

風速資料 分析에 의한 風力發電시스템 最適 設計

Optimum Design of a Wind Power Generation System through Analysis of Wind Data.

이 철 형* 신 동 열*
(Lee, Chul Hyung) (Shin, Dong Ryul)

ABSTRACT

In this paper, how to design the wind power generation system is presented. It is shown that the wind system optimization can be achieved by consideration of the four factors; wind statistics, efficiency of conversion of wind energy to electrical energy, average annual energy extracted and load factor.

The wind is characterized by a Weibull probability function. The Weibull parameter is calculated for the characterizing wind and the primary design specification of ten different sites.

Some graphs are presented, which can be used to design a wind system for maximum output of a specified load factor at given site.

Two different systems, $V_C = 0.4 V_R$ and $V_C = 0.5 V_R$ are discussed, as samples, for investigation of the effects on the system through the variation of cut-in speed.

記 號

A ; 回轉子の 回轉面積(m^2)
C ; Weibull 분포의 Scale parameter
C_p ; 回轉子の 動力係數
D_R ; 回轉子の 直徑 (m)
E_A ; 風力發電 시스템의 年間 에너지 生産量 (KwH)
F(V) ; 누적분포함수
H ; 地上으로부터의 높이(m)
K ; Weibull 분포의 Shape parameter
L_f ; 風力發電 시스템의 부하계수
P_R ; 風力發電 시스템의 出力 (Kw)

P_B ; Betz 回轉子の 出力 (Kw)
P_e ; 風力發電 시스템의 電力에너지
P_w ; 바람의 運動에너지 (Kw)
P_{ea} ; 風力發電 시스템의 平均電力에너지(Kw)
P_{wa} ; 바람의 平均 운동에너지 (Kw)
P(V) ; 확률밀도함수
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} ; 平均風速(m/sec)
W ; 回轉子の 回轉單位面積당 平均電力에너지 양 (W/m^2)

* 正會員 : 韓國動力資源研究所

- W_f ; 風力에너지 係數
- ρ ; 空氣의 密度(= 1.225 kg/m³)
- Γ ; 감마함수
- η_g ; 發電機의 效率
- η_m ; 전달장치의 效率

I. 序 論

風力發電시스템의 設計는 回轉子, 發電機 부분에서 현저하게 發展하였으며 최근 航空産業의 發達로 인해 空氣力學 理論 및 프로펠라 設計理論을 도입하여 신뢰성 있는 設計를 시도하고 있다.¹⁾ 정해진 定格風速을 갖는 回轉子の 設計는 앞서 언급한 方法으로 遂行 될 수 있으나 定格風速의 결정은 설치 예정지역의 風速分布에 따라 변하기 때문에 신뢰성 있는 風力發電시스템의 設計를 위해서 風速 資料의 分析이 필요하게 된다. 그러나 실제의 風速 측정은 일정한 시간을 두고 측정되는 平均風速資料에 불과하므로 실제 설계에 필요한 풍속분포를 구하기 위해서는 통계적 방법을 사용하여야 한다. 이와같이 측정된 風速資料를 이용하여 風速特性을 決定하기 위해서 많은 선행 연구가 있었다. C. G. Justus²⁾는 風力 設計에 필요한 風速分布가 Weibull 확률분포함수에 따른다는 것을 實證하였으며, L. Vander Auwera³⁾은 風速分布解析에 Weibull three parameter model을 제의하였다. 한편 G. L. Jhonson⁴⁾은 風力發電시스템의 경제적 設計方法으로서 Weibull 分布함수를 사용하여 시스템의 定格風速을 決定하는 方法을 제시하였다.

本 研究에서는 風力發電시스템의 最適設計를 위하여 Weibull 分布를 사용하여 風速特性을 決定하는 方法을 정리하고, 風速特性과 風力發電시스템特性을 상호 연관지어 最適화된 시스템의 定格風速 및 초기 設計諸元 決定方法을 정립하였으며, 이의 응용으로 국내 각지방의 설계제

원을 계산하고, 특히 시동풍속이 風力發電시스템 特性에 미치는 상호 연관성을 논의하여 시스템 最適화를 입증하였다.

II. 風速資料 分析

바람은 시간에 따라 순간적으로 速度 및 方向이 바뀌는 가변적인 에너지원이며, 이러한 가변성을 特性化하는 데는 몇가지 方法이 있다. 實際 測定된 風速資料를 利用하여 風速特性을 예측하기 위해서는 통계적인 方法이 사용된다. 어떤 지역의 風速分布를 표시하는 方法에는 Weibull 分布, Gamma 分布, Rayleigh 分布, Log-Normal 分布 등을 사용하고 있으나, 이 중 Weibull 分布가 가장 적합한 것으로 알려져 있다.

Weibull 分布에서 확률밀도함수 (Probability density function), $P(V)$ 는 다음과 같다.⁵⁾

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

여기서 V 는 風速을 나타내며 C 는 Scale parameter로 風速分布의 平均값의 크기에 비례하는 常數이고 K 는 Shape parameter로 편차의 크기를 나타내는 常數이다.

實際 測定된 風速資料를 利用하여 C, K 값을 구하기 위해서는 누적분포함수 (Cumulative density function), $F(V)$ 를 사용해야 하며, $F(V)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

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

식(2)를 정리하여 양변에 \ln 을 두번 취하면

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

로 되어 $Y = AX + B$ 의 형태가 된다. 그러므로 식(3)에서

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

로 된다. 여기서 Y는 누적분포함수에 관한 항이며 X는 풍속에 관한 항으로 표시된다. n개의 (X, Y)자료, 즉 n개의 누적밀도함수와 풍속의 자료에 대해 최소자승법(Least square method)를 사용하여 A와 B를 구하면 다음과 같다.

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

예로써 임의지역의 風速資料를 월별, 계급별로 누적시켜 (Table 1)과 같이 정리하면 1월의 경우 (0.5, 0.25), (1.5, 0.55), (2.5, 0.87), ..., (14.5, 1)과 같이 풍속과 누적분포의 쌍인 (V, F(V))를 얻을 수 있다. 식(4)와 식(5)를 이용하여 월별로 C와 K의 값을 구하여 평균값을 구하면 그 지역의 확률밀도함수, P(V)를 구할 수 있다.

Table 1. Percent of Time Wind is in the given Wind Speed Range in Meter

풍속 월	0.5	1.5	2.5	.....	14.5		
1	25	55	87	.....	100	F(V)	C ₁ , K ₁
2	.	.	.	.....	.	F(V)	C ₂ , K ₂
.
.
12						F(V)	C ₁₂ , K ₁₂
						평균	C, K

III. 風力發電 시스템의 特性解析

風力發電 시스템이 바람으로 부터 動力을 얻기 위해서는 回轉子를 必要로 하며, 回轉子에서 發生되는 機械的인 에너지의 量은 回轉子의 動力係數, C_p에 좌우된다. A·Betz는 理想的인 回轉子일 경우 回轉子에서 얻을 수 있는 動力이 風力에너지의 59.3%⁶⁾임을 밝혔다. 그러나 실제 回轉子는 이보다 낮은 값을 가지며 風力發電 시스템의 回轉子로 사용하기 적합한 프로펠라형 高速 回轉子의 경우 40~50%의 값을 가지며 다른 형태의 回轉子일 경우에는 이보다 낮은 값을 갖는다. 따라서 실제 風力發電用 回轉子의 動力係數의 값은 0.4~0.5에서 決定된다.

風力發電시스템이 風力에너지로 부터 얻을 수 있는 電氣的인 에너지는 回轉子의 動力係數 뿐만 아니라 回轉子에서 發生하는 機械的인 에너지를 전달하여 주는 전달장치의 效率, η_m과 發電機의 效率, η_g를 포함하게 된다. 따라서 바람으로 부터 얻을 수 있는 風力發電 시스템의 電氣的인 에너지, P_e는

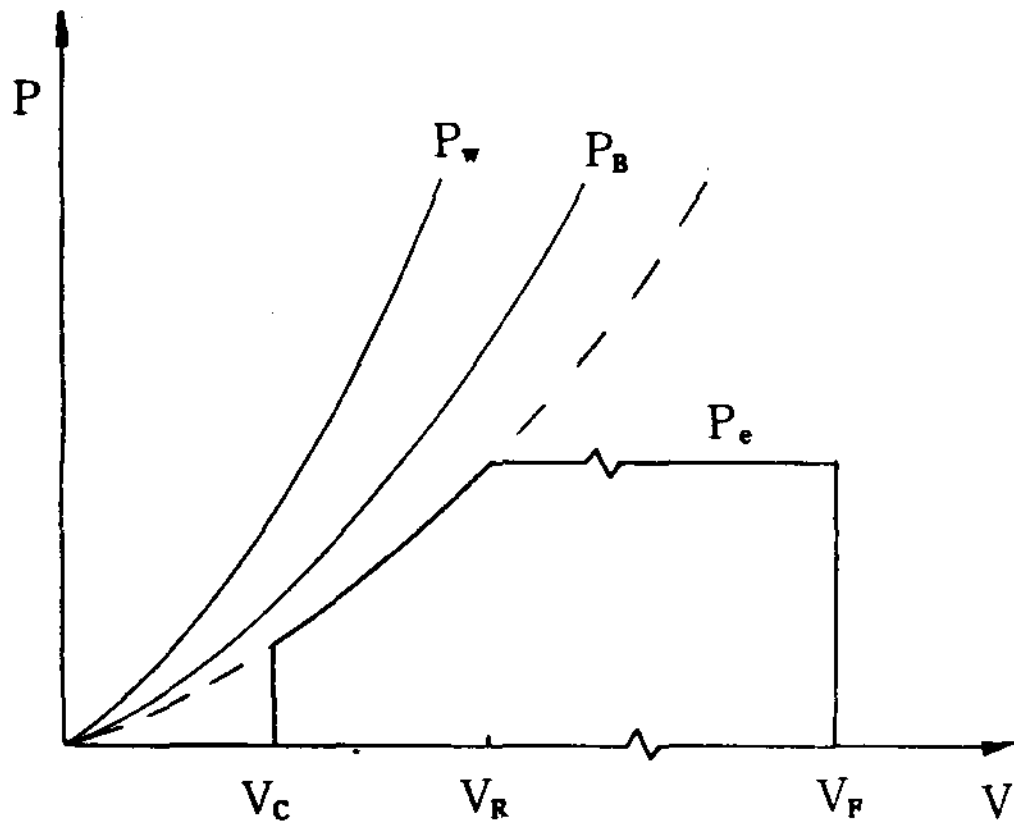
$$P_e = C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot P_w \dots\dots\dots (6)$$

로 표시할 수 있다. 여기서 P_w는 바람으로부터 얻을 수 있는 운동에너지이며 다음과 같이 표시된다.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \dots\dots\dots (7)$$

(Fig.1)은 풍속변화에 따른 출력, P의 변화를 나타낸 것이다. 순수한 風力에너지는 풍속의 3승에 비례하는 곡선으로 P_w로 표시된다. 또한 이상적인 回轉子인 Betz의 回轉子에서 發生되는 에너지, P_B의 곡선도 P_w에 0.593을 곱한 것으로 표시된다. 그러나 實際, 風力發電

Fig.1. Variation of Power with Wind Speed



시스템에서는 시스템의 機械的인 마찰 및 손실이 있기 때문에 風速이 증가하여 回轉子에서 發生하는 토크가 이들을 극복할 때 回轉子가 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은 一定하게 유지되며 종단풍속, V_F 에서는 시스템의 安全을 고려하여 運轉을 중단하게 된다.

앞에서 언급한 바와같이 바람은 순간적으로 特性이 변하므로 바람으로 부터 얻을 수 있는 에너지는 쉽게 구할 수 없다. Weibull分布를 이용하여 바람으로 부터 얻을 수 있는 평균에너지양, P_{wa} 를 구하면 다음과 같다.

$$P_{wa} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^{\infty} V^3 P(V) dV \dots \dots \dots (8)$$

식(8)을 정리하면

$$P_{wa} = \frac{1}{2} \rho A C^3 \Gamma(1 + \frac{3}{K}) \dots \dots \dots (9)$$

를 얻을 수 있으며, 여기서 Γ 는 Gamma함수이다. 따라서 해당지역의 Scale parameter, C와 Shape parameter, K값만 알면 P_{wa} 를 쉽

게 구할 수 있다. 그러나 이 값은 바람의 평균 운동에너지양을 나타낸 것으로 실제 風力發電 시스템에는 적용할 수 없으며 해당지역의 風力可用量만을 제시해 줄 뿐이다. 실제 風力發電 시스템에서는 始動風速, V_c 와 定格風速, V_R 이 존재하고 回轉子, 전달장치 및 發電機 등이 있으므로 이들의 效率를 고려하여 바람의 運動에너지로부터 얻을 수 있는 平均電力에너지양, P_{ea} 를 구하면 다음과 같다.

$$P_{ea} = \frac{1}{2} \rho A \int_{V_c}^{V_R} C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV + \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g V_R^3 \int_{V_R}^{\infty} P(V) dV \dots (10)$$

식(10)의 첫항에서 C_p, η_m, η_g 는 風速에 따라 변하는 값이지만 V_c 이상에서 큰 변화가 없으므로 積分式 밖으로 빼내어 정리할 수 있다. 따라서 식(10)은

$$P_{ea} = \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g (\int_{V_c}^{V_R} V^3 P(V) dV + V_R^3 \int_{V_R}^{\infty} P(V) dV) = \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g (S_1 + S_2) \dots \dots \dots (11)$$

로 바꿀 수 있다. 식(11)에서 나중항인 S_2 의 값은 다음과 같이 해석적으로 구해지며, S_1 은 구간 적분으로 구할 수 있다.

$$S_2 = C^3 (\frac{V_R}{C})^3 \cdot \text{EXP}(-(\frac{V_R}{C})^K) \dots (12)$$

風力發電 시스템을 設計하기 위해서는 두가지 고려사항이 있다. 그 하나는 風力發電 시스템으로 부터 얻을 수 있는 平均電力에너지양이고 다른 하나는 부하측에 電力을 공급할 때 필요한 부하량 산정이다. 平均電力에너지양과 부하량은 지역별로 전부 다른 값을 가지며 해당지방의 風速

分布와 밀접한 관계가 있다. 平均電力에너지양은 시스템의 始動風速 및 定格風速에 따라 동일한 지역일지라도 변하게 된다. 平均電力에너지양을 최대로 하기 위한 定格風速을 決定하기 위해서 다음과 같은 풍력에너지 계수, W_f 를 정의하여 사용하기로 한다.

$$W_f = \frac{S_1 + S_2}{C^3} \dots\dots\dots (14)$$

W_f 의 값은 지역별로 전부 다른 값을 가지며 始動風速 및 定格風速의 영향을 많이 받는다. 식 (14)를 이용하여 어떤 지역의 W_f 값을 구하면 W_f 값이 최대로 되는 정격풍속을 결정할 수 있다. 이때의 定格風速은 回轉子의 回轉單位面積당 얻을 수 있는 平均電力에너지양을 최대로 하여주는 定格風速이다.

風力發電 시스템의 回轉子의 回轉單位面積당 發生하는 平均電力에너지양, W 는 다음과 같다.

$$W = 2 \rho A C_p \eta_m \eta_g W_f C^3 / \pi D_R^2 \dots\dots\dots (15)$$

이다. 여기서 D_R 은 회전자의 직경을 나타내므로 식 (15)는 다음과 같이 정리된다.

$$W = \frac{1}{2} \rho C_p \eta_m \eta_g W_f C^3 \dots\dots\dots (16)$$

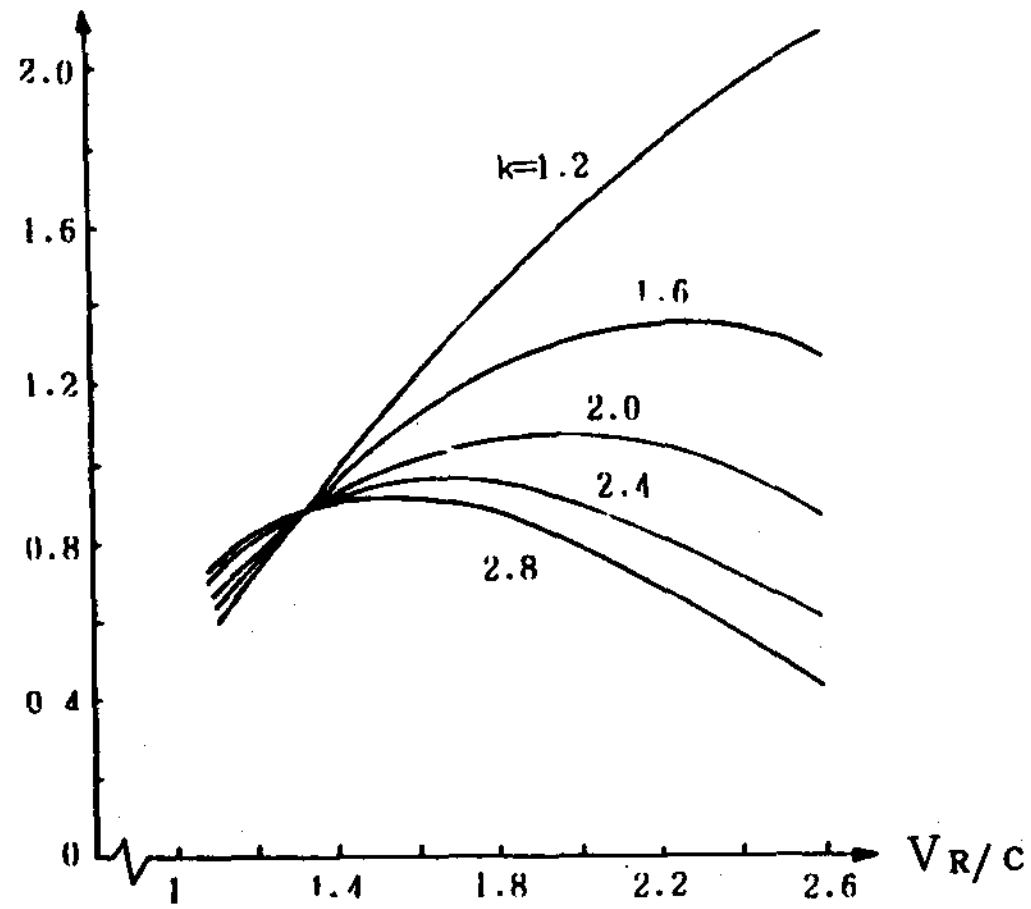
또한 회전자의 직경, D_R 은 다음과 같이 결정된다.

$$D_R = \sqrt{\frac{8 P_R}{C_p \eta_m \eta_g \rho \pi V_R^3}} \dots\dots\dots (17)$$

여기서 P_R 는 風力發電 시스템의 定格用量을 나타낸다.

(Fig.2)는 $V_c = 0.5 V_R$ 로 설계한 風力發電 시스템에서 K 값의 변화에 따른 W_f 와 V_R/c 과의 관계를 나타낸 그림이다. (Fig.2)에서 $K = 2.8$ 인 지역에 대해 風力發電 시스템을 設計한

Fig.2. Wind Energy Factor for a Cut-in Speed of 1/2 the Rated Speed.



다면 回轉子의 回轉單位面積당 얻을 수 있는 에너지는 $V_R/c = 1.5$ 일때 최대가 된다. 또한 $C \cong 1.12 V$ 이므로 시스템의 定格風速은 平均風速의 약 1.7배가 된다. W_f 의 값은 K 값이 낮아질수록 증가하며 V_R/c 이 큰 곳에서 최대값을 갖는다. 만일 $K = 1.2$ 인 지역이라면 W_f 의 값은 $V_R/c = 3.4$ 일때 2.27로 최대가 된다. 이때 定格風速은 平均風速의 약 3.8배가 된다.

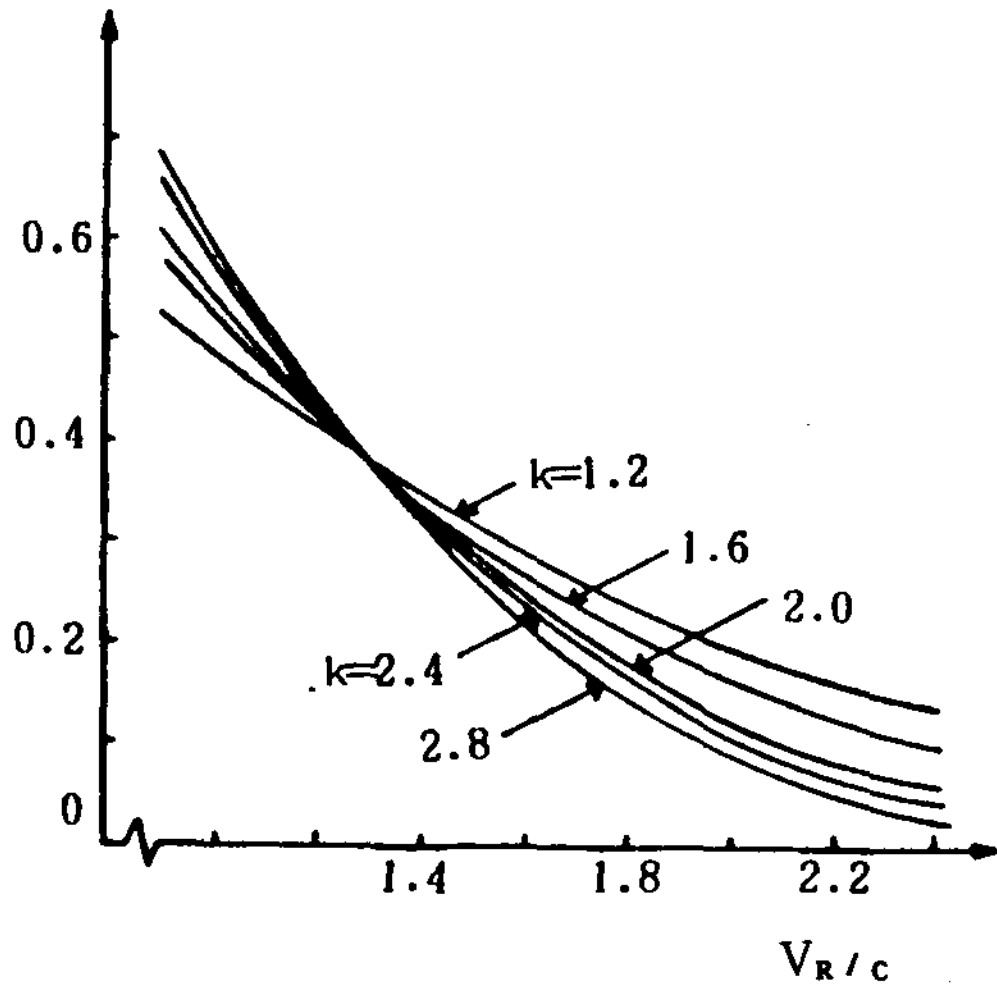
시스템의 부하량 산정을 위해서는 다음과 같이 정의되는 부하계수, L_f 를 고려하여야 한다.

$$L_f = \frac{\text{평균전력 에너지양}}{\text{시스템의 정격출력량}} = \frac{S_1 + S_2}{V_R^3} \dots\dots\dots (18)$$

부하계수, L_f 도 W_f 와 마찬가지로 지역마다 다른 값을 가지며 시스템의 始動風速과 定格風速의 변화에 따라 값이 변하게 된다.

(Fig.3)은 $V_c = 0.5 V_R$ 로 설계한 風力發電 시스템에서 K 값의 변화에 따른 L_f 와 V_R/c 과의 관계를 나타낸 그림이다. (Fig.3)에서 V_R/c 의 증가에 따라 L_f 가 감소하는 것은 定格風速이 증가할 때 平均電力 에너지양, $S_1 + S_2$ 의 증

Fig.3. Load Factor versus V_R/c for a Cut-in Speed of $\frac{1}{2}$ the Rated Speed.



가량이 V_R^3 의 증가량에 비해 작기 때문이다. 風力發電 시스템이 기존전력망에 연계되어 사용된다면 부하계수는 중요하지 않지만 風力發電 시스템에서 生産된 電力이 單位電源用이나 직접 양수 등에 사용된다면 부하계수는 매우 중요하게 되며 시스템의 定格出力은 부하량에 의해 決定된다.

N. 結果 및 檢討

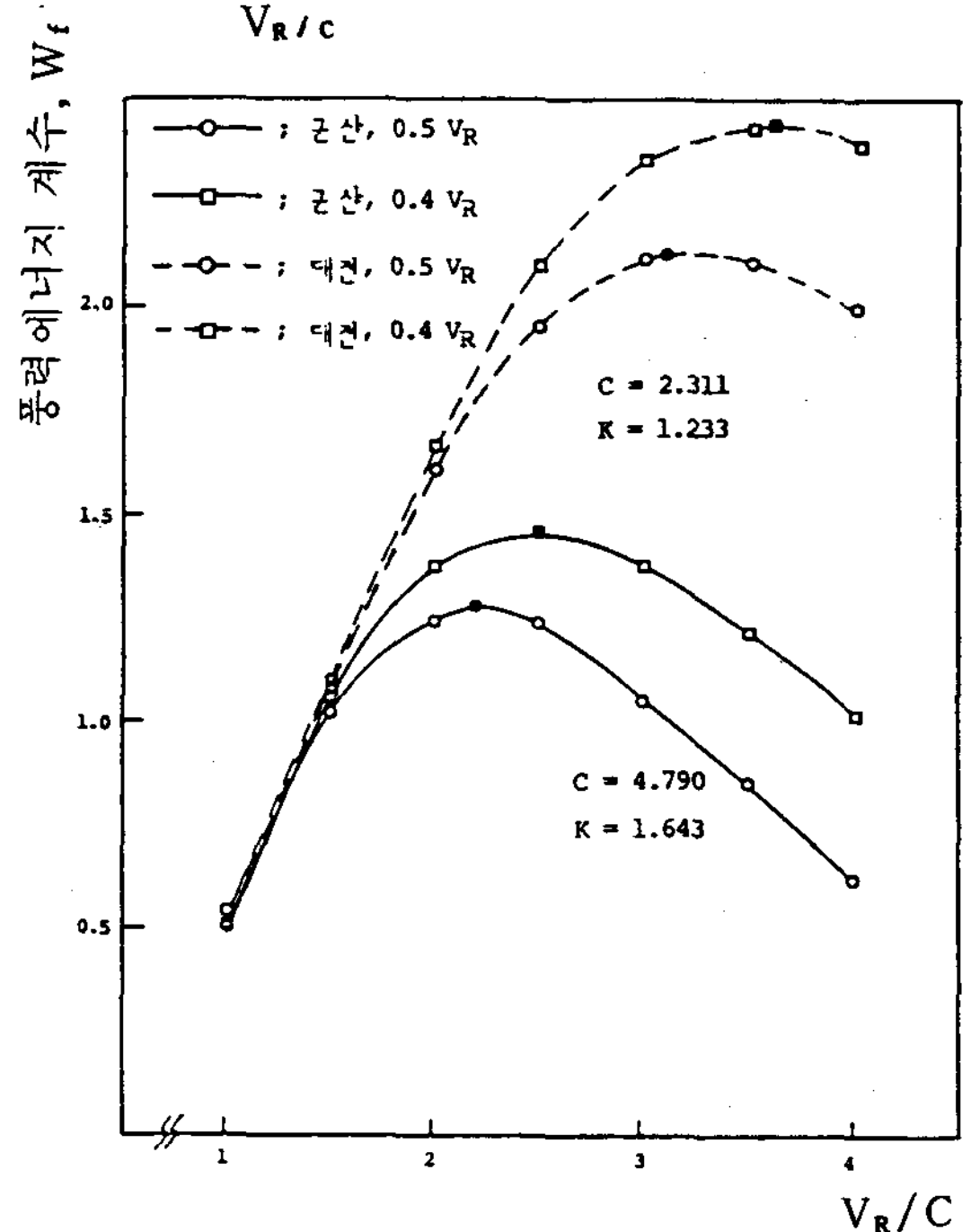
風速은 地面의 마찰로 인해 지면으로 부터의 높이에 따라 변하게 되며 이러한 변화는 Weibull 係數에 영향을 준다. 높이에 따른 Scale parameter, C 의 변화는

$$\frac{C}{C_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^n \dots\dots\dots (19)$$

으로 표시된다.²⁾ 여기서 첨자 “0”은 측정 장소에서의 상태를 나타내고 n 은 지면의 형태 및 측정장소의 장애물의 상태 등에 따라 변하는 값이다. 주위에 장애물이 거의 없을때 $n=0.17$ 이고 10~15 m정도의 나무와 같은 장애물이 있을때 $n=0.28$ 로 주어진다.

現在 측후소에서 사용하는 風向風速計의 높이는 각각 다르기 때문에 資料의 分析·比較는 동일한 높이로 환산하여 수행하는 것이 바람직하여 본 研究에서는 小型 風力發電 시스템 設置높이에 적합한 地上 12 m로 하였으며 식 (19)에서 n 의 값은 장애물이 적당히 있다고 판단하여 $n=0.23$ 으로 하였다. 또한 각 지역별 平均電力 에너지양을 산정하기 위해 定格出力 5kw, $C_p=0.4$, $\eta_m=0.95$, $\eta_g=0.85$ 인 風力發電 시스템을 모델로 하였으며 始動風速의 변화가 시스템의 特性에 미치는 영향을 고찰하기 위해 $V_c=0.4V_R$, $V_c=0.5V_R$ 인 두가지 시스템을 대상으로 시스템 特性의 변화를 살펴보았다.

Fig.4. Variation of Wind Factor With V_R/c

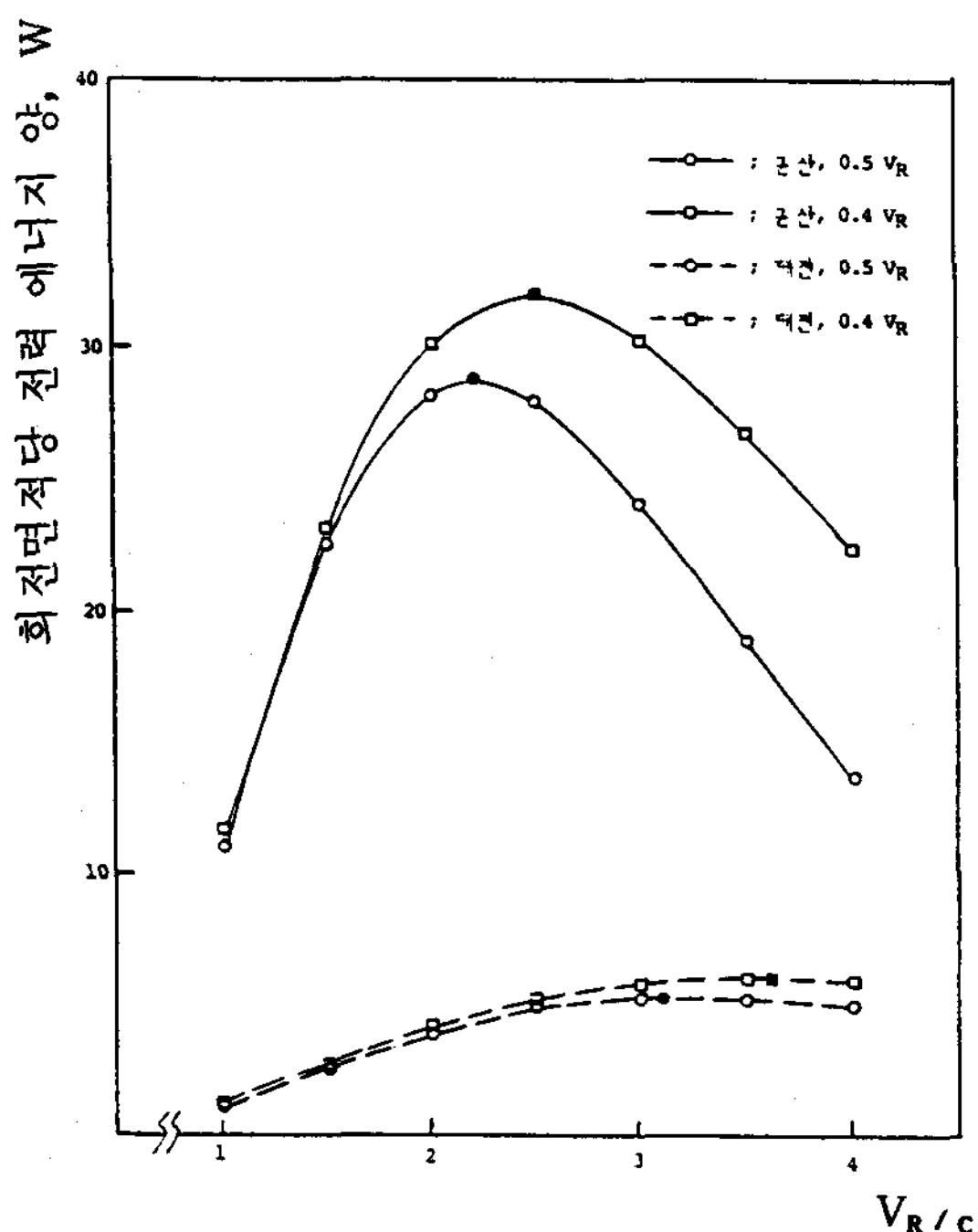


(Fig.4)는 대표적인 해안지방의 風速分布를 나타내는 군산지방과 내륙지방의 風速分布를 나타내는 대전지방을 대상으로 하여 V_R/c 변화에 따른 풍력에너지 계수의 변화를 나타내는 그림이다. 또한 시동풍속에 의한 영향을 살펴보기 위해 동일한 지방에 대해 $V_c=0.4V_R$, $V_c=0.5$

V_R 로 가정하여 시스템 특성의 변화를 고찰하였다. 군산지방의 Weibull 계수는 $C = 4.790$, $K = 1.643$ 이고 대전지방의 Weibull 계수는 $C = 2.311$, $K = 1.233$ 이다. (Fig.4)에서 검게 칠한 부분이 풍력에너지 계수가 최대가 되는 지점으로 군산지방의 경우 $V_c = 0.4V_R$ 일때 풍력에너지 계수의 값은 $V_R/c = 2.5$ 일때 1.459로 최대가 되며 $V_c = 0.5V_R$ 일때 $V_R/c = 2.2$ 에서 1.315로 최대가 된다. 결국 시동풍속, V_c 는 풍력에너지 계수가 최대가 되는 V_R/c 을 변화하게 하므로 시스템의 정격풍속, V_R 을 변화시키게 된다. 이러한 현상은 대전지방일 경우 풍력에너지 계수의 값은 $V_c = 0.4V_R$ 일때 $V_R/c = 3.6$ 에서 2.440으로 최대가 되며, $V_c = 0.5V_R$ 일때는 $V_R/c = 3.1$ 에서 2.143으로 최대가 된다.

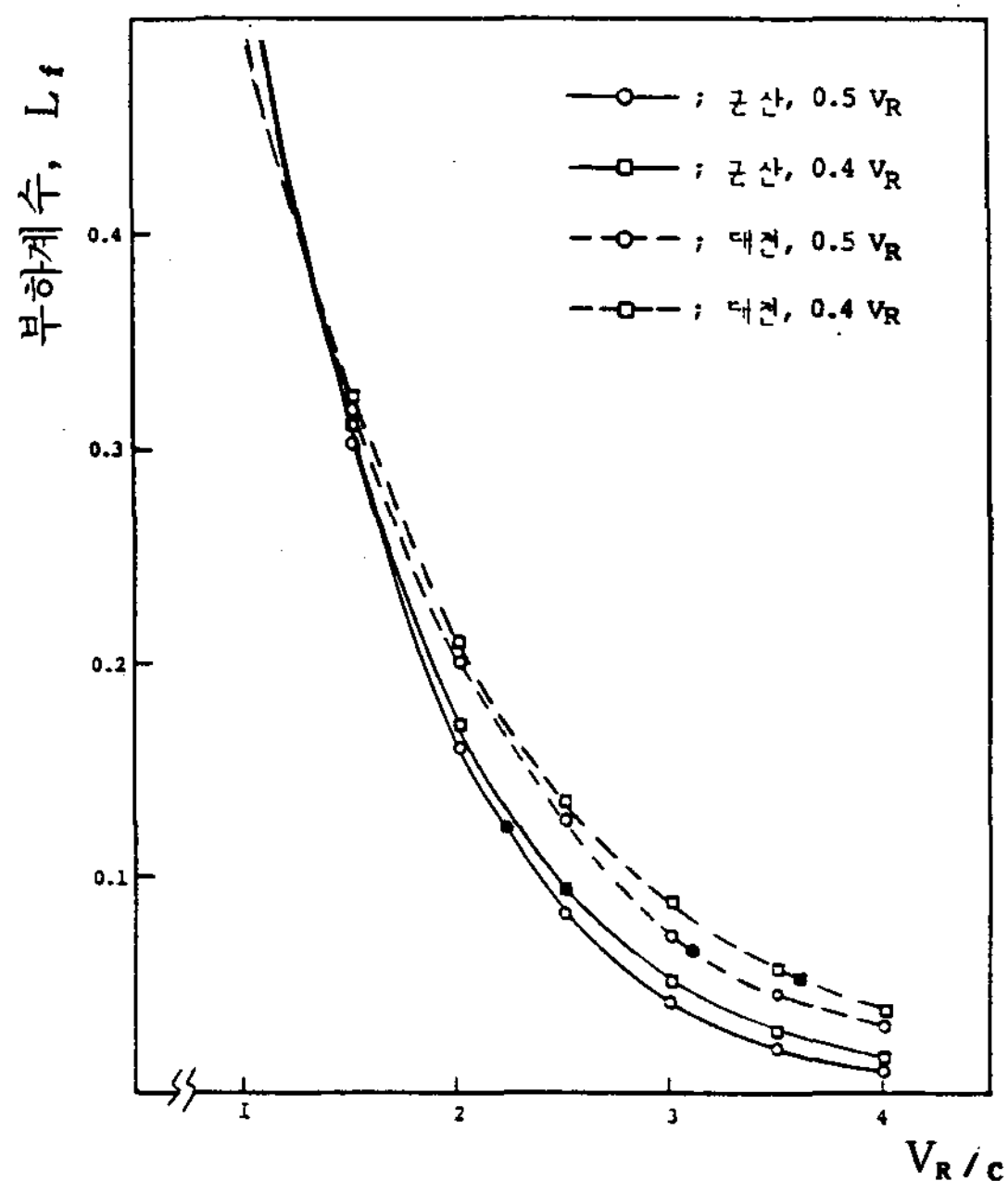
군산지방에 비해 대전지방의 풍력에너지 계수의 값이 큰 이유는 대전지방의 년평균풍속이 군산지방에 비해 작기 때문이다.

Fig.5. Variation of Electrical Energy Output per Unit Swept Area of the Roter with V_R/c



(Fig.5)는 V_R/c 변화에 따른 회轉子의 회轉單位面積당 平均電力에너지양, W 의 변화를 나타낸 그림이다. 군산지방의 경우 平均電力에너지양은 $V_c = 0.4V_R$ 인 시스템에서는 $V_R/c = 2.5$ 에서 31.95 Watt로 최대가 되며, $V_c = 0.5V_R$ 인 시스템에서는 $V_R/c = 2.1$ 에서 28.78 watt로 최대가 된다. 따라서 平均電力에너지양은 $V_c = 0.4V_R$ 인 시스템이 $V_c = 0.5V_R$ 인 시스템에 비해 11% 증가하게 된다. 대전지방의 경우 平均電力에너지양은 $V_c = 0.4V_R$ 인 시스템에서는 $V_R/c = 3.6$ 에서 6.0watt로 최대가 되며, $V_c = 0.5V_R$ 인 시스템에서는 $V_R/c = 2.1$ 에서 5.27watt로 최대가 된다. 따라서 平均電力에너지양은 $V_c = 0.4V_R$ 인 시스템이 $V_c = 0.5V_R$ 인 시스템에 비해 13.8% 증가하게 된다. 군산지방에서의 平均電力에너지양이 대전지방에 비해 월등히 높은 이유는 군산지방에 적합한 회전자는 정격풍속이 높기 때문에 회전자의 회전면적이 대전지방의 회전자 회전면적에 비해 작기 때문이다.

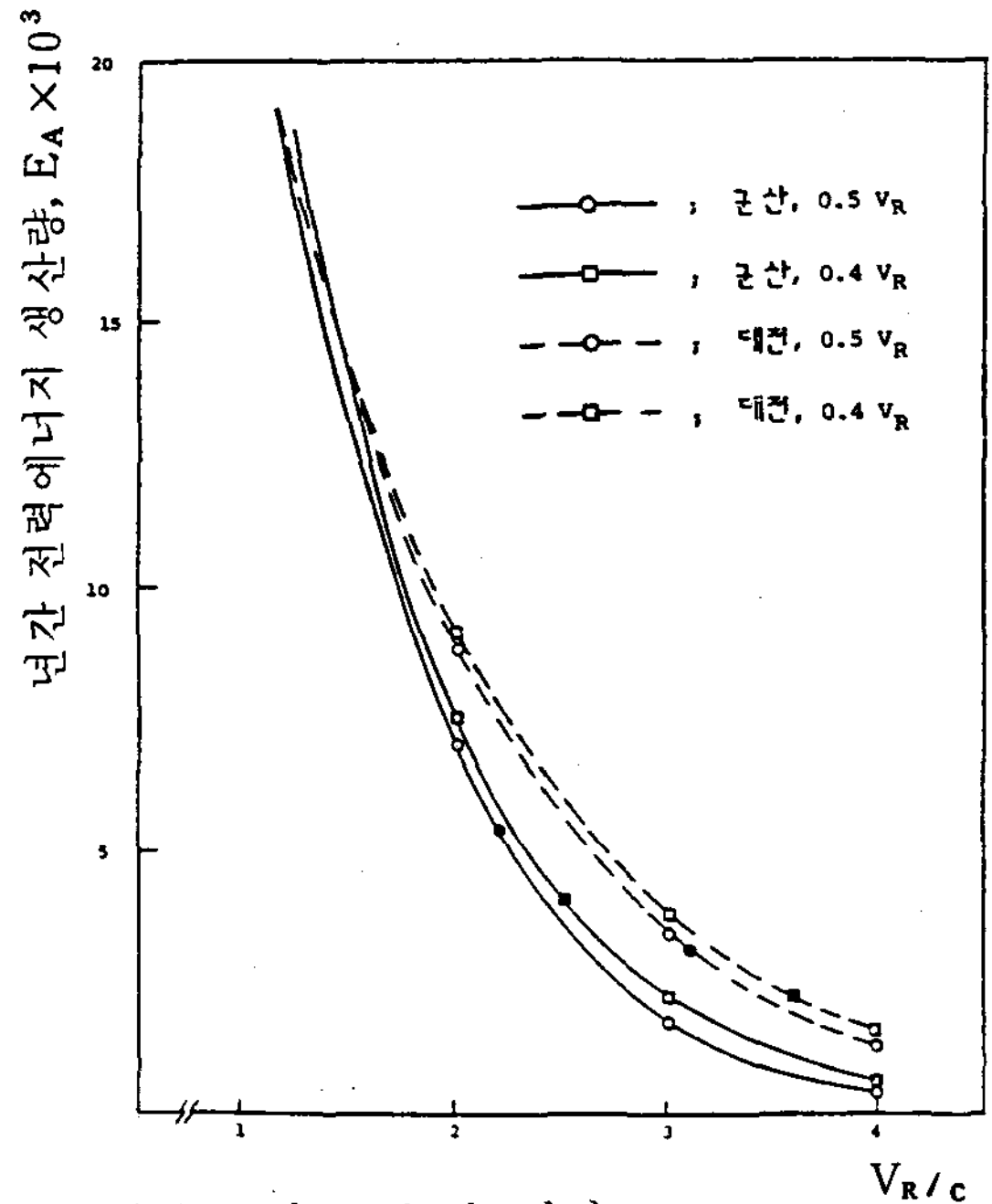
Fig.6. Variation of Load Factor with V_R/c



(Fig.6)은 V_R/c 의 변화에 따른 부하계수의 변화를 나타낸 그림이다. 부하계수는 V_R/c 이 증가할수록 감소하게 되며 이러한 현상은 지방에 관계없이 비슷한 경향을 나타낸다. 이러한 이유는 앞에서 설명한 바와 같이 S_1+S_2 값의 증가량이 V_R^3 값의 증가량에 비해 월등히 작기 때문이다. 또한 대전지방의 부하계수가 군산지방에 비해 높게 나타나는 이유는 대전지방이 군산지방에 비해 C 의 값이 작기 때문이며, 定格風速, V_R 의 값이 작으므로 부하계수는 동일한 V_R/c 일 경우 군산지방에 비해 높게 된다. 그러나 (Fig.5)에서 平均電力에너지양이 최대가 되는 V_R/c 에 대해 각각 비교하면 군산지방의 부하계수가 대전지방에 비해 월등히 높다는 것을 알 수 있다. 군산지방의 경우 $V_c=0.4V_R$ 인 시스템에서는 $V_R/c=2.5$ 에서 부하계수의 값이 0.093이며 $V_c=0.5V_R$ 인 시스템에서는 $V_R/c=2.2$ 에서 0.123으로서 $V_c=0.4V_R$ 인 시스템이 $V_c=0.5V_R$ 인 시스템에 비해 24.4%가 감소한다. 대전지방의 경우 $V_c=0.4V_R$ 인 시스템에서는 $V_R/c=3.6$ 에서 부하계수의 값이 0.052이며 $V_c=0.5V_R$ 인 시스템에서는 $V_R/c=3.1$ 에서 0.072로 $V_c=0.4V_R$ 인 시스템이 $V_c=0.5V_R$ 인 시스템에 비해 부하계수가 27.8% 감소한다.

(Fig.7)은 V_R/c 에 따른 年間 에너지 生産量의 변화를 나타낸 그림으로 비교하고자 하는 조건은 (Fig.4)에서와 같다. 年間 에너지 生産量은 V_R/c 이 증가할수록 감소하게 되며 이러한 현상은 지방에 관계없이 비슷한 경향을 나타낸다. 이러한 이유는 年間 에너지 生産量이 시스템의 부하계수에 직접 관련되며 부하계수에 비례해서 변하기 때문이다. 동일한 V_R/c 일때 대전지방의 年間 에너지 生産량이 군산지방에 비해 높게 나타나는 것은 대전지방의 C 가 군산지방에 비해 작기 때문으로 C 를 고려하지 않고 동일한 V_R 에서 비교하여보면 대전지방의 生産량이 월등히

Fig.7. Variation of Annual Electrical Energy Output with V_R/c



낮아진다는 것을 알 수 있다.

군산지방의 경우 $V_c=0.4V_R$ 인 시스템에서는 $V_R/c=2.5$ 에서 年間 에너지 生産量은 4,093 Kwh이며, $V_c=0.5V_R$ 인 시스템에서는 $V_R/c=2.2$ 에서 5,411Kwh로 되어 $V_c=0.4V_R$ 인 시스템이 $V_c=0.5V_R$ 인 시스템에 비해 年間 에너지 生産량이 24.4% 감소한다. 대전지방의 경우 $V_c=0.4V_R$ 인 시스템에서는 $V_R/c=3.6$ 에서 年間 에너지 生産량이 2,292Kwh이며 $V_c=0.5V_R$ 인 시스템에서는 $V_R/c=3.1$ 에서 3,153 Kwh로 되어 $V_c=0.4V_R$ 인 시스템이 $V_c=0.5V_R$ 인 시스템에 비해 年間 에너지 生産량이 27.8% 감소한다. 군산지방과 대전지방에서 年間 에너지 生産량의 감소율이 부하계수의 감소율과 동일하게 나타나는 것은 부하계수가 시스템의 年間 에너지 生産량에 직접 비례하기 때문이다.

부하계수 및 年間 에너지 生産량은 시스템의 경제성에 직접 영향을 주며, 특히 부하계수는 실제 시스템의 가동율로 생각할 수 있다. 이상에서

언급한 4가지 사항을 기초로 각지방별로 적합한 시스템의 特性을 구할 수 있으며, 풍력에너지 계수, 회전단위면적당 평균전력에너지양, 부하계수 그리고 年間 에너지 生産量 등은 시스템 설계의 기초가 된다. 따라서 風力發電 시스템의 回轉子는 設置하고자 하는 지방의 風速特性에

적합하게 設計되어야 시스템의 신뢰성과 가동율, 경제성등을 좋게할 수 있다. 앞의 그림에서 설명되지 않은 각 지방의 風速特性 및 風力發電 시스템의 초기 설계제원은 <Table2>에 보여진다.

Table 2. Wind Characteristics and the Primary Design Specifications of the System in Selected Areas.

구 분	C	K	V _R (m/sec)		D _R (m)		L _f		W(watt)		E _A (Kwh)		
			0.4V _R	0.5V _R	0.4V _R	0.5V _R	0.4V _R	0.5V _R	0.4V _R	0.5V _R	0.4V _R	0.5V _R	
속 강 인 대 포 군 울 부 목 여	초 룡 천 전 향 산 산 포 수	3.721 3.650 4.761 2.311 3.974 4.790 2.708 4.516 4.471 4.366	1.559 1.572 1.909 1.233 1.528 1.643 1.247 1.723 1.372 1.535	9.67 9.49 10.00 8.32 11.13 11.97 9.21 9.94 13.86 11.35	8.56 8.39 9.05 7.17 9.14 10.54 8.39 9.48 12.52 10.04	5.94 6.12 5.65 7.45 4.82 4.31 6.40 5.71 3.46 4.67	7.14 7.35 6.57 9.32 6.47 5.23 7.35 6.12 4.04 5.62	0.090 0.089 0.134 0.052 0.074 0.093 0.060 0.129 0.065 0.092	0.116 0.114 0.163 0.072 0.119 0.123 0.070 0.134 0.079 0.118	16.18 15.09 26.69 6.00 20.23 31.95 9.40 25.25 34.69 26.74	14.44 13.48 24.03 5.27 18.06 28.78 8.27 22.83 30.71 23.82	3,930 3,884 5,872 2,292 3,229 4,093 2,649 5,662 2,866 4,023	5,068 5,015 7,141 3,153 5,203 5,411 3,077 5,887 5,442 5,174

V. 結 論

風速資料 分析에 의한 風力發電 시스템의 最適設計에 관한 研究를 통하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 실제 測定된 風速資料 分析을 위해 Weibull分布를 사용하여 風速特性을 決定하는 方法과 風力發電 시스템의 初期 設計諸元을 決定하는 方法이 정립되었으며, 이의 응용으로 國內 各 地方의 初期諸元을 決定하였다.

2. 風力發電 시스템의 始動風速 및 定格風速은 시스템의 特性에 중요한 영향을 주며, 始動風

速을 낮게하면 定格風速 및 回轉子の 回轉單位面積당 平均電力에너지량이 증가한다. 平均電力에너지량은 $V_c=0.4V_R$ 인 시스템이 $V_c=0.5V_R$ 인 시스템에 비해 군산 및 대전지방에서 각각 11.0%, 13.8% 증가한다.

3. 시스템의 부하계수 및 年間 에너지 生産量은 $V_c=0.4V_R$ 인 시스템이 $V_c=0.5V_R$ 인 시스템에 비해 군산 및 대전지방에서 각각 24.4%, 27.8% 감소한다.

參 考 文 獻

1. R.E. Wilson, P.B.S. Lissaman and S.N. Walker, "Aerodynamic Performance of Wind Turbines", Oregon State Univ., June, 1976.
2. C.G. Justus, et al, "National Assessment of Potential Output from Wind-Powered Generators", J. Applied Meteorology, Vol. 15, No. 7, pp. 673-678, 1976.
3. L. Vander Auwera, et al, "The Use of the Weibull Three Parameter Model for Estimating Mean Wind Power Densities", J. Applied Meteorology, Vol. 19, pp. 819-825, 1980.
4. Gary, L. Jhonson, "Economic Design of Wind Electric System", IEEE. Tr. Power Apparatus and System, Vol. PAS-97, No. 2, pp. 554-562, 1978.
5. Karen C. Chou and Ross B. Corotis, "Simulation of Hourly Wind Speed and Array Wind Power", Department of Civil Engineering, Northwest Univ., USA, 1980.
6. W.F. Durand, "Aerodynamic Theory", Vol. 5, Stanford Univ., California, Jan., 1934.
7. 손병찬외, "풍력 발전 기술 개발," 연구보고서 KE-83-4, 한국동력자원연구소, 1983.