

제주도 해상풍력단지 조성을 위한 최적지 조사에 관한 연구

Survey of optimal location for the installation of Je-ju Sea Offshore Wind Farm

*김관철¹, # 임종함¹

*J. C. Kim¹, # J. H. Lim(jhlim@cheju.ac.kr)¹

¹ 제주대학교 메카트로닉스공학과

Key words : Offshore Wind Farm, Wind Farm, Wind Turbine, Installation of wind Farm

1. 서론

바다와 육지 어느 곳이 바람이 많이 불까? 이 문제의 정답은 바다이다. 바다가 바람이 많이 분다는 것은 누구나 아는 사실이다. 해상 풍은 거칠기가 작은 해수면 경계층에 의한 영향으로 육상 풍에 비하여 풍속이 높다. 유럽의 경우 해상 풍은 해안으로부터 10km 떨어지면 약 25% 증가한다고 한다. 발전량은 통상 풍속의 3승에 비례하여 증가하기 때문에 풍속이 20% 증가하면 발전량은 70% 이상 증가한다. “또한 지형의 영향을 받지 않기 때문에 바람의 난류강도가 작아 에너지밀도가 양호하여 출력변동이나 기계적 피로가 적다.” 또한 육상에 비해 해수면 거칠기가 작기 때문에 타워를 육상 보다 높게 할 필요가 없다. 그리고 운전 중 소음 문제로 인한 환경문제가 없고 넓은 영역을 이용 가능하기 때문에 대형기종을 대형 단지로 설치 할 수 있다. 본 연구는 제주 지역 두 곳을 임의로 정하여 해상풍력단지를 시뮬레이션을 통해 조성하고, 제주 지역의 해상풍력단지 조성 적합성을 분석하였다.

2. 본론

제주도는 북서풍이 주풍이기 때문에 임의의 두 곳을 선정함에 있어 Fig.1처럼 서쪽에는 한수리, 동쪽에는 우도를 선정하였다.



Fig.1 Choose local for offshore wind farms

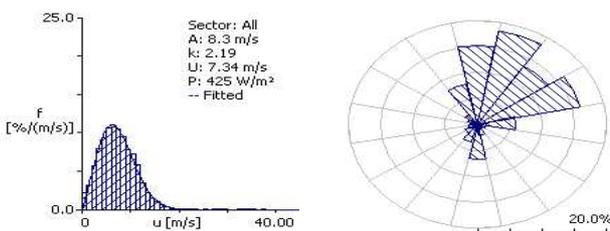
데이터 수집 기간은 2007년 10월부터 현재까지 수집하고 있고 분석은 3월까지 데이터로 분석하였다. 측정높이는 50m, 45m, 30m, 20m 이다.

Sensor	Raw Sensor Output	9300 Data Output Range	9300 Resolution
#40 Anemometer	0Hz to 125Hz	1m/s to 96m/s	0.271%
200P Wind Direction vane	0 V to excitation Voltage	360° rotation	0.271%
110S Temperature Sensor	0 to 2.5V	-40°C to 52.5°C	0.271%
LI-200SA LI-Cor Pyranometer	93.7microamp per 1000 watts m ⁻²	0 to 3000 W/m ²	0.271%
BP-20 Pressure Sensor	0 to 10.5kPa	15 to 115kPa	0.271%

Fig.2 Meteorological mast in each location

2.1 한수리

한수리 기상데이터를 분석해보면 다음과 같다.



Graph.1 Weibull Distribution and Wind Rose in Hansuri
 한수리 앞바다 예정 풍력발전 단지 중심 좌표(TM(WGS84):

130929.E/44179.0N)를 중심으로 에너지 밀도 지도를 그리면 Fig.3과 같다. 이 때, 지역 고도, 평균대기 온도 그리고 평균 대기압을 통해 공기 밀도를 보정 한 후 발전량을 계산한다. 하지만, 여기에서는 Air density를 1.200kg/m³ 로 정하여 에너지 밀도 지도를 나타내었다.

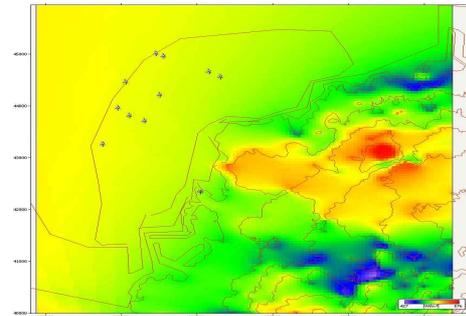


Fig.3 Wind Energy density map in Hansuri

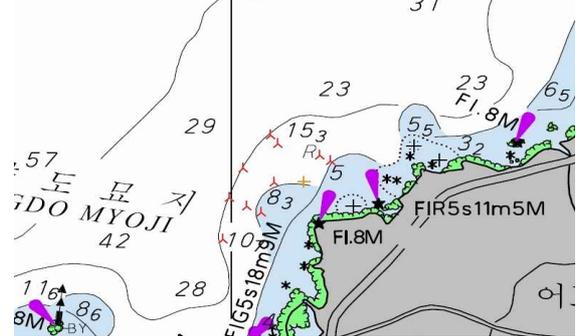


Fig.4 Location of wind turbines in Hasuri

수리 앞바다 풍력발전시스템 배치는 Fig.4와 같다.

Fig.4는 Windpro를 이용하여 Full Optimize 하여 최적의 위치를 정하였다. 설치 영역은 수심지도를 이용하여 수심15m 이내 범위로 정하였다. 이 때, wake model 은 N.O. Jensen(EMD)2005를 사용하였고, Turbulence model 은 Empirical Turbulence - Dutch TNO labortory를 사용하였다. 단지에서 연간생산에너지는 75,001.3[MWh] 이고 단지 효율은 97.2% 평균 발전량은 7,500[MWh] 이다. 단지를 설계할 때 선택한 발전기는 Vestas 사에 V50-2.0MW Offshore 기종을 일괄적으로 적용하였다.

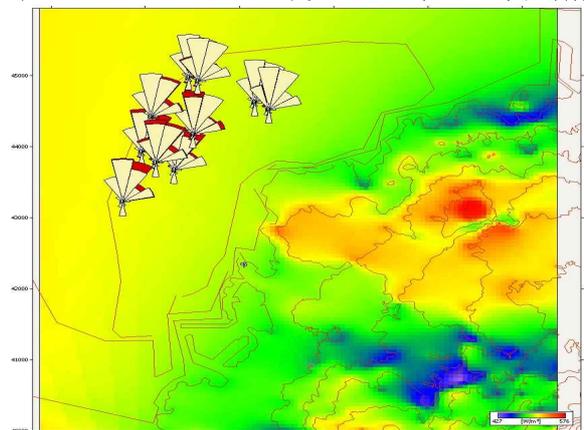


Fig.5 Annual production of power

단지 성능평가를 위해 WASP을 이용하여 단지 내 각 발전기에 연간 발전량을 다시 분석하였다. Fig.5에서 보면 각 발전기가 풍향에 따른 연간 생산을 나타낸다. 이때 빨간 부분이 다른 발전기 후류에 영향으로 발전량이 손실되는 부분을 나타낸다. 주풍향이 북북동풍이기 때문에 2번째 열부터 위치한 발전기에서 후류영향으로 인한 에너지손실이 나고 있다. Max. 3.1%부터 Min. 0.8%에 이르기 까지 6개의 발전기에서 에너지손실이 나타나고 있다.

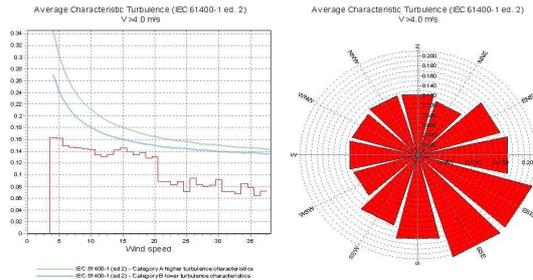
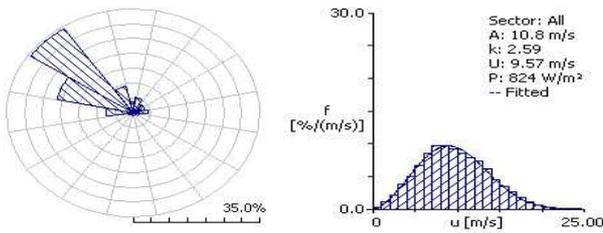


Fig.6 Turbulence Intensity in Hansuri

난류강도는 발전기에 수평과 직접적인 연관이 있기 때문에 단지설계에 있어 매우 중요하다. Fig.6를 통해 알 수 있듯이 한수리 예정 단지인 경우, 난류 강도가 IEC 61400-1, 고 난류와 저 난류 값 보다 낮게 분포한다는 사실에서 난류에 영향이 적음을 알 수 있다.

2.2 우도

우도 기상 데이터를 분석한 Graph.2를 보면 알 수 있듯이 평균 풍속이 한수리랑 비교했을 때 높고, 풍향 또한 일정한 방향으로 부는 것으로 보아 안정적이고 양질의 바람인 것으로 사료된다.



Graph.2 Weibull Distribution and Wind rose in U-do

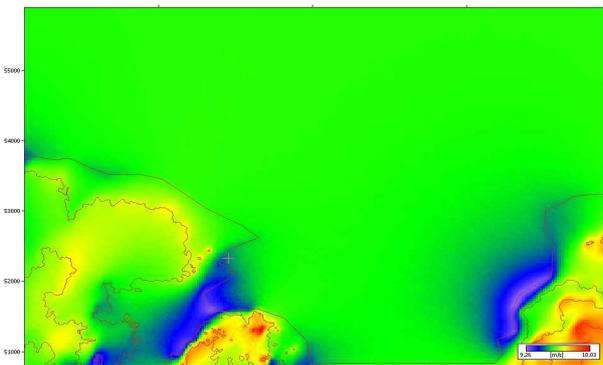


Fig.7 Mean wind speed map in U-do

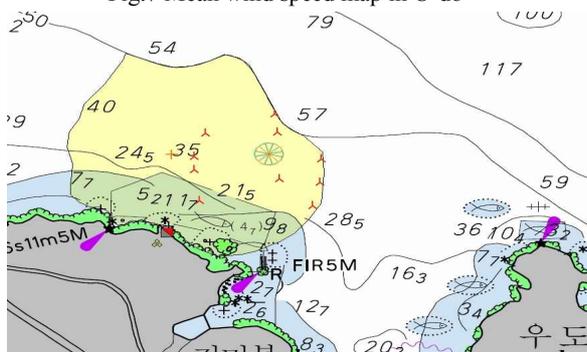


Fig.8 Location of wind turbines in U-do.

예상 풍력발전단지 중심(TM(WGS84): 189987.7E/54878.0N)

을 기준으로 에너지 밀도를 WASP을 통해 그리면 Fig.7과 같다. 우도 역시 한수리 처럼 Windpro 를 통해 최적화 시켰다. 단지 중심을 기준으로 수심Max. 50m까지 범위로 Full Optimize 하였다. 이 때, wake model 과 Turbulence model을 한수리 때 적용한 것과 같은 모델로 사용하고 발전기 역시 동일 기준을 선택하였다. 그 결과 단지에서 생산되는 연간에너지는 83,150.7[MWh] 이고 단지 효율은 94.4%, 평균 발전량은 8,315.1[MWh] 였다. 계산 결과를 보면 알 수 있듯이 효율은 한수리 보다 떨어지고 있으나 연간발전량은 8,149.4[MWh]로 더 높다.

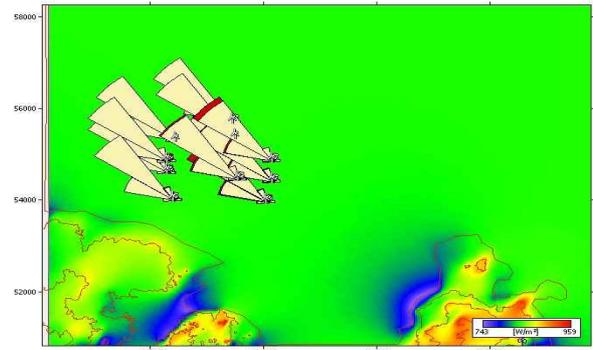


Fig.9 Annual production of power

발전 효율은 단지 조성 범위를 좀 더 넓게 하면 발전기 간에 후류영향이 덜하게 되어 효율이 높아질 거라 사료되고 발전량이 높은 건 평균 풍속이 높기 때문이라 사료된다. 우도 예상단지의 경우 주풍이 북서풍으로 4개의 발전기가 후류에 영향으로 인해 발전량이 손실되고 있었다. 가장 크게 손실을 보는 발전기에서는 sector15(북서)에서 3.5%, sector14(북서서)에서 1.9% 손실을 보고 있었다.

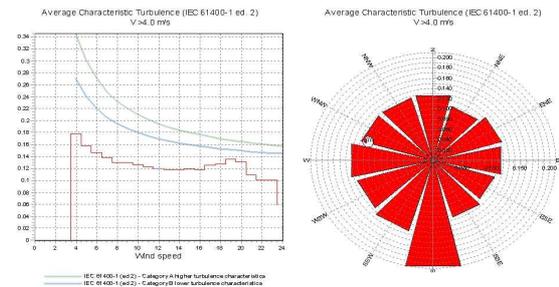


Fig.10 Turbulence Intensity in U-do

Fig.10 역시 난류강도를 나타내고 있는데 우도 또한 IEC61400-1 규정보다 낮은 경로로 봐서 난류에 영향이 적은 것으로 사료된다.

3. 결론

해상풍력은 많은 이점을 가지고 있다 하지만 처음 조성할 때 어려움과 Onshore 보다 많은 설치비 때문에 단지 조성에 있어 좀 더 신중한 접근이 필요하다. 이번 연구에서는 2가지에 단지 설계프로그램으로 한수리와 우도를 비교 분석해보았다. 그 결과 두 곳 다 상당히 우수한 풍양을 가지고 있으나, 제주에 해상풍력 단지가 조성된다면 위 연구결과에 비추어 우도앞바다에 설치하는 것이 바람직하다고 판단된다.

참고문헌

1. Offshore wind energy worldwide. 2003. <http://www.offshorewindfarm.co.uk/else.html>
2. IEC 61400-12, Wind Turbine Generator Systems. Part12:"Wind Turbine Power Performance Testing", 2007.
3. 강문중, 고경남, 허종철, 풍력발전시스템의 연별 운전특성 및 고장분석, 한국태양에너지학회 논문집 Vol.27, No. 1, 2007
4. 고경남, 허종철, 풍력공학입문, 문운당, 2006
5. Offshore Wind resource Assessment with WASP and MM5, Wind Energy Published online in Wiley Interscience DOI: 10.1002/we.212 (www.interscience.wiley.com)