

# 와이블데이터를 이용한 소형풍력발전기 출력에 대한 평가

유기표\*, 김영문\*\*

\*\*전북대학교 건축공학과(youkp@chonbuk.ac.kr), \*\*전북대학교 건축공학과(kym@chonbuk.ac.kr)

## Evaluating the Output of Small-size Wind Power Generators Using Weibull Data

You, Ki-Pyo\* Kim, Young-Moon\*\*

\*Dept. of Architecture Engineering, Chonbuk National University(youkp@chonbuk.ac.kr),

\*\*Dept. of Architecture Engineering, Chonbuk National University(kym@chonbuk.ac.kr),

### Abstract

This study purposed to predict wind energy for small size wind power generators at 50m above the ground in each area using mean wind speed data for 10 minutes collected from 2001 to 2011 by meteorological data in large cities having over 60% of 15 story (50m) or higher apartments including Seoul, Daejeon, Gwangju and Daegu representing the inland region, and Busan, Incheon and Ulsan representing the coastal region. In the results of analysis, we confirmed close agreement between observatory weather data and probability density distribution obtained using Weibull's parameters, and this suggests that Weibull's parameter is applicable to the estimation of wind energy. Hourly output energy using the mean wind speed for 10 minutes and output energy obtained from Weibull's parameter showed an error less than 5%, and thus it was found that wind energy can be evaluated using Weibull's modulus.

Keywords : 기상데이터(Meteorological Data), 풍력에너지(Wind Power), 평균풍속(mean wind speed), 와이블 파라미터(Weibull Parameter), 출력에너지(Output Energy)

### 기 호 설 명

$\alpha$	: 지표면 조도계수	$V_z, Z$	: 지표면에서의 풍속, 높이
$v_i$	: 평균풍속(m/s)	$V_R, Z_R$	: 기준높이에서의 풍속, 높이
$v$	: 풍속	$c, k$	: 기상대 데이터로부터 얻어지는 와이블 척도와 형상의 파라미터

투고일자 : 2012년 3월 5일, 심사일자 : 2012년 3월 7일, 게재확정일자 : 2012년 4월 24일  
교신저자 : 유기표(youkp@chonbuk.ac.kr)

$f(v_i)$  : 도수분포  
 $f_w(v)$  : 와이블 분포의 확률밀도

## 1. 서 론

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 국내의 경우 2006년 말 기준으로 한국 내 풍력발전 공급량은 173MW이며, 이는 미국 풍력발전 공급량의 1.5%에도 못 미치는 수준이다. 해외에서의 발전량의 증가 중에서도 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. 그러나 최근에는 도심권에 건설되고 있는 건물의 단지 내의 다양한 신재생에너지들이 연구되고 있다. 그중에서 태양광을 이용한 관심이 가장 많이 계획되고 있다. 그러나 태양광의 효율에 비해 초기비용이 많이 들고 설치면적에 대한 문제점이 많이 있다. 일반적으로 바람은 지상에서 높이 올라갈수록 풍속이 증가를 하기 때문에 15층(50m)이상 되는 고층아파트의 옥상부근에는 풍속은 지상보다 크게 발생하게 되어 소형풍력발전기의 설치에 효과적이다. 그러나 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 해

당지역의 풍속의 확률분포를 대변하는 데에는 문제가 있기 때문이다. 따라서 일반적으로 인근 기상관측소의 풍속데이터를 이용한 풍력에너지를 예측하고 있는 실정이다. 풍력발전을 위한 바람은 일상적으로 부는 바람이며, 이때 풍속을 추정하기 위한 확률분포는 와이블 분포(Weibull distribution)가 일반적으로 많이 사용된다. 와이블 분포에는 풍속도수분포를 일치시키기 위해서 일반적으로 2개의 파라미터가 있다<sup>1)</sup>. 이들 커브군은 실측된 풍속데이터와 잘 일치한다. 와이블 함수는 풍속데이터를 이용해서 풍력에너지를 계산하기 위한 편리한 방법이다. 와이블 분포를 이용한 지역별 풍력에너지의 평가에 대한 다양한 연구들이 이루어지고 있다<sup>2)3)4)</sup>. 지역의 기상데이터를 이용한 확률밀도함수와 와이블 확률밀도함수를 상호비교를 하고 이들 이용한 풍력에너지의 크기를 예측하는 연구가 다양하게 진행되고 있다<sup>5)6)</sup>.

본 논문에서는 현재 15층(50m)이상 고층아파트의 60%이상을 차지하면서 내륙을 대표하는 서울, 대전, 광주, 대구와 해안가를 대표하는 부산 인천, 울산을 중심으로 2001년-2011년까지 기상대에서 계측된 10분간 풍속 기상데이터를 이용하여 각 지역별 지상 50m 부근에서의 소형풍력발전기에 대한 풍력에너지를 예측해보고자 한다.

## 2. 해석대상지역의 풍속분포매개변수

표 1은 해석하고자 하는 기상관측소의 해발높이와 풍속계 높이 및 지표면조도를 나타내고 있다. 현재 고층건물이 가장 많이 보급되고 있는 내륙지역(서울, 대전, 대구, 광주)과 해안지역(부산, 인천, 울산)의 광역시를 중심으로 하였다. 기상데이터는 2001년 1월 1일-2011년 12월 31일까지이며 계측시간은 매 10분 간격으로 계측된 데이터를 이용하였다.

표 1. 지상관측소 해발높이와 풍속계높이

지점명	해발 높이 (m)	풍속계 높이 (m)	지표면조도	경도풍 높이(m)	
내 륙	서울	85.5	10.6	A( $\alpha = 0.33$ )	500
	대전	77.1	10.4	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
해 안	부산	63.2	17.8	A( $\alpha = 0.33$ )	500
	인천	68.9	11.0	B( $\alpha = 0.22$ )	400
	울산	31.5	10.8	B( $\alpha = 0.22$ )	400

바람은 지상에서 높아질수록 속도가 증가하기 때문에 충분한 풍력에너지를 가지고 있다. 그러나 풍속이 크게 나타나는 높이까지 설치하는 데에는 많은 비용의 문제가 있기 때문에 높은 고지의 산악지형에 설치하는 것이 일반적이다. 그러나 도심의 높은 건물의 옥상층의 경우 지상보다 센바람이 불기 때문에 충분히 풍력에너지를 설치 가능한 위치이다. 지역별 풍속변화의 상태는 지표면의 상황에 따라 결정된다. 그리고 평균 풍속의 수직분포를 추정하기 위한 지수법칙을 사용하면 식(1)과 같다.

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

해석대상 지역마다 풍속계의 높이가 서로 상이하기 때문에 일정한 높이로 일치시키기 위해 표 1과 식 (1)을 사용하였다. 해당지역에서 지표면조도 값을 이용하여 경도풍 높이의 풍속 구한 후 각 지점별 풍속 측정높이를 지역의 지표면조도를 고려하여 다시 지상 50m 풍속으로 변환하였다.

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

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

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

만약에 밀도함수를 알고 있다면 식(2)와 식(3)은 식(4)와 식(5)와 같이 대치할 수 있다.

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

$$\sigma = \left[ \int_0^\infty (v - v_m)^2 f(v) dv \right]^{1/2} \quad (5)$$

와이블 함수(Weibull function)의 유연성과 간편성 때문에 현재까지 지역별 풍속을 평가하는데 많이 사용되고 있는 방법이다. 와이블 분포의 확률밀도함수는 식(6)과 같다.

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

여기서  $c, k$ 는 와이블 분포를 결정하는 척도(scale) 및 형상(shape) 파라미터이다. 이러한 와이블 분포의 파라미터를 구하는 많은 방법들이 연구되어 왔다. Lambert<sup>8)</sup>등은 최우도법(Maximum likelihood method)과 수정된 최우도법(Modified Maximum likelihood method)을 및 그래프를 이용하여 기준점이 되는 곳의 출력에너지에 대한 풍속의 시계열 데이터와 와이블 분포 방법들에 대해서 상호 비교 하였다. 분석결과 최우도법이 가장 우수한 것으로 나타났다. Lun and Lam<sup>9)</sup>은 홍콩의 3개 지역에서 30년간 측정된 시간당 평균풍속을 이용하여 와이블 밀도분포의 2개 파라미터를 계산하였다. 그 이외에도 세계 각국에서 측정된 바람데이터를 이용한 다양한 와이블 분포의 해석이 이루어져왔다<sup>10)</sup>. 풍속  $v$ 가 특정값  $v_0$ 보다 작을 확률에 대한 와이블 분포의 누적확률분포는 식(7)과 같다.

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

그리고 와이블 계수  $c, k$ 를 이용하여 평균 풍속과 분산을 구하는데 식(8) ~ 식(9)와 같다.

$$v_m = c\Gamma\left[1 + \frac{1}{k}\right] \quad (8)$$

$$\sigma = c\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right]^{1/2} \quad (9)$$

여기서  $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} \xi^{x-1} \exp(-\xi) d\xi$   
 $\xi = (v/c)^k$

표 2는 서울 지역에서 최근 10년간(2001~2011)계측된 풍속 시계열 데이터를 도수 분포(frequency distribution)로 변환한 것이다. 풍속을 총10개 그룹으로 그루핑을 하였으며 각 그루핑에 대한 밀도함수와 와이블 함수를 나타내고 있다.

표 2. 서울지역의 도수분포와 와이블 함수로 계산된 확률밀도분포(3월)

$i$	$v$	$v_i$	$f_i$	$f(v_i)$	$F(v)$	$f_w(v_i)$
1	0-1	0.5	6421	0.138	0.138	0.144
2	1-2	1.5	14246	0.306	0.443	0.326
3	2-3	2.5	11953	0.256	0.700	0.297
4	3-4	3.5	7463	0.160	0.860	0.165
5	4-5	4.5	2322	0.050	0.910	0.061
6	5-6	5.5	659	0.014	0.924	0.016
7	6-7	6.5	120	0.003	0.927	0.003
8	7-8	7.5	11	0.000	0.927	0.000
9	8-9	8.9	3	0.000	0.927	0.000
10	9-10	9.5	0	0.000	0.927	0.000

표 2의 4번째 열의  $f_i$ 는 그루핑 된 풍속의 데이터 개수를 나타내고 있으며 5번째 열은 도수분포를 나타내고 있다. 6번째 열은 누적 확률분포를 7번째 열은 와이블 함수를 이용하여 계산된 확률밀도분포를 나타내고 있다.

표 3~표 4는 내륙과 해안지역의 기상대에서 10년간 계측된 월별 평균풍속( $v_m$ ), 분산( $\sigma$ )를 나타내고 있다. 그리고 표 5 ~ 표 6은 기상대의 시간대별 평균풍속과 분산을 나타내고 있다. 해석결과 내륙지역보다는 해안지역의 평균풍속과 분산이 크게 나타나고 있었다. 인천은 서울보다 43%, 부산보다 24%정도 큰 평균풍속이 발생하고 있는 것을 알 수 있었다. 그리고 지역별 월별평균풍속분포에는 7월의 광주를 제외하고 6개 지역 모두에서 3월, 4월에서 연중 가장 큰 평균풍속분포를 나타내고 있었다. 시간대별풍속분포의 특성을 알아보았다. 새벽시간대보다는 정오(12시)이후에 많은 풍속이 불고 있는 것을 알 수 있었다. 12시 ~ 18시의 풍속의 크기는 새벽 시간대보다 최소30% ~ 최대50%크게 나타나고 있었다. 지역별 특징에서 해안에 위치한 부산과 인천의 경우가 다른 지역에 비교해서 시간대별 편차가 크게 발생하고 있지 않았다. 정오를 기준으로 하여 오후시간대의 평균풍속이 전체 일평균풍속에서 내륙의 경우는 60%정도를 차지하고 있지만 해안의 경우는 52%정도를 차지하고 있다. 표 7 ~ 표 8은 내륙과 해안의 측정지점별 월별 와이블 계수 값을 나타내고 있다. 전체적으로 척도 파라미터( $c$ )의 경우는 2.0-3.0범위에서 나타나고 있었다. 형태 파라미터( $k$ )의 경우는 1-2범위에서 나타나고 있다. 서울의 경우는 1월, 3월, 12월에 부산은 3월, 인천은 4월, 5월이  $k > 2.0$ 이상 나타나고 있다. 나머지 지역은  $k$ 가 2.0 이하로 나타나고 있다.  $k$ 가 1에 가까울수록 풍속에 대한 상대누적분포가 평탄해지고 있는 것을 의미하고  $k$ 가 3이상으로 커지면 상대누적분포가 뾰족해지는 것을 의미한다. 표 9 ~ 표 10은 내륙과 해안의 시간대별 와이블 계수를 나타내고 있다. 12시-18시까지의 시간대가 가장 큰 와이블 계수분포를 하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

표 3. 내륙의 측정지점에 따른 월별 평균풍속과 분산

구분	서울		대전		대구		광주	
	$v_m(m/s)$	$\sigma$	$v_m(m/s)$	$\sigma$	$v_m(m/s)$	$\sigma$	$v_m(m/s)$	$\sigma$
1월	1.90	0.98	1.92	1.57	2.51	1.52	2.04	1.30
2월	2.01	1.06	2.00	1.47	2.39	1.52	2.12	1.37
3월	2.27	1.17	2.43	1.52	2.65	1.58	2.38	1.50
4월	2.23	1.21	2.57	1.59	2.57	1.53	2.42	1.63
5월	2.00	1.09	2.41	1.59	2.41	1.41	2.38	1.55
6월	1.84	1.01	2.18	1.39	2.33	1.29	2.27	1.48
7월	1.81	1.02	2.15	1.40	2.15	1.19	2.62	1.68
8월	1.76	1.03	2.11	1.41	2.22	1.23	2.35	1.61
9월	1.60	0.96	2.00	1.41	2.11	1.31	2.18	1.54
10월	1.62	0.93	1.67	1.18	1.82	1.21	1.82	1.34
11월	1.86	1.02	1.81	1.32	1.98	1.36	1.88	1.31
12월	1.95	0.99	1.72	1.29	2.40	1.57	2.06	1.35
평균	1.90	1.04	2.08	1.43	2.29	1.39	2.21	1.47

표 4. 해안의 측정지점에 따른 월별 평균풍속과 분산

구분	부산		인천		울산	
	$v_m(m/s)$	$\sigma$	$v_m(m/s)$	$\sigma$	$v_m(m/s)$	$\sigma$
1월	2.80	1.47	3.23	1.97	2.58	1.73
2월	2.70	1.43	3.37	1.87	2.47	1.72
3월	2.97	1.52	3.93	2.13	2.70	1.79
4월	2.98	1.66	3.58	1.82	2.61	1.72
5월	2.65	1.51	2.87	1.46	2.36	1.58
6월	2.44	1.44	2.47	1.38	2.17	1.39
7월	2.65	1.66	2.52	1.49	2.22	1.56
8월	2.70	1.55	2.41	1.49	2.37	2.47
9월	2.72	1.42	2.06	1.40	2.23	1.53
10월	2.35	1.28	2.34	1.68	2.06	1.73
11월	2.45	1.37	3.02	1.95	2.12	1.55
12월	2.63	1.39	3.38	1.98	2.43	1.81
평균	2.67	1.47	2.93	1.72	2.36	1.71

표 5. 내륙의 측정지점에 따른 시간별 평균풍속과 분산

구분	서울		대전		대구		광주	
	$v_m(m/s)$	$\sigma$	$v_m(m/s)$	$\sigma$	$v_m(m/s)$	$\sigma$	$v_m(m/s)$	$\sigma$
0시-6시	1.88	1.15	1.52	1.17	1.71	1.09	1.65	1.27
6시-12시	2.19	1.21	1.72	1.35	1.92	1.28	1.90	1.41
12시-18시	3.02	1.38	2.62	1.42	2.77	1.42	2.64	1.44
18시-24시	2.42	1.28	1.94	1.27	2.21	1.27	2.10	1.30

표 6. 해안의 측정지점에 따른 시간별 평균풍속과 분산

구분	부산		인천		울산	
	$v_m(m/s)$	$\sigma$	$v_m(m/s)$	$\sigma$	$v_m(m/s)$	$\sigma$
0시-6시	3.11	1.87	2.33	1.60	1.62	1.56
6시-12시	3.21	1.86	2.52	1.62	2.10	1.79
12시-18시	3.77	1.83	3.44	1.68	3.15	1.50
18시-24시	3.25	1.82	2.74	1.74	1.95	1.27

표 7. 내륙의 측정지점에 따른 월별 와이블 계수값

구분	서울		대전		대구		광주	
	$c(m/s)$	k	$c(m/s)$	k	$c(m/s)$	k	$c(m/s)$	k
1월	2.14	2.01	2.09	1.30	2.81	1.69	2.28	1.63
2월	2.26	1.97	2.20	1.42	2.68	1.62	2.37	1.61
3월	2.56	2.02	2.71	1.63	2.97	1.73	2.67	1.65
4월	2.51	1.92	2.87	1.65	2.89	1.75	2.70	1.55
5월	2.25	1.91	2.68	1.57	2.71	1.78	2.66	1.60
6월	2.07	1.89	2.43	1.62	2.62	1.88	2.54	1.60
7월	2.03	1.81	2.40	1.60	2.42	1.88	2.92	1.60
8월	1.98	1.75	2.35	1.55	2.50	1.88	2.61	1.52
9월	1.80	1.72	2.22	1.48	2.36	1.66	2.42	1.48
10월	1.82	1.79	1.86	1.49	2.03	1.58	2.01	1.43
11월	2.10	1.90	2.00	1.43	2.19	1.50	2.09	1.49
12월	2.20	2.07	1.89	1.39	2.67	1.55	2.29	1.57
평균	2.14	1.90	2.31	1.51	2.57	1.71	2.46	1.56

표 8. 해안 측정지점에 따른 월별 와이블 계수값

구분	부산		인천		울산	
	$c(m/s)$	k	$c(m/s)$	k	$c(m/s)$	k
1월	3.16	1.98	3.63	1.72	2.86	1.50
2월	3.04	1.96	3.80	1.89	2.71	1.43
3월	3.35	2.04	4.44	1.93	2.98	1.50
4월	3.35	1.86	4.05	2.07	2.89	1.50
5월	2.98	1.82	3.24	2.06	2.62	1.52
6월	2.74	1.76	2.78	1.84	2.42	1.59
7월	2.96	1.66	2.83	1.73	2.45	1.46
8월	3.04	1.81	2.69	1.64	2.58	1.29
9월	3.06	1.97	2.27	1.47	2.47	1.49
10월	2.64	1.88	2.58	1.44	2.25	1.35
11월	2.75	1.83	3.39	1.64	2.32	1.38
12월	2.96	1.96	3.81	1.80	2.66	1.40
평균	3.00	1.88	3.29	1.77	2.60	1.45

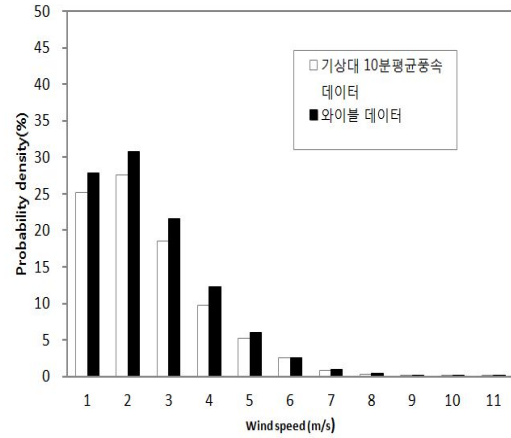
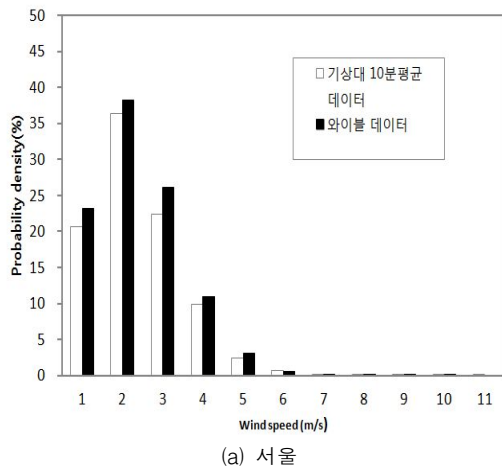
표 9. 내륙의 측정지점에 따른 시간대별 와이블 계수값

구분	서울		대전		대구		광주	
	$c(m/s)$	k	$c(m/s)$	k	$c(m/s)$	k	$c(m/s)$	k
0시-6시	2.10	1.68	1.67	1.38	1.91	1.63	1.81	1.37
6시-12시	2.47	1.89	1.88	1.32	2.14	1.55	2.10	1.41
12시-18시	3.41	2.31	2.96	1.94	3.13	2.05	2.98	1.93
18시-24시	2.72	1.96	2.17	1.60	2.49	1.81	2.36	1.69

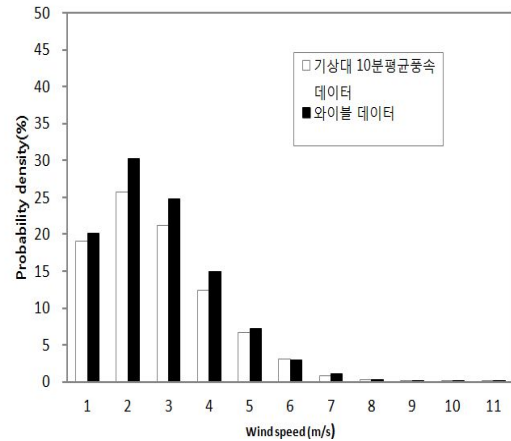
표 10. 해안의 측정지점에 따른 시간대별 와이블 계수값

구분	부산		인천		울산	
	$c(m/s)$	k	$c(m/s)$	k	$c(m/s)$	k
0시-6시	3.48	1.69	2.59	1.51	1.74	1.22
6시-12시	3.61	1.77	2.81	1.61	2.28	1.30
12시-18시	4.26	2.18	3.88	2.13	3.55	2.17
18시-24시	3.66	1.86	3.07	1.64	2.18	1.59

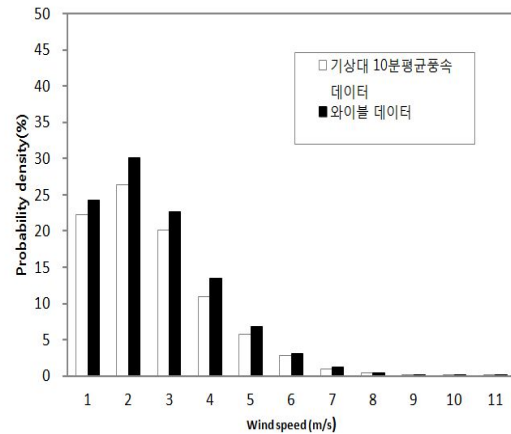
그림 1 ~ 그림 2는 지역별 10분간 평균풍속에 대한 월별 확률밀도분포와 와이블 계수를 이용하여 확률밀도분포를 표 2와 같이 구한 월별 확률밀도분포에 대한 기상대 데이터와 와이블 계수의 분포를 평균하여 나타내고 있다. 내륙에서 해석대상건물의 기상대데이터와 와이블 계수에 의한 확률밀도는 평균풍속 1m/s ~ 4m/s범위 안에서 78% ~ 89%집중되어 분포하고 있었다. 서울의 경우는 1m/s ~ 4m/s에 89%로 가장 많이 집중되어 있으며, 내륙의 다른 지역(대전, 대구, 광주)은 80%가 1m/s ~ 4m/s에 집중되어 있었다. 풍력발전에 영향을 주는 풍속의 크기가 서울의 경우는 저풍속에 집중되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 평균풍속이 4m/s이상은 10%미만으로 나타나고 있었다. 그리고 해안의 경우는 전체 풍속영역에서 70% ~ 78%가 1m/s ~ 4m/s 안에, 그리고 4m/s이상이 14% ~ 18%범위에 분포하고 있어 풍력발전을 위한 풍속이 내륙지역보다는 해안지역에 유리한 것을 알 수 있었다. 와이블 계수에 의한 확률밀도분포는 전체적으로 크게 나타나고 있었지만 표 11은 풍속데이터를 이용한 월별 확률밀도분포와 와이블 계수에 근거한 확률밀도분포의 차이를 알아보기 위한 상관관계수( $R^2$ )는 0.95 범위 안에 있어 상관관계가 매우 큰 것을 확인할 수 있었다.



(b) 대전

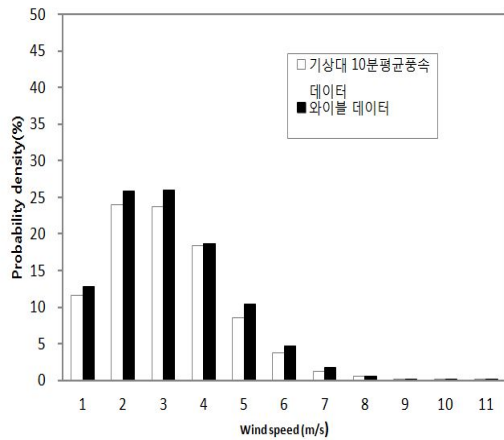


(c) 대구

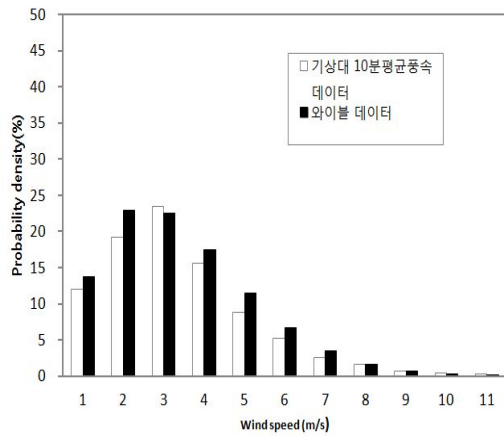


(d) 광주

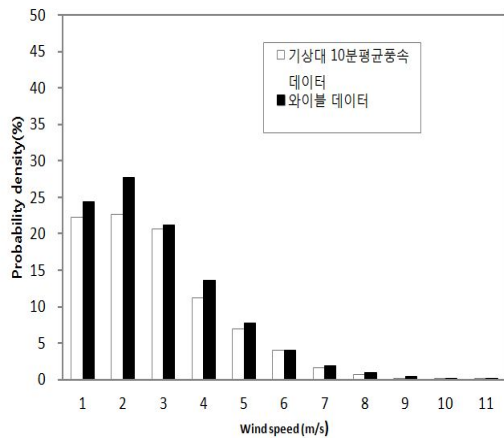
그림 1. 내륙지역의 기상대데이터와 와이블데이터를 이용한 월별풍속에 대한 평균 확률밀도분포



(a) 부산



(b) 인천



(c) 울산

그림 2. 해안지역의 기상대데이터와 와이블데이터를 이용한 월별풍속에 대한 평균 확률밀도분포

표 11. 기상대데이터와 와이블계수로 구한 확률밀도분포에 대한 월별 상관계수값

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월
서울	0.94	0.96	0.95	0.91	0.96	0.98
대전	0.97	0.98	0.96	0.97	0.97	0.95
대구	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97
광주	0.96	0.97	0.97	0.95	0.96	0.97
부산	0.98	0.97	0.95	0.96	0.97	0.94
인천	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97
울산	0.98	0.97	0.95	0.96	0.97	0.94
구분	7월	8월	9월	10월	11월	12월
서울	0.97	0.91	0.89	0.87	0.89	0.94
대전	0.94	0.91	0.89	0.97	0.98	0.98
대구	0.95	0.97	0.96	0.95	0.97	0.95
광주	0.97	0.97	0.99	0.95	0.91	0.96
부산	0.96	0.94	0.92	0.90	0.93	0.95
인천	0.94	0.93	0.96	0.98	0.97	0.99
울산	0.97	0.98	0.96	0.97	0.97	0.95

### 3. 풍력에너지출력

본 논문에서는 풍력에너지를 계산하기 위해 50W의 출력을 가지는 소형풍력발전기를 사용하였다. 소형풍력발전기에 대한 출력은 다항식 커브로 나오는 풍력터빈이며 기존논문<sup>7)</sup>에서 사용되고 있는 3차 다항식 출력식은 식(10)과 같다.

$$P_{out} = 0.964 - 2.299v + 1.214v^2 - 0.0572v^3 \quad (10)$$

풍속의 10분 평균풍속 데이터에 의한 기준 출력  $E_R$ 은 식(11)과 같다.

$$E_R = \sum_{i=1}^N P_{out} \Delta t \quad (11)$$

여기서  $\Delta t$  : 측정데이터의 간격

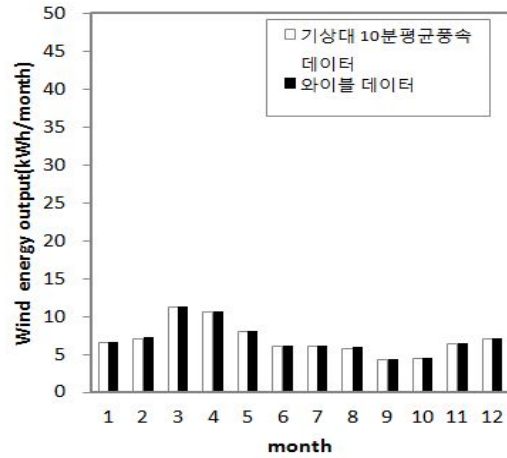
와이블 계수에 의한 출력은  $E_W$ 은 식(12)와 같다.

$$E_W = \sum_{i=1}^N P_{out f_w}(v_i) N \Delta t \quad (12)$$

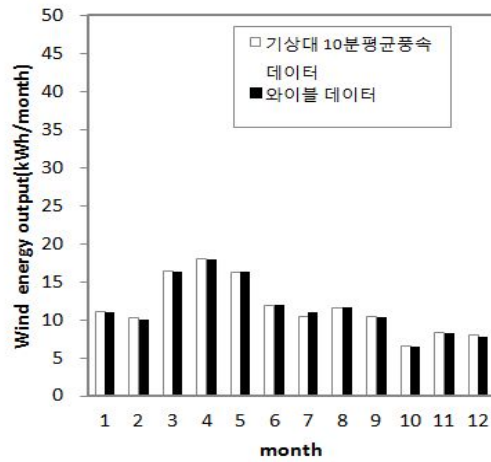
풍속의 10분 평균풍속 데이터를 이용한 출력에너지와 와이블 계수를 이용한 출력에너지의 차이를 구하는 식은 (13)과 같다.

$$Error(\%) = \frac{E_W - E_R}{E_R} \quad (13)$$

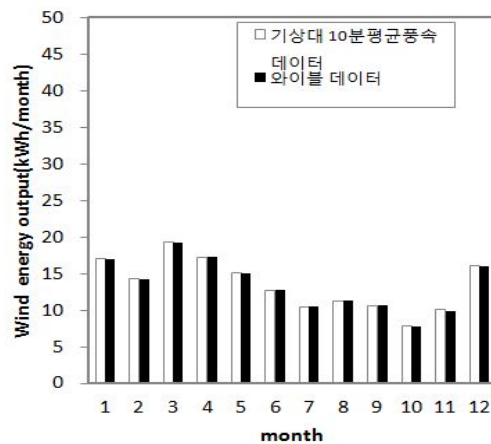
그림 3은 기상대에서 측정된 데이터와 와이블 계수를 이용한 월별 출력에너지를 나타내주고 있다. 10년간 측정된 기상대 10분간 평균풍속 데이터를 이용한 시간당 출력에너지와 와이블 계수를 이용한 출력에너지는 거의 일치하고 있었다. 해석대상 지역에 대한 출력에너지의 크기는 내륙지역 4곳과 해안지역 3곳의 연 평균값을 비교하면 해안지역이 평균 40%정도 큰 출력에너지를 확보하는 것으로 나타나고 있었다. 내륙에 위치한 서울의 경우는 해석대상의 다른 지역과 비교하여 매우 적은 출력에너지가 나타나고 있었다. 가장 많은 출력에너지가 나오는 인천과 비교하여 71% 작게 나타나고 있었다. 서울의 경우는 월별 출력에너지가 10kWh 이상이 되는 달은 3월과 4월이며 그이외의 달은 모두 10kWh 이하로 나타나고 있었다. 그리고 출력에너지가 가장 많이 나오는 인천의 경우는 20kWh의 출력이 나오는 달이 7개월 이상 나타나고 있어 가장 효율적인 지역이다. 매월 측정된 10분 평균풍속 데이터와 와이블 계수를 이용한 출력에너지의 차이는 그림 4와 같다. 출력에너지의 차이는 대륙의 경우가 해안의 경우와 비교하여 10%정도 크게 나타나고 있었지만 대부분의 5%미만으로 작게 나타나고 있어 와이블 계수를 이용한 출력에너지에 대한 사용에 큰 문제가 없는 것으로 판단이 된다.



(a) 서울

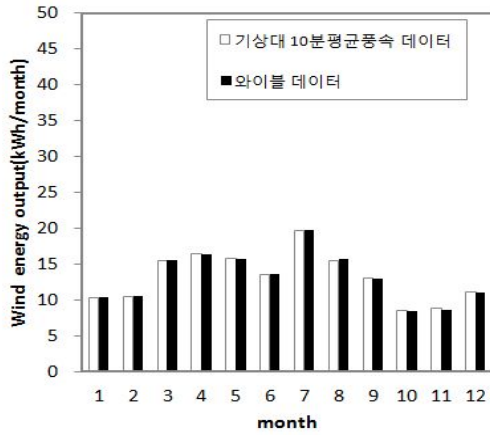


(b) 대전

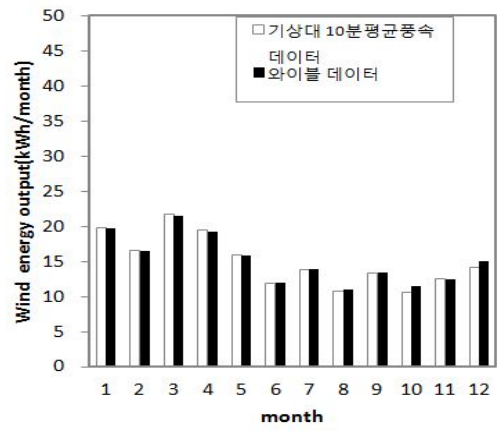


(c) 대구

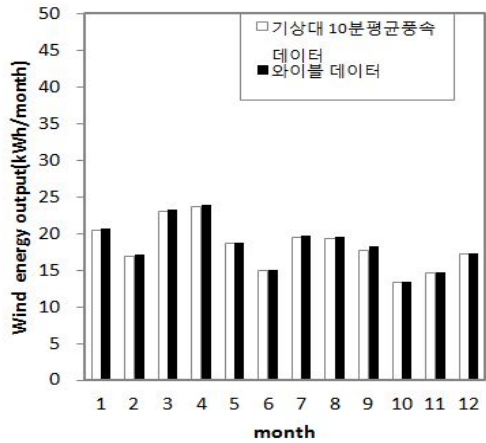




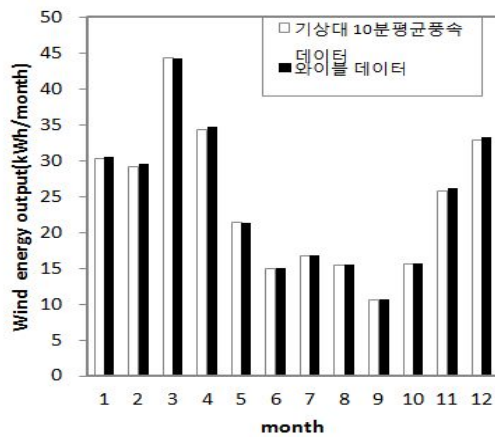
(d) 광주



(g) 울산

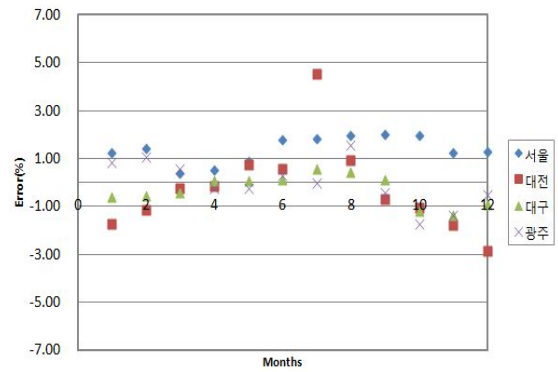


(e) 부산

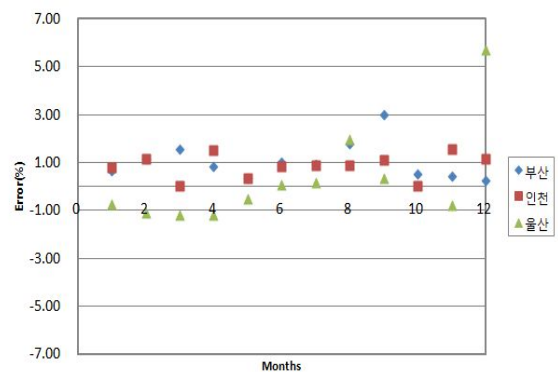


(f) 인천

그림 3. 기상대와 와이블 데이터를 이용한 월별 출력 에너지 분포



(a) 내륙



(b) 해안

그림 4. 기상대와 와이블 데이터의 월별 출력에너지 분포에 대한 오차율

#### 4. 결 론

대륙과 해안지역에 위치한 7개 광역시를 중심으로 하여 10년간(2001 ~ 2011) 10분 간격으로 측정된 기상대의 풍속데이터에 대해서 와이블 계수를 이용하여 소형 풍력발전기의 에너지 출력에 대한 평가를 실시한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기상대 데이터와 와이블 계수를 이용한 확률밀도분포가 거의 일치하고 있는 것을 확인할 수 있어 와이블 계수에 의한 풍력에너지 활용이 가능한 것 알 수 있었다. 그리고 대륙지역은 평균풍속분포가 4m/s이하에서 80%, 4m/s이상에서는 10%미만으로 나타나고 있었지만 해안지역은 4m/s 이하가 75% 4m/s이상이 16%이상으로 많이 분포하고 있어 풍력 발전에 유리한 것을 확인할 수 있었다.
- (2) 풍력에너지평가를 위하여 10분간 평균풍속을 이용한 시간당 출력에너지와 와이블 계수를 이용한 출력에너지의 오차가 5%미만으로 나타나고 있어 와이블 계수를 이용한 풍력에너지 평가가 가능한 것을 알 수 있었다. 그리고 해석대상의 해안지역이 연평균 180(울산) ~ 300kWh(인천), 도심지역은 84kWh(서울) ~ 160kWh(대구)로 평가되었다.

#### 후 기

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(No. 2011-0009235)

#### 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, Journal 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. Lu, L et al., Investigation of Wind Power Potential on Hong Kong Islands—an Analysis of Wind Power and Wind turbine Characteristics. Renewable Energy. 27, 2002, pp.1-12
5. Bivona, S. et al. Hourly Wind Speed Analysis in Sicily, Renewable Energy. 28, 2003, pp.1371-1385
6. Durak, M. et al. Wind Power Potential in Turkey and Akhisar Case Study. Renewable Energy. 25, 2002, pp.463-472
7. Celik, A. Energy Output Estimation for Small-Scale Wind Power Generators using Weibull-Representative Wind Data, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 91,2003, pp.693-707
8. Lambert T.W. et. al. Modern Estimation of the Parameters of the Weibull Wind Speed Distribution for Wind Energy Analysis, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 85,2000, pp.75-84
9. Lun J.C, et, al. A Study of Weibull Parameters using Long-Term Wind Observation, Renewable Energy. 20, 2000, pp.145-153
10. Carica A, et. al. Fitting Wind Speed Distribution: a Case Study, Solar Energy, 62, 1998, 139-144
1. Seguro, J.A. et al., Modern Estimation of the Parameters of the Weibull Wind Speed Distribution for Wind Energy