

덕적도 지형을 고려한 소형풍력발전기 발전량 평가

장춘만^{1†} · 이상문¹ · 전완호² · 임태균²

¹한국건설기술연구원, ²씨티주식회사

Evaluation of Energy Production for a Small Wind Turbine by Considering the Geometric Shape of the Deokjeok-Do Island

CHOON-MAN JANG^{1†}, SANG-MOON LEE¹, WAN-HO JEON², TAE-GYUN LIM²

¹Environmental Engineering Research Div., Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology,
Daehwa-Dong 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi, 411-712, Korea.

²Technical Research Lab., CEDIC Co., 371-50, Gasan-Dong, Kumcheon-Gu, Seoul, Korea

Abstract >> This paper presents annual energy production (AEP) by a 1.5kW wind turbine due to be installed in Deokjeok-Do island. Local wind data is determined by geometric shape of Deokjeok-Do island and annual wind data from Korea Institute of Energy Research at three places considered to be installed the wind turbine. Numerical simulation using WindSim is performed to obtain flow pattern for the whole island. The length of each computation grid is 40 m, and k-e turbulence model is imposed. AEP is determined by the power curve of the wind turbine and the local wind data obtained from numerical simulation. To capture the more detailed flow pattern at the specific local region, Urumsil-maul inside the island, fine mesh having the grid length of 10m is evaluated. It is noted that the input data for numerical simulation to the local region is used the wind data obtained by the numerical results for the whole island. From the numerical analysis, it is found that a local AEP at the Urumsil-maul has almost same value of 1.72 MWh regardless the grid resolutions used in the present calculation. It is noted that relatively fine mesh used for local region is effective to understand the flow pattern clearly.

Key words : Annual energy production(년간 에너지 생산), Wind energy(풍력 에너지), Wind density(풍력 밀도), Numerical prediction(산술적 예측), Small wind turbine(소형풍력발전기)

1. 서 론

소형풍력발전기는 격오지역, 도서지역 등에서 독립적인 에너지 자립화를 위하여 세계적으로 관심을 많이 받고 있다. 최근 들어 국내에서도 도서지역을 중심으로 기존의 디젤발전기를 대체하는 수단으로

사용이 확대되고 있다. 인천시 옹진군 백아도에서는 기존의 225kW 디젤발전기를 10kW 소형풍력발전기 3대 및 태양광발전기로 대체하고 있다.¹⁾

도서지역에서 필요로 하는 전력량을 생산할 수 있는 소형풍력발전기를 설치 시에는 사전에 해당 도서지역을 대상으로 풍황 조사를 통한 발전량 예측이 필요하다. 풍력발전기의 설치 위치 및 높이에 대한 연간 풍황데이터를 기반으로 요구되는 발전량을 생산할 수 있는 풍력터빈의 용량을 결정할 수 있다.

[†]Corresponding author : jangcm@kict.re.kr

[접수일 : 2014.11.13 수정일 : 2014.12.19 게재확정일 : 2014.12.31]

Copyright © 2014 KHNES

풍황조사는 설치지역에 기상 측정탑(wind mast)을 설치하거나 LIDAR(light detection and ranging), SODAR(sonic detection and ranging) 등을 이용한다. 기상측정탑은 장시간 풍황측정에 따른 시간과 비용 그리고 측정위치의 제한을 갖으며, SODAR는 음파를 이용하기에 풍황측정 높이는 임의적으로 할 수 있으나 데이터의 측정오차가 상대적으로 큰 특징을 갖는다. 국내에서는 기상청 및 한국에너지기술연구원에서 전국을 대상으로 풍황 데이터를 구축해 오고 있다.^{2,6)}

장춘만 등⁷⁾은 용진군 덕적도를 대상으로 덕적도의 지형특성을 고려하지 않고 풍황 조건만을 반영하여 1kW 소형풍력발전기를 대상으로 연간에너지발생량을 평가하였다. 3년간의 풍황데이터를 통해 바람의 주방향은 북북서이며, 풍력발전기의 설치높이가 10m에서 20m로 상승함에 따라 연간에너지발생량이 1.6배 상승함을 분석하였다.

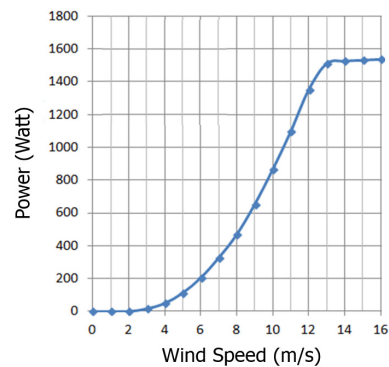
본 연구에서는 인천 덕적도를 대상으로 하였으며, 해발 292m의 산을 갖는 덕적도의 지형을 고려하여 1.5kW 소형풍력발전기 설치 장소인 3곳에서의 연간에너지발생량을 산출하였다. 또한 풍력발전기가 설치되는 국소지형의 형상을 고려하여 해석격자 밀도에 따른 3차원 수치해석을 수행하여 풍력자원지도 및 에너지발생량을 비교, 분석하였다.

2. 1.5kW 소형풍력터빈

본 연구에서는 1.5kW 소형풍력발전기를 인천시 용진군 덕적도에 설치하기에 앞서, 연간에너지발생량을 분석하였다. 본 연구에서 대상으로 하는 소형풍력발전기 형상 및 성능곡선을 Fig. 1에 나타낸다. 소형풍력발전기의 블레이드 수는 3개이며, 블레이드 길이 및 회전직경은 각각 3m 및 2m이다. 블레이드 설치높이는 지상에서 10m이다. Fig. 1(b)에서와 같이 3m/s에서 풍력발전을 시작해서 16m/s 풍속까지 발전



(a) turbine blade



(b) power curve

Fig. 1 Test turbine blade and power curve

을 할 수 있다. 정격풍속 및 회전수는 각각 13.5m 및 300rpm이다.

3. 풍력터빈 설치 위치

연구대상 섬인 덕적도는 인천 남서쪽 80km 앞에 위치하는 섬으로, 해발 292m인 비조봉을 포함하여 3개의 산이 있다. 덕적도는 2011년부터 인천광역시 신재생에너지를 기반으로 하는 에코아일랜드 사업이 진행되고 있으며, 풍력발전을 비롯하여 바이오, 태양광 및 조류발전 등이 새로운 에너지원으로 개발되고 있다.¹⁾

Fig. 2은 인천 덕적도의 항공사진이며, 3곳의 풍력터빈 설치 위치를 숫자로 표기하였다. 1.5kW 소형풍



Fig. 2 Aerial photograph of Deokjeok-Do island⁸⁾

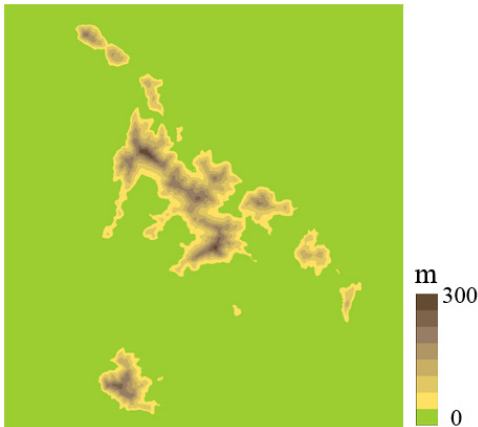


Fig. 3 Altitude contour of Deokjeok-Do island

력터빈의 설치 위치에 따른 에너지생성량을 예측하기 위하여 선정된 3 곳은 능동자갈마당(“1”), 북1리 연못(“2”) 및 으름실마을(“3”)이다.

4. 덕적도 지형을 고려한 발전량 평가

장춘만 등⁷⁾은 덕적도 지형을 무시하고 위치만을 고려한 풍황조사를 사전에 수행하였다. 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 덕적도의 지형데이터 구축을 위해 DEM(digital elevation model) 디지털 정보를 이용하였다. 덕적도 주변의 기상데이터는 한국에너지기술

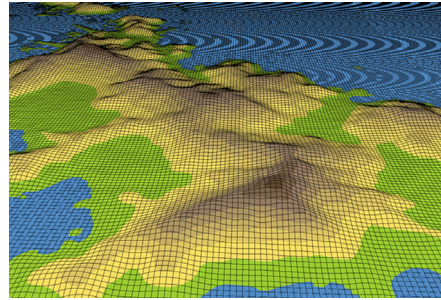


Fig. 4 Surface grid for Deokjeok-Do island (rough mesh)

연구원에서 제공하는 3년간의 72m 높이의 바람정보를 이용하였다.

4.1 덕적도 지형을 고려한 풍황평가 수준

덕적도 지형을 고려한 소형풍력발전기의 발전량을 평가하기 위하여 덕적도 지형데이터와 함께 순수바람정보(wind raw data)를 이용하였다. 즉 덕적도 지역의 72m 순수바람정보를 이용하여 1.5kW 소형발전기의 높이인 지면 10m에서의 풍력발전량을 예측하였다. 지면 10m의 풍황은 수치해석 결과를 이용하였다.

본 연구에서는 풍황평가를 위하여 상용소프트웨어인 WindSim⁹⁾을 사용하였으며, 발전지역 형상과 바람 정보를 이용하여 구간별 풍력밀도를 계산하고, 풍력터빈의 성능곡선을 이용하여 풍력발전기의 발전량을 산출하였다.

4.2 해석격자 및 해석모델

덕적도 지형을 고려한 풍황분포를 구하기 위하여 WindSim을 이용한 수치해석을 수행하였다. 해석영역은 덕적도를 중심으로 가로 및 세로방향 길이를 각각 14.3km 및 15.8km로 설정하고, 높이방향은 경계층을 고려하여 0.5km로 하였다.

Fig. 4는 표면해석격자 분포를 나타낸다. 가로 및 세로방향의 격자간격은 40m로 일정하게 하고, 높이

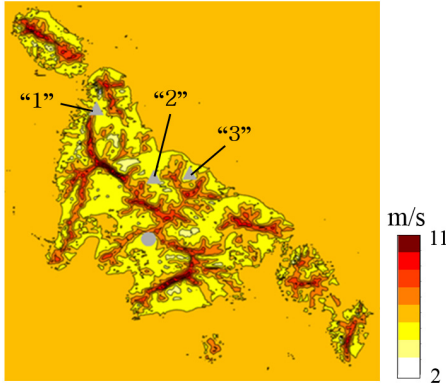


Fig. 5 Distribution of wind velocity at the altitude of 10m

방향은 지형의 높이를 고려하여 최소간격을 1.3m로 하여 선형적으로 증가시켰다.

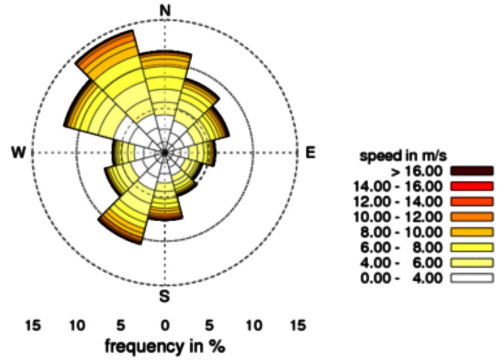
전체 해석격자 수는 약 420만개이며, 난류모델은 k-ε모델을 적용하였다. 수목 등 지표면의 표면 거칠기는 고려하지 않았다. 수치해석을 위한 경계지역의 속도분포는 국가바람지도의 데이터를 적용하였다.

4.3 풍력발전기 연간에너지발생량 평가

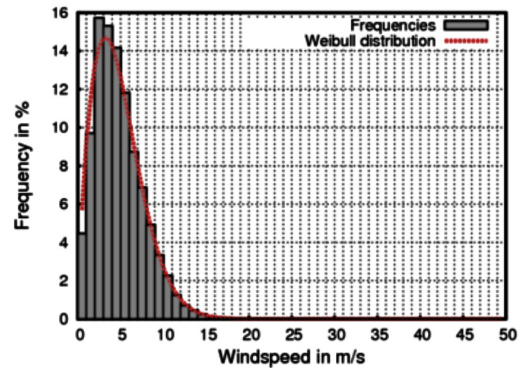
본 연구에서는 Fig. 2에 나타난 1.5kW 소형풍력발전기의 향후 설치 예정지인 3곳을 대상으로 풍력발전기의 연간에너지발생량을 평가하였다. 덕적도 지형을 고려하여 WindSim을 이용한 수치해석을 통하여 풍향을 평가하였다.

Fig. 5는 덕적도 지형을 고려한 지면 10m 높이에서의 평균속도분포를 나타낸다. 그림에서와 같이 산 등성이를 중심으로 높은 바람분포를 나타내며, 소형풍력발전기 설치 후보지 3곳에서는 평균유속이 4~6 m/s의 분포를 나타낸다.

Fig. 6(a)는 “3”번 위치의 10m 높이에서의 바람장미(windrose) 및 풍속빈도를 나타낸다. 이곳에서는 지형 상으로는 북서쪽에 산이 있지만 높이가 낮아 북서풍 계열의 바람이 다른 풍향에 비해 빈도가 높게 나타난다. Fig. 6(b)에서와 같이 풍속빈도는 3~6 m/s 구간에서 상대적으로 많음을 알 수 있다.



(a) windrose



(b) frequency distribution of wind velocity

Fig. 6 Windrose and frequency distribution of wind velocity at the altitude of 10m (position “3” in Fig. 2)

Table 1 Average wind velocity versus 12 sectors at the altitude of 10m (position “3” in Fig. 2)

section	N	NNE	NEE	E	SEE	SSE
velocity m/s	5.16	4.76	4.87	4.49	4.14	4.40
k	2.24	1.87	1.47	1.57	1.61	1.57
A	5.93	5.33	5.27	5.08	4.64	4.80
section	S	SSW	SWW	W	NWW	NNW
velocity m/s	5.03	5.08	4.06	4.02	4.39	5.61
k	1.58	1.73	1.64	1.54	1.65	2.18
A	5.50	5.60	4.40	4.36	4.86	6.37

k=Weibull shape parameter, A=Weibull scale parameter

Table 1에 나타난 것과 같이 12방향으로 구분한 바람지도에서 최대 평균속도를 갖는 주 풍속 방향은 북북서이다.

연간에너지발생량을 계산하기 위해서는 구간별

Table 2 Annual energy production of 1.5kW wind turbine

Installation position	1	2	3
Annual energy production, MWh/year	2.28	1.84	1.72

평균풍속을 이용한 풍력밀도를 적용하였다. 각 지점에서 연간에너지발생량을 Table 2에 나타낸다. 바다와 인접하면서 평지인 “1” 지점에서 상대적으로 높은 에너지발생량을 나타내며, 산으로 삼면이 둘러싸인 “3”번 위치에서는 상대적으로 발전량이 적음을 알 수 있다.

“3”번 지점(으름실마을)은 비록 에너지발생량이 상대적으로 적지만, 으름실마을은 마을과는 고립되어 있어서 독립적인 에너지 수요가 많은 지역이다.

5. 으름실마을 지역 상세평가

5.1 으름실마을 지형 및 해석방법

덕적도의 지형을 이용한 풍향조사를 수치해석으로 수행하기 위하여 WindSim을 사용하였으며, 1차적으로 앞 절에서 설명한 바와 같이 덕적도 전체에 대하여 성긴격자(rough mesh, 가로 및 세로 단위격자 길이 : 40m)를 이용하였다.

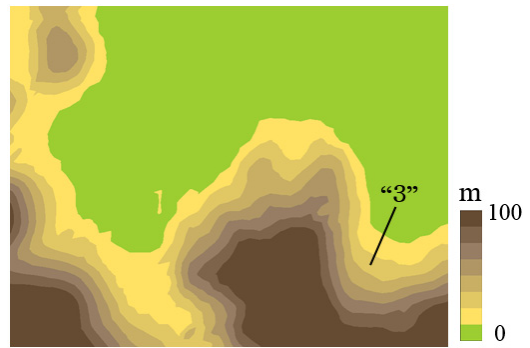
본 연구에서는 1.5kW 소형풍력기 설치 장소로 결정된 Fig. 2의 3번 위치인 으름실마을을 중심으로 지형을 좀 더 상세히 구별하여 상대적으로 조밀한 격자(fine mesh, 가로 및 세로 단위격자길이 : 10m)를 사용하여 소형발전기에 의한 연간에너지발생량을 평가하였다.

상세해석을 위한 해석영역은 Fig. 7에서와 같이 으름실마을 공동체를 포함하여 가로 및 세로방향 길이를 각각 2.5km로 설정하고, 높이방향은 경계층을 고려하여 0.5km로 설정하였다.

Fig. 8은 으름실마을 주변의 경계영역에 대한 상세표면격자를 나타낸다. 상세해석을 위하여 격자의 단위길이는 가로 및 세로 각각 10m로 하고, 격자수



(a) aerial photograph near the position “3”



(b) altitude contour

Fig. 7 Analysis domain around Urumsil-maul (position “3” in Fig. 2)

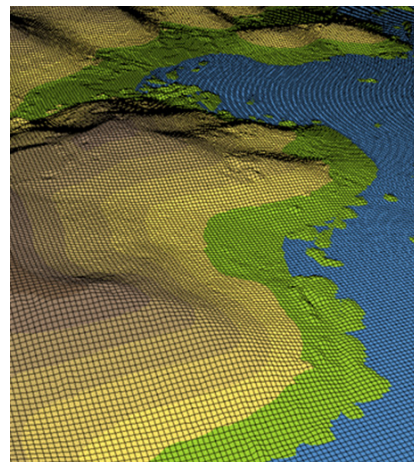


Fig. 8 Surface grid near the position “3” in Fig. 2 (fine mesh)

는 각각 249개로 설정하였다. 높이방향으로는 지면에서 첫 번째 격자거리를 0.5m로 하여 총 30개의 격

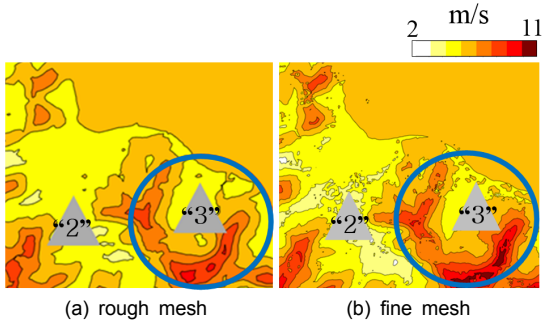


Fig. 9 Distribution of wind velocity at the altitude of 10m

Table 3 Annual energy production of 1.5kW wind turbine at position "3" in Fig. 2

Calculation mesh	Annual energy production, MWh/year
Rough mesh	1.72
Fine mesh	1.73

자를 사용하였다. 총 해석격자 수는 1,860,030이다. 해석경계점에서의 풍속 및 풍향데이터는 덕적도 전체를 대상으로 해석한 해석결과를 사용하였다.

5.2 으름실마을 상세해석에 의한 연간에너지발생량

Fig. 9는 덕적도 전체를 해석대상으로 성긴격자로 해석한 경우와 으름실마을 주변만을 대상으로 조밀한 격자를 사용한 두 종류의 조건에서의 속도결과를 나타낸다. 그림은 지면에서 10m 높이의 바람속도이다. Fig. 9(a)의 성긴격자의 경우와 비교하여 Fig. 9(b)의 조밀한 격자로 해석한 경우에서 보다 상세한 속도분포를 나타낼 수 있다. 그림에서 으름실마을(원호부분) 내의 풍력발전기 설치 예상지점인 "3" 위치의 속도는 두 경우 유사한 속도분포를 갖으며, 이러한 발전기 설치지점의 기류속도를 기반으로 설치 대상 소형풍력발전기의 연간에너지발생량을 Table 3에 나타낸다. 덕적도 전체를 고려하여 성긴격자로 평가한 경우와 비교하여, 상세한 격자에도 유사한 발전량을 나타낼 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서는 인천시 옹진군 덕적도의 지형을 DEM(digital elevation model)의 디지털 정보를 이용하여 모델링하고, 3년간의 72m 높이의 국가바람지도를 이용하여 난류모델을 포함하는 수치해석으로 풍황분석을 통하여 1.5kW 소형풍력발전기의 연간 에너지발생량(annual energy production)을 평가하였으며, 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 덕적도 지형을 고려하여 으름실마을에 설치하는 발전기의 연간에너지발생량을 가로 및 세로 격자 간격을 40m 및 10m로 설정하고 평가하여 각각 1.72MWh 및 1.73MWh로 서로 유사함을 알 수 있었다.
- 2) 덕적도 전체를 대상으로 성긴격자에 의한 풍황정보를 관심지역의 상세 풍황분석을 위한 해석경계 조건으로 적용함으로써 상세한 내부풍황 분포를 확인 할 수 있었다.
- 3) 덕적도 지형을 고려한 덕적도 지면 10m의 풍황에서 산등성이 부근에는 약 10m/s의 평균기류가 분포하는 반면, 해안가를 면하고 있는 설치예정지역에는 평균풍속이 4-6m/s임을 알 수 있었다.
- 4) 덕적도 으름실마을의 12방향 바람장미(wind-rose) 분석을 통하여 주 바람이 북북서 방향이며 방향에 따라 최대 5.6m/s에서 최소 4.0m/s까지 분포됨을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 2014년도 한국건설기술연구원의 주요 사업 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Report on Eco-Island Project, Incheon City, Korea, 2013.

2. Hyun-Goo Kim, Moon-Seok Jang and Ki-Wahn Ryu, "Wind Resource Assessment on the Western Offshore of Korea Using MERRA Reanalysis Data", *Journal of Wind Energy*, Vol. 4, No. 1, 2013, pp. 39-45.
3. Hyun-Goo Kim, Hwa-Un Lee and Woo-Sik Jung, "A Study on Establishment of a Wind Map of the Korean Peninsula (I. Evaluation of Offshore Wind Resources Using Remote-Sensing Data)", *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 21, No. 1, 2005, pp. 63-72.
4. Hyun-Goo Kim, Moon-Seok Jang, Yong-Heack Kang and Kwang-Deuk Kim, "National Wind Map Database and Visualization Program", *Proceeding of the winter conference of Korean Solar Energy Society*, Vol. 30, No. 2, 2010, pp. 1-3.
5. National Wind Atlas (<http://www.kier-wind.org/>)
6. Technical Report, 2009, "Establishment of High-Resolution Korea Offshore Wind Resource Map and Development of Suitability Assessment System for Offshore Wind Farm Siting", Ministry of Trade, Industry and Energy.
7. Choon-Man Jang, Jong-Sung Lee, Wan-Ho Jeon, Tae-Gyun Lim, "Evaluation of Energy Production for a Small Wind Turbine Installed in an Island Area", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 24, No. 6, 2013, pp. 558-565.
8. <http://map.naver.com/>
9. WindSim 5.0, 2010.