

## 농촌 그린빌리지 계획을 위한 일별 풍력발전량의 적정확률분포형 추정

### Estimation of the optimal probability distribution for daily electricity generation by wind power in rural green-village planning

김대식\* · 구승모\*\*† · 남상운\*

Kim, Dae-sik\* · Koo, Seung-mo\*\*† · Nam, Sang-woon\*

#### Abstract

This study aims to estimate the optimal probability distribution of daily electricity generation by wind power, in order to contribute in rural green-village planning. Wind power generation is now being recognized as one of the most popular sources for renewable resources over the country. Although it is also being adapted to rural area for many reasons, it is important to estimate the magnitudes of power outputs with reliable statistical methodologies while applying historical daily wind data, for correct feasibility analysis. In this study, one of the well-known statistical methodology is employed to define the appropriate statistical distributions for monthly power outputs for specific rural areas. The results imply that the assumption of normal distributions for many cases may lead to incorrect decision-making and therefore lead to the unreliable feasibility analysis. Subjective methodology for testing goodness of fit for normal distributions on all the cases in this study, provides possibilities to consider the other various types of statistical distributions for more precise feasibility analysis.

*Keywords : Wind power generation, Maximum likelihood estimation, Statistical distributions, Feasibility, Green-village*

#### 1. 서 론

농촌지역에 신재생에너지를 활용할 수 있는 다양한 방안이 있으나, 농촌마을 단위에서 신재생에너지를 활용하는 경우 이를 그린빌리지(Green-village)

라는 용어로 표현하기도 한다. 그린빌리지는 그 마을에서 사용되는 에너지를 스스로 충당할 수 있다는 것을 의미하는 것으로서, 이 때 에너지 발생에 사용되는 것을 신재생에너지의 범주에 두고 있다. 신재생에너지는 태양광, 태양열, 풍력, 연료전지, 수소에너지, 바이오에너지, 폐기물에너지, 석탄가스화/액화, 지열, 소수력, 해양에너지 등 11가지에 이른다(남상운, 김대식, 2007). 이 중에서 농촌지역에 활용이 가능한 것으로 알려진 풍력발전은 바람이 가진 운동 에너지를 이용해 날개를 회전시켜 전기를 얻는 기술로 환경에 영향을 거의 주지 않으므로, 무한한 잠재량을 이용할 수 있어 바람이 많은 지역에 적합한 재생 에

\* 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

\*\* 충남대학교 농업생명과학대학 농업경제학과

† Corresponding author. Tel.: +82-42-821-6749

Fax: +82-42-821-7977

E-mail address: koosm@cnu.ac.kr

2008년 5월 23일 투고

2008년 11월 10일 심사완료

2008년 11월 10일 게재확정

너지로 각광 받고 있다. 그러나 설치에 따른 용지매수, 환경 문제 등의 요인으로 일부 지역에서 문제가 제기되고 있는 것으로 알려져 있기도 하다. 풍력발전은 대체 전력생산을 대량으로 생산하는 대규모와 마을단위 이하에서 사용되는 소규모로 구분하여 사업이 이루어진다. 대규모 사업의 경우에는 대부분 발전사업용으로 설치되고 있으며, 200kW를 초과하는 용량이 대다수를 차지하고 있는 것이 특징이다. 세계적으로 연평균 28%씩 성장하고 있는 풍력시장은 2MW 이상의 대용량 개발로 이어지고 있으며, 우리나라도 최근 3MW급 설비를 설치 중에 있을 뿐만 아니라 해상풍력발전으로 확대되고 있다. 소규모 사업의 경우에는 마을단위의 그린빌리지 조성 또는 가로등 수준의 전력 대체 등을 위하여 활용되고 있다.

풍력발전을 고려한 그린빌리지 계획 사례는 다수의 연구에서 발견할 수 있는데(김명래, 윤재옥, 2006), 실제 운행 중인 사례는 제주도의 서북쪽 한경면 신창리를 대표적으로 들 수 있다. 여기에 설치된 풍력발전기는 현재 6기로서, 이 중에서 2기는 850kW급으로서, 여기서 발생한 전력은 신창리 일원의 마을에 그린빌리지 정책의 일환으로 대체 전력으로 사용되고 있으며, 나머지 4기는 1.5MW급으로 여기서 생산된 전기는 한국남부발전소로 송전되고 있고, 추가 사업으로 현재 3MW급 5기가 건설 중에 있다. 기타 소규모로 운영되고 있는 풍력발전의 활용사례로서, 서울 월드컵 경기장 옆에 위치한 하늘공원(구 난지도)의 풍력발전은 지난 2002년 환경 월드컵 대비 청정발전원 건설을 통하여 설치되었다. 공원 내의 조경에 중점을 두고 설치되었으며, 한전계통 연계형으로 20kW가 평화의 공원에 2기, 한강측에 3기가 설치되었다. 생산된 전기는 공원 내 가로등 220여 개와 탐방객 안내소 등에 충당되고 있다. 또한 울릉도의 부속도서 중 유일한 유인섬인 죽도에 울릉도 개척 125년 만에 순수천연에너지를 이용해 불을 밝혔다. 전체 사업비 4억 8천 8백만원을 들여 완공한 이 시스템은 10kW 풍력발전기 1대, 5kW 태양광발전기 1대, 비상발전기 0.6kW 1대 등으로 구성되어 있다(농림부, 2007).

본 연구에서는 농촌지역에 있어서 신재생 에너지

의 지속가능한 활용 차원에서 풍력발전시설의 도입 가능성을 타진하기에 앞서, 그 경제적 타당성 분석에 기초적 자료가 될 수 있는 풍력발전 잠재력을 월별로 추정하였다. 풍력의 밀도는 기본적으로 지역적, 계절적 변동이 존재하며, 특히 일일 풍력밀도는 그 지역의 특성 및 시기적 기후에 의하여 달라지게 된다. 월별 풍력밀도의 경우 일일풍력의 분포가 항상 정규성을 갖지는 않기 때문에 단순히 월 또는 연 평균 풍력을 해당 풍력발전시설의 잠재력을 평가할 때 적용하는 것은 바람직하지 않다. 왜냐하면 풍력의 발생 분포가 확률에 의존하는 정규분포가 아닌 다른 분포의 특성을 가질 때, 월 또는 연 단위의 단순 기하평균은 진정한 모수를 대표할 가능성이 적으므로, 진정한 풍력발전 잠재력을 과대추정 혹은 과소추정하게 될 위험을 내포하게 된다. 예를 들면 월별 일일 풍력의 분포가 정규분포의 특성을 가지지 않고 심하게 편향된 분포를 가질 경우 그 분포의 왜도로 말미암아, 단순 평균을 그 분포의 대표값으로 설정하여 월 풍력 생산량을 추정한 결과 역시 편향된 정보가 되므로, 해당 풍력시설에 대한 왜곡된 타당성 진단 결과를 이끌어내게 된다. 이러한 경우에는 해당 지역의 풍력 생산량에 대한 적절한 통계분포를 가정하여 모수를 추정한 후 이에 대한 적합도 검정을 통하여 적정 대표값을 추정하는 것이 바람직하다.

## II. 이론적 모델의 개요

### 1. 풍력발전량의 계산

각 기상관측소의 풍속 측정 높이는 지역에 따라 차이가 있고, 풍력터빈의 설치 높이와도 다르므로 관측된 풍속을 풍력터빈의 허브높이로 보정할 필요가 있다. 풍속의 고도 보정에 가장 많이 사용하는 식은 다음과 같다.

$$V_x = V_a \left( \frac{h_x}{h_a} \right)^n \quad (1)$$

여기서,  $V_a$ 는 관측 풍속(m/s),  $h_a$ 는 풍속관측 높이(m),  $V_x$ 는 높이  $h_x$ (m)로 보정한 풍속(m/s)이고,  $n$ 은 지표면의 형상에 따라 결정되는 지수로서 일반적

으로 평원이나 해안에서는 0.1~0.14, 전원에서는 0.17~0.25, 시가지에서는 0.25~0.5의 값을 갖는다. 본 연구에서는 농업시설 설계에 일반적으로 사용하는  $n$ 을 0.25로 적용하였다(김문기 등, 2002). 풍속에 대한 출력특성은 성능곡선 또는 출력곡선에 의해서 풍력발전시스템의 성능을 나타내고 있다. 풍력발전기 제조사의 성능곡선에 따라 연간 풍력발전량( $E_w$ )은 다음 식으로 구할 수 있다. 여기서,  $V_i$ 는 풍속계급  $i$ 의 발전출력(kW)이며  $F_i$ 는 풍속계급  $i$ 의 출현율을 나타낸다.

$$E_w = \sum (V_i \times F_i \times 8760(h)) \text{ (kWh)} \quad (2)$$

Table 1 Specifications of wind turbine system (after Nam and Kim, 2008)

Specification	Value	
	5 kW	750 kW
Cut-in wind speed	2 m/s	3 m/s
Rated wind speed	10 m/s	12 m/s
Cut-out wind speed	25 m/s	25 m/s
Rated power	5 kW	750 kW
Rotor diameter	5.1 m	50 m
Height of hub	30 m	50 m

## 2. 통계분석 및 확률분포형

본 연구에서는 Evans et al(1993)에서 제시하고 있는 일반적으로 잘 적용되는 Generalized Beta, Exponential, Inverse Gaussian, Log-logistic, Log-norm, Normal, Pareto, Pearson Type V, Weibull distribution 등을 분석 대상 분포형으로 설정하였다. 본 연구의 분석단계에서는 주어진 월별 일일 풍력 데이터를 이용하여 분석대상으로 선정된 각종의 통계분포의 모수를 추정한 후 적합도 검정을 거쳐 결론을 도출하였다. 확률분포의 효율적인 모수를 추정하는 방법으로 최우추정법을 적용하였다.

## III. 모델의 적용

### 1. 대상 농촌 마을의 선정

본 연구에서는 분석대상지역을 선정하기 위하여 중

산간지역의 전형적인 농촌마을과 해안지역의 평야지대 농촌마을, 그리고 비교적 대규모의 축산농가를 포함하는 복합영농지역의 농촌마을을 대표적인 유형으로 분류하였다. 이와 같이 유형 분류한 3개의 농촌마을을 농촌 어머니 자원조사 자료를 참고로 충청남도 내에서 가구수 100호 내외의 마을을 선정하였으며, 선정된 마을은 중산간지역의 전형적인 농촌마을로서 금산군 진산면 막현리, 해안지역의 평야지대 농촌마을은 당진군 우강면 부장리, 축산농가를 포함하는 복합영농지역의 농촌마을은 당진군 합덕읍 소소리를 조사대상지역으로 선정하였다(농림부, 2007, 남상운, 김대식, 2007). 동 지역에 대하여 기존 연구(4)에서는 월 평균 풍속을 이용하여 풍력발전 잠재량을 분석한 바 있다. 그러나 본 연구에서는 동일한 지역에 대하여 일별 풍속자료를 근간으로 일별 풍력발전량을 구하고 이로부터 월별로 적정확률분포형을 도출하였다.

## 2. 추정 결과

본 연구에서는 풍력이라는 자연현상의 불확실성이 개입된 통계 분포에 대한 보다 신뢰성 있는 추정을 위하여 실제로 해당 지역의 월별 풍력 발전량을 기술하는 적정 통계분포를 추정하기 위하여, 1977년부터 2006년까지 30년간의 관측자료를 사용하였다. 또한 어느 이상의 풍속에서만 작동하는 풍력발전기의 특성상, 풍속의 확률분포형과 이로부터 생성되는 전력의 확률분포형은 다른 특성을 가질 것이므로, 본 연구에서는 전력이 생산되는 풍속과 전력량으로부터 기동일수(전력발생 일수, working day for electronic generation, WDEG)를 계산하고, 이로부터 기동확률(전체일수에 대한 전력 발생 일수 비율, probability of WDEG, PWDEG)이라는 개념을 도입하였다. 이를 Table 2에 지역별 풍력시설별 기동일수 및 기동확률을 요약하여 나타내었다.

3개의 대상마을 중 부장리의 월 기동확률이 두 가지 풍력 시설(5kW급 및 750kW급)에서 연중 가장 양호한 것으로 나타났으며 막현리의 조건이 가장 열악한 것으로 나타났다. 예를 들어, 부장리는 30년 간 1월 중 5kW급의 풍력시설이 기동할 수 있는 일수가

**Table 2 Working day and its corresponding probability for electronic generation in each village (1977-2006)**

Village	Spec. (kW)	Items	Month												Average
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Makhyun	5	WDEG <sup>1)</sup>	242	271	332	342	244	134	150	99	71	96	165	183	166.79
		PWDEG <sup>2)</sup>	0.26	0.29	0.36	0.37	0.26	0.14	0.16	0.11	0.08	0.10	0.18	0.20	0.35
	750	WDEG	131	155	180	185	104	50	66	38	27	32	87	98	146
		PWDEG	0.14	0.17	0.19	0.20	0.11	0.05	0.07	0.04	0.03	0.03	0.09	0.11	0.10
Boojang	5	WDEG	496	483	637	664	640	489	551	443	350	332	443	447	460
		PWDEG	0.53	0.52	0.68	0.71	0.69	0.53	0.59	0.48	0.38	0.36	0.48	0.48	0.54
	750	WDEG	341	352	466	497	462	305	425	316	221	227	304	317	383
		PWDEG	0.37	0.38	0.50	0.53	0.50	0.33	0.46	0.34	0.24	0.24	0.33	0.34	0.38
Soso	5	WDEG	302	355	488	531	448	308	365	341	226	254	292	290	323
		PWDEG	0.32	0.38	0.52	0.57	0.48	0.33	0.39	0.37	0.24	0.27	0.31	0.31	0.37
	750	WDEG	181	215	295	314	233	126	170	130	101	110	168	163	227
		PWDEG	0.19	0.23	0.32	0.34	0.25	0.14	0.18	0.14	0.11	0.12	0.18	0.18	0.20

note) <sup>1)</sup> WDEG: working day for electronic generation, <sup>2)</sup> PWDEG: probability of WDEG

**Table 3 Optimal probability distribution of wind power generation for each month at village of Makhyun (5kW)**

Items	Month												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
TD*	LL**	LN**	PV**	PV	EP**	EP	EP	EP	EP	IG**	IG	PV	
mean	18.35	15.04	14.59	14.40	10.72	10.36	9.91	10.50	10.29	9.92	12.17	13.93	
OD*	Parameters	$\gamma=5.23$	$\mu=10.14$	$\alpha=2.04$	$\alpha=1.96$	$\beta=5.23$	$\beta=4.88$	$\beta=4.42$	$\beta=5.03$	$\beta=4.84$	$\mu=5.01$	$\mu=7.99$	$\alpha=2.07$
		$\beta=5.05$	$\sigma=15.50$	$\beta=11.74$	$\beta=10.68$						$\lambda=2.86$	$\lambda=7.83$	$\beta=11.39$
$\chi^2$	24.83	35.62	36.16	35.37	21.70	20.87	47.89	20.32	13.90	25.03	15.87	28.42	
ND*	mean ( $\mu$ )	13.77	14.29	13.56	13.29	10.75	10.40	9.94	10.55	10.36	9.92	12.17	12.84
	variance ( $\sigma^2$ )	9.91	9.88	9.96	10.09	5.88	5.79	4.73	6.49	5.30	5.47	7.17	8.10
	skewness	2.88	2.09	3.03	3.40	2.33	2.23	1.92	2.34	1.83	2.45	2.18	1.85
	$\chi^2$	4.91E+05	9432.00	7.71E+08	1.93E+09	101.40	146.70	8,816.00	134.50	186.80	1,957.00	2.47E+04	175.80
TV*	$\alpha=0.025$	27.49	28.85	31.53	31.53	27.49	23.34	23.34	20.48	19.02	20.48	24.74	26.12
	$\alpha=0.01$	30.58	32.00	34.81	34.81	30.58	26.22	26.22	23.21	21.67	23.21	27.69	29.14

Note: \* TD: Type of distribution, OD: Optimal distribution, ND: Normal distribution, TV: Threshold value, \*\* LL: log logistic, LN: log normal, PV: Pearson V, EP: exponential, IG: Inverse Gaussian

496일이며, 이때의 기동확률은 53%로 계산되었다. 월 기동확률은 풍력을 생산할 수 있는 확률이므로, 월별 적정 풍력의 분포가 도출되면 해당 분포의 대표값에 해당 월의 일수를 곱한 후 이 값이 월 기동확률을 곱함으로써, 해당 월의 풍력생산량의 적절한

기대치를 추정하는 데 이용될 수 있다.

확률분포형을 추정한 결과 Table 3-8과 같이 나타났다. 결과의 적정분포형은 적정통계량을 분석대상으로 선정한 주요 통계분포 이외에도 Evans 외(1993)에서 소개된 36개의 분포에 대한 추정을 시도한 후,

**Table 4 Optimal probability distribution of wind power generation for each month at village of Makhyun (750kW)**

Items	Month												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
OD*	TD*	LN**	GB**	LN	LN	IG**	GB	GB	IG	GB	GB	GB	
	mean	1,311.56	1,242.18	1,305.84	1,623.87	800.80	841.75	628.87	891.87	799.77	809.22	900.79	1,072.31
	Parameters	$\mu=1,039$ $\sigma=2,119$	$\alpha_1=0.54$ $\alpha_2=6.38$	$\mu=1,029.81$ $\sigma=1,347.46$	$\mu=1,329$ $\sigma=5,801$	$\mu=555.32$ $\lambda=291.19$	$\alpha_1=0.48$ $\alpha_2=4.07$	$\alpha_1=0.28$ $\alpha_2=2.37$	$\mu=635.88$ $\lambda=336.81$	$\alpha_1=0.51$ $\alpha_2=2.60$	$\alpha_1=0.46$ $\alpha_2=3.30$	$\alpha_1=0.36$ $\alpha_2=3.36$	$\alpha_1=0.40$ $\alpha_2=1.68$
	$\chi^2$	20.43	40.17	13.44	24.89	7.86	7.14	19.59	5.55	0.54	4.34	24.95	15.92
ND*	mean ( $\mu$ )	1,204.03	1,241.17	1,174.02	1,141.31	800.80	843.55	632.98	891.86	799.46	803.06	907.02	1,050.79
	variance ( $\sigma^2$ )	1,235.18	1,153.74	1,261.76	1,309.88	668.05	645.58	461.93	768.59	550.49	651.17	786.23	905.12
	skewness	3.02	2.08	3.18	3.58	2.51	2.40	2.67	2.06	1.79	2.10	2.58	1.72
	$\chi^2$	5,434.00	1,860.00	9.66E+06	1.12E+07	66.69	166.60	1426.00	55.14	12.73	37.85	4,738.00	105.20
TV*	$\alpha=0.025$	23.34	24.74	26.12	26.12	21.92	16.01	19.02	16.01	11.14	12.83	20.48	20.48
	$\alpha=0.01$	26.22	27.69	29.14	29.14	24.73	18.48	21.67	18.48	13.28	15.09	23.21	23.21

Note: \* TD: Type of distribution, OD: Optimal distribution, ND: Normal distribution, TV: Threshold value, \*\* LN: log normal, GB: generalized beta, IG: Inverse Gaussian

**Table 5 Optimal probability distribution of wind power generation for each month at village of Boojang (5kW)**

Items	Month												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
OD*	TD*	PV**	PV	IG**	LL**	PV	IG	EP**	PV	PV	LL	LN**	PV
	mean	17.96	19.66	18.73	29.02	18.11	14.96	20.22	19.20	17.61	16.75	16.62	17.77
	Parameters	$\alpha=2.20$ $\beta=19.16$	$\alpha=2.21$ $\beta=21.84$	$\mu=14.86$ $\lambda=11.60$	$\gamma=5.18$ $\beta=8.40$ $\alpha=1.41$	$\alpha=2.21$ $\beta=19.29$	$\mu=10.51$ $\lambda=6.78$	$\beta=14.72$	$\alpha=1.91$ $\beta=14.83$	$\alpha=1.63$ $\beta=8.72$	$\gamma=4.93$ $\beta=6.22$ $\alpha=1.71$	$\mu=11.90$ $\sigma=16.17$	$\alpha=2.33$ $\beta=21.15$
	$\chi^2$	56.03	28.64	48.33	66.80	45.42	31.96	44.45	22.09	11.56	20.12	22.45	31.87
ND*	mean ( $\mu$ )	16.68	18.35	18.73	20.22	17.01	14.96	20.24	17.61	15.42	14.64	16.12	16.74
	variance ( $\sigma^2$ )	12.49	14.65	15.28	18.39	13.13	11.38	15.75	15.55	14.34	11.15	12.42	12.36
	skewness	2.34	2.54	2.43	2.72	2.50	2.27	2.00	2.94	3.31	3.22	2.96	2.24
	$\chi^2$	2.66E+07	7.90E+06	2.37E+05	3.09E+05	4.78E+08	3.31E+06	8.67E+03	1.10E+07	1.28E+05	1.58E+08	8.73E+10	1.22E+05
TV*	$\alpha=0.025$	35.48	35.48	38.08	39.36	38.08	35.48	36.78	34.17	31.53	31.53	34.17	34.17
	$\alpha=0.01$	38.93	38.93	41.64	42.98	41.64	38.93	40.29	37.57	34.81	34.81	37.57	37.57

Note: \* TD: Type of distribution, OD: Optimal distribution, ND: Normal distribution, TV: Threshold value, \*\* PV: Pearson V, IG: Inverse Gaussian, LL: log logistic, EP: exponential, LN: log normal

이 중  $\chi^2$ 검정 결과 가장 작은 것을 우등한 분포로 도출하여 선정하였다. 동시에 정규분포를 가정할 때의 모수 및 검정통계량을 함께 제시함으로써, 두 분

포의 통계적 신뢰성에 대한 비교가 가능하도록 나타내었다.

결과에서 나타나는 바와 같이, 금산군 진산면 막현

**Table 6 Optimal probability distribution of wind power generation for each month at village of Boojang (750kW)**

Items	Month												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
TD*	LN**	LN	IG**	LN	IG	GB**	IG	LN	IG	LN	LN	LN	
mean	1,527.80	1,728.85	1,654.25	2,198.57	1,400.33	1,265.67	1,769.49	1,764.61	1,371.77	1,242.67	1,482.59	1,483.63	
OD* Parameters	$\mu=1,340.25$ $\sigma=2,281.84$	$\mu=1,531.2$ $\sigma=2,864.0$	$\mu=1,519.3$ $\lambda=649.44$	$\mu=1,982.8$ $\sigma=5,333.3$	$\mu=1,258$ $\lambda=587.8$	$\alpha_1=0.40$ $\alpha_2=4.45$	$\mu=1,659.5$ $\lambda=795.2$	$\mu=1,542.1$ $\sigma=4,209.5$	$\mu=1,184.1$ $\lambda=283.7$	$\mu=1,015.3$ $\sigma=2,736.3$	$\mu=1,271.1$ $\sigma=2,788.4$	$\mu=1,283.12$ $\sigma=2,347.20$	
$\chi^2$	18.42	15.09	35.38	37.25	25.02	33.93	44.91	16.04	16.96	10.93	27.30	37.66	
ND*	mean ( $\mu$ )	1,429.85	1,609.03	1,654.20	1,894.64	1,400.36	1,272.63	1,769.45	1,543.78	1,371.77	1,093.62	1,325.60	1,371.43
variance ( $\sigma^2$ )	1,490.23	1,841.12	1,922.35	2,583.58	1,592.67	1,352.93	1,909.85	2,078.43	1,932.78	1,365.61	1,584.55	1,425.27	
skewness	2.71	3.21	2.95	3.54	3.04	2.32	2.77	3.61	3.30	3.63	4.38	2.58	
$\chi^2$	2.24E+08	9.33E+09	9.20E+08	1.06E+07	1.46E+11	1.46E+06	1.16E+11	6.60E+10	1.14E+05	1.13E+08	N/A	1.77E+05	
TV*	$\alpha=0.025$	31.53	31.53	34.17	35.48	34.17	30.19	34.17	30.19	27.49	27.49	30.19	30.19
$\alpha=0.01$	34.81	34.81	37.57	38.93	37.57	33.41	37.57	33.41	30.58	30.58	33.41	33.41	

Note: \* TD: Type of distribution, OD: Optimal distribution, ND: Normal distribution, TV: Threshold value, \*\* LN: log normal, IG: Inverse Gaussian, GB: generalized beta

**Table 7 Optimal probability distribution of wind power generation for each month at village of Soso (5kW)**

Items	Month												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
TD*	IG**	PV**	PV	LN**	LN	IG	PV	IG	LL**	LL	IG	IG	
mean	16.29	21.50	16.18	14.85	11.79	10.87	11.33	10.38	12.00	15.12	13.22	14.01	
OD* Parameters	$\mu=11.95$ $\lambda=6.34$	$\alpha=1.49$ $\beta=8.89$	$\alpha=2.70$ $\beta=26.13$	$\mu=9.97$ $\sigma=15.25$	$\mu=7.24$ $\sigma=7.51$	$\mu=6.15$ $\lambda=4.12$	$\alpha=2.87$ $\beta=15.25$	$\mu=5.54$ $\lambda=3.75$	$\gamma=5.07$ $\beta=3.84$ $\alpha=1.78$	$\gamma=5.29$ $\beta=3.47$ $\alpha=1.41$	$\mu=8.90$ $\lambda=7.14$	$\mu=9.59$ $\lambda=5.85$	
$\chi^2$	37.72	41.52	31.97	54.58	24.29	60.70	40.14	61.27	20.16	28.53	37.12	42.56	
ND*	mean ( $\mu$ )	16.29	16.74	15.97	14.19	11.56	10.87	11.08	10.38	10.61	10.98	13.22	14.01
variance ( $\sigma^2$ )	13.73	14.29	13.11	10.91	5.91	6.87	6.00	6.01	5.36	6.55	8.89	10.10	
skewness	2.63	2.31	2.51	3.65	1.95	3.61	2.55	3.14	2.64	3.12	2.41	2.21	
$\chi^2$	1.74E+06	7346.00	1.81E+05	N/A	2.50E+05	1.46E+13	9.85E+05	6.37E+07	2.11E+06	4.75E+07	1.02E+05	3676.00	
TV*	$\alpha=0.025$	30.19	31.53	35.48	36.78	34.17	30.19	31.53	31.53	27.49	28.85	30.19	30.19
$\alpha=0.01$	33.41	34.81	38.93	40.29	37.57	33.41	34.81	34.81	30.58	32.00	33.41	33.41	

Note: \* TD: Type of distribution, OD: Optimal distribution, ND: Normal distribution, TV: Threshold value, \*\* IG: Inverse Gaussian, PV: Pearson V, LN: log normal, LL: log logistic

리의 경우에는 8월의 풍력 발전량에 대한 적정 통계 분포는 지수분포로써, 모수  $\beta$ 는 5.03으로 추정되며, 이때의  $\chi^2$  검정통계량은 20.32로 계산되었다. 한편

이 때의 임계치(critical value)는 유의도 2.5% 수준에서 20.48이므로, 2.5% 수준의 유의도에서 지수분포의 가정은 적합한 것으로 해석된다(20.32 > 20.48).

Table 8 Optimal probability distribution of wind power generation for each month at village of Soso (750kW)

Items	Month												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
OD*	TD*	GB**	GB	IG**	IG	IG	IG	GB	IG	IG	IG	GB	GB
	mean	1,583.12	1,655.19	1,498.90	1,199.07	788.73	873.62	784.11	822.08	712.68	829.44	1048.54	1,235.05
	Parameters	$\alpha_1=0.43$ $\alpha_2=8.42$	$\alpha_1=0.40$ $\alpha_2=3.56$	$\mu=1,286.59$ $\lambda=497.82$	$\mu=955.89$ $\lambda=338.11$	$\mu=540.66$ $\lambda=296.15$	$\mu=607.85$ $\lambda=184.79$	$\alpha_1=0.37$ $\alpha_2=5.71$	$\mu=564.15$ $\lambda=276.09$	$\mu=443.47$ $\lambda=178.28$	$\mu=561.25$ $\lambda=179.74$	$\alpha_1=0.39$ $\alpha_2=5.20$	$\alpha_1=0.45$ $\alpha_2=4.12$
	$\chi^2$	23.21	31.34	29.52	24.50	53.01	21.71	26.87	33.54	11.26	20.47	24.09	23.26
ND*	mean ( $\mu$ )	1,584.93	1,653.64	1,498.89	1,199.07	788.73	873.62	784.30	822.08	712.69	829.44	1,048.60	1,232.91
	variance ( $\sigma^2$ )	1,763.82	1,797.23	1,651.81	1,436.31	593.59	906.55	695.44	781.45	606.34	823.36	1,047.16	1,197.51
	skewness	2.87	2.20	2.44	4.55	2.10	3.89	2.78	3.13	3.14	3.19	2.50	2.14
	$\chi^2$	4.89E+05	1,572.00	2.65E+04	N/A	1,003.00	3.06E+08	2.36E+04	1.33E+04	4.15E+04	7.65E+04	1.04E+04	544.00
TV*	$\alpha=0.025$	26.12	27.49	30.19	30.19	27.49	23.34	24.74	23.34	20.48	21.92	24.74	24.74
	$\alpha=0.01$	29.14	30.58	33.41	33.41	30.58	26.22	27.69	26.22	23.21	24.73	27.69	27.69

Note: \* TD: Type of distribution, OD: Optimal distribution, ND: Normal distribution, TV: Threshold value, \*\* GB: generalized beta, IG: Inverse Gaussian

한편 정규분포를 가정할 때의 모수는  $\mu$ 가 10.55이며,  $\sigma^2$ 가 4.73이며, 이때의  $\chi^2$  검정통계량은 134.50으로 계산되었다. 그리고 이때의 임계치는 유의도 2.5% 수준에서 20.48이므로, 2.5% 수준의 유의도에서 정규분포의 가정은 그 신뢰성에 있어 부적합한 것으로 해석된다(134.50 < 20.48). 이러한 판단 하에, 지수분포 가정시의 평균(mean)은 10.50이며, 정규분포 가정시의 평균(mean)은 10.55이므로, 정규분포 가정시의 평균값(단순평균)을 이 분포의 대표값으로 적용하여 풍력을 계산한다면, 추정결과의 과대추정(overestimation)을 초래할 수 있음을 의미한다. 이상과 같은 방식으로 당진군 우강면 부장리 및 당진군 합덕읍 소소리의 경우도 마찬가지로 해석할 수 있다.

단순평균을 해당 월의 대표값으로 간주할 때 지역별로 과소추정 또는 과대추정의 위험이 초래될 수 있다고 한다면, 1977년부터 2006년까지의 일일 풍력 관측치를 이용한 본 분석의 주요 결과는 다음과 같다. 금산군 진산면 막현리의 5kW급 시설에서는 12개월 중 5개월(1월, 2월, 3월, 4월, 12월)의 사례로부터, 정규분포를 가정하여 그 평균을 해당 월의

대표값으로 적용한다면, 본 분석에서 제시된 적정 분포에 비해 과소추정의 위험이 있는 것으로 나타났다. 같은 방식으로 5개월(5월, 6월, 7월, 8월, 9월)에 대해서는 과대추정의 위험이 있는 것으로 나타났다. 750kW 발전기에서는 7개월(1월, 2월, 3월, 4월, 9월, 10월, 12월)의 사례에서, 정규분포를 가정하여 그 평균을 해당 월의 대표값으로 적용한다면 본 분석에서 제시된 적정 분포에 비해 과소추정의 위험이 있는 것으로 나타났다. 같은 방식으로 3개월(6월, 7월, 11월)에 대해서는 과대추정의 위험이 있는 것으로 나타났다.

당진군 우강면 부장리의 5kW급 시설에서는 12개월 중 5개월(1월, 2월, 3월, 4월, 12월)의 사례에서는 정규분포를 가정하여 그 평균을 해당 월의 대표값으로 적용한다면, 적정 분포에 비해 과소추정의 위험이 있는 것으로 나타났다. 같은 방식으로 5개월(5월, 6월, 7월, 8월, 9월)에 대해서는 과대추정의 위험이 있는 것으로 나타났다. 750kW시설에서는 3개월(2월, 11월, 12월)의 사례에서 정규분포를 가정하여 그 평균을 해당 월의 대표값으로 적용할 때, 적정 분포에 비해 과소추정의 위험이 있는 것으로 나

타났다. 같은 방식으로 7개월(3월, 4월, 5월, 6월, 8월, 9월, 10월)에 대해서는 그 대표값이 거의 비슷한 수준이나 통계 분포의 신뢰성에 있어서는 차이점을 보인 것으로 나타났다. 이는 적정분포나 정규분포의 대표값은 동일하나, 그 분포의 형태는 확연히 다르다는 것을 의미하므로, 해당 월의 일일 전력생산량의 세부적인 분포를 활용할 때에 유의해야 함을 시사하고 있다.

당진군 합덕읍 소소리의 5kW급 시설에서는 12개월 중 9개월(1월, 2월, 4월, 5월, 8월, 9월, 10월, 11월, 12월)의 사례에서 정규분포를 가정하여 그 평균을 해당 월의 대표값으로 적용할 때, 적정 분포에 비해 과소추정의 위험이 있는 것으로 나타났다. 750kW 시설에서는 6개월(1월, 2월, 4월, 8월, 11월, 12월)의 사례에서 정규분포를 가정하여 그 평균을 해당 월의 대표값으로 적용할 때, 적정 분포에 비해 과소추정의 위험이 있는 것으로 나타났다. 같은 방식으로 2개월(6월, 10월)에 대해서는 과대추정의 위험이 있는 것으로 나타났다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 농촌의 그린빌리지 구성에 활용할 수 있는 일별 풍력발전량에 대하여, 적정 확률 분포형을 추정하였다. 이를 위하여 농촌마을에 적용할 수 있는 소규모의 5kW와 750kW급 풍력발전기를 분석 대상으로 설정하였으며, 대상 농촌마을을 세 종류의 유형분류를 고려하여 중산간지역의 전형적인 농촌마을로서 금산군 진산면 막현리, 해안지역의 평야지대 농촌마을은 당진군 우강면 부장리, 축산농가를 포함하는 복합영농지역의 농촌마을은 당진군 합덕읍 소소리를 선정하였다. 적정 확률 분포형을 추정하기 위한 근거 및 과정을 요약하면 다음과 같다.

농촌지역의 풍력발전시설의 도입가능성을 타진하기에 앞서, 그 경제적 타당성 분석에 기초적 자료가 될 수 있는 풍력발전 잠재력을 일별로 추정하고, 확률분포형은 월별로 추정하였다. 월별 풍력밀도의 경우 일일풍력의 분포가 항상 정규성을 갖지 않기 때문에 단순히 월 또는 연 평균 풍력을 해당 풍력발전

시설의 잠재력을 평가할 때 적용하는 것은 바람직하지 않다. 왜냐하면 풍력의 발생 분포가 확률에 의존하는 정규분포가 아닌 다른 분포의 특성을 가질 때, 월 또는 연 단위의 단순 기하평균은, 진정한 모수를 대표할 가능성이 적으므로, 진정한 풍력발전 잠재력을 과대추정 혹은 과소추정하게 될 위험을 내포하게 된다. 이러한 경우에는 해당 지역의 풍력 생산량에 대한 적절한 통계분포를 가정하여 모수를 추정한 후 이에 대한 적합도 검정을 통하여 적정 대표값을 추정하였다.

분석결과, 세 지역의 대상농촌마을에서 단순평균값을 분포의 평균으로 간주하고 있는 정규분포의 경우, 본 연구에서 분석된 적정 통계분포의 모수에 비해 과대평가 혹은 과소평가할 위험이 존재하였으며, 동시에 통계적 적합도 검정에서도 열등한 것으로 판정되었다. 또한 지역별로 풍력의 적정 분포의 형태도 다양하게 나타나고 있음이 발견되었다. 이러한 분석 결과는 향후 풍력발전시설이 입지하기에 앞서 사업의 타당성을 검토할 때, 해당 지역에 따라 풍력 분포의 정확하고 세밀한 분석이 선행되어야만 사업 타당성 분석의 신뢰성이 제고될 수 있음을 시사한다. 특히, 본 연구에서 분석된 결과는 향후 풍력이라는 자연현상의 불확실성을 감안한 풍력 발전시설의 경제성 검토 분야에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### Refernces

1. 김문기, 남상운, 서원명, 윤용철, 이석건, 이현우, 2002, 생물환경조절공학, 도서출판청술.
2. 김명래, 윤재욱, 2006, 풍력발전을 주 에너지원으로 적용한 그린빌리지 디자인, 한국생태환경건축학회 학술발표대회논문집 6(2), pp. 139-147.
3. 남상운, 김대식, 2007, 친환경 농촌마을계획을 위한 주거 에너지 이용실태조사 분석, 한국농공학회논문집, 49(6), pp. 55-62.
4. 남상운, 김대식, 2008, 농촌 그린빌리지 계획을 위한 풍력에너지 자원분석, 한국농촌계획학회지, 14(2), pp. 25-32.

5. 농림부, 2007, 농촌마을 리모델링 기법개발에 관한 연구 - 농촌마을 신재생에너지 활용방안 연구, 한국농촌공사 농어촌연구원.
6. Evans, Merran, Nicholas Hasting and Brian Peacock, 1993, Statistical Distribution-second edition-, John Wiley & Sons, Inc, pp. 6-151.