

국내의 풍력자원 특성 분석

박경호·김건훈·정헌생

한국동력자원연구소

Characteristics Analysis of Domestic Wind Energy Resources

Park, Kyung-Ho · Kim, Keon-Hoon Chung, Hun-Saeng

Korea Institute of Energy & Resources

요 약

최근 전 세계적으로 풍력발전 기술의 급속한 발달로 인하여 풍력발전의 경제성이 과거보다 점차 향상되고 있으며, 이에 국내에서의 풍력발전 가능성을 재확인하기 위한 사업의 일환으로 기상대에서 지난 10년간 관측한 풍속데이터를 Weibull 함수로 특성화하여 우리나라 전역의 풍향과 풍력자원 변화 및 분포 특성을 시간별, 월별, 계절별 및 년도별로 거시적으로 분석하였다.

ABSTRACT

The recent technology of Wind Energy Conversion System(WECS) in the world is well-developed and the feasibility of WECS is better than the past time. So, it is necessary to re-analyze the characteristics of wind energy in this country.

This paper deals with the analysis of wind energy distribution in Korean Peninsula, Cheju and Ullung island. The assessment was performed based on the raw data collected 64 meteorological stations for the last 10 years. The wind energy characteristics were analyzed hourly, monthly, seasonally and annually.

The Weibull distribution was assumed and two parameters in all areas were calculated and the wind energy potential distribution in Korea was obtained.

기 호 설 명

A : 수직단면적 [m^2]

C : Scale parameter [m/sec]

Cr : 풍향의 지속성

- Di : 풍향 [degree]
- F(V) : 누적분포함수
- H_a : 각 측후소의 풍속 관측높이 [m]
- H₁₀ : 기준높이, 10m
- K : Shape parameter
- N : 데이터의 수
- n : 풍속 보정지수
- P(V) : 확률밀도함수
- P_w : 풍력에너지 밀도 [KWH/m²]
- V : 풍속 [m/sec]
- V_a : 각 측후소에서 관측된 풍속 [m/sec]
- V₁₀ : 높이 10m로 보정된 풍속 [m/sec]
- ρ : 공기 밀도 [kg/m³]
- σ_{v³} : V³의 표준편차
- Γ : Gamma 함수

1. 서 론

현재 지구상의 대기권에는 10¹¹ GW 상당의 풍력에너지자원이 있다고 평가되고 있는데 ⁽¹⁾ 화석연료와 달리 대기 오염이나 공해물질 배출과 같이 생태계를 파괴하지 않는 clean energy로서 어느 곳이나 산재되어 있는 풍력에너지를 대체에너지로 활용하기 위한 세계 각국의 노력은 당연하다 하겠다.

우리나라에서 풍력에너지, 특히 발전 가능성에 관심을 갖기 시작한 것은 전세계적으로 유류 파동이 일어난 1974년경부터인데 자원조건상 화석연료가 절대 부족한 우리나라로서는 미전화 낙도 및 오지 지역의 단위자원 개발은 물론 대단위 발전을 위한 풍력발전단지 (windfarm) 건설과 같이 풍력에너지의 개발 필요성은 매우 절실하다고 할 수 있다.

특히 최근들어 전 세계적으로 풍력발전 기술이 급속도로 발달하여 미국 등 여러나라에서 MW급의 초대형 풍력발전시스템이 개발되었으며 수백 KW급의 대형 풍력발전시스템이 상용화되어 대량 보급되는 등 풍력발전시스템의 신뢰성과 경제성이 과거보다 한층 향상되었으므로 우리나라에서도 풍력에너지 이용을 위한 국내의 풍력자원 특성을 재분석함이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 우리나라에서의 풍력

발전 가능성을 확인하기 위한 1단계 연구사업으로 장기간동안에 측정된 기상대의 풍속과 풍향 데이터를 이용하여 국내의 풍황과 풍력에너지 분포 특성을 거시적으로 조사하였으며, 본 연구에 이어 앞으로 풍력발전시스템의 보급 대상지역의 하나인 국내의 도서지방과 산악지방의 풍황실측을 통한 풍력자원 특성을 정밀하게 조사코자 한다.

2. 데이터 수집 및 보정

현재 우리나라에는 기상대 산하에 71개소의 측후소와 관측소가 있는데, 본 연구에서는 이 중에서 지난 10년간(1979년~1988년)에 걸쳐 관측된 풍속, 풍향데이터의 획득이 가능한 64개 지역의 시간 평균풍속과 풍향 데이터를 이용하였다. 각 측후소의 풍속 관측높이는 지상 5.5~23.6m로 지역 및 지형에 따라 다소 차이를 나타냈으나 본 연구에서는 관측된 풍속을 동일한 풍속 관측높이인 토지 10m에서의 풍속으로 환산하여 비교하기 위해 다음의 식을 이용하였다.

$$V_{10} = V_a \left(\frac{H_{10}}{H_a} \right)^n \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 V₁₀은 높이 10m로 보정된 풍속을 가리키며, V_a는 각 측후소에서 관측된 풍속을, H₁₀은 기준높이인 10m를 나타내고 H_a는 각 측후소의 풍속 관측높이를 표시하고 있다. n은 지표면의 형상에 따라 결정되는 지수로서 일반적으로 평원이나 해안에서는 0.1~0.14, 전원에서는 0.17~0.25, 시가지에서는 0.25~0.5의 값을 갖는데 ⁽²⁾, 여기에서는 전 측후소에서의 n을 0.143 (=1/7)로 풍속데이터를 보정하였다.

3. 분석방법

바람은 시간에 따라 그 세기와 방향이 변하는 간헐성과 변화성을 갖고 있으며 이와 같은 바람의 장기간에 걸쳐 관측된 풍속데이터를 특성화하기 위하여 Weibull distribution function이 가장 많이 이용되고 있는데 ⁽³⁾ 본 연구에서는 그

중에서 2변수 Weibull distribution function을 이용하여 풍속데이터와 풍력자원을 분석하였다.

Weibull함수에서의 2변수 확률밀도함수 (probability density function)는

$$P(V) = \frac{K}{C} \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right] \dots (2)$$

로 표시되며 여기에서 C는 scale parameter를, K는 shape parameter를 나타낸다. 한편 평균풍속 \bar{V} 는

$$\begin{aligned} \bar{V} &= \int_0^{\infty} V P(V) dV \\ &= C\Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right), \frac{1}{K} + 1 > 0 \dots (3) \end{aligned}$$

과 같이 표시되고 식(3)을 일반화시키면 n이 정수인 경우에 한해 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\bar{V}^n = C^n \Gamma\left(1 + \frac{n}{K}\right) \dots (4)$$

또한 V^3 의 표준편차인 σ_{V^3} 은

$$\begin{aligned} \sigma_{V^3} &= \left[\bar{V}^6 - (\bar{V}^3)^2\right]^{\frac{1}{2}} \\ &= C^3 \left[\Gamma\left(1 + \frac{6}{K}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \dots (5) \end{aligned}$$

로 표시되며 식(4)와 식(5)로부터 C^3 항을 소거하면,

$$\frac{\sigma_{V^3}}{\bar{V}^3} = \frac{[\Gamma(1 + \frac{6}{K}) - \Gamma(1 + \frac{3}{K})^2]^{\frac{1}{2}}}{\Gamma(1 + \frac{3}{K})} \dots (6)$$

과 같은 관계가 성립한다. 식(6)에서의 좌변은 실제로 관측하여 얻은 풍속데이터로부터 그 값을 얻을 수 있으므로 이 식으로부터 shape parameter 값을 산출하였고 식(3)으로부터 scale parameter 값을 구하는 Moment method⁽⁴⁾를 이용하였다.

한편, 바람이 가지고 있는 풍력에너지는

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A \int_0^{\infty} V^3 P(V) dV$$

$$= \frac{1}{2} \rho A C^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right) \dots (7)$$

로 산출되며, 따라서 풍력에너지밀도는 다음과 같다.

$$P_w/A = \frac{1}{2} \rho C^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right) \dots (8)$$

본 연구에서는 식(8)을 이용하여 전국의 기상대와 관측소 지역별 풍력에너지밀도를 구하였다. 아울러 바람의 변화성을 확인하기 위하여 다음과 같은 식을 사용하여 풍향의 지속성 (constancy of wind direction)을 조사하였는데⁽⁵⁾

$$C_r = \sqrt{(S_a^2 + C_a^2)} \dots (9)$$

이 식에서 $S_a = \frac{1}{N} \sum \sin D_i$, $C_a = \frac{1}{N} \sum \cos D_i$ 로 주어지며, 여기에서의 N은 데이터의 수를, D_i 는 바람이 부는 각을 나타내는데 일반적으로 C_r 값이 1에 가까울수록 풍향의 변화율이 낮음을 의미한다.

4. 지표면에서의 풍력자원 특성

기상대에서의 풍속 계측은 주위 장애물의 영향을 덜 받는 위치에서 행함을 원칙으로 하므로 본 연구에서는 기상대의 각 측후소와 관측소의 풍속관측데이터가 그 지역일대를 대표하는 값이라 가정하고 전국에 걸쳐 풍황과 풍력자원 분포 특성에 대하여 알아보았다.

가. 년평균풍속의 변화

바람은 그 특성상 간헐성과 변화성을 갖기 때문에 동일한 지점이라 하더라도 년도에 따라 년평균풍속이 다소 다르게 나타날 수 있으며 년평균풍속의 변화 양상은 지역에 따라서도 다르게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 국내의 측후소중에서 Table 1과 같이 전국에 걸쳐 고르게 분포하여 선정한 5개소의 지역에 대한 년평균풍속의 변화를 조사하였다.

Table 1 대표적인 측후소의 위치

| 지 점 | 위 도 | 경 도 | 고 도 | 비 고 |
|-------|--------|---------|--------|--------|
| 인 천 | 37°29' | 126°38' | 68.9m | 해안 |
| 대 관 령 | 37°41' | 128°45' | 842.0m | 내륙(산악) |
| 울 룡 도 | 37°29' | 130°54' | 221.1m | 도서 |
| 제 주 | 33°31' | 126°32' | 22.0m | 도서 |
| 대 전 | 36°18' | 127°24' | 77.1m | 내륙(분지) |

Fig.1은 인천, 대관령, 울릉도, 대전, 제주지역의 년평균풍속의 변화를 나타낸 것으로서 해안에 위치한 인천, 울릉도, 제주지역과 산악에 위치한 대관령지역의 10년간 평균풍속은 3.47~4.18m/sec로 이 지역에서의 년도 변화에 따른 평균풍속은 0.61~1.27m/sec(측후소위치의 이동으로 인하여 2.10 m/sec의 년평균풍속 편차를 나타낸 대관령의 경우는 제외)의 편차를 보인 반면, 내륙에 위치한 대전지역의 년평균풍속은 1.58 m/sec이며 년평균풍속은 0.34 m/sec의 편차를 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 대관령지역의 87,88년도 년평균풍속이 다른 해보다 높게 나타나고 있는데 이는 측정지점의 변경에 기인한 것이며, 이를 통해 인근 지역이라 하더라도 지형 특성에 따라 평균풍속과 풍력자원량이 크게 달라질 수 있음을 알 수 있다.

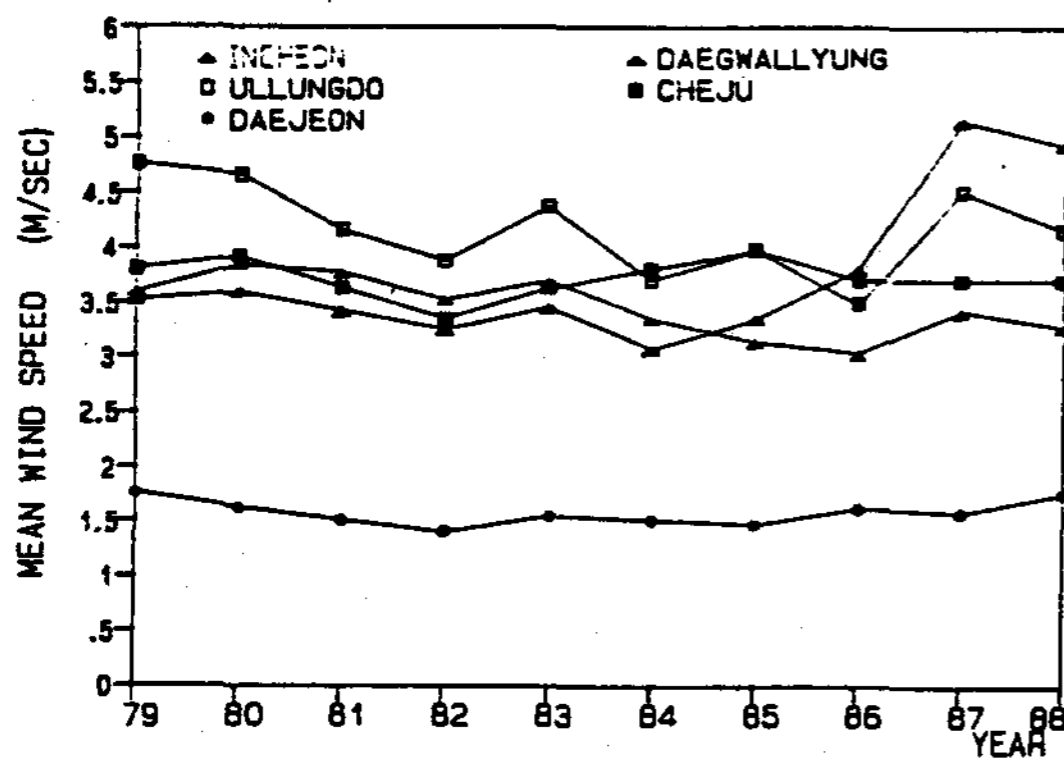


Fig. 1 Annual Mean Wind Speed Variation

나. 월평균풍속의 변화

한반도는 지리적으로 대륙과 대양의 사이에 위치하고 있어 계절풍의 영향을 크게 받으며 월별 평균풍속과 주풍향 (prevailing wind direction)의 변화는 전국적으로 비슷한 양상을 띤다. Fig. 2는 한반도 전역에 걸쳐 평균풍속의

크기와 주풍향을 봄철 및 가을철에 대해 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 지역에 따라 풍향과 풍속의 분포특성이 다른 것으로 나타났으며 같은 지역이라 하더라도 계절에 따라 주풍향의 방향이 다르게 나타나는 지역이 있다.

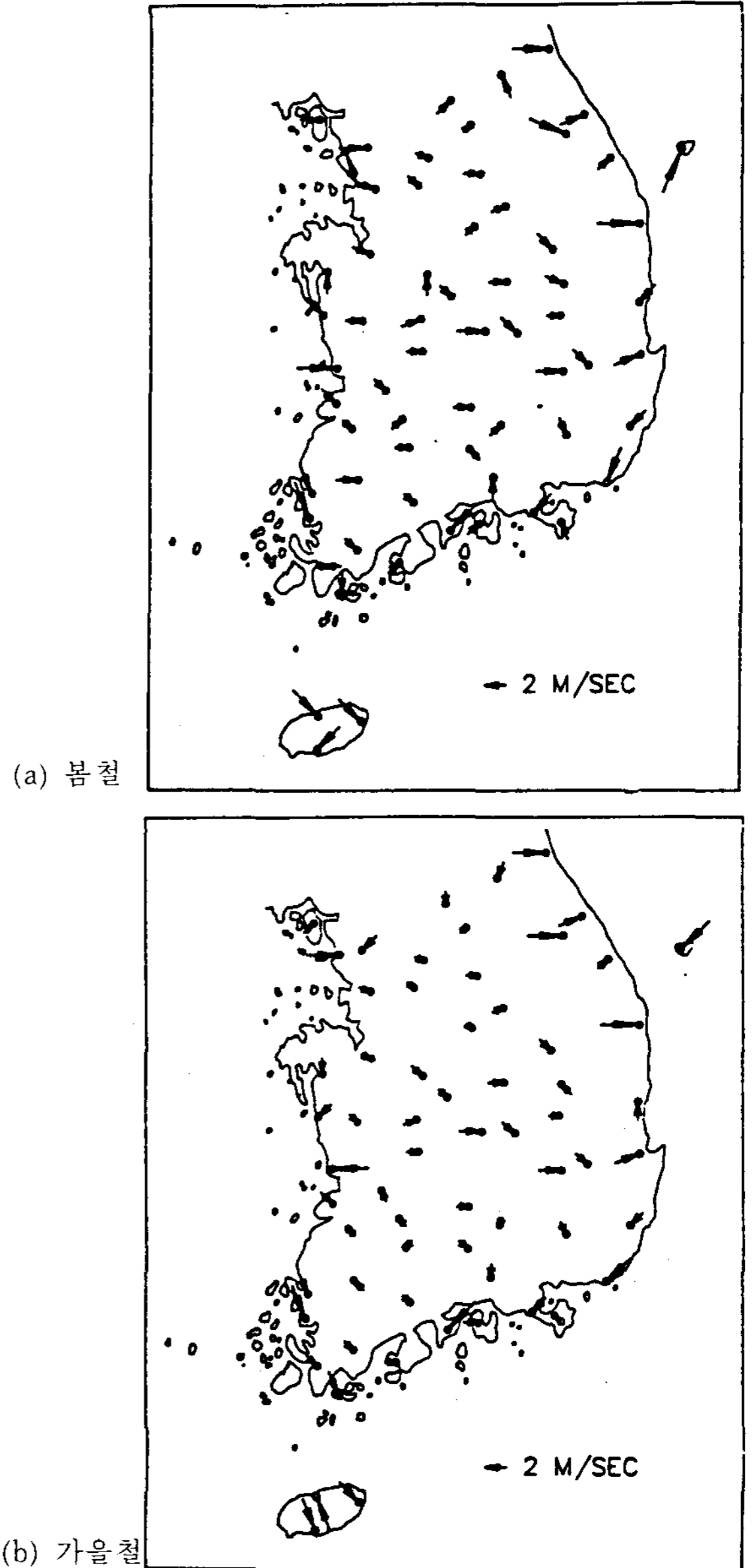


Fig. 2 Seasonal Wind Distribution

Fig. 3은 Table 1에 나타난 지역의 월평균풍속의 변화를 나타낸 것으로 월별 평균풍속의 변화가 뚜렷하게 나타나고 있다. 즉, 한반도에

는 여름철과 초가을철에 태풍이 불어오기는 하지만 이 기간동안 대부분의 지역에서는 월평균 풍속이 가장 작게 나타났으며 겨울철에서 초봄철에 이르기까지 월평균풍속이 가장 크게 나타난 반면, 대전과 같은 일부 내륙지역에서는 가을철에 가장 낮은 월평균풍속을 나타내었다.

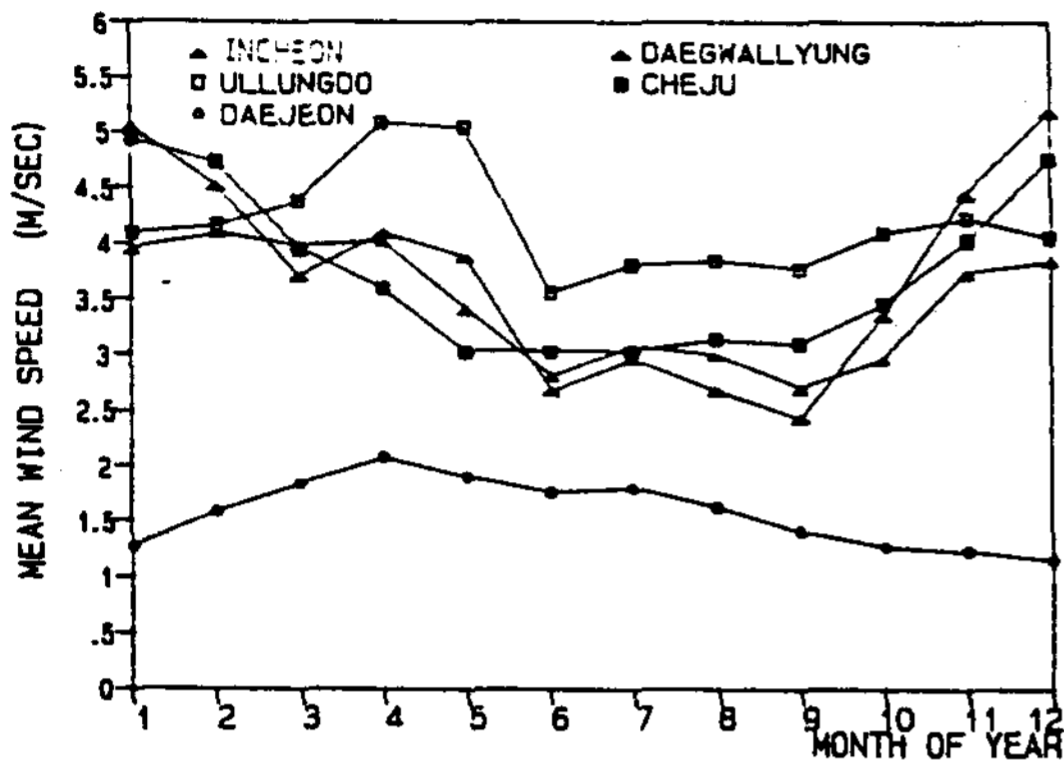


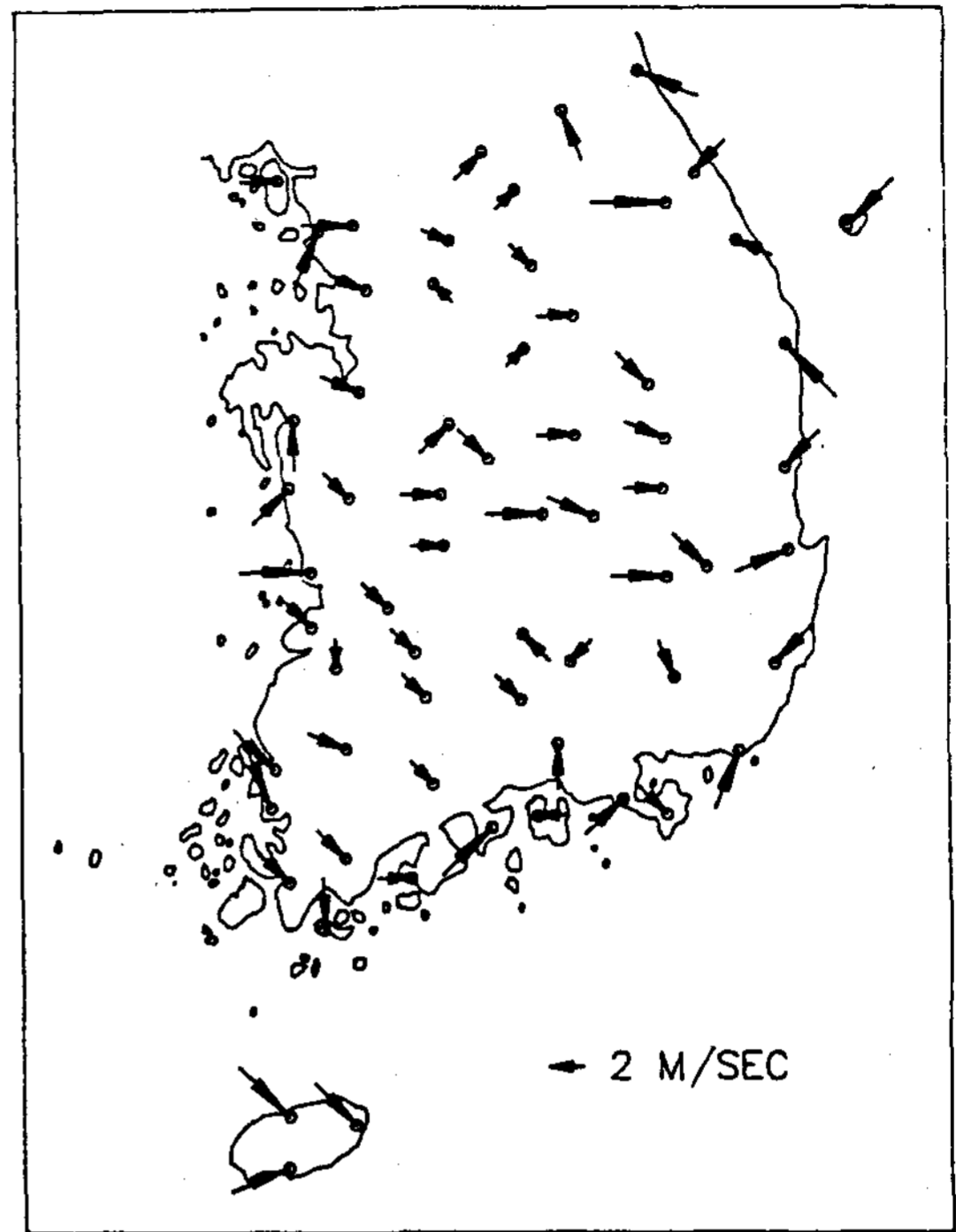
Fig. 3 Monthly Mean Wind Speed Variation

다. 하루중 평균풍속의 변화

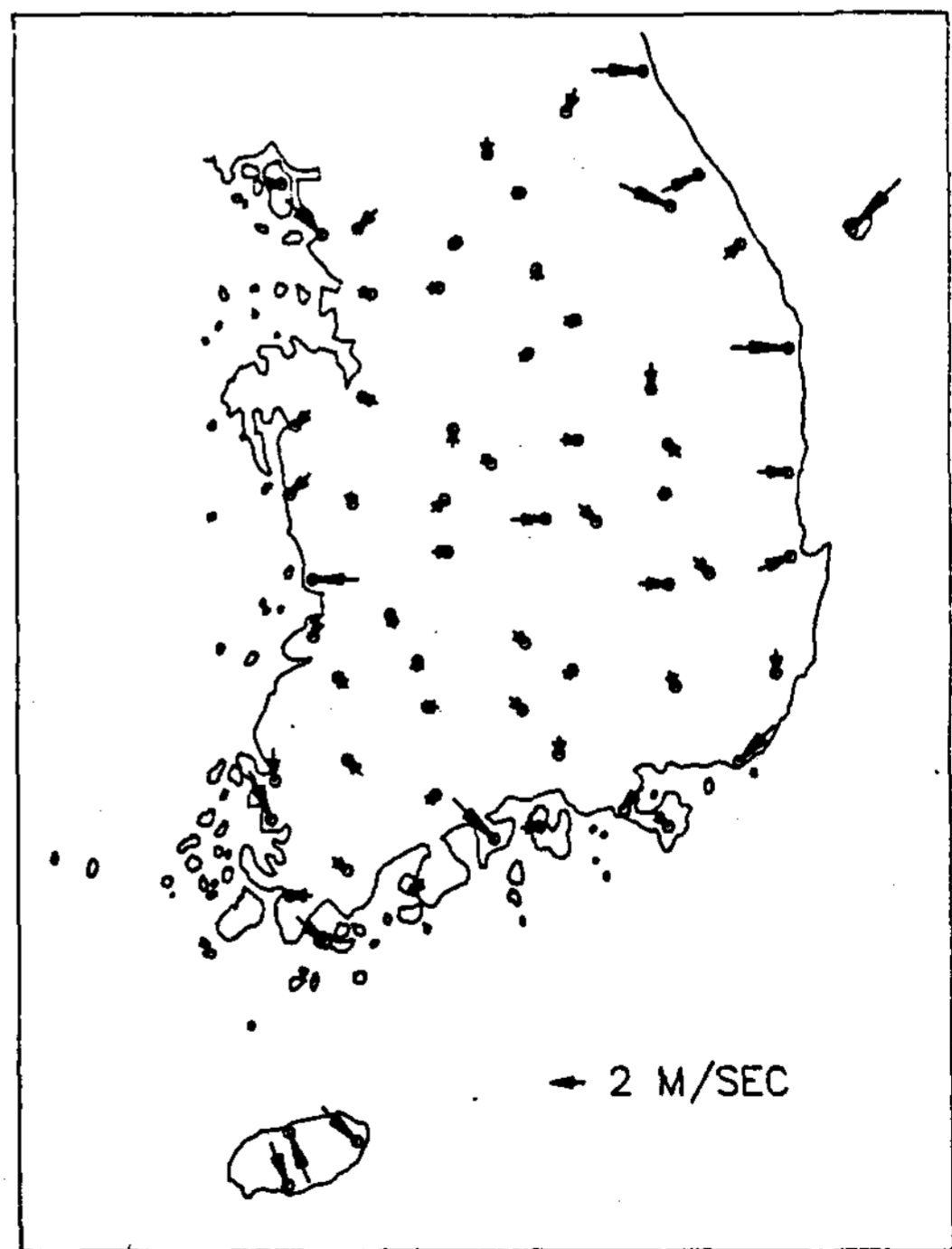
바람은 대기의 이동현상으로 태양의 일사에 의한 기온변화에 따라 하루중 평균풍속의 변화도 뚜렷한 양상을 나타낸다. 즉, 해안지방에서는 주간에 해풍의 영향을 크게 받아 평균풍속이 높으나 야간에는 비교적 약한 바람인 육풍의 영향으로 평균풍속도 낮으며 풍향도 다르게 나타났다.

Fig. 4는 한반도 전역에 걸쳐 평균풍속의 크기와 주풍향을 자정 및 정오에 대해 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 한반도에서는 야간보다 주간에 강한 바람이 불며, 특히 해안지방의 풍속이 내륙지방보다 대체로 높게 나타났다.

Fig. 5는 Table 1에 나타난 지역의 시간별 평균풍속의 변화를 나타낸 그림으로, 울릉도지역은 하루중 평균풍속이 거의 일정하게 나타났으나 우리나라의 대부분 지역에서는 하루중에 일몰시부터 일출시까지 바람이 가장 약했으며 일출후 평균풍속이 점차 증가하기 시작하여 12-16시경에 하루중 가장 높은 평균풍속을 나타냈다.



(a) 정오



(b) 자정

Fig. 4 Hourly Wind Distribution

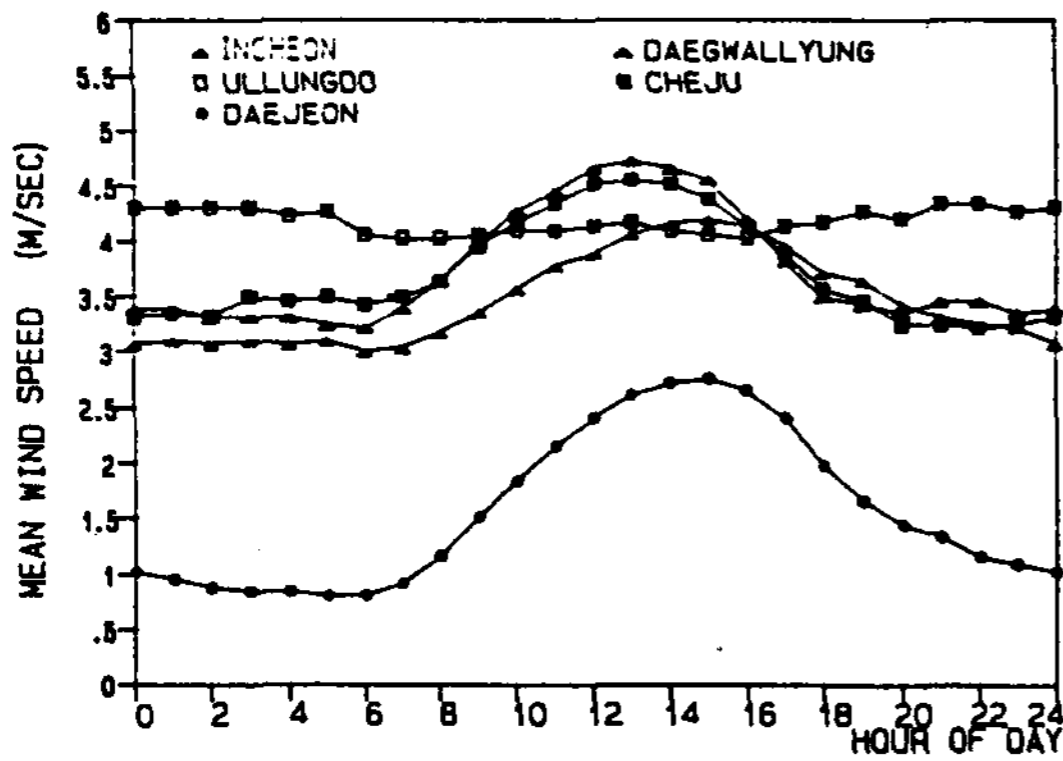


Fig. 5 Diurnal Mean Wind Speed Variation

라. 풍향의 지속성

본 연구에서 Table 1에 나타난 지역에서의 하루중 풍향의 지속성을 조사한 결과는 Fig. 6 와 같으며, 그림에서 보는 바와 같이 내륙산악 지방인 대관령지역은 주간보다 야간에 풍향의 지속성이 높고 특히 야간에 풍향이 거의 일정 하게 나타났으나 우리나라 대부분 지역에서는 일출과 일몰시에 풍향의 지속성이 대체로 낮은 경향을 나타내었다.

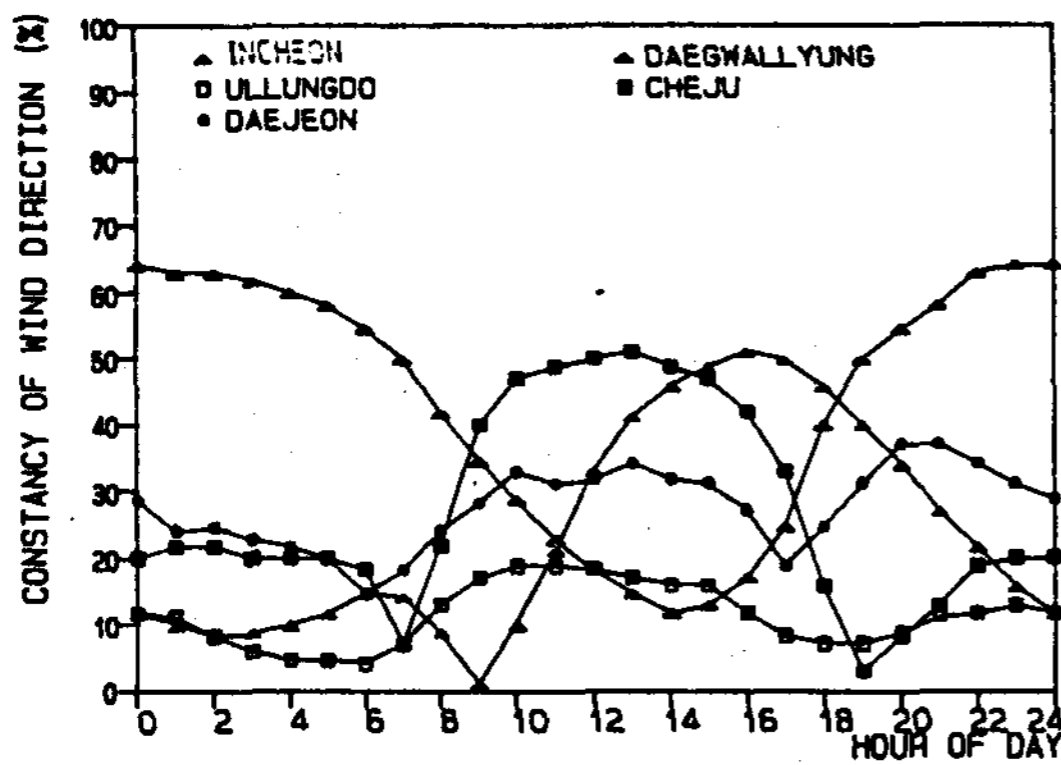


Fig. 6 Constancy of Wind Direction

마. 평균풍속의 해안거리 및 지형고도와 의 관계

측후소와 관측소의 풍속데이터로부터 각 풍속관측지점의 해안으로부터의 거리와 평균풍속 과의 관계를 조사한 결과, Fig. 7과 같이 대체 로 해안지방의 평균풍속이 내륙지방보다 높게 나타났는데 이는 해안지방이 해륙풍의 영향을

받을 뿐만 아니라 기압차에 의해 부는 바람에 대해서도 지표면 마찰의 영향을 덜 받기 때문 인 것으로 사려된다. 반면에 풍속 관측지점의 지형고도와 평균풍속과의 관계를 분석한 결과, Fig. 8과 같이 측후소와 관측소지점의 지형고도 와 평균풍속과는 거의 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

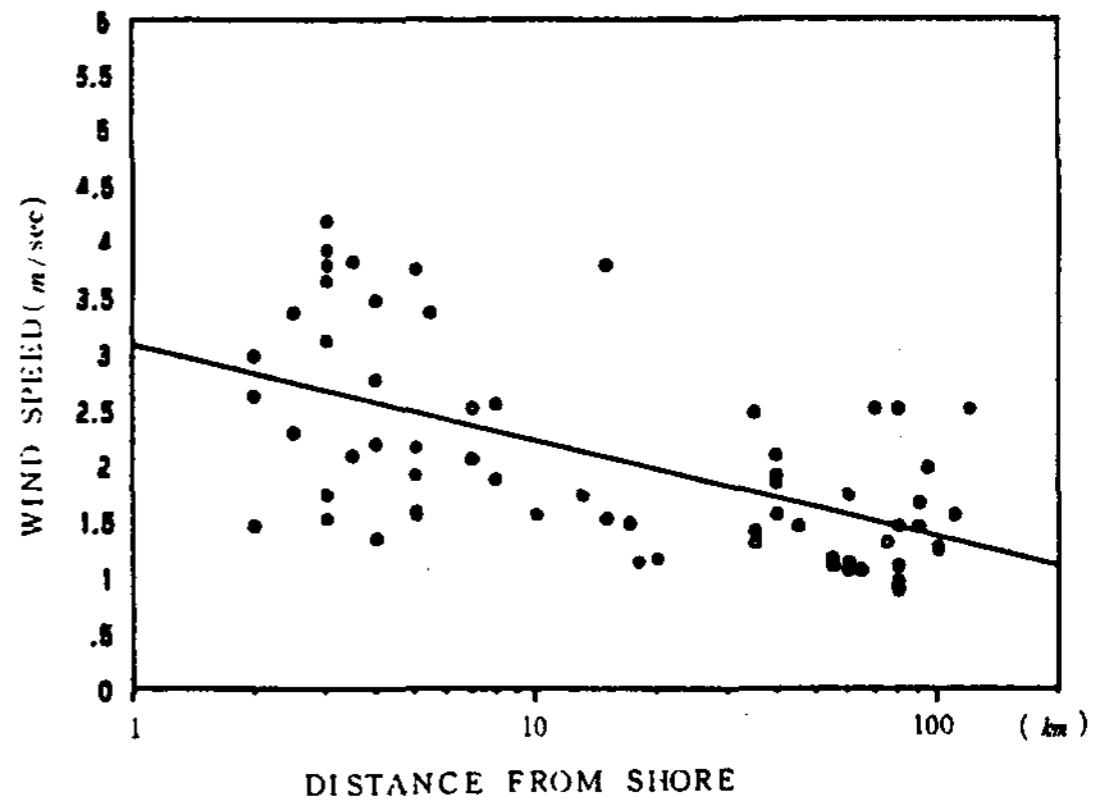


Fig. 7 Relations between Mean Wind Speed and Distance from Shore

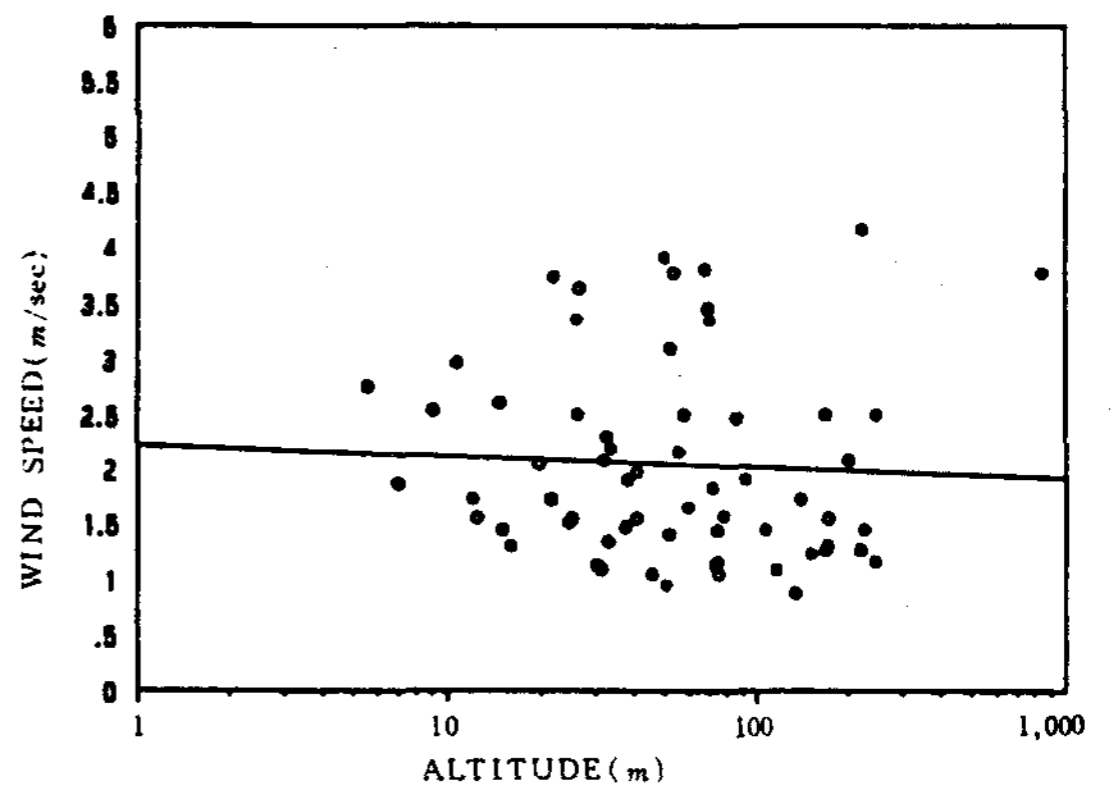


Fig. 8 Relations between Mean Wind Speed and Altitude of Meteorological Stations

5. 국내의 풍력자원 분포

풍력발전이 있어 동력원은 바람이며 지역별 풍력자원 부존량은 풍력발전의 타당성을 조사 하기 위한 기초자료가 되므로 본 연구에서는 앞에서 언급한 풍력에너지밀도 산출방식에 따

라 전국의 10년간 풍속데이터를 이용하여 지역별로 풍력에너지밀도를 추정하였다. 여기에서 구한 풍력에너지밀도는 수직단면적 $1m^2$ 를 1년 동안 통과 하는 바람이 가지고 있는 운동에너지를 의미한다.

Fig. 9은 지역별로 산출된 풍력에너지밀도의 분포를 전국에 걸쳐 나타낸 그림으로 지역별 연간 풍력에너지 밀도의 크기를 원으로 나타냈는데, 기상대의 풍속관측 지점중에서 울릉도지역이 연간 $1,311.7 KWH/m^2$ 으로 풍력자원이 가장 풍부하게 나타났고 또한 미전화도서가 산재되어 있는 한반도의 서남해안지방과 제주도 지역의 풍력에너지 밀도가 내륙지방보다 비교적 크게 나타났다.

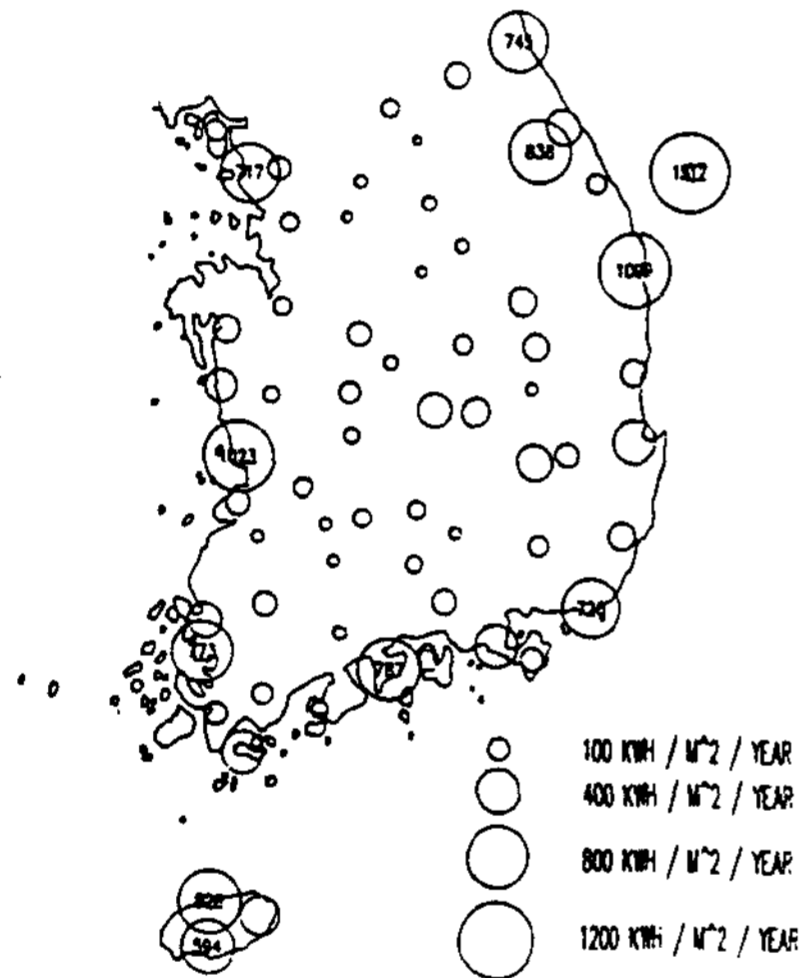


Fig. 9 Wind Energy Density Distribution

6. 결과

본 연구에서는 기상대의 풍속 관측데이터를 이용하여 국내의 풍황과 풍력자원의 특성을 조사 분석한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

○ 우리나라에서 풍력자원이 풍부하게 나타난 지역은 내륙지방보다 해안지방과 도서지방으로 이 지역의 평균풍속은 대체로 $3m/sec$ 이상이며, 울릉도의 경우 년평균풍속은 $4.18m/sec$ 이고 풍력에너지밀도는 $1,312KWH/m^2/year$ 로 기록되었다.

○ 국내에서의 강풍지역은 인천지방과 군산에서 여수에 이르는 한반도 서남해안지방, 부

산과 울진지방, 제주도지역 및 울릉도와 내륙의 일부 산악지방으로서 이들 지역은 년중 겨울철부터 초봄철까지 강한 바람을 나타냈으며 월평균풍속은 $5m/sec$ 이상을 기록하였다.

○ 하루중 풍속 분포는 12~16시에 가장 높은 풍속을 나타내었고 국내의 강풍지역에서의 이 시간동안 평균풍속은 $4m/sec$ 이상으로 비교적 풍력에너지밀도가 크게 나타났으며, 하루중에는 일몰후부터 일출시까지 평균풍속이 가장 작게 기록되었다.

○ 해안지방 및 도서지방이 내륙지방보다 평균풍속과 풍력에너지밀도가 대체로 높게 나타난 반면, 국내의 기상대 풍속 관측지점에서의 지형고도와 평균풍속과는 뚜렷한 상관관계를 보여주지 않았다.

○ 우리나라의 경우, 아직 미전화지역으로 남아 있는 한반도의 서남해안의 낙도와 내륙의 일부 산악지방은 평균풍속이 측후소나 관측소보다 훨씬 높기 때문에 이 지역에서의 풍력발전은 특히 유리한 여건을 갖고 있다.

참고 문헌

1. D.J. De Renzo, "Wind Power Recent Development," Noyes Data cooperation, 1979.
2. 本間琢也, "風力エネルギー讀本" オーム社, 1980.
3. M.J.M. Stevens and P.T. Smulders, "The Estimation of the Parameters of the Weibull Wind Speed Distribution for Wind Energy Utilizaion Purposes", Wind Engineering, Vol. 3, No. 2, 1979.
4. 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.
5. Yukihiro Mori, "Methods for Estimating the Mean and the Standard Deviation of Wind Direction", Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol, 26, PP 1282-1284, 1987.
- (6) 朴慶浩외, "風力資源 調査 및 分析(I)", 研究報告書 韓國動力資源研究所 KE-89-25, 1989.

Characteristics Analysis of Domestic Wind Energy Resources

Park, Kyung-Ho · Kim, Keon-Hoon · Chung, Hun-Saeng

Korea Institute of Energy & Resources

ABSTRACT

The recent technology of Wind Energy Conversion System(WECS) in the world is well-developed and the feasibility of WECS is better than the past time. So, it is necessary to re-analyze the characteristics of wind energy in this country.

This paper deals with the analysis of wind energy distribution in Korean Peninsula, Cheju and Ullung island. The assessment was performed based on the raw data collected 64 meteorological stations for the last 10 years. The wind energy characteristics were analyzed hourly, monthly, seasonally and annually.

The Weibull distribution was assumed and two parameters in all areas were calculated and the wind energy potential distribution in Korea was obtained.

Thermal Performance Evaluation of a Test Cell Thru Short Term Measurements

M.S. Jeon · H.K. Yoon · W.G. Chun · H.S. Jeon

Korea Institute of Energy & Resources

ABSTRACT

Short-term tests were conducted on a house at KIER, Daejeon for its thermal performance evaluation. The test procedure and data analysis were made according to the PSTAR method. Each test period was 3 days during which the building was unoccupied. The data measured with 8 channels were used to renormalize an audit based simulation model of the house. The following are the key parameters obtained in the present analysis : 1) the building loss coefficient(skin conductance plus infiltration conductance during coheating period); 2) the effective building heat capacity; and 3) the effective solar gain. An estimation of total heat required to maintain a standard level of comfort during a typical winter season is also calculated on the basis of the renormalized simulation model and typical long term weather data.