

비용도 풍력발전 단지의 발전현황 및 풍자원 분석(2008년)

김 진택¹⁾, 고 성훈²⁾, 강 기원³⁾, 송 화창⁴⁾, *이 장호⁵⁾

Analysis of Wind Energy Potential in Bieung-do Wind Farm(2008)

Jintaek Kim, Sunghwun Go, Kiwon Kang, Hwachang Song, *Jangho Lee

Abstract : Wind speed is measured on the nacelle at the location of wind turbines are installed. The wind speed is transformed to inlet wind speed at the front of hub using newly developed algorithm derived from energy conservation. Wind energy potential is analyzed using the inlet air velocity in the region of Bieung-do wind farm. As results, wind speed depending on the month, yearly averaged wind speed, wind speed distribution, and energy density are showed in this study. Bieung-do area is close to Saemankeum, and the analysis of wind energy potential in Bieung area will be helpful to understand and develop wind energy industry in Saemankeum area.

Key words : Bieung-do Wind Farm(비용도풍력발전소), Wind Energy Potential(풍자원), Weibull Distribution(웨이블분포)

Nomenclature

V : wind speed, m/s
V₁ : inlet speed, m/s
V₃ : measurement speed, m/s
P : power
ρ : density, kg/m³
Ep : error
A : cross section, m²
c : scale parameter
k : shape parameter

1. 서론

비용도 군산풍력 발전소는 군장국가 산업단지 서측 해안을 따라 구축된 시범발전 단지이다. 이 발전소는 2001년에 1호기를 시작하여 2007년에 10호기를 마지막으로 완공되었다. 총 사업비 약 160억을 사용한 이 발전소는 덴마크 NEG-Micon사의 750KW 모델(NM48)6기와 덴마크 VESTAS사의 850KW모델(V52) 4기로 구성되어 총 7.9MW의 발전 용량으로 설계되었으며, 약 3천세대에서 사용할 수 있는 전기를 발전하도록 기획되었다. 각 발전기의 허브까지의 높이는 45m와 49m이며, NM48은 스톱제어방식이고, V52는 피치제어방식을 채택하고 있다.

본 논문에서는, 비용도 풍력발전소의 타워상 발전기상에서 시스템 제어를 목적으로 측정한 풍속데이터를 허브 앞단의 풍속으로 전환하는 알고리즘을 수립하고, 이를 이용하여 비용도 풍력발전소 유역의 풍속분포를 분석하였다. 이에 따라 본 논문에서는 계절별 풍자원 특성, 연평균풍속, 속도분포, 그리고 에너지 밀도 등의 분석결과를 제시된다.

2. 풍속 측정 및 분석 방법

2.1 풍력발전기 주요 제원

Table 1은 비용도에 설치되어 있는 풍력발전기의 제원을 보여주고 있다. 비용도에는 10기의 풍력발전기가 설치되어 있고, NM48과 V52의 모델로 이루어져 있다. 출력은 각각 750kW와 850kW이다.

2.2 유입 풍속 계산

비용도에서의 풍속데이터는 설치된 풍력발전기에서 측정된 것으로 2007년 12월부터 2008년

Table 1 풍력발전기 제원

	NM48	V52
Nominal output	750 kW	850 kW
Hub Height	45 m	49 m
Rotor Diameter	48 m	52 m
Number of Blades	3	3
Cut-in wind speed	4 m/s	4 m/s
Nominal wind speed	16 m/s	16 m/s
Cut-out wind speed	25 m/s	25 m/s

- 1) 군산대학교 풍력기술연구센터
E-mail : kjtaek@kunsan.ac.kr
Tel : (063)469-1964 Fax : (063)469-1965
- 2) 전라북도청
- 3) 군산대학교 풍력기술연구센터/ 기계자동차공학부
- 4) 서울산업대학교 전기공학과
- 5) 군산대학교 풍력기술연구센터/기계자동차공학부
E-mail : jangho@kunsan.ac.kr
Tel : (063)469-4869 Fax : (063)469-1965

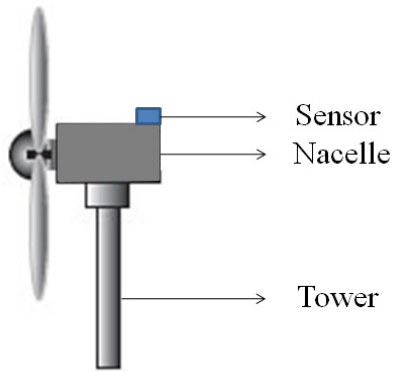


Fig. 1 발전기와 센서 위치 간략 그림

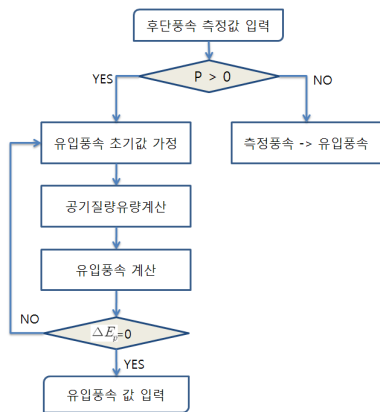


Fig. 2 유입 풍속 계산 flowchart

11월까지 측정되었다. 풍속측정 위치는 Fig. 1에서 보는 바와 같으며, Nacelle 상에 위치해 있는 센서에 의해서 풍력발전기 후단의 풍속이 측정된다. 측정되는 데이터는 10분 평균값으로 저장된다.

풍력발전기의 유입풍속은 측정되어지는 풍력발전기 후단의 풍속, V_3 와 풍력발전량, P 를 근거로 식(1)과 같은 에너지 보존법칙에 의해 구해진다.

$$P = \frac{1}{2} \rho A V_1 (V_1^2 - V_3^2) \quad (1)$$

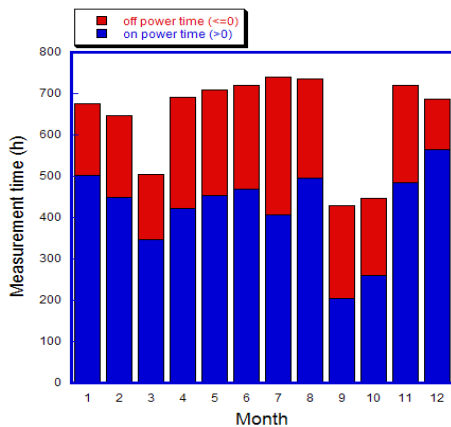


Fig. 3 월별 발전시간

풍속이 cut-in speed 이하인 경우, 블레이드가 회전하지 않으므로, 계측풍속과 유입풍속은 동일하다고 볼 수 있으며, 계측발전량은 발전기의 전력소모 때문에 음수를 가진다. 이 경우를 고려하면 Fig.2와 같은 유입풍속 산출 알고리즘이 구성된다. 그림에서 오차 E_p 는 (1)식의 좌변에서 우변을 뺀 값을 말하는데, 좌변과 우변이 같아지는 유입속도, V_1 을 구한다.

3. 발전 현황 분석

Fig. 3에서는 풍력발전기에 대한 발전시간을 월별로 도시하였다. 유입되는 풍속에 의한 유효 발전시간을 막대그래프의 하단에 표시하였고, 발전하지 않은 시간은 상단에 표시하였다. 3, 9, 10월은 일부 데이터가 누락되어 막대그래프의 전체 길이가 상대적으로 작게 나타난다. 그림에서 7월에 측정된 발전시간은 다른 월에 비해 발전기가 정지되어 있는 시간이 상대적으로 크게 나타나고 있으며, 12월과 1월은 유효발전시간이 크게 나타난다.

한편, 측정되는 발전량은 실제의 발전량에서 발전기에 부착된 측정기구들의 전력량을 뺀 값으로서, 실제 발전량과는 약간의 차이가 발생을 하게 된다. 그림에서 상단에 표시되어 있는 부분에는 발전기에서 발전은 이루어지지 않고, 역으로 측정기에 전력 공급되어 전력계측량이 마이너스가 되는 부분이다. 이를 유입풍속 계산에 반영하면 유입풍속이 약간 증가할 것으로 추측된다.

4. 풍자원 분석

비용도 풍력발전소의 풍자원을 이해하기 위하여 발전기의 평균풍속과 풍속의 도수 분포, 풍력발전기의 설비용률에 대해서 분석을 하였다.

4.1 시평균 분석

Fig. 4에서는 풍력발전기의 평균 풍속을 월별로 보여주고 있다. 연평균 풍속과 비교하였을 때 12월이 평균 풍속보다 가장 크게 나타났고, 9월은 가장 적게 나타나고 있다. Table 2는 각각 월별 발전기의 풍속데이터를 보여주고 있다. 6,7,9월의 평균 풍속이 5m/s풍속을 나타냈으며, 연중 평균 풍속은 약 5.5 m/s풍속 정도 되는 것으로 나타났다.

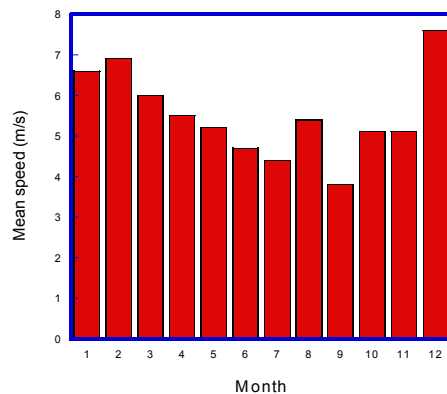


Fig. 4 월별 전체 발전기 평균속도

Table 2 월별, 발전기별 풍속 데이터 (단위:m/s)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1호기	6.6	7	6	5.6	5.2	4.8	5.1	5.5	3.9	NA	NA	NA
2호기	6.6	6.9	6	5.6	5.1	4.7	4.9	5.4	3.6	NA	NA	NA
3호기	6.4	6.6	5.8	5.4	5	4.6	4.8	5.4	3.8	NA	NA	NA
4호기	6.4	6.9	5.9	5.4	5.2	4.7	4.8	5.4	3.9	NA	NA	NA
5호기	6.7	7	6.1	5.7	5.4	4.9	5	4.7	4	NA	NA	NA
6호기	6.7	7	6	5.6	5.4	4.9	5	5.6	3.9	NA	NA	NA
7호기	6.6	6.8	6.5	5.4	5.1	4.6	4.6	5.4	3.5	5.3	5.4	6.9
8호기	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3.5	5.8	4.1	5.3	5.5	8.1
9호기	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3	5.5	3.5	5.3	4.8	7.5
10호기	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3.2	5.7	3.9	4.6	4.7	7.9
Mean	6.6	6.9	6.0	5.5	5.2	4.7	4.4	5.4	3.8	5.1	5.1	7.6

4.2 풍속 분포 분석

Fig. 5는 계산된 유입풍속의 분포를 보여주고 있다. 그림에서 최빈속도는 3m/s이고, 평균속도는 5.5 m/s이다.

풍속의 도수분포함수로서 Weibull 분포함수를 적용하면 다음과 같이 표현된다.^(1,2)

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

여기에서 k는 형상계수(shape parameter)로 분포된 풍속의 편차와 관계하는 상수이고, c는 척도계수(scale parameter)로 분포되는 풍속의 평균치와 관계하는 상수이다. 그림에서 k=1.65, c=6.43의 값을 가지는 것으로 나타났다. 이는 2005년도의 풍자원 분석 결과⁽³⁾ k=1.66, c=6.25와 유사하다.

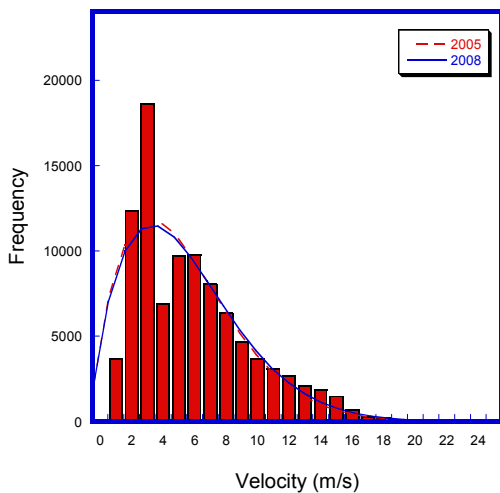


Fig. 5 풍속의 도수분포

4.3 에너지밀도 분석

풍속에 대한 Weibull 분포와 에너지 밀도 분포를 Fig 6에 도시하였다. 에너지 밀도는 풍속 14m/s에서 최대값 32.45W/m²를 보이는 것으로

나타났다. Cut-in 풍속인 4m/s 이하의 에너지 밀도 누적 비율은 1.12%로 나타났다. 비응도의 에너지 밀도는 306W/m²이다.

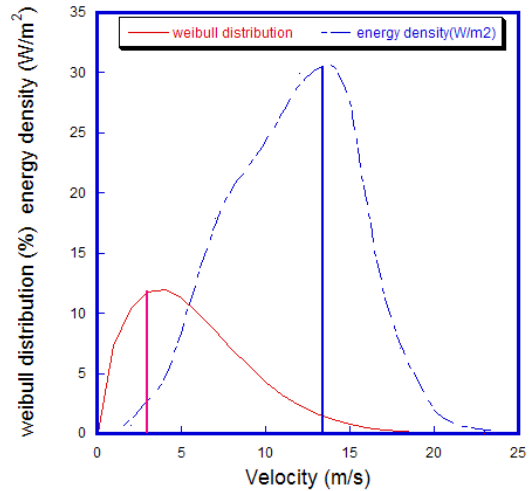


Fig. 6 풍속분포와 바람 에너지 밀도 분포

4.4 풍력발전시스템의 이용률

풍력 터빈 시스템의 설비 이용률은 다음과 같이 산출된다.

$$\text{설비이용률 (\%)} = \frac{\text{연간발전량 (kWh)}}{\text{정격출력 (kW)} \times \text{연간시간 (8760h)}} \times 100 \quad (3)$$

Table 3 호기별 설비이용률 데이터

	발전량(kWh)	설비이용률(%)
1호기	904,756	13.8 %
2호기	N/A	N/A
3호기	846,815	12.9 %
4호기	N/A	N/A
5호기	905,941	13.8 %
6호기	911,078	13.9 %
7호기	1,140,761	15.3 %
8호기	N/A	N/A
9호기	1,166,793	15.7 %
10호기	1,151,773	15.5 %

각 풍력발전기에 대한 설비 이용률에 대한 데이터를 Table 3에 도시하였다. 발전기의 데이터가 손실되었거나 일부 누락된 데이터는 계산에 포함하지 않았다. 1호기에서 6호기까지 750kW급 풍력 터빈의 이용률이 약 13%대정도로 나타나고, 7호기에서 10호기까지 850kW급 풍력터빈의 이용률은 약 15% 정도 되는 것으로 나타났다. 가변피치 방식인 850kW 급 풍력터빈의 이용률이 3%정도 좋은 것으로 나타났다.

5. 결론

본 논문에서는 설치된 풍력발전기 상에서 계측한 풍속과 전력을 활용하여 유입풍속을 산출하는 방법을 개발하고, 이 방법을 활용하여 군산 새만금 유역의 비응도 풍력발전소에서 측정된 2008년도 자료를 분석하였다.

분석한 결과, 연평균풍속은 5.5m/s 정도 되는 것으로 나타났으며, 풍속분포는 형상계수 1.65, 척도계수 6.43을 가지는 Weibull 분포를 보여주는 것으로 나타났다. 그리고 최빈풍속은 3m/s이며, 에너지 밀도는 풍속 14m/s에서 최대값 32.45W/m^2 을 가지는 것으로 나타났다. 이와 같은 분석결과는 2005년 실시한 연구결과와 유사한 것으로 비교되었다.

이와 같이 본 논문에서 개발한 유입풍속 산출 방법이 풍자원을 분석하는데 유용한 것으로 확인되었다. 향후, 이 방법론에 대한 추가적인 검증을 하고, 이를 활용하여 비응도 풍력발전소에서 지난 수년간 지속적으로 계측해온 자료들에 대한 분석이 수행될 예정이다. 이는 향후 비응도와 인접한 새만금유역의 풍자원 분석과 풍력산업 육성 계획에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 도시형풍력발전원천기술 센터 사업과 5MW해상풍력발전기의 원천핵심기술 개발사업의 지원으로 수행된 연구결과입니다.

References

- [1] Kyong, N.H., Jang, M.S., Yoon, J.E., Jang, D.S., 2003, "한반도 해역의 해상 풍력 자원 평가", pp.56-62, 한국풍력기술연구회 한국풍력 기술 및 정책 Workshop
- [2] Kim, K.K., 2005, "풍력자원 정밀조사 및 풍력 단지 개발 기술 증진연구", pp.505-518, 17회 신재생에너지 워크샵 한국신재생에너지학회 추계학술대회
- [3] Jang, M.S., 2005, "육/해상 풍력실증연구단지 조성 기획 연구", pp.253-264, 17회 신재생 에너지 워크샵 한국신재생에너지학회 추계학술대회