

서남해안의 대규모 풍력발전단지 설계

(Design of large wind turbines generations at the southwest shore in Korea)

문재주*, 정의현*,
Chae-joo Moon*, Eui-heang, Cheang*

*목포대학교 전기공학과
*Dept. of Electrical Engineering, Mokpo National University

ABSTRACT

본 논문에서는 서남해안 실측풍속데이터를 통하여 풍황을 분석하고, WindPro, WAsP등의 풍력발전 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 지형 및 풍황특성에 맞추어 23[MW]급의 풍력발전단지를 설계하였다. 본 논문에서 제안하는 풍력발전단지의 연간 총발전량은 61,134.9MWh로써 이용률은 30.3%이다.

1. 서 론

개발도상국들의 급성장, 세계인구의 급증으로 특징되는 오늘날, 세계 각국은 고유가 문제와 환경문제라는 난제에 직면해 있다. 산업 성장에 따른 석유 소비의 급증은 고유가 문제와 동시에 지구온난화라는 환경 문제를 야기하였다. 세계 각국은 이 두 문제를 동시에 해결하기 위해 노력하고 있는데, 현재 가장 적절한 대안은 신재생에너지를 활성화시키는 것이다. 이미 독일을 비롯한 주요 선진국들은 태양광, 풍력, 지열 등 신재생에너지의 개발과 보급에 적극적으로 나서고 있다.

본 논문에서는 신재생에너지 중에서 대규모 풍력발전단지설계에 대해서 기술하고자 한다. 본 논문은 수심이 비교적 얇고, 파도의 높이가 3~5m내로서 안정적인 서남해안지역에서 2006년~2008년까지 약 2년간 실측된 풍황 자료를 이용하여 서남해안의 바람에너지 분석과 WindPro, WAsP 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 풍력발전단지를 설계하고, 지역특색에 맞는 풍력 발전단지를 제안한다. 또한, 육상과 해상의 풍력단지 조성에 따른 최적 발전량에 대해서 기술한다.

2. 지형 및 풍황 특성

2.1 지형특성

본 논문에서 분석한 지역은 목포에서 북으로 약 10km 떨어진 지점으로써 북동쪽으로 약5km 떨어진 지점에 100m높이의 산이 있고, 남동방향으로 약 10km 떨어진 지점에 200m 높이의 산이 있으며, 이외의 지역

은 평지로 이루어져 있으며 여느 서남해안과 같이 서쪽과 남쪽방면은 모두 섬이 밀집된 형태의 바다로 이루어져있다.

2.2 풍황특성

본 논문의 풍력자료는 2006년 11월 19일부터 2007년 11월 18일까지 높이 50m Pole을 세워 50m, 49m, 40m, 30m의 높이에서 풍속을 측정하고 50m와 30m에서 측정된 풍향 결과를 WAsP과 Windpro를 상세한 풍황 특성분석을 하였다.

2.2.1 측정지점의 풍속

풍속데이터를 실측한 높이와 설치할 허브의 높이가 다를 경우 허브높이에서 풍속을 정확히 예측할 필요성이 있다. 따라서 실측데이터로부터 허브높이의 풍속을 보정하기 위해서는 식 (1)과 같은 대수법칙을 적용하면 된다.

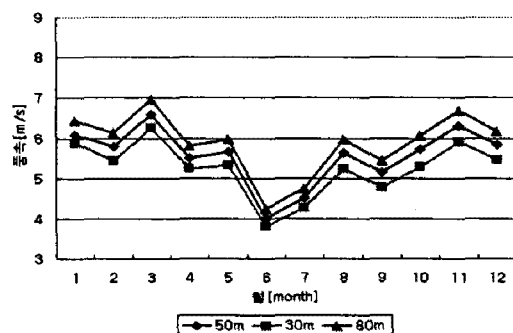


그림 1. 높이에 따른 월별 풍속 (wind speed)

$$\frac{U(Z)}{U(Z_a)} = \left(\frac{Z}{Z_a}\right)^{\alpha(11)} \quad (1)$$

여기서, Z와 Z_a는 높이를 나타내고 U(Z)와 U(Z_a)는 Z와 Z_a의 높이에서의 풍속을 나타낸다.

그림 1은 30m, 50m의 실측풍속을 식 1을 이용하여 중대형 허브높이인 80m로 보정하여 계산한 결과이다.

그림 2는 시간에 따른 봄(3~5월), 여름(6~8), 가을(9~11), 겨울(12~2)의 80m 보정높이의 풍속을 나타내었다. 봄과 가을에 꾸준한 풍속을 나타내고 있고, 겨울의 경우 오전과 오후의 풍속이 급격히 변화한다.

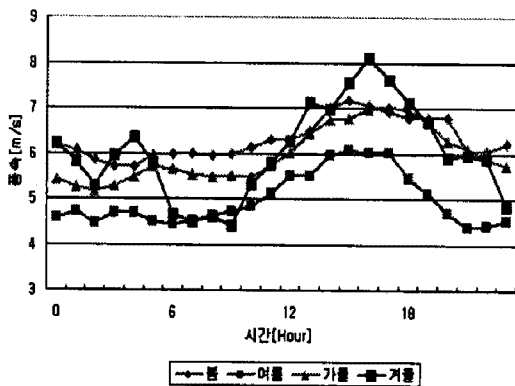
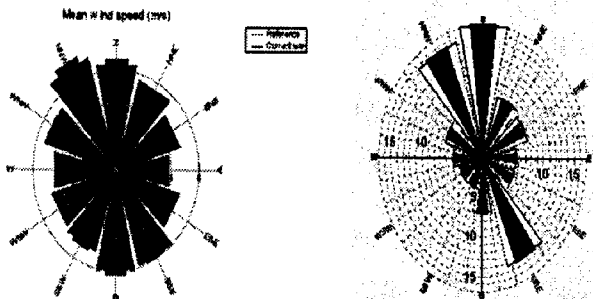


그림 2. 80m보정 높이에서 계절에 따른 풍속 (wind speed)

2. 2. 2 방위별 풍속

그림 3(a)은 실측지점에서 방향을 12개로 구분하고 각 방위의 평균풍속을 나타낸 그래프이고, 그림 3(b)는 각 방위별 풍속빈도 그래프이다. 풍력발전기 기동풍속인 4~5m/s 이상의 풍속은 북(N), 북북서(NNW), 서북서(WNW), 남(S), 동남동(SES)에 존재하고, 주풍은 북, 북북서, 동남동이라고 할 수 있다.



(a) 방위별 풍속 (b) 방위별 풍력 빈도

그림 3. 방위별 풍속 (좌) 과 빈도 (우)

2. 2. 3 에너지밀도

운동하는 물체의 운동에너지라는 것은 물질의 질량 (m)과 이동속도(V)가 갖는 에너지로써 식 2과 같이 표현 할 수 있다[3].

$$E = \frac{1}{2} m V^2 \quad (2)$$

또한, 전력[W]는 시간 변화에 따른 에너지[J]이므로

식 3과 같이 표현할 수 있다

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} V^2 - \quad (3)$$

직경 A[m]의 원을 통과 하는 공기의 속도(V)는 단위시간당 통과한 공기의 질량과 비례한다고 할 수 있다. 또한, 공기의 질량은 체적과 공기 밀도의 곱 ρ (AV)이기 때문에 직경 A[m]를 통과하는 운동에너지는 식 4와 같다^{[1],[2],[3]}.

$$P = \frac{1}{2} (\rho A V) V^2 = \frac{1}{2} \rho A V^3 - \quad (4)$$

그러므로 에너지 밀도는 풍속의 세제곱, 로터반경의 제곱에 비례한다.

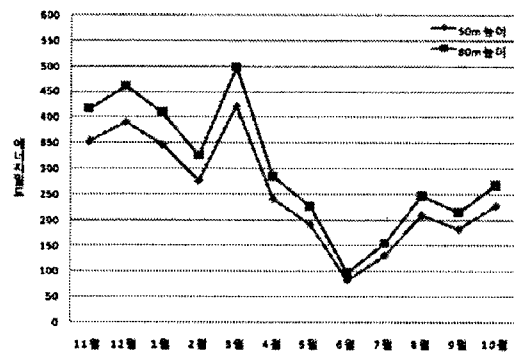


그림 4. 월별에너지 밀도

그림 4는 실측 풍속데이터를 이용하여 직경 1m을 통과하는 에너지 밀도를 나타낸 그래프이다. 실측점의 에너지 밀도의 분포는 초겨울부터 봄까지(11월~4월)가 비교적 높고, 여름이(6월) 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

2. 2. 4 난류강도 및 와이블 분포

본 논문에서는 10분 동안 최대풍속(순간풍속), 최소 풍속, 평균풍속 3개의 풍속 측정을 통하여 난류강도를 계산하였다. 즉, 난류강도는 평균풍속에 대한 최대·최소풍속의 표준편차와의 비로써 아래 수식 5와 같이 표현할 수 있다.

$$I = \frac{\sigma}{V} - \quad (5)$$

여기서 σ은 풍속 변화에 대한 표준편차이고 V는 평균 풍속, I는 난류강도이다.

그림 5는 발전기 기동풍속범위(4m/s~25m/s)에 따른 난류강도를 나타낸 그래프이다. 대부분의 난류강도가 0.3이하의 비교적 안정적으로 풍속이 유지되어짐을 알 수 있다.

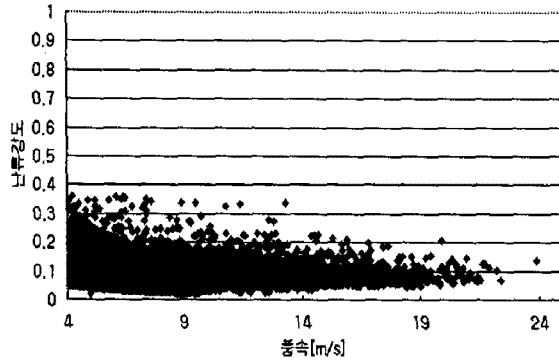


그림 5. 풍속에 따른 난류강도

그림 6은 와이블 분포그래프로써 1년간 전체 풍속 중에 해당되는 풍속의 빈도를 나타내는 그래프로 50m높이에서 4[m/s]대역에서 가장 많은 빈도를 나타내고 있다.

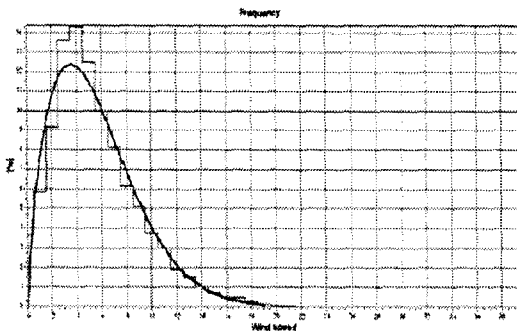


그림 6. 풍속 빈도

3. 예상단지설계

풍력발전기 타워 높이와 블레이드 직경에 따른 발전량의 차를 알아보기 위하여 표1과 같이 예상단지를 설계하여 시뮬레이션 하였다.

수식 (4)에서 언급된바와 같이 발전량과 블레이드의 직경이 비례함을 알 수 있다. 또한 블레이드 직경이 클수록 후류풍에 의한 영향이 많아지므로 발전단지를 설계할 때, 이에 따른 영향을 고려해야한다.

표 1 발전기 규격에 따른 예상 발전량

발전기 종류	A모델	B모델	C모델	D모델
블레이드직경[m]	80	90	94	104
타워 높이[m]	78.0	80	100	100
기당설비용량/총설비용량 [MW]	2/20	2/20	2.3/23	3.6/36
후류 손실[%]	7.56	8.79	7.68	8.03
연 발전량[MWh]	44,709.2	52,247.7	61,134.9	83,980.1
이용률[%]	25.5	29.8	30.3	26.6

표 1에서 설비이용률이 가장 좋은 C타입의 발전기를 이용하여 동(육지)에서 서(바다)방향으로 발전단지를 조성한 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2 발전단지의 예상 발전량

발전기	풍속[m/s]	연발전량 [MWh]	후류 손실 [%]	비고
1호기	6.3	5,408	8.5	육지
2호기	6.5	5,480	9.9	갯벌
3호기	6.7	5,576	10.2	갯벌
4호기	6.7	5,665	10.1	갯벌
5호기	6.8	5,738	10.2	갯벌
6호기	6.8	5,820	9.9	갯벌
7호기	6.9	5,892	9.6	바다
8호기	6.9	5,983	8.9	바다
9호기	6.9	6,112	7.6	바다
10호기	7.0	6,403	3	바다

4. 결론

본 논문에서는 서남해안의 대규모 풍력 발전 단지를 설계하고 그 결과를 기술하였다. 지형적 영향 및 풍향특성에 따른 에너지 밀도를 계산하고 이로부터 풍력 발전단지를 설계하고 예상 발전량을 계산하였다.

- (1) 본 논문에서 제안하는 풍력발전단지는 기당 총 설비용량 23[MW]급으로써 기당 연평균발전량 6,113.5[MWh]로써 설비이용률 30.3%이고, 연간 총발전량은 61,134.9MWh이다.
- (2) 한편 80m보정높이의 평균풍속은 해상이 육지나 갯벌보다 약 7%이상 빠르므로 향후 대규모 풍력 발전은 해상풍력이 주가 되어야 할 것으로 생각한다.

이 논문은 (주)중부발전의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고문헌

- [1] 김현구의 4명 “풍력발전 단지조성을 위한 바람 환경 분석” 한국대기환경학회지
- [2] 고경남 허종철 “풍력공학입문 ” 문운당
- [3] 김건훈외 8명 “충청남도 풍력발전단지 건설타당성 조사 연구”
- [4] 문채주의 5명 “도서/해안 신재생에너지기술연구 최종보고서”