

농촌 그린빌리지 계획을 위한 풍력에너지 자원분석

남상운 · 김대식

충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

Assessment of Wind Power Resources for Rural Green-village Planning

Nam, Sang-Woon · Kim, Dae-Sik

Dept. of Agri. Eng., College of Agri. & Life Sciences, Chungnam Nat'l Univ.

ABSTRACT : Wind energy, which is one of renewable energy, would be useful resources that can be applied to making energy recycling villages without using fossil fuels. This study analyzed energy potential on wind power considering weather condition in three rural villages and compared with energy consumption surveyed. A wind turbine system in the 5kW class can generate 26.1%, 73.9% and 39.5% of the yearly mean consumption of electric power per house in Makhyun, Boojang and Soso respectively. A 750kW wind turbine system can generate 1.7%, 30.3% and 22.1% of the total amount of electric power consumption in three study villages respectively. Wind power energy density was too low in Makhyun and Soso, so it is determined that the application of wind turbine system is almost impossible. Wind energy potential was generally low in Boojang either, but it is evaluated that there is a little possibility of wind power generation relatively. For practical application of renewable energy to rural green-village planning, assessment of energy potential for the local area should be preceded.

Key words : renewable energy, rural green-village, wind power, wind turbine system

I. 서 론

농촌 그린빌리지는 그 마을에서 사용하는 에너지를 그 마을 자체에서 생산하여 사용하므로써 화석연료를 사용하지 않아 CO₂를 전혀 발생시키지 않는 Zero emission 마을을 의미한다. 이 경우에 사용되는 에너지는 신재생 에너지(New & renewable energy)로서 자연에너지를 포괄적으로 재활용하는 의미를 가지고 있다. 친환경 농촌마을 또는 생태마을 조성을 위한 신재생에너지 자원으로는 지역의 특성에 따라 바이오, 태양열, 태양광, 풍력 및 지열 등의 활용 가능성이 비교적 높은 것으로 평가된다(천원기 등, 2007). 바이오에너지, 특히 바이오매스의 경우 산촌지역을 중심으로 간벌목 등의 수집체계만 정비한다면 활용가능성이 가장 높을 것으로 생각되며, 일반적인 농촌지역의 경우에는 태양에너지, 해안지역이나 바람이

비교적 강한 지역에는 풍력이 활용가능성 높은 신재생에너지 자원으로 판단된다. 신재생에너지 자원 중 가장 높은 경제성을 가지고 있는 풍력발전의 경우 차세대 산업 성장 동력으로써의 경제적 중요성뿐만 아니라 환경규제 대응 및 에너지 안보 강화 측면의 전략적 중요성으로 인해 최근 관심이 부각되고 있다(방형준, 2007). 대부분의 풍력발전은 바람의 자원이 풍부한 해안지대 등을 중심으로 대형화에 편중되어 있었지만, 최근에는 기기성능의 향상으로 도심건축물에 적용가능한 소형 풍력발전 시스템의 사용이 선진국을 중심으로 점차 증가하고 있는 추세이다(박진철, 경남호, 2003). 국내에는 경북, 강원, 제주 지역을 중심으로 풍력발전 시범단지가 조성되어 운영되고 있으며, 제주시 환경면 신창리(354가구, 860명)의 경우 850kW급 풍력발전기 2대를 설치하여 운영 중인데, 생산되는 전기는 한전에 팔고 그에 상응하는 대금을 전기요금으로 지원해 주고 있으며 이는 마을전체 연간 전기사용량의 50%정도에 해당하는 것으로 조사되었다(농림부, 한국농촌공사, 2007).

Corresponding author : Kim, Dae-Sik

Tel. : 042-821-5795

E-mail : drkds19@cnu.ac.kr

우리나라 총1차에너지 소비량은 2005년 기준 221,076 천TOE로 1인당 4.61 TOE에 연간 2.8%의 증가율을 기록하고 있으며, 에너지 해외의존도는 96.6%에 달하는 것으로 나타나고 있다(산업자원부, 2005). 신재생에너지 공급 비중은 2.13%에 불과하며 이중 폐기물 75.9%, 수력 18.8%, 바이오 3.72%를 제외하면 태양열, 풍력, 태양광, 지열, 연료전지 등은 1% 미만으로 미미한 수준이다. 바이오에너지 중에는 임산연료가 27.1%로 가장 많았고, 다음은 메탄가스, 매립지가스, 성형탄, 바이오디젤의 순으로 나타났다(에너지관리공단 신재생에너지센터, 2006). 최근 국제유가의 급등으로 농가 경제에 커다란 어려움으로 작용하고 있으며, 농촌의 생활수준 향상 등 다양한 원인에 의하여 농촌에서의 에너지 소비량은 대폭 증가하고 있는 것으로 나타나고 있다(농촌진흥청, 2006). 더불어 에너지 소비량의 지속적인 증가와 온실가스 감축에 의한 지구온난화 방지에 관한 논의는 신재생에너지의 개발과 이용확대에 대한 필요성을 크게 부각시키고 있다.

한편, 농촌마을의 주거 에너지로 난방에는 대부분 석유를 사용하고 일부는 심야전기를 사용하고 있으며, 취사연료는 거의 대부분 LPG를 쓰고 있고, 온수시설에는 대부분 기름보일러를 사용하고 일부만 전기보일러를 사용하는 것으로 나타나고 있다. 나무땃감이나 태양열 등의 신재생에너지를 활용하는 농가는 난방시설 1.5%, 취사시설 0.4%, 온수시설 2.3%에 불과한 것으로 조사된 바 있다(남상운, 김대식, 2007). 친환경 농촌마을 계획을 위해서는 화석연료 사용량을 줄이고 신재생에너지 활용 비율을 높일 필요성이 절실히 요구된다.

따라서 본 연구에서는 신재생에너지를 활용한 친환경 농촌마을 정비방안을 모색하고자 대표적인 유형의 3개 농촌마을을 대상으로 기상관측자료를 이용하여 풍력 자원을 분석하고, 풍력 발전량을 예측하여 대상농촌마을의 에너지 사용 실태조사 결과와 비교 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상농촌마을 및 풍력자원분석

분석 결과를 농촌마을의 에너지 사용 실태조사 결과와 비교 평가하기 위하여 기 발표된 논문(남상운, 김대식, 2007)의 조사대상지역과 동일한 농촌마을을 연구대상으로 하였으며, 3개의 대상농촌마을은 금산군 진산면 막현리(중산간지역의 전형적인 농촌마을), 당진군 우강면

부장리(해안지역의 평야지대 농촌마을), 당진군 합덕읍 소소리(축산농가를 포함하는 복합영농지역의 농촌마을)이다.

풍력발전기술은 전적으로 바람의 세기에 의존하므로, 바람의 강도가 풍력발전 전력의 양과 풍력발전 시스템의 효율성에 절대적인 영향을 미치게 된다. 따라서 풍력발전기술의 적용에 앞서 풍력자원 조사는 최우선적으로 수행되어야 한다. 풍력자원에 대한 실측자료를 통하여 풍력자원 특성의 분석이 가능하고, 이에 따라 풍력발전기의 용량 및 수량과 적용방안 및 최종적으로 정량적인 의미에서의 경제성 분석도 가능하게 될 것이다(배재성 등, 2005).

대상농촌마을의 풍력자원 분석을 위하여 막현리는 금산기상관측소(충남 금산군 금산읍 소재), 부장리는 서산기상대(충남 서산시 수석동 소재), 소소리는 천안기상관측소(충남 천안시 신방동 소재)의 기상관측 자료를 이용하였다(Table 1). 당진군 부장리와 소소리는 모두 서산기상대와 천안기상관측소의 중간 부분에 위치하고 있으나 해안지역 특성을 갖고 있는 부장리는 서산기상대, 내륙지역 특성을 갖고 있는 소소리는 천안 기상관측소의 자료를 이용하였다. 풍력자원분석을 위한 기상자료로 월별 풍속의 평년값과 주풍향은 2006년 기상연보를 이용하였으며(Table 2), 풍력에너지 밀도 계산을 위한 풍속자료는 평균 및 표준편차가 필요하여 최근 30년(1977~2006년) 간 기상청 자료를 이용하였다(기상청, 2007).

2. 풍력터빈 허브높이로 풍속 보정

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 일반적으로 평원이나 해안에서는 0.1~0.14, 전원에서는 0.17~0.25, 시가지에서는 0.25~0.5의 값을 갖는다. 본 연구에서는 농업시설 설계에 일반적으로 사용하는 0.25를 적용하였다(김문기 등, 2000).

Table 1 Locations of study villages and weather stations

Study village			Weather station			
Name	Latitude(N)	Longitude(E)	Name	Latitude(N)	Longitude(E)	Height of anemometer (m)
Makhyun	36° 11'	127° 22'	Geumsan	36° 06'	127° 29'	10.1
Boojang	36° 51'	126° 50'	Seosan	36° 47'	126° 30'	20.2
Soso	36° 49'	126° 45'	Cheonan	36° 46'	127° 07'	10.0

Table 2 Monthly normal wind speed and main wind direction in study villages

Item	Village	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Wind speed (m/s)	Makhyun	1.3	1.5	1.6	1.7	1.4	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2
	Boojang	2.2	2.4	2.6	2.8	2.6	2.2	2.5	2.2	1.9	1.8	2.1	2.1	2.2
	Soso	1.4	1.7	1.8	1.9	1.7	1.5	1.6	1.5	1.3	1.3	1.4	1.3	1.5
Wind direction (16)	Makhyun	WNW	WNW	WNW	W	W	W	ESE	W	W	W	W	W	W
	Boojang	NNE	NW	SSW	SSW	SSW	SW	SW	ENE	E	ENE	ENE	E	SSW
	Soso	W	WNW	WNW	W	WNW	WNW	ESE	WNW	ESE	ESE	WNW	ESE	WNW

3. 풍력에너지밀도 계산

바람은 시간에 따라 그 세기와 방향이 변하는 간헐성과 변화성을 갖고 있으며 이와 같은 바람의 장기간에 걸쳐 관측된 풍속데이터를 특성화하기 위하여 Weibull 분포함수가 가장 많이 이용된다(박경호 등, 1990). Weibull 분포에서 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$P(V) = \frac{K}{C} \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^K} \quad (2)$$

여기서, V는 풍속, C는 scale parameter, K는 shape parameter이다.

한편, 평균풍속 \bar{V} 는 Moment method로부터 다음과 같이 표시되고,

$$\bar{V} = C\Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right), \frac{1}{K} + 1 > 0 \quad (3)$$

V^3 의 표준편차인 σ_{V^3} 과는 다음 관계가 성립한다.

$$\frac{\sigma_{V^3}}{\bar{V}^3} = \frac{\left[\Gamma\left(1 + \frac{6}{K}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}}{\Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right)} \quad (4)$$

식 (4)의 좌변은 풍속 관측데이터로부터 그 값을 얻을 수 있으므로 이 식으로부터 shape parameter K값을 구하

고, 식 (3)으로부터 scale parameter C를 구할 수 있다 (Seguro and Lambert, 2000).

한편, 바람이 가지고 있는 풍력에너지는

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty V^3 P(V) dV \quad (5)$$

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

로 계산되며, 따라서 풍력에너지밀도는 다음과 같다.

$$\frac{P_w}{A} = \frac{1}{2} \rho C^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right) \quad (6)$$

위 식 (6)에 의한 풍력에너지밀도 계산은 식 (3)과 (4)로부터 C와 K를 구하는 단계를 거쳐야 하므로 복잡한 감마함수를 풀어야 한다. 그래서 좀 더 간편한 평균풍속과 변동율(perturbation from the mean) 또는 난류강도(turbulence intensity)의 합계에 기초한 식 (7)을 이용하여 풍력에너지밀도를 계산할 수 있다(박진철, 경남호, 2003).

$$\frac{P_w}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3 = \frac{1}{2} \rho (\bar{V} + V')^3 \quad (7)$$

$$= \frac{1}{2} \rho \left\{ \bar{V}^3 + 3\bar{V}^2 \left(\frac{\sigma}{\bar{V}}\right) + 3\bar{V} \left(\frac{\sigma}{\bar{V}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{\bar{V}}\right)^3 \right\}$$

$$\cong \frac{1}{2} \rho (\bar{V}^3 + 3\bar{V}\sigma)$$

여기서, 변동율(V') 또는 난류강도(I)는 다음 식 (8)

로 정의된다.

$$V = I = \frac{\sigma}{V} \quad (8)$$

여기서, \bar{V} 는 평균풍속, σ 는 풍속의 표준편차이다.

4. 풍력발전 잠재력 계산

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(박진철, 경남호, 2003).

$$E_w = \sum (V_i \times F_i \times 8760(h)) (kWh) \quad (9)$$

여기서, V_i 는 풍속계급 i 의 발전출력(kW)이며 F_i 는 풍속계급 i 의 출현율을 나타낸다.

풍력발전시스템의 연간 발전량으로부터 설비이용률(CF, capacity factor)을 구하면 다음 식과 같다(고경남 등, 2005).

$$CF = \frac{\text{연간 발전량 (kWh)}}{\text{정격출력 (kW)} \times 8760 (h)} \quad (10)$$

풍력발전시스템의 기종선택은 대상 지역의 풍속 데이터로부터 2m/s 정도의 기동풍속에 적용할 수 있는 5kW 급(Table 3)과 3m/s이상의 풍속에 적용할 수 있는 750kW 급(Table 4)의 2가지 제품을 선정하였다(Hopkins, 1999).

III. 결과 및 고찰

대상농촌마을의 최근 30년간 월별 평균풍속과 표준편차를 구하고, 식 (1)을 이용하여 중소형 풍력발전기의 허브높이를 확보할 수 있는 높이 30m와 대형 풍력발전기의 허브높이를 확보할 수 있는 높이 50m로 보정된 풍속을 구하였다. 30m 높이에서의 연평균 풍속은 막현리 1.55m/s, 부장리 2.55m/s, 소소리 2.01m/s로 예측되었으며, 50m 높이에서의 풍속은 막현리 1.76m/s, 부장리 3.20m/s, 소소리 3.01m/s로 예측되었다. 연평균 풍속을 기준으로 막현리는 풍력발전시스템의 기동풍속에 미치지 못하였고, 부장리는 기동풍속을 약간 상회하였으며 소소리는 거의 기동풍속 수준인 것으로 나타났다.

홍성구(2006)는 경기도 남부지역의 풍력자원을 평가하고 농업분야 활용방안으로 풍력양수 시스템에 대한 검토 결과 대체로 도입 가능성이 낮은 것으로 평가하고 있으며, 풍력발전 설비의 개략적인 경제성 분석결과 연평균 풍속이 3~4m/s 이상이 되어야 활용가능성이 있다고 보고하였다. 본 연구 대상 농촌마을의 경우 막현리는 평균

Table 3 Specifications of 5kW wind turbine system

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

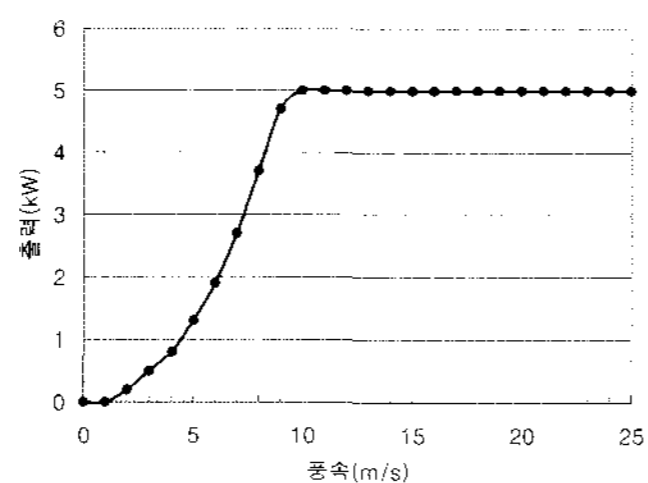
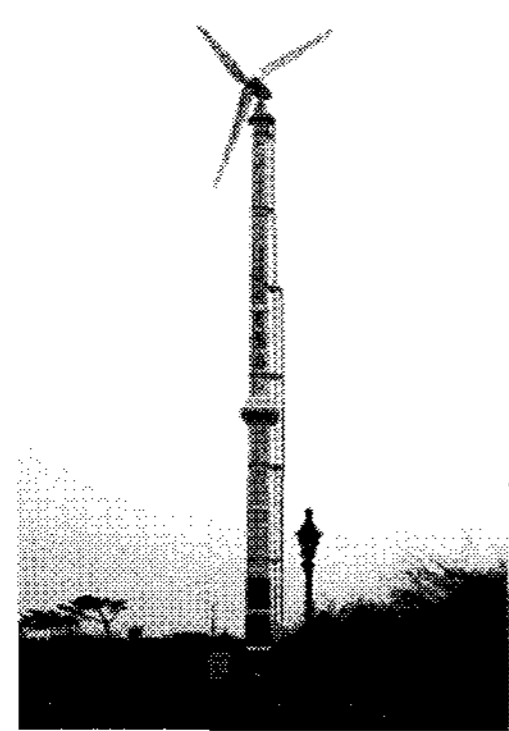
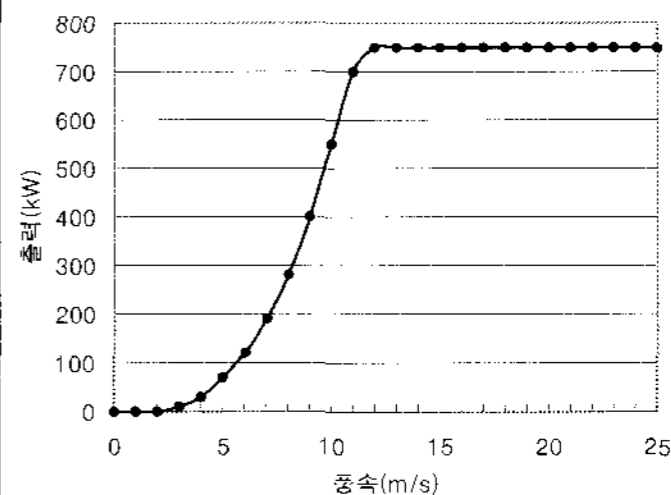


Table 4 Specifications of 750kW wind turbine system

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



풍속이 3m/s를 넘는 월이 하나도 없었으며, 부장리는 1월부터 8월까지 8개월, 소소리 2월부터 5월까지 4개월만 50m 높이에서 월평균 풍속이 3m/s를 넘는 것으로 분석되었다. 따라서 풍력발전시스템의 활용가능성은 매우 낮을 것으로 생각되지만 앞으로 농촌 그린빌리지 계획에서 신재생에너지의 효율적인 선택 활용을 위해서는 농촌마을의 에너지사용 실태조사 결과와 비교를 통한 구체적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

풍력발전기의 허브높이로 보정된 풍속에 대하여 식 (7)을 이용하여 대상 농촌마을의 풍력에너지 밀도를 계산한 결과는 Table 5 ~ Table 7과 같다. 30m 높이에서 연평균 풍력에너지 밀도는 막현리 2.90W/m², 부장리

10.34W/m², 소소리 6.0W/m²으로, 50m 높이에서는 막현리 4.15W/m², 부장리 20.36W/m², 소소리 18.92W/m²으로 나타났다. 막현리는 풍력에너지 밀도가 매우 낮아 풍력 이용 가능성이 거의 없는 것으로 판단되며, 부장리가 다른 지역에 비하여 비교적 높은 풍력에너지 밀도를 나타내고 있어 이용가능성이 조금은 있을 것으로 생각된다. 그러나 강원도 대관령의 711W/m², 제주도 행원의 536W/m² 등에 비하면 풍력을 주 에너지로 사용하는 것은 불가능할 것으로 판단된다(배재성 등, 2005). 서천군 해안가의 장안마을에서 분석한 자료인 55m 높이에서 평균풍속이 5.7m/s, 풍력에너지 밀도 257.7W/m²와 비교해도 본 연구 대상 농촌마을의 경우 풍력발전을 주에너지원으로 이용

Table 5 Estimation of wind power energy density in Makhyun

Month	at a height of 30m				at a height of 50m			
	Wind speed (m/s)		Perturbation (%)	Energy density (W/m ²)	Wind speed (m/s)		Perturbation (%)	Energy density (W/m ²)
	Mean	Standard deviation			Mean	Standard deviation		
Jan.	1.60	0.42	26.3	3.73	1.81	0.48	26.3	5.25
Feb.	1.82	0.47	25.7	5.26	2.07	0.53	25.7	7.44
Mar.	1.95	0.39	20.0	5.92	2.21	0.44	20.0	8.44
Apr.	2.04	0.36	17.8	6.55	2.32	0.41	17.8	9.37
May	1.75	0.26	14.8	4.15	1.99	0.29	14.8	5.93
Jun.	1.49	0.25	17.1	2.73	1.70	0.29	17.1	3.89
Jul.	1.45	0.23	15.7	2.47	1.65	0.26	15.7	3.51
Aug.	1.32	0.22	16.9	1.96	1.50	0.25	16.9	2.77
Sep.	1.19	0.21	17.4	1.50	1.36	0.24	17.4	2.12
Oct.	1.21	0.23	19.0	1.59	1.37	0.26	19.0	2.24
Nov.	1.35	0.24	18.1	2.12	1.54	0.28	18.1	3.00
Dec.	1.41	0.35	24.7	2.61	1.60	0.40	24.7	3.68
Mean	1.55	0.22	14.2	2.90	1.76	0.25	14.2	4.15

Table 6 Estimation of wind power energy density in Boojiang

Month	at a height of 30m				at a height of 50m			
	Wind speed (m/s)		Perturbation (%)	Energy density (W/m ²)	Wind speed (m/s)		Perturbation (%)	Energy density (W/m ²)
	Mean	Standard deviation			Mean	Standard deviation		
Jan.	2.45	0.46	18.8	9.36	3.07	0.58	18.8	18.32
Feb.	2.68	0.48	17.9	12.25	3.36	0.60	17.9	24.00
Mar.	2.96	0.45	15.4	16.24	3.71	0.57	15.4	31.90
Apr.	3.16	0.55	17.2	19.89	3.96	0.68	17.2	39.03
May	2.89	0.36	12.3	15.05	3.63	0.45	12.3	29.61
Jun.	2.49	0.31	12.3	9.64	3.12	0.38	12.3	18.96
Jul.	2.84	0.44	15.6	14.35	3.56	0.55	15.6	28.17
Aug.	2.41	0.45	18.6	8.98	3.03	0.56	18.6	17.58
Sep.	2.10	0.42	20.2	5.98	2.63	0.53	20.2	11.67
Oct.	2.02	0.32	16.0	5.27	2.54	0.41	16.0	10.32
Nov.	2.33	0.41	17.5	8.01	2.92	0.51	17.5	15.68
Dec.	2.33	0.34	14.7	7.96	2.92	0.43	14.7	15.61
Mean	2.55	0.26	10.3	10.34	3.20	0.33	10.3	20.36

Table 7 Estimation of wind power energy density in Soso

Month	at a height of 30m				at a height of 50m			
	Wind speed (m/s)		Perturbation (%)	Energy density (W/m ²)	Wind speed (m/s)		Perturbation (%)	Energy density (W/m ²)
	Mean	Standard deviation			Mean	Standard deviation		
Jan.	1.87	0.54	29.1	5.87	2.79	0.81	29.1	17.55
Feb.	2.18	0.53	24.2	8.41	3.25	0.79	24.2	25.80
Mar.	2.47	0.51	20.6	11.47	3.69	0.76	20.6	35.82
Apr.	2.52	0.48	18.9	11.98	3.77	0.71	18.9	37.63
May	2.22	0.35	15.7	8.07	3.31	0.52	15.7	25.43
Jun.	1.95	0.38	19.5	5.88	2.91	0.57	19.5	18.17
Jul.	1.95	0.48	24.6	6.24	2.91	0.72	24.6	18.97
Aug.	1.93	0.23	11.8	5.21	2.89	0.34	11.8	16.53
Sep.	1.76	0.20	11.4	3.98	2.63	0.30	11.4	12.59
Oct.	1.72	0.28	16.6	3.99	2.56	0.42	16.6	12.34
Nov.	1.82	0.43	23.5	5.16	2.73	0.64	23.5	15.66
Dec.	1.75	0.50	28.7	4.93	2.62	0.75	28.7	14.70
Mean	2.01	0.28	13.7	6.00	3.01	0.41	13.7	18.92

하기는 어려울 것으로 판단된다(김명재, 윤재옥, 2006).

각 지역별 보정 풍속과 5kW급 및 750kW급 풍력발전 시스템의 출력곡선을 이용하여 식 (9)의 방법으로 구한 월별 풍력발전량 예측값은 Fig. 1 및 Fig. 2와 같고, 대상 농촌마을의 연간 평균 전력사용량과 풍력발전량을 비교한 결과는 Table 8과 같다. 막현리의 경우 750kW급 풍력발전기는 2, 3, 4월을 제외하고는 거의 가동할 수 없었으며, 5kW급 풍력발전기의 전력 생산량은 월평균 80kWh, 연간 960kWh로 호당 전력사용량 월평균 307kWh, 연간 3,678kWh의 26.1%에 지나지 않아 풍력발전시스템의 활용가능성은 거의 없는 것으로 나타났다.

부장리의 경우 5kW급 풍력발전기의 전력 생산량은 월평균 267kWh, 연간 3,209kWh로 호당 전력사용량 월평균 362kWh, 연간 4,345kWh의 73.9%를 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 750kW급 풍력발전기의 전력 생산량은 월평균 10,874 kWh, 연간 130,493kWh로 마을전체의 전력사용량 월평균 35,846kWh, 연간 430,155 kWh의 30.3%를 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 즉, 평균 풍력발전량과 전력사용량을 비교할 때, 5kW급 풍력발전기의 경우 호당 1.4대, 750kW급 풍력발전기는 마을전체에 3.3대를 설치하면 풍력발전만으로 전력사용량의 100%를 공급할 수 있는 것으로 계산된다. 그러나 Fig. 1 및 Fig. 2에서 보는바와 같이 풍력자원의 월별 편차 때문에 평균발전량을 밑도는 달이 많아 시스템의 설치 대수는 증가시켜야 할 것으로 생각되지만 풍력발전시스템의 활용가능성은 어느 정도 있을 것으로 판단된다.

소소리의 경우 5kW급 풍력발전기의 전력 생산량은 월평균 156kWh, 연간 1,871kWh로 호당 전력사용량 월평균 395kWh, 연간 4,738kWh의 39.5%를 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 750kW급 풍력발전기의 전력 생산량은 월평균 8,543 kWh, 연간 102,520kWh로 마을전체의 전력사용량 월평균 38,694kWh, 연간 464,324 kWh의 22.1%를 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 즉, 평균 풍력발전량과 전력사용량을 비교할 때, 5kW급 풍력발전기의 경우 호당 2.5대, 750kW급 풍력발전기는 마을전체에 4.5대를 설치하면 풍력발전만으로 전력사용량의 100%를 공급할 수 있는 것으로 계산된다. 호당 풍력발전기를 2.5대 설치한다는 것은 현실성이 없으나 마을전체에 4.5대 설치하는 현실성이 전혀 없는 것이 아니므로 중대형 기종을 선택할 경우 도입가능성은 있다고 생각한다. 하지만 Fig. 2에서 보는바와 같이 월평균 발전량을 초과하는 경우는 4개월 뿐이고 월별 발전량의 차이가 크기 때문에 풍력발전시스템의 활용가능성은 대체로 낮은 것으로 판단된다.

식 (10)에 의한 설비 이용률은 5kW급 풍력발전시스템의 경우 막현리 2.2%, 부장리 7.3%, 소소리 4.3%로 나타났다. 750kW급 풍력발전시스템의 경우에는 막현리 0.1%, 부장리 2.0%, 소소리 1.6%로 나타났다. 풍력발전시스템의 설비 이용률이 20% 이상이면 우수한 것으로 평가되고 있으므로(고경남 등, 2005), 본 연구의 대상마을에서 풍력발전시스템의 활용 가능성은 매우 낮은 것으로 평가된다.

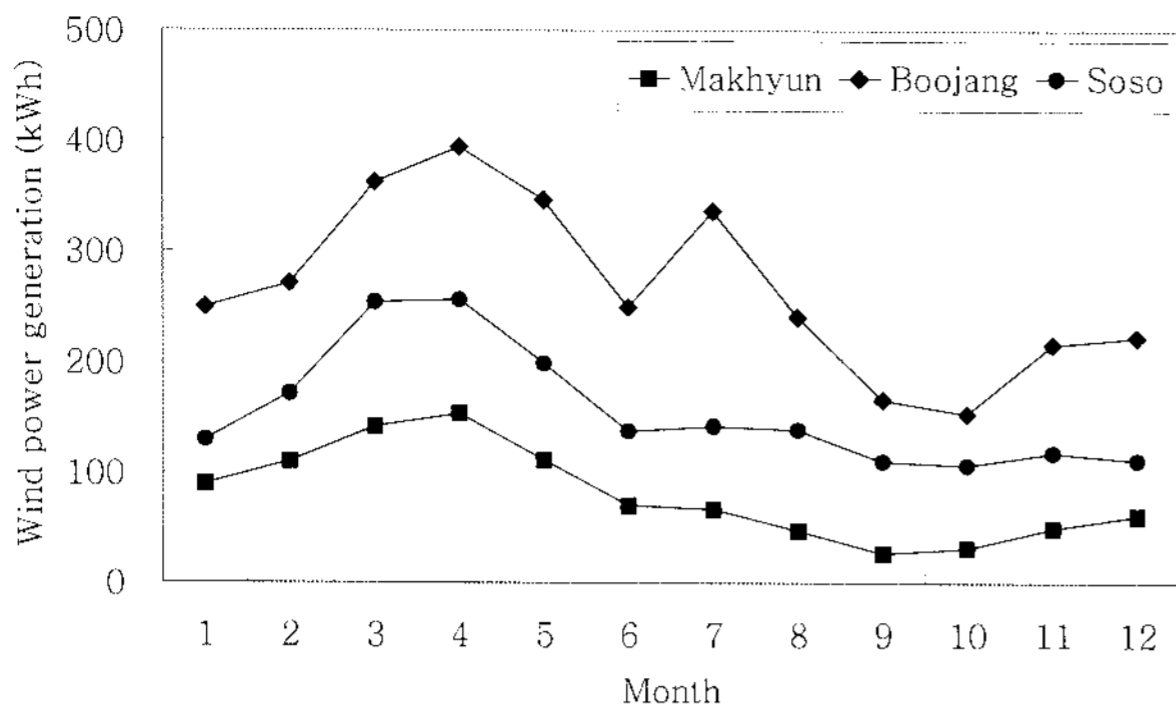


Figure 1 Estimation of power generation from a wind turbine in the 5kW class.

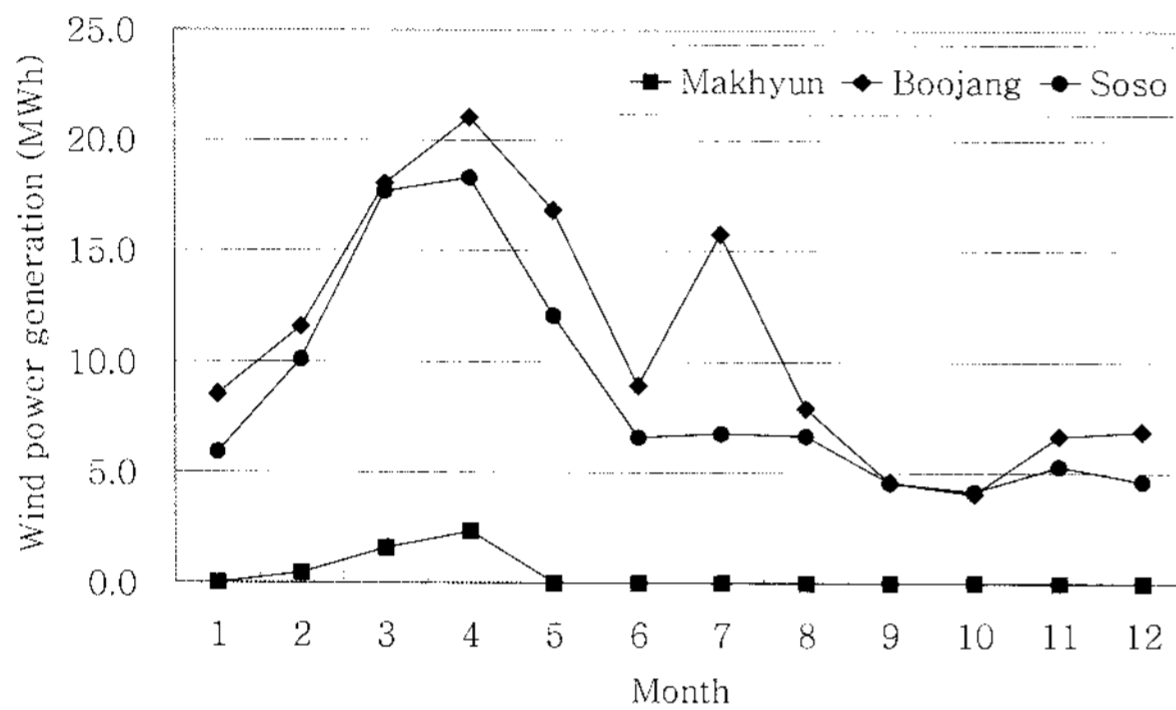


Figure 2 Estimation of power generation from a wind turbine in the 750kW class.

전형적인 농촌마을인 막현리는 풍력발전 잠재력이 매우 낮은 것으로 평가되었으며, 부장리는 해안평야지역에 위치하여 풍력발전 잠재력이 다른 지역보다 높게 평가되었지만 풍력발전시스템의 활용가능성은 그다지 높지

않았다. 복합영농지역인 소소리의 경우 중산간지역인 막현리에 비해서는 풍력발전 잠재력이 훨씬 높은 것으로 나타났지만 해안지역인 부장리에 비해서는 낮은 것으로 나타났고 풍력발전시스템의 활용가능성도 대체로 낮은 것으로 평가되었다. 이상의 분석결과로부터 풍력자원은 각 마을의 입지에 따라 상이한 특성을 보이는 것을 알 수 있으며, 이로부터 에너지 자원 분석이 선행된 후 그 지역 특성에 맞는 신재생에너지 활용계획을 세워야 할 것으로 판단되었다.

IV. 요약 및 결론

신재생에너지를 활용한 친환경 농촌마을 정비방안을 모색하고자 충남도에 위치한 3개의 농촌마을을 대상으로 기상관측자료를 이용하여 풍력에너지밀도를 분석하고, 풍력 발전량을 예측하여 대상마을의 에너지 사용 실태조사 결과와 비교 평가하였다. 막현리는 금산기상관측소, 부장리는 서산기상대, 소소리는 천안기상관측소의 기상자료를 이용하였으며, 중소형 풍력발전기의 허브높이 30m와 대형 풍력발전기의 허브높이 50m로 보정한 풍속을 사용하여 에너지밀도를 분석하였다. 30m 높이에서 연평균 풍력에너지 밀도는 막현리 2.90W/m², 부장리 10.34W/m², 소소리 6.0W/m²으로, 50m 높이에서는 각각 4.15W/m², 20.36W/m², 18.92W/m²으로 나타났다. 내륙의 전형적인 농촌마을인 막현리는 에너지밀도가 매우 낮아 풍력 이용 가능성이 거의 없는 것으로 판단되며, 해안지역인 부장리가 다른 지역에 비하여 비교적 높은 풍력에너지밀도를 나타내고 있어 활용가능성이 있을 것으로 판단되었다. 풍력발전시스템의 기종은 2m/s의 기동풍속에

Table 8 Comparison of wind power generation with electric power consumption in study villages

Item		Makhyun	Boojang	Soso
Annual wind power generation (kWh)	5kW class (a)	960	3,209	1,871
	750kW class (b)	4,337	130,493	102,520
Monthly wind power generation (kWh)	5kW class	80	267	156
	750kW class	361	10,874	8,543
Yearly consumption of electric power (kWh)	per house (c)	3,678	4,345	4,738
	per village (d)	250,104	430,155	464,324
Monthly consumption of electric power (kWh)	per house	307	362	395
	per village	20,842	35,846	38,694
The ratio of generation to consumption (%)	(a)/(c) × 100	26.1	73.9	39.5
	(b)/(d) × 100	1.7	30.3	22.1
A unit of wind turbine required (set)	per house (5kW)	3.8	1.4	2.5
	per village (750kW)	57.7	3.3	4.5

적용할 수 있는 5kW급과 3m/s이상에 적용할 수 있는 750kW급의 2가지 제품을 선정하여 풍력발전기 제조사의 성능곡선과 지역별 풍속 자료를 이용하여 풍력발전량을 예측하였다. 5kW급 풍력발전기를 이용할 경우 막현리는 연간 960kWh, 부장리 3,209kWh, 소소리 1,871 kWh로 나타났고, 750kW급 풍력발전기를 이용할 경우 막현리에서는 거의 가동이 되지 않으며 부장리는 연간 130MWh, 소소리는 103MWh의 발전이 가능할 것으로 예측되었다. 각 마을의 호당 평균 전력사용량과 비교할 때, 5kW급 풍력발전기로는 막현리, 부장리, 소소리에서 각각 26.1%, 73.9%, 39.5%의 전력을 생산할 수 있는 것으로 나타났고, 750kW급 풍력발전기로는 각각 마을전체 전력사용량의 1.7%, 30.3%, 22.1%를 생산할 수 있는 것으로 나타났다. 막현리는 풍력발전 잠재력이 매우 낮은 것으로 평가되었으며, 부장리는 풍력발전 잠재력이 다른 지역보다 높게 평가 되었지만 풍력발전시스템의 활용가능성은 그다지 높지 않았다. 중간지역에 위치한 소소리의 경우 막현리에 비해서는 풍력발전 잠재력이 훨씬 높은 것으로 나타났지만 부장리에 비해서는 낮은 것으로 나타났고 풍력발전시스템의 활용가능성도 대체로 낮은 것으로 평가되었다. 이상의 분석결과로부터 풍력자원은 각 마을의 입지에 따라 상이한 특성을 보이는 것을 알 수 있으며, 따라서 효율적인 신재생에너지 활용을 위해서는 각종 에너지 자원 분석이 선행된 후 그 지역 특성에 맞는 그린빌리지 계획을 세워야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 한국농촌공사 농어촌연구원의 "농촌개발 시험연구사업비"의 일부를 지원받아 수행되었음.

참고문헌

1. 고경남, 김건훈, 허종철, 2005, 제주 행원풍력발전단지 운전특성 평가, 한국태양에너지학회 학술발표대회논문집, pp. 263-268.
2. 기상청, 2007, 기상연보 2006.
3. 김명래, 윤재욱, 2006, 풍력발전을 주 에너지원으로 적용한 그린빌리지 디자인, 한국생태환경건축학회 학술발표대회논문집, 6(2) : 139-147.
4. 김문기, 남상운, 서원명, 윤용철, 이석건, 이현우, 2000, 농업시설공학, 향문사. pp. 54-61.
5. 남상운, 김대식, 2007, 친환경 농촌마을계획을 위한 주거 에너지 이용실태 조사 분석, 한국농공학회논문집, 49(6) : 55-62.
6. 농림부, 한국농촌공사, 2007, 농촌마을 리모델링 기법개발에 관한 연구, pp. 173.
7. 농촌지흥청, 농업공학연구소, 2006, 고유가 극복을 위한 시설원예 에너지절감 가이드 북, pp. 1-10.
8. 박경호, 김건훈, 정현생, 1990, 국내의 풍력자원 특성 분석, 태양에너지, 10(2) : 3-9.
9. 박진철, 경남호, 2003, 공동주택에서의 소형풍력발전시스템 적용에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 23(2) : 21-34.
10. 방형준, 2007, 풍력발전기술의 현황과 전망, 태양에너지, 5(4) : 1-10.
11. 배재성, 장문석, 주영철, 윤정은, 경남호, 2005, 남극 세종기지의 풍력자원 분석, 한국태양에너지학회 논문집, 25(3) : 53-60.
12. 산업자원부, 2005, 에너지통계, 한국에너지기술연구원 홈페이지.
13. 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 2006, 신·재생에너지통계 2005.
14. 홍성구, 2006, 경기 남부지역 풍력자원의 평가와 농업분야 활용방안, 한국농공학회 논문집, 48(3) : 73-84.
15. 천원기, 이재영, 이시웅, 임상훈, 2007, 자연에너지와 생태기술, 도서출판 고원, pp. 64-77.
16. Hopkins, W., 1999, Small to medium size wind turbines : Local use of a local resource, Renewable Energy, 16 : pp. 944-947.
17. Seguro, J.V. and T.W. Lambert, 2000, Modern estimations of the parameters of the Weibull probability density distribution for wind energy analysis, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 85 : pp 75-84.

* 접수일 : 2008년 4월 7일
 ■ 3인 익명 심사필