風力可用量을 산정하기 위해서는 다음과 같은 방법을 사용하였다. 13)

- ① 바람이 통과하는 면적 결정(回轉子の 回轉面積 決定)
- ② 통과면적의 지상 간격 결정(風力發電시스템의 설치 간격 결정)

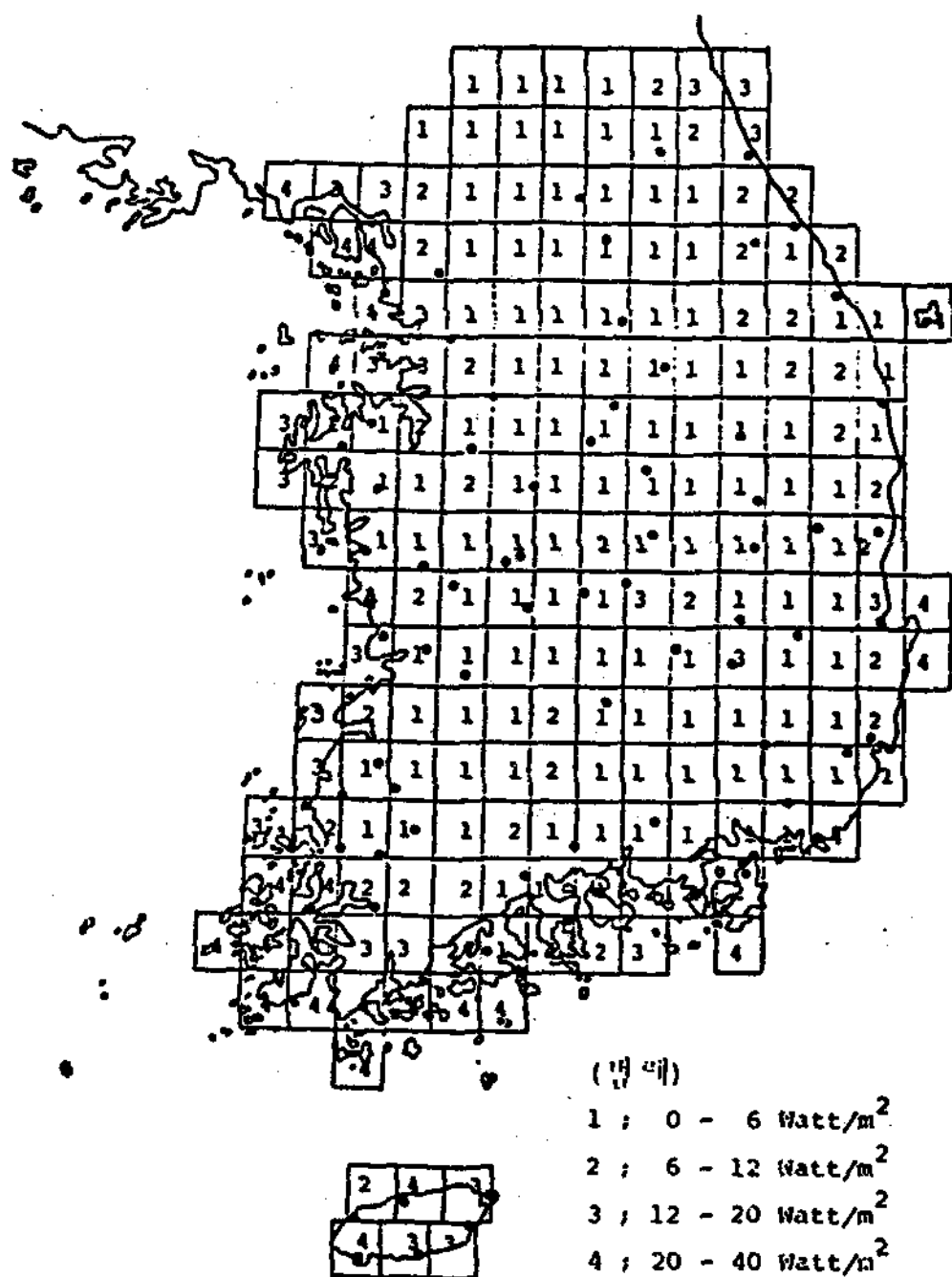


Fig. 5. Distribution of actual average wind power density at 10 meter height

- ③ 1방안에 생기는 통과면적의 갯수 결정 (1방안에 설치할 수 있는 風力發電시스템의 갯수 결정)
- ④ 등급별 갯수과악
- ⑤ 등급별 風力密度 결정
- ⑥ 등급별 年間 理想(實際)風力可用量 산정
- ⑦ ⑥의 등급별 風力可用量 합산

상기의 방법으로 지상 10m와 50m에서 바람이 통과하는면적이 1m²이고 통과면적의 지상간격이 0.1 km × 0.1km인 경우 國內의 年間 理想 風力可用량과 實際 風力可用量 계산 결과를 Table 1에 보였다.

구 분 높 이	이상풍력가용량	실제 풍력가용량
10 m	3.16 × 10 ⁹ kWh /Year	7.14 × 10 ⁸ kWh /Year
50 m	7.56 × 10 ⁹ kWh /Year	2.37 × 10 ⁹ kWh /Year

Table.1. Estimation of annual wind potential at 10meter and 50meter height.

IV. 結 論

本 研究를 통하여 얻은 結論은 다음과 같다.

1. Rayleigh 分布는 國內의 風力資料 分析에 不適合하며 수정된 $K(K = 0.21\bar{V} + 0.84)$ 를 갖는 Weibull 分布를 사용하는 것이 適合하다.

2. 國內의 風力發電시스템의 초기 설계제원을 구하고, 시스템의 特性을 예측 분석 하는데에는 수정된 Weibull 分布를 사용하여 구한 地域別 風力密度를 응용할 수 있다.

3. 國內의 理想 風力可用량은 地上으로부터 높이가 10m인 경우 3.16 × 10⁹ kWh/m²·Year, 높이 50m인 경우 7.56 × 10⁹ kWh/m²·Year로 算定되며, 風力可用량은 地上으로부터의 높이 변화에 따라 민감하게 변한다는 것을 알 수 있다.

4. 地上으로부터의 높이가 10m인 곳에 風力發電시스템을 설치하였을 경우 시스템으로부터 얻을 수 있는 實際 風力可用량은 7.14 × 10⁸ kWh/m²·Year로 算定되며, 地上 50m인 경우에는 2.37 × 10⁹ kWh/m²·Year로 算定된다.

References

1. G.J. Bowden, P.R. Barker, V.O. Shestopal and J.W. Twidell, "The Weibull Distribution Function and Wind Power Statistics", Wind Engineering, Vol. 7, No. 2, 1983.

2. M.J.M. Stevens and P.T. Smulders, "The Estimation of the Parameters of the Weibull Wind Speed Distribution for Wind Energy Utilization Purposes", Wind Engineering Vol. 3, No. 2, 1979.
3. A.S. Mikhail and C.G. Justus, "Comparison of Height Extrapolation Models and Sensitivity Analysis", Wind Engineering Vol. 5, No. 2, 1981.
4. J. Haslett and E. Kelledy, "A Note on the Use of the Models in the Estimation of Wind Power Availability", Wind Engineering Vol. 5, No. 1, 1981.
5. G.L. Jhonson, "Economic Design of Wind Electric System", IEEE. Tr. Power Apparatus and System, Vol. PAS-97, No. 2, pp. 554-562, 1978.
6. C.G. Justus, W.R. Hargraves and Ali Yalcin, "Nationwide Assessment of Potential Output from Wind-Powered Generators", Journal of Applied Meteorology Vol. 15, No. 7, July, 1976.
7. N.G. Butler and E.W. Hewson, "Wind Power Potential in the Pacific Northwest", Journal of Applied Meteorology Vol.17, 1978.
8. D.L. Elliott, et al, "Wind Energy Resource Atlas: Volume 1 - The Northwest Region", Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington, April, 1980.
9. L.V. Auwera, et al, "The Use of the Weibull Three Parameter Model for Estimating Mean Wind Power Densities", Journal of Applied Meteorology, Vol. 19, pp. 819-825, 1980.
10. C.G. Justus, "Winds and Wind System Performance", The Franklin Institute Press, Philadelphia, Pennsylvania, 1978.
11. 이철형, 신동열, "풍속자료 분석에 의한 풍력발전시스템 최적설계," 태양에너지 제 4권 2호, 1984.
12. 국토지리원, "신판 1:50,000 기본도 지도첩".
13. 조명제, 신동열, 이철형, 유상진, 박경호, 김건훈, "풍력발전기술개발Ⅲ", KE 84-3, 연구보고서, 한국동력자원연구소, 1984.