

기상데이터와 웨이블 파라메타를 이용한 풍력에너지밀도분포 비교

황지욱*, 유기표**, 김한영***

*전북대학교 도시공학과(chiera@hanafos.com), **전북대학교 건축공학과(youkp@chonbuk.ac.kr),
***대우기술연구원 선임연구원(kimhyoun@dwconst.co.kr)

Comparison of Wind Energy Density Distribution Using Meteorological Data and the Weibull Parameters

Hwang, Jee-Wook* You, Ki-Pyo** Kim, Han-Young***

*Dept. of Urban Engineering, Chonbuk National University(chiera@hanafos.com)
**Dept. of Architecture Engineering, Chonbuk National University(youkp@chonbuk.ac.kr),
***Daewoo Institute of Construction Technology (kimhyoun@dwconst.co.kr)

Abstract

Interest in new and renewable energies like solar energy and wind energy is increasing throughout the world due to the rapidly expanding energy consumption and environmental reasons. An essential requirement for wind force power generation is estimating the size of wind energy accurately. Wind energy is estimated usually using meteorological data or field measurement. This study attempted to estimate wind energy density using meteorological data on daily mean wind speed and the Weibull parameters in Seoul, a representative inland city where over 60% of 15 story or higher apartments in Korea are situated, and Busan, Incheon, Ulsan and Jeju that are major coastal cities in Korea. According to the results of analysis, the monthly mean probability density distribution based on the daily mean wind speed agreed well with the monthly mean probability density distribution based on the Weibull parameters. This finding suggests that the Weibull parameters, which is highly applicable and convenient, can be utilized to estimate the wind energy density distribution of each area. Another finding was that wind energy density was higher in coastal cities Busan and Incheon than in inland city Seoul.

Keywords : 기상데이터(Meteorological Data), 풍력에너지(Wind Power Energy)
일평균풍속(daily mean wind speed), 웨이블파라메타(Weibull Parameter)

투고일자 : 2010년 3월 2일, 심사일자 : 2010년 3월 15일, 게재확정일자 : 2010년 4월 20일
교신저자 : 유기표(youkp@chonbuk.ac.kr)

기 호 설 명

α	: 지표면 조도계수
v_i	: 일평균풍속(m/s)
v	: 풍속
V_z, Z	: 지표면에서의 풍속, 높이
V_R, Z_R	: 기준높이에서의 풍속, 높이
c, k	: 데이터로부터 얻어지는 척도와 형상의 파라메타

1. 서 론

전 세계적으로 에너지의 소비급증과 환경적인 이유로 태양과 바람 등 신재생에너지에 대한 관심이 매우 높아지고 있는 실정이다. 특히 바람에너지는 전체지구 주변에서 얻을 수 있는 양이 10GW정도로 현재 전 세계에서 소비되는 에너지양의 몇 배나 되고 있다. 최근 유럽이나 미국 등에서는 건물에 적용 가능한 소형풍력발전시스템의 보급이 크게 유행하고 있다. 이 중에서 미국은 2030년까지 총 전력 수요의 20%까지 공급할 계획을 가지고 추진 중이다. 그러나 국내는 2006년 말 기준으로 한국 내 풍력발전 공급량은 173MW이며, 이는 미국 풍력발전공급량의 1.5%에도 못 미치는 수준이다. 해외의 발전량의 증가 중에서 가정과 농장 그리고 소규모 비즈니스를 위한 미국 소형 풍력발전기 시장이 빠르게 성장해 나가고 있다. 그러나 국내에서는 풍력발전의 기술적, 환경적 문제(소음 등)와 안전상의 문제뿐만 아니라 도심내의 충분한 바람을 확보하기 어렵기 때문에 도심 내에서의 풍력발전 적용은 전혀 시도 되고 있지 않았다.

풍력발전에 가장 필요한 것이 정확한 풍력에너지의 크기를 예측하는 것이다. 정확한 기상자료를 수집하기 위해서는 해당지역에 관측탑을 설치하여 실측을 하는 것이 타당하지만, 계측기간이 충분하지 못하다는 문제로 풍력발전기를 운영하기 위한 해당지역의 풍속의 확률분포를 대변하는데는 문제가 있기

때문이다. 그래서 일반적으로 인근 기상관측소의 풍속데이터를 이용한 풍력에너지를 예측하고 있는 실정이다. 풍력발전을 위한 바람은 일상적으로 부는 바람이며, 이때 풍속을 추정하기 위한 확률분포는 Weibull distribution(웨이블 분포)가 일반적으로 많이 사용된다. 웨이블 분포에는 풍속도수분포를 일치시키기 위해서 일반적으로 2개의 파라메타가 있다¹⁾. 이들 커브군은 측정된 풍속데이터와 잘 일치한다. 웨이블 함수는 풍속데이터를 이용해서 풍력에너지를 계산하기 위한 편리한 방법이다. 웨이블 분포를 이용한 지역별 풍력에너지의 평가에 대한 다양한 연구들이 이루어지고 있다²⁾³⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾. 지역의 기상데이터를 이용한 확률밀도함수와 웨이블 확률밀도함수를 상호 비교를 하고 이들 이용한 풍력에너지의 크기를 예측하는 연구가 다양하게 진행되고 있다.

본 논문에서는 현재 15층 이상 고층아파트의 60%이상을 차지하면서 내륙을 대표하는 서울,광주,대구과 해안가를 대표하는 부산 인천,울산,제주(서귀포)을 중심으로 해서 일별평균풍속기상데이터와 웨이블 계수를 이용한 풍력에너지밀도를 구해보고자 한다.

2. 데이터와 해석

2.1. 풍속데이터

태양력과 조력과 같은 신재생에너지와 비교하여 바람의 에너지는 에너지의 흐름이 매우 다양하고 넓게 퍼지는 경향성이 있다. 이러한 자원을 최대한 사용하기 위해서는 건설하고자 하는 지역의 풍속데이터가 가장 중요한 요소 중 하나이다. 표1은 해석하고자 하는 기상관측소의 해발높이와 풍속계 높이 및 지표면조도를 나타내고 있다. 서울과 광역시를 중심으로 해서 7개 지역에 대한 평균풍속에 대한 기상데이터기간은 서울은 37년(1972~2009), 부산, 인천, 대구, 광주, 울산, 제주(서귀포)는 29년(1980~2009)이다.

표1. 지상관측소 해발높이와 풍속계높이

지점명	해발높이 (m)	풍속계 높이(m)	지표면조도	경도풍 높이(m)
서울	85.5	10.6	A($\alpha = 0.33$)	500
부산	63.2	17.8	A($\alpha = 0.33$)	500
인천	68.9	11.0	B($\alpha = 0.22$)	400
대구	57.8	23.6	B($\alpha = 0.22$)	400
광주	70.3	17.5	B($\alpha = 0.22$)	400
울산	31.5	10.8	B($\alpha = 0.22$)	400
제주 (서귀포)	51.9	12.3	C($\alpha = 0.15$)	300

바람은 높이에 따라 영향을 받게 된다. 즉 지상에서 높이가 높아질수록 풍속은 빨라지는데 풍력발전기를 도입하기 위해서는 높이에서의 풍속이 중요한 평가 요소 중 하나이다. 풍속변화의 상태는 지표면의 상황에 따라 결정된다. 그리고 평균풍속의 수직 분포를 추정하기 위한 지수법칙을 사용하면 식(1)과 같다.

$$V_z = V_R(Z/Z_R)^\alpha \quad (1)$$

해석대상 3개 지점에 대한 풍속계의 높이가 서로 상이하기 때문에 일정한 높이로 일치시키기 위해 표1과 식(1)을 사용하였다. 해당지역에서 지표면 조도값을 이용하여 경도풍 높이의 풍속 구한 후 각 지점별 풍속측정높이를 10m 풍속으로 변환을 하였다.

2.2. 웨이블 분포

측정된 일평균풍속에 대한 월별 평균풍속과 분산을 계산하기 위한 식은 (2)와 (3)을 사용하였다.

$$v_m = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N v_i \right] \quad (2)$$

$$\sigma = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i - v_m)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

평균풍속을 구하는 식(2)를 식(4)와 같이 대치할 수 있다.

$$v_m = \int_0^\infty v f(v) dv \quad (4)$$

웨이블 분포 함수의 유연성과 간편성 때문에 현재까지 지역별 풍하중의 밀도를 평가하는데 많이 사용되고 있는 방법이다. 웨이블분포의 확률밀도도함수는 식(5)와 같다.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right) \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (5)$$

풍속 v 가 특정값 v_0 보다 작을 확률에 대한 웨이블분포의 누적확률분포는 식(6)과 같다.

$$F(v \leq v_0) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (6)$$

식(5)을 식(6)과 같이 하면

$$\ln(-\ln(1-F(v \leq v_0))) = k \ln \left(\frac{v_0}{c} \right) = k \ln v_0 - k \ln c \quad (7)$$

파라미터 k, c 의 값은 최소자승법을 이용하여 계산할 수 있다. 식(8)과 같다.

$$Y = A + BX \quad (8)$$

$$\text{여기서 } X = \ln v_0, \quad Y = \ln(-\ln(1-F(v \leq v_0)))$$

분석하고자 하는 지역의 풍속에 대한 평균풍속과 분산을 가지고 웨이블 계수의 c, k 을 예측할 수 있다. 식(9)-식(10)과 같다.

$$c \approx \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) v_m \approx 1.13 v_m \quad (9)$$

$$k \approx 3c^3 \pi^{1/2} / (2v_m) \quad (10)$$

그리고 웨이블 계수 c, k 를 이용하여 평균풍속을 구하는데 식(11)과 같다.

$$v_m = c \Gamma \left[1 + \frac{1}{k} \right] \quad (11)$$

$$\text{여기서 } \Gamma(x) = \int_0^\infty \xi^{x-1} \exp(-\xi) d\xi$$

표 2는 측정기간 동안에 계측된 7개 지역에 대한 월별 평균풍속(v_m), 분산(σ), c, k 를 나타내고 있다. 평균풍속크기는 해안지역(부산, 제주, 인천)내륙지역(서울, 대구, 광주, 울산)보다 크게 나타나고 있었다. 부산은 서울보다 36% 제주는 11%정도 큰 평균풍속이 발생하고 있는 것을 알 수 있었다. 그리고 지역별 월별 평균 풍속분포에는 9월의 제주와 7월의 광주를 제외하고 5개 지역 모두에서 3월, 4월에서 연중 가장 큰 평균풍속분포를 하고 있었다.

표 2. 측정지점별 월별 풍속과 분산, 웨이블계수값

(a) 서울						
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
$v_m(m/s)$	2.50	2.73	2.87	2.92	2.63	2.30
$\sigma(m/s)$	1.02	1.06	0.98	0.98	0.90	0.75
$c(m/s)$	2.81	3.07	3.21	3.27	2.94	2.56
k	2.57	2.69	3.01	3.05	3.05	3.10
구분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
$v_m(m/s)$	2.29	2.16	1.97	2.03	2.30	2.37
$\sigma(m/s)$	0.93	0.91	0.77	0.86	0.98	1.01
$c(m/s)$	2.58	2.43	2.21	2.29	2.60	2.67
k	2.57	2.48	2.64	2.45	2.47	2.46
(b) 부산						
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
$v_m(m/s)$	3.82	3.91	4.15	4.16	3.77	3.43
$\sigma(m/s)$	1.28	1.28	1.36	1.53	1.44	1.47
$c(m/s)$	4.27	4.35	4.62	4.66	4.24	3.87
k	3.12	3.15	3.15	2.81	2.76	2.44
구분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
$v_m(m/s)$	3.93	3.84	3.70	3.37	3.49	3.69
$\sigma(m/s)$	1.85	1.58	1.46	1.28	1.32	1.26
$c(m/s)$	4.44	4.33	4.16	3.78	3.92	4.12
k	2.24	2.54	2.63	2.75	2.79	3.09
(c) 인천						
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
$v_m(m/s)$	3.30	3.54	3.73	3.62	3.07	2.50
$\sigma(m/s)$	1.53	1.54	1.48	1.47	1.22	0.98
$c(m/s)$	3.74	4.01	4.21	4.07	3.45	2.81
k	2.30	2.43	2.67	2.55	2.61	2.61
구분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
$v_m(m/s)$	2.66	2.44	2.13	2.35	3.05	3.32
$\sigma(m/s)$	1.25	1.18	1.06	1.25	1.48	1.56
$c(m/s)$	3.01	2.77	2.41	2.65	3.45	3.76
k	2.25	2.19	2.10	1.99	2.18	2.26

(d) 대구

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
$v_m(m/s)$	2.96	3.02	3.07	3.01	2.87	2.80
$\sigma(m/s)$	1.46	1.40	1.23	1.19	1.12	1.09
$c(m/s)$	3.36	3.42	3.45	3.39	3.23	3.15
k	2.17	2.30	2.63	2.66	2.69	2.71
구분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
$v_m(m/s)$	2.69	2.65	2.37	2.24	2.40	2.73
$\sigma(m/s)$	1.05	1.02	0.87	1.02	1.26	1.42
$c(m/s)$	3.03	2.98	2.66	2.53	2.73	3.09
k	2.70	2.68	2.82	2.32	2.05	2.06

(e) 광주

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
$v_m(m/s)$	2.11	2.23	2.33	2.37	2.28	2.13
$\sigma(m/s)$	1.00	0.97	0.94	0.94	0.83	0.86
$c(m/s)$	2.39	2.51	2.63	2.67	2.55	2.40
k	2.25	2.41	2.57	2.59	2.82	2.50
구분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
$v_m(m/s)$	2.44	2.17	1.93	1.74	1.84	1.92
$\sigma(m/s)$	1.10	1.08	1.02	0.83	0.95	0.96
$c(m/s)$	2.77	2.46	2.18	1.97	2.09	2.18
k	2.35	2.12	2.02	2.22	2.07	2.14

(f) 울산

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
$v_m(m/s)$	2.41	2.46	2.46	2.36	2.08	1.90
$\sigma(m/s)$	1.22	1.14	0.98	0.97	0.78	0.76
$c(m/s)$	2.73	2.79	2.77	2.65	2.33	2.13
k	2.10	2.31	2.64	2.52	2.77	2.60
구분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
$v_m(m/s)$	1.95	2.00	1.95	1.84	1.95	2.25
$\sigma(m/s)$	0.93	0.99	0.93	0.89	1.01	1.17
$c(m/s)$	2.21	2.26	2.21	2.09	2.21	2.55
k	2.22	2.12	2.22	2.20	2.07	2.05

(g) 제주(서귀포)

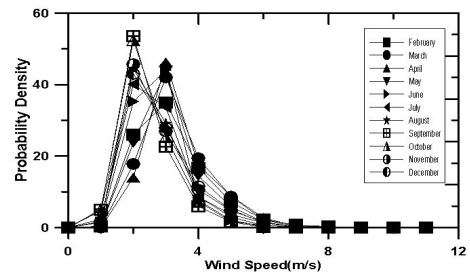
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
$v_m(m/s)$	2.84	3.00	3.21	3.04	2.70	2.68
$\sigma(m/s)$	0.96	1.07	1.20	1.24	1.17	1.22
$c(m/s)$	3.18	3.36	3.60	3.42	3.05	3.03
k	3.07	2.85	2.75	2.56	2.42	2.31
구분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
$v_m(m/s)$	2.72	3.06	3.30	3.00	2.84	2.79
$\sigma(m/s)$	1.25	1.62	1.74	1.10	0.97	0.96
$c(m/s)$	3.08	3.47	3.72	3.36	3.17	3.12
k	2.27	2.02	1.99	2.78	2.99	2.99

표 3은 서울지역 6월에 해당되는 일평균풍속으로 구한 도수분포(frequency distribution) ($f(v_j)$)와 웨이블 함수로부터 구한 확률밀도분포($f_w(v_j)$)를 나타내고 있다. 그림 1은 지역별 일평균풍속에 대한 월별 확률밀도분포를 나타내고 있다. 서울의 경우는 평균풍속 2m/s-4m/s범위 안에서 77%집중되어 분포하고 있으며 부산의 경우는 3m/s-5m/s범위 안에서 78%정도 집중되어 분포하고 있으며, 인천의 경우는 2m/s-5m/s에서 88%정도 집중 분포하고 있는 것을 알 수 있었다. 제주의 경우는 2m/s-5m/s에서 93%가 분포하고 있었다. 제주의 경우는 3m/s풍속영역에서 50%정도 분포하고 있어 부산(28%)과 인천(38%)에 비해 크게 나타나고 있었다. 그림2는 웨이블함수에 근거한 지역별 월별 확률밀도분포를 예측한 값이다. 서울지역의 경우 평균풍속 2m/s-3m/s범위 내에서 87%, 부산의 경우는 3-5m/s에서 68%, 인천의 경우는 2-5m/s에서 85%, 제주의 경우는 2-5m/s에서 90% 정도 집중적으로 분포하고 있었다. 지역별로 예측된 풍속데이터로부터 구한 확률밀도분포 그림1과 웨이블계수로 구한 확률밀도분포 그림2가 값이 서로 잘 일치하고 있었다. 그림 3은 지역별 월별 확률밀도분포에 대한 누적확률분포를 나타내고 있으며, 그림4는 웨이블계수에 근거한 누적확률분포를 나타내고 있다. 월별 누적확률분포의 차이가 나타나고 있었지만 그 크기가 10%정도 범위로 웨이블계수에 의한 누적확률분포가 좀 크게 나타나고 있었지만 경향성은 서로 일치하고 있었다. 표 4는 풍속데이터를 이용한 월별 확률밀도분포와 웨이블계수에 근거한 확률밀도분포의 차이를 알아보기 위한 상관관계수 (R^2) 그래프를 나타내고 있다. 지역과 월별로 차이를 보이고 있었지만 서울의 경우 전체 연평균에서 나타내1, 부산은 나타내5, 대구,울산,광주,제주등이 나타내0부근에서 상관계수를 나타내고 있었다. 이러한 분포는 웨

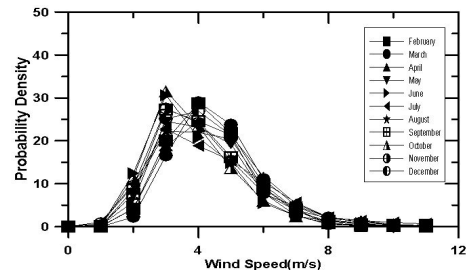
이블계수에 근거한 확률밀도분포와 풍속데이터를 이용한 확률밀도분포의 상관관계가 매우 크다는 것을 말해주고 있다.

표3. 서울지역의 도수분포($f(v_j)$)와 웨이블계수로 구한 확률밀도분포($f_w(v_j)$)

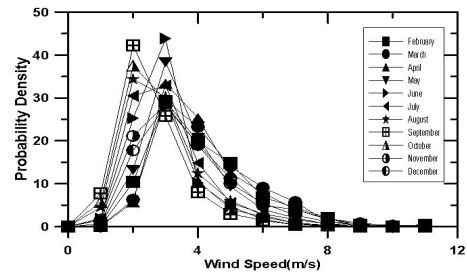
j	v_j	$f(v_j)$ (%)	$f_w(v_j)$ (%)
1	0-1	1.491	3.93
2	1-2	35.26	32.69
3	2-3	44.03	45.47
4	3-4	7.63	16.61
5	4-5	2.10	1.25
6	5-6	0.26	0.01
7	6-7	0.17	0.00
8	7-8	0.00	0.00
9	8-9	0.00	0.00
10	9-10	0.00	0.00
11	10-11	0.00	0.00



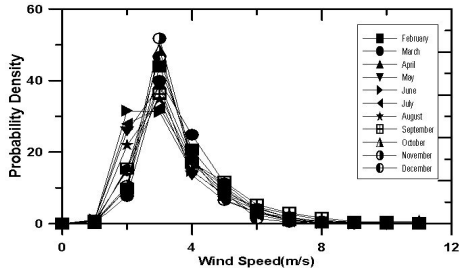
(a) 서울



(b) 부산

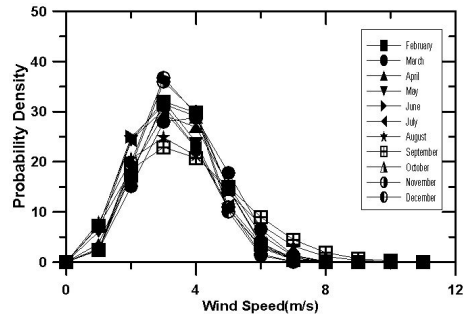


(c)인천



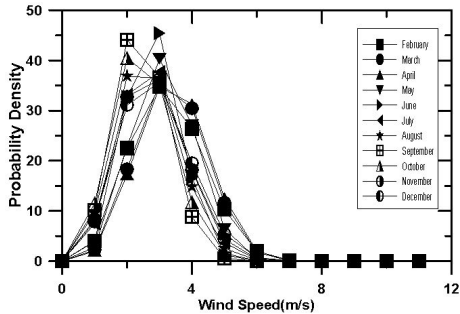
(d) 제주(서귀포)

그림 1. 지역별 월별 풍속에 대한 확률밀도분포 $f(v_j)$

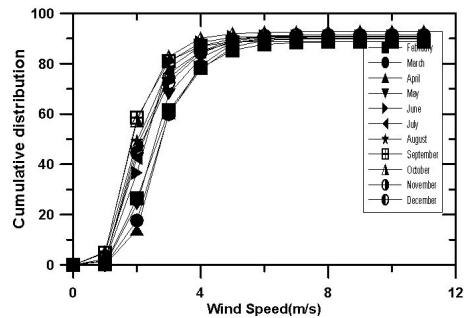


(d) 제주(서귀포)

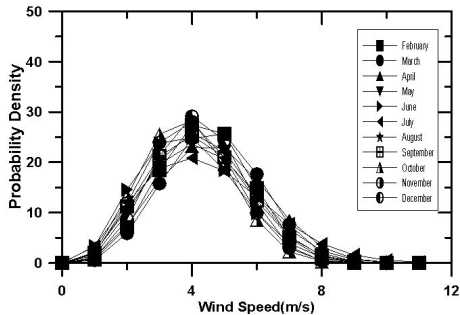
그림 2. 지역별 웨이블 계수에 분포에 근거한 확률밀도분포 $f_w(v_j)$



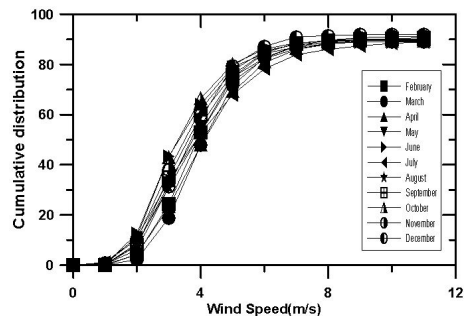
(a) 서울



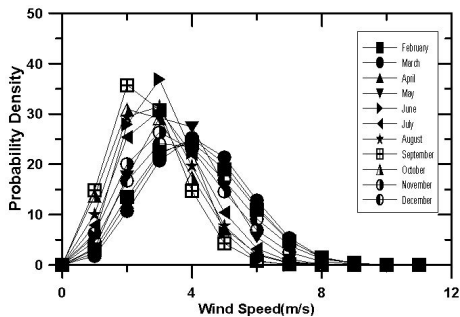
(a) 서울



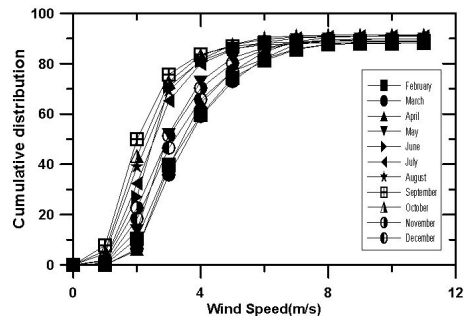
(b) 부산



(b) 부산



(c) 인천



(c) 인천

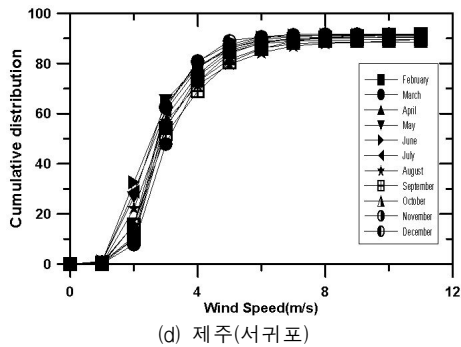


그림 3. 지역별 월별 풍속에 대한 누적확률분포

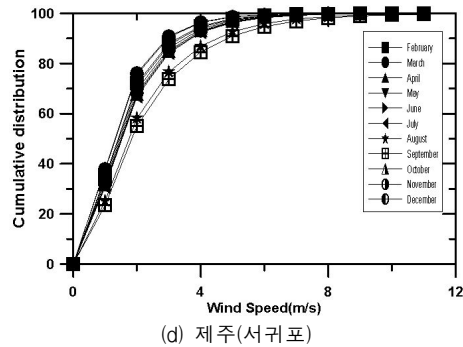
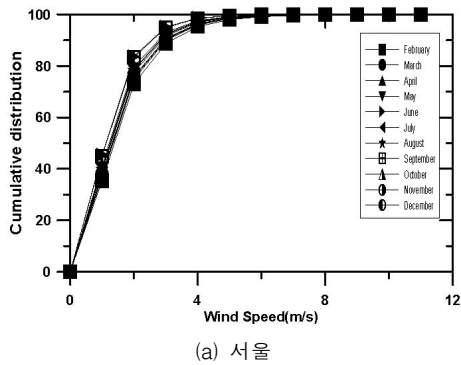
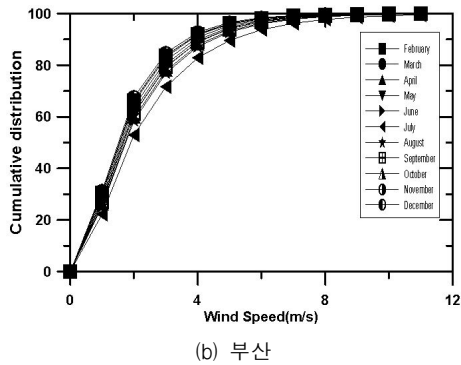


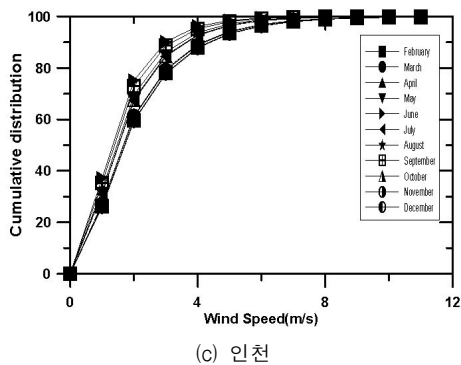
그림 4. 웨이블함수를 근거로한 월별 누적확률분포



(a) 서울



(b) 부산



(c) 인천

표4. 웨이블함수로 구한 확률밀도분포에 대한 월별 상관계수값

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
Seoul	0.94	0.96	0.95	0.91	0.96	0.98
Busan	0.97	0.98	0.96	0.97	0.97	0.95
Incheon	0.96	0.94	0.92	0.90	0.93	0.95
Daegu	0.96	0.97	0.97	0.95	0.96	0.97
Gwangju	0.98	0.97	0.95	0.96	0.97	0.94
Ulsan	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97
Jeju	0.95	0.91	0.92	0.92	0.94	0.95
구분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Seoul	0.96	0.96	0.94	0.94	0.92	0.92
Busan	0.97	0.98	0.96	0.96	0.97	0.98
Incheon	0.95	0.97	0.96	0.95	0.97	0.95
Daegu	0.97	0.97	0.99	0.95	0.91	0.96
Gwangju	0.94	0.91	0.89	0.97	0.98	0.98
Ulsan	0.94	0.93	0.96	0.98	0.97	0.99
Jeju	0.97	0.91	0.89	0.87	0.89	0.94

3. 풍력밀도분포

바람은 공기의 흐름이므로 바람이 갖는 에너지는 운동에너지이다. 질량(m)과 속도(v)의 운동에너지는 식(12)와 같다⁴⁾⁸⁾.

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (12)$$

Power 또는 출력은 단위시간당 에너지로 정의되므로 운동에너지의 식으로 파워로 변환하면 식(13)과 같다. 여기서 질량 m 은 ρAV 로 대체한다.

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (13)$$

바람의 에너지는 로터 회전면적에 비례하고 풍속의 3제곱에 비례한다. 즉 풍속이 2배가 되면 풍력에너지는 8배가 된다. 그래서 풍력에너지를 활용하기 위해서는 바람이 강한 곳을 선택하는 것이 유리하다.

단위면적당의 풍력에너지 P/A 를 풍력에너지 밀도라고 하고 식(14)과 같다.

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (14)$$

여기서 공기밀도 ρ 값은 기온과 기압에 따라 변화하지만 1기압의 기온 15°C을 기준으로 하여 평균값 1.225 kg/m^3 을 사용하였다.

식(14)와 표3의 확률밀도분포를 가지고 풍력에너지의 밀도를 계산할 수 있으며, 이것을 기준 월별과위밀도라고 하고 식(15)와 같다.

$$P_m(v) = \frac{1}{2} \rho (v^3)_m \quad (15)$$

식(4)으로부터 v^3 을 구하면 식(16)과 같이 된다.

$$(v^3)_m = \int_0^\infty v^3 f(v) dv \quad (16)$$

식 (16)은 식(17)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_m = \sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{2} \rho v_{mj}^3 f(v_j) \right] \quad (17)$$

(15)식을 적분하면 식(18)과 같은 웨이블 함수 구할 수 있다.

$$(v^3)_m = \frac{\Gamma(1+3/k)}{\Gamma^3(1+1/k)} (v_m)^3 \quad (18)$$

식(12)와 식(16)을 식(15)에 대입하게 되

면 웨이블 함수에 대한 평균과위밀도는 식 (19)와 같다.

$$P_W = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left[1 + \frac{3}{k} \right] \quad (19)$$

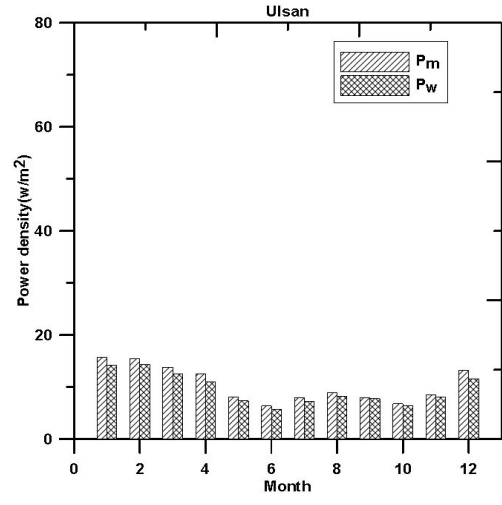
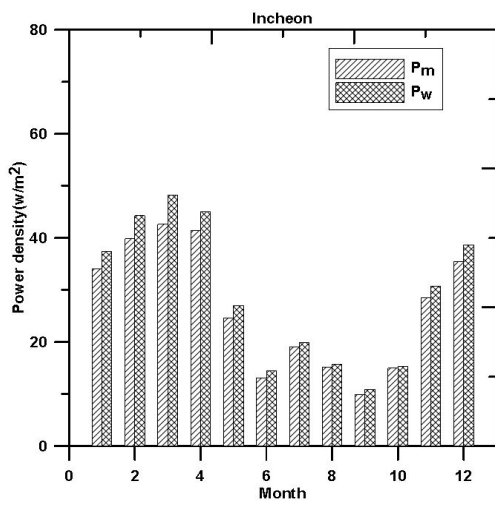
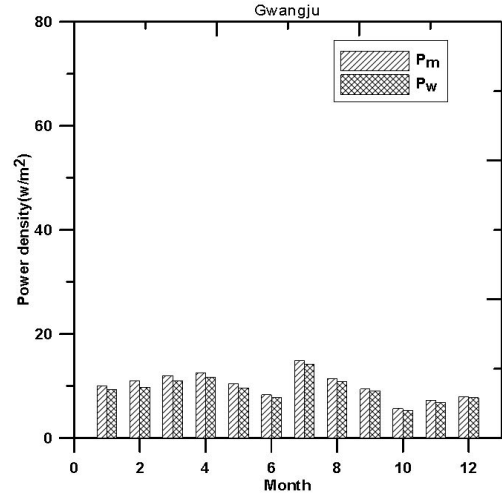
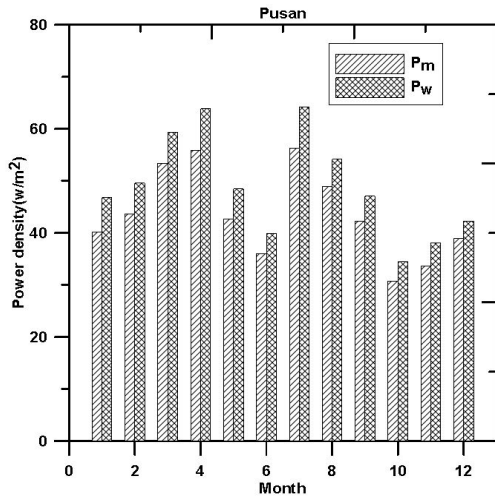
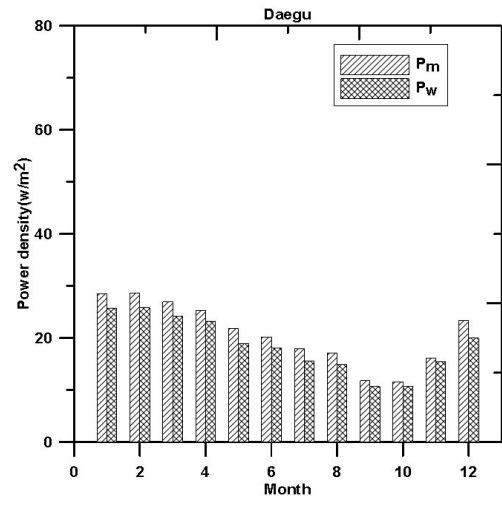
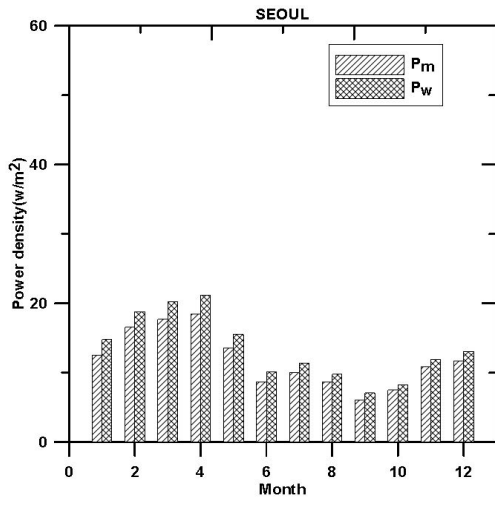
식(15)와 식(19)의 과위밀도분포에 대한 차이를 계산하기 위한 식은 (20)과 같다.

$$Error(\%) = \frac{P_W - P_m}{P_m} \quad (20)$$

년 평균 차이를 구하기 위한 식은 (21)과 같다.

$$Error(\%) = \frac{1}{12} \sum_1^{12} \left| \frac{P_W - P_m}{P_m} \right| \quad (21)$$

그림 5은 7개 지역에 대한 계측된 풍속데이터를 이용하여 구한 풍력에너지 밀도분포 (P_m)와 웨이블계수에 근거한 풍력에너지 밀도분포(P_W)를 나타내고 있다. P_W 값이 P_m 보다 크게 나타나고 있었지만 비슷한 분포를 하고 있었다. 그리고 밀도분포의 크기는 부산>인천>제주>대구>서울>울산>광주 순으로 크게 나타나고 있었다. P_m 과 P_W 의 밀도분포에 대한 차이를 알아보기 위한 분석은 식(16)을 사용하였으며, 해석결과는 그림 6과 같다. 최대오차율은 서울 1월일 때 18%로 가장 크게 나타나고 있었다. 제주 7월일 때 1.2%의 오차가 발생하고 있어 가장 적게 나타나고 있었다. 표 5는 지역별 년 오차율을 나타내고 있다. 년 평균오차에서는 서울>부산>대구>울산>인천>제주>광주 순으로 최대 13%에서 최소 6%범위 안에서 발생하고 있었다. 웨이블계수에 근거한 풍력에너지 밀도분포 P_W 에 대한 지역의 연평균 분포에서는 서울의 경우는 평균 13 w/m^2 , 부산의 경우는 평균 50 w/m^2 , 인천, 제주는 평균 25 w/m^2 , 대구는 평균 20 w/m^2 , 광주와 울산은 평균 10 w/m^2 로 분포하고 있어 부산에서 가장 큰 풍력에너지 밀도가 나타나고 있었다.



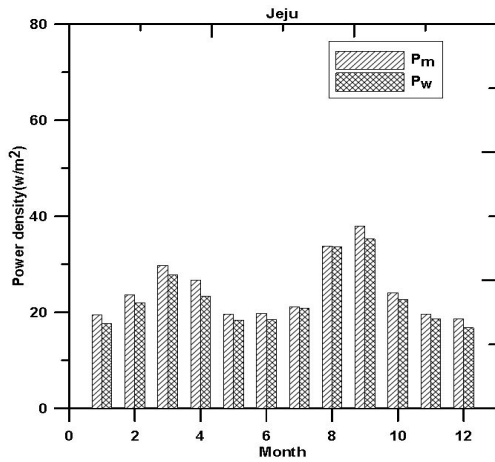
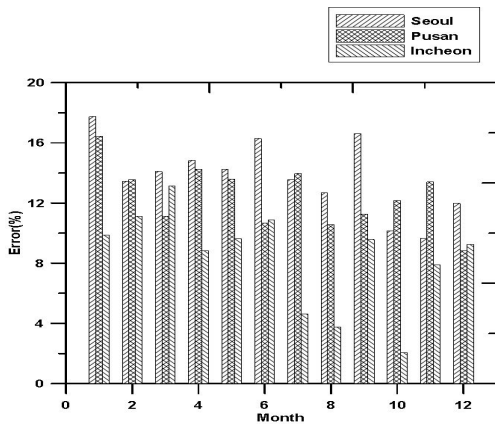
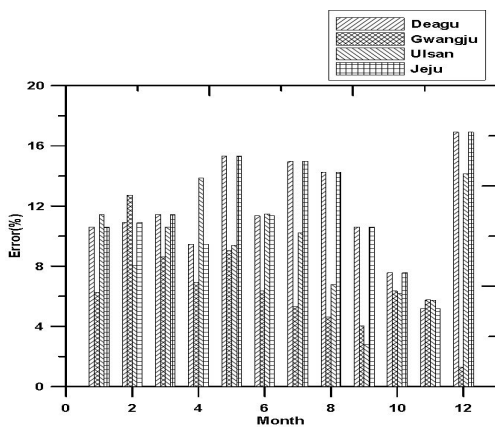


그림 5. 월별 풍력에너지 밀도분포



(a) 서울,부산,인천



(b) 대구,광주,울산,제주

그림 6. 지역별 P_m 과 P_w 의 밀도분포의 오차율

표 5. 지역별 년 오차율

구분	오차율
서울	13.77%
부산	12.48%
인천	8.39%
대구	11.54%
광주	6.43%
울산	9.22%
제주	7.03%

4. 결 론

서울시와 광역시 5곳(부산,울산,광주,대구,인천),제주 등 7개 지역에 대한 일별로 측정된 풍속데이터와 웨이블계수를 이용한 풍력에너지 평가를 실시한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 일평균풍속에 근거한 월평균 확률밀도분포와 웨이블계수에 근거한 월평균 확률밀도분포가 서로 잘 일치하고 있었다. 상관계수분포에서도 0.9-0.95이상의 월별 분포를 하고 있었다. 웨이블계수를 이용한 각 지역별 풍력에너지밀도분포에 활용할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.
- (2) 내륙도심과 해안도심의 비교에서 해안도시인 부산의 연평균 풍력에너지 밀도가 $49.02 W/m^2$ 으로 내륙도시인 광주의 연평균 풍력에너지 밀도 $10.0 W/m^2$ 에 비해 최대 79%정도 높게 나타나고 있었다.

후 기

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.D00473).

참 고 문 헌

1. Seguro, J.A. et al., Modern Estimation of the Parameters of the Weibull Wind

- Speed Distribution for Wind Energy Analysis, *Jornal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, 85, 2000, pp.75~84.
2. Jing, L. et al., Wind Potential Assessment of Fu-jian Province in China, *Environmental Informatics Archives*, 4, 2006, pp.67-75
 3. Weisser, D. A Wind Energy Analysis of Grenda : an Estimation using the 'Weibull' Density Function. *Renewable Energy*, 28, 2003, pp.1803-1812
 4. Stankovic, S. et al. Urban Wind Energy. *BDSP*, 2009
 5. Lu, L et al., Inverstigation of Wind Power Potential on Hong Kong Islands-an Analysis of Wind Power and Wind turbine Characteristics. *Renewable Energy*. 27, 2002, pp.1-12
 6. Bivona, S. et al. Hourly Wind Speed Analysis in Sicily, *Renewable Energy*. 28, 2003, pp.1371-1385
 7. Durak, M. et al. Wind Power Potential in Turkey and Akhisar Case Study. *Renewable Energy*. 25, 2002, pp.463-472
 8. 고경남, 허종철 역. 풍력공학입문. 문운당, 2008