

# 해상풍력발전 입지 선정에 관한 조사 및 분석

(A Survey and Analysis on the Location of Offshore Wind Power Generator Facilities)

김주석\* · 전태현\*\*

(Joosuk Kim · Taehyun Jeon)

## Abstract

With the development of human civilization, humanity has grown to use an enormous amount of energy. As the use of energy increases, although human life has become prosperous and materially plentiful, the consequent problems are becoming more serious day by day. The main cause of the emission of greenhouse gases is the enormous amount of carbon dioxide generated by the burning of fossil fuels. Many land-based wind power generator facilities complexes, which is one of the new renewable energy sources, have currently been completed and put in operation or are planned to be constructed in Korea. However, in consideration of the economy and the effect on the environment, the progressive trend is to plan and install such complexes at sea rather than on land. In this paper, we shall investigate and analyze the location selection for offshore wind power generator facilities.

## 1. 서론

문명의 발전에 따라서 전세계 인류는 막대한 에너지를 사용하게 되었다. 에너지 사용량이 증가하면서 인간의 생활은 윤택하게 되었지만 이에 따른 문제는 날로 심각해지고 있는 실정이다. 최근 온실가스 배출 증가에 따른 문제는 기상재해 및 생태계 파괴발생 등의 인류존속의 문제에 까지도 영향을 주고 있는 상황이다.

온실가스 배출의 주된 원인은 화석연료의 연소에서 배출되는 막대한 양의 이산화탄소이다. 그로 인하여 인간은 화석연료를 대체할 수 있는 에너지원을 찾는 노력을 기울이고 있다. 이를 위하여 전세계적으로 신에너지 및 재생에너지를 포함하는 청정에너지원 개발이 적극 추진되고 있다. 국내에서는 태양광발전, 풍력발전 및 연료전지 등에 대한 정부의 정책지원 등 저탄소 녹색성장 패러다임에 힘입어 풍력발전설비인 육상 풍력발전단지는 국내에 다수가 건설 완료되어 가동 중이며 또한 많은 설비건설이 계획되고 있다. 이와 병행하여 경제성 및 환경에 미치는 영향을 고려한 해상풍력에 대한 관심도 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 해양풍력단지 조성에 대한 구체적인 조사와 연구가 요구되고 있고 관련 설비에 대한 적정설치장소에 대해 많은 연구와 분석이 이루어지고 있다[1,2]. 본 논문에서는 해상풍력발전시설의 특징과 구성, 요구되는 설비 부품, 설치계획 및 입지선정에 관한 조사 및 분석에 대하여 논의한다.

## 2. 풍력발전 시설 개요

풍력발전이란 공기유동이 가진 운동에너지의 공기역학적(aerodynamic) 특성을 이용하여 회전자(rotor)를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키고 발생하는 유도 전기를 전력계통이나 수요자에게 공급하는 기술을 의미하며 그림 1과 같다.

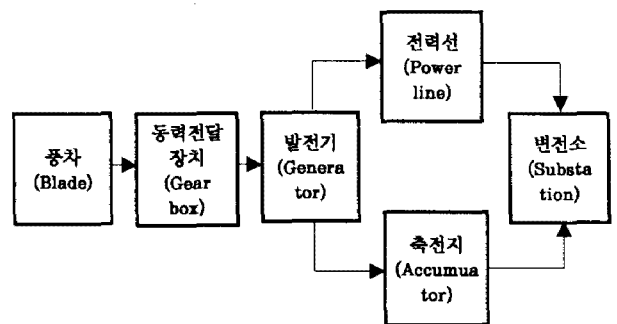


그림 1. 풍력발전 시스템 개요  
Fig.1. Configuration of Wind Turbine System

풍력발전기는 크게 상부시스템부, 타워부, 하부구조 및 기초부, 송전설비로 구분된다. 상부시스템부는 블레이드(Blade)와 너셀(Nacelle)로 구분되며 블레이드는 불어오는 바람을 기계에너지로 변환하는 설비이며 너셀은 블레이드에서 생성된 바람을 내부에 구성된 부속장치들로 전기를 발생시킨다. 타워부는 풍력발전기 부품 가운데 가장 큰부피와 중량을 차지하며 타워의 높이는 일반적으로 블레이드의 1~1.8배 높이에 설치한다[3]. 하부구조 및 기초부는

\* 주저자 : 서울산업대학교 산업대학원

\*\* 교신저자 : 서울산업대학교 전기공학과

해상풍력발전기는 육상과 달리 높은 타워를 요구하지는 않지만, 강한 바람 및 파도에 견딜 수 있는 강한 지지대가 필요하다. 송전설비는 발생한 전기를 공급하여 좋은 품질의 전기를 공급하고, 전력계통 통제관리설비를 운영하며, 발전된 전기를 구내 수배전반설비 보내는 역할을 한다.

### 3. 해상풍력발전 시설 특성 및 구성

풍력발전시설의 특성으로는 무공해, 무한정의 바람을 이용하므로 환경에 미치는 영향이 적고, 국토의 효율적 이용이 가능하다. 하지만 발전을 하려면 평균 초속 4m 이상의 바람이 필요하므로 특정지역으로 입지가 제한적인 단점이 있다. 주요특성은 다음과 같다.

풍력발전시설의 장점으로는 공해배출이 없고 청정, 환경친화성이 있다. 수려한 미관으로 관광산업 개발이 가능하고, 무인원격 시스템 운영으로 연료비를 포함한 관리비와 인건비 등의 유지보수비용의 절감이 예상된다. 또한 화석연료 대체효과가 커서 단기적으로 가격경쟁력을 확보할 수 있는 대체에너지이다. 건설 및 설치기간이 짧으며 발전기설치 전용면적이 작아 토지를 농사, 목축 등과 병행하여 활용이 가능하다. 원자력발전의 경우와 비교할 경우 폐기물 비용을 감안하면 경제적이고 환경친화적이다.

풍력발전시설의 단점으로는 풍력발전이 가능한 풍속은 평균 초속 4m 이상이 필요하므로 설치지역이 한정되고 방해물 등의 자연환경 변화에 매우 민감할 수 있어 신중한 검토가 필요하다. 설비이용률이 타 발전 시설에 비해 낮고 적정량의 바람이 있을 경우에만 발전하므로 안정적 전기공급용 저장장치가 필요하다. 또한, 초기 투자비용이 많이 들고 소음발생으로 인가와 적정거리가 필요하다.

해상풍력발전 시설의 특징 바닷바람을 이용한다는 점에서 큰 차이는 없으나 미관의 문제, 장소의 제약, 기술적인 문제 등 여러 가지 이유로 육상에서 해상으로 이동하는 추세이다. 국내에서는 제주도가 유망 후보지역이며, 육상에 비해 바람의 난류나 풍속변화가 적고 소음 등의 문제가 없고 초대형 풍력발전시설 설치가 가능하다. 육상풍력단지에 비해 해상풍력단지의 면적을 크게 할 수 있고, 육상풍력의 발전효율 보다 효율이 높다. 해상풍력발전 단지시설로 주변 관광자원과 연계한 네트워킹 조성이 가능 하다. 건설비용증가(토목, 해저케이블 연계) 및 유지보수증가 등 문제점 보완이 필요하며, 어업문제, 환경파괴, 소음 등 해양포유류에 미치는 악영향 등에 대한 대책이 필요하다. 풍력발전시설의 구성은 풍력이 가진 바람에너지를 흡수 변환하는 기계장치, 전기장치 및 제어장치 등으로 구성되어 있다. 각 구성 요소들은 독립적으로 그 기능을 발휘하지 못하며 상호 연관되어 전체적인 시스템으로서의 기능을 수행한다.

### 4. 풍력발전 시설 설비부품

풍력발전시설 설비부품으로는 로터블레이드 및 너셀(Nacelle)로 이루어진다. 로터블레이드는 바람이 가진 에너지를 회전력으로 변환시켜주는 장치이며, 풍력발전기의 성능에 큰 영향을 미친다.

너셀(Nacelle)은 풍력발전기의 심장부에 해당되며 로터에 의해 얻어진 회전력을 전기에너지로 변화시키기 위한 모든 장치들로 구성된다. 허브(Hub)는 블레이드와 회전축(Rotor Shaft)을 연결 결속 시키는 기능을 한다. 회전축은 허브와 연결되어 있는 베어링에 의해 고정되며 진동을 줄이기 위해 베어링은 다시 너셀에 고정된다. 기어박스(Gear Box)는 회전축에서 입력된 회전수를 발전에 적합한 회전수로 변환한다.

발전기(Generator)는 블레이드가 바람의 운동에너지를 회전력으로 변환하고 동력전달장치를 통해 발전기로 전달하면 발전기는 이를 최종적으로 전기에너지로 변환하여 전력계통에 공급한다. 제동장치(Brake)는 강풍이 불거나 시스템 이상시 또는 보수점검시 등 비상시에 로터 정지용으로 사용한다. 제동장치는 공기식, 기계식 및 유압식 등이 있다. Yawing Gear는 풍향의 변화로 발생하는 긴급상황시 Yaw Error를 통해 로터 블레이드의 회전속도를 줄이기 위한 장치이다.

### 5. 해상풍력발전 시설 설계

타워 설계는 타워 구조물의 구조강재 및 판 두께는 극한하중에 대한 충분한 내구성을 가지며, 고유진동에 대한 안전성을 갖출 수 있도록 설계한다. 외력조건 중 풍력은

$$(W) = q \cdot C \tag{1}$$

식으로 나타낼 수 있으며, 파력은

$$(P) = C_D \cdot \omega_0 / 2g \cdot U^2_{max} \tag{2}$$

식으로 나타낼 수 있다. 기타 Blade의 회전에 의한 진동, 지진력 등을 고려한다. 풍력분포는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$f(V) = \left(\frac{K}{c}\right) \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k}$$

[3] 또한 중요 요소로서 풍속의 분포형태가 존재하며 풍력밀도는 다음과 같이 식으로 나타낼 수 있다[4].

$$\frac{P}{A} (W/m^2) = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} V^3 \cdot f(V) dV$$

$$[4] \text{ 풍력밀도} \propto V^3$$

블레이드 설계는 바람의 에너지를 기계적 에너지로 바꾸는 풍력발전 시스템의 가장 핵심적인 구성요소로서 블레이드는 풍력발전기만이 가지고 있는 특별한 시스템 특성이며, 그만큼 이에 대한 중요도 높다. 풍력터빈의 로터 블레이드 공력설계 및 해석기술은 바람의 에너지를 기계적 회전력으로 전환시키는 역할을 함으로서 블레이드의 공기역학적 모델링은 바람의 에너지를 정의하는 것으로부터 시작된다. 바람이 갖는 에너지는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad [5]$$

### 6. 해상풍력발전 시설 계획

국내에 설치된 육상풍력발전시설 보급현황은 그림 2 와 같으며 269,405kW 용량이 설치되어 있다. 주로 강원, 경북 및 제주도 연안지역에 많이 설치되어 있고 서해연안 일부지역에 설치되어있는 것으로 조사 되었다. 또한 국내에 설치예정인 육상풍력발전시설 계획 현황은 그림 3 과 같으며 1,685,000kW 용량이 계획되어 있다. 입지선정과 관련하여 기초가 되는 바람지도는 최근에 한국에너지기술연구소에서 발표된 고해상도 바람지도(1km x 1km)를 이용하여 조사하였다. 국내 해양별도 조사한 풍속 및 풍속밀도는 표 1 과 같으며 조사결과는 제주도 연안지역이 해양풍력발전단지로 가장 적정한 것으로 판단되었다. 풍향평가는 지상고 30m 이상에서 연평균 풍속 40m/s 이상이 요구되며, 풍향 출현율은 60% 이상시 안정되고 난류강도는 0.1~0.3이 요구된다. Wind Power Class는 발전가능은 Class 2이상, 사업성은 Class 3이상이 요구된다. 제주도 연안은 Wind Power Class 3으로 국내에서는 가장 사업성이 있는 지역으로 조사 되었다. 기상자료는 30년간(1987~2007) 기상청 기상통계자료를 활용하였고 해상자료인 조위, 조류 및 파랑은 해양조사원, 해양수산부 자료를 활용하였다.

현재 국내 예상중인 해상풍력발전시설 설치계획에는 부산시 350mW 한국남부발전, 제주도 30mW 한국수력원자력 두산중공업, 전남신안비금도 90mW 동국S&N(2,013년), 인천무의도 97.5mW, 한화건설(2,012년),

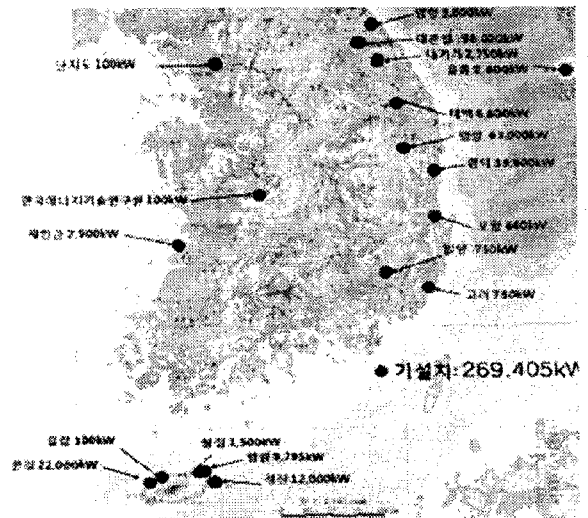


그림 2 육상풍력발전 보급현황(2009.05)  
Fig.2. Situation of Wind Turbine System

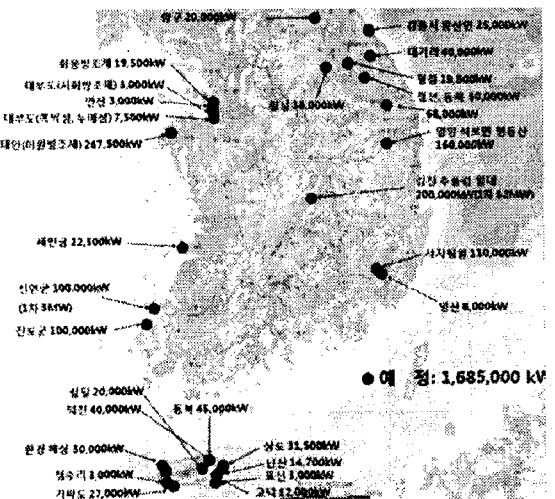
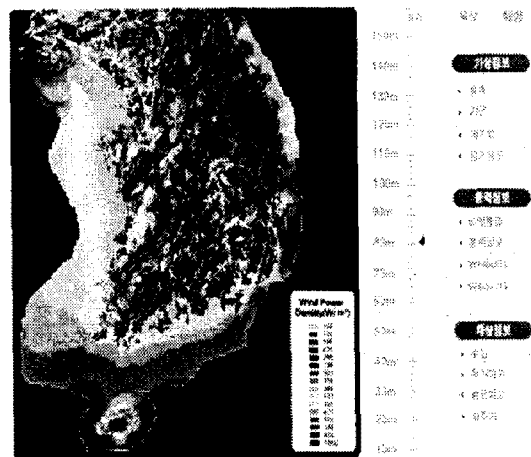


그림 3 육상풍력발전 시설계획(2009.05)  
Fig.3. Construction Plan of Wind Turbine System



자료 : 한국에너지기술연구소

그림 4. 1km x 1km 고해상도 바람지도(2009.04)  
Fig.4. Wind Map of High 1km x 1km Resolution

표 1. 해안별 풍속 및 풍속밀도  
Table 1. Wind Velocity and Density of Seashore

참 고 문 헌

구분	30m		80m		Class 분포	장·단점
	풍속 (m/s)	풍속 밀도 (W/ m <sup>2</sup> )	풍속 (m/s)	풍속 밀도 (W/ m <sup>2</sup> )		
서해	4.0~ 5.0	200~ 230	5.0~ 8.0	290~ 380	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지반조건 불량</li> <li>• 조위차 큼</li> </ul>
남해	4.0~ 5.0	230~ 290	5.0~ 8.0	320~ 400	2~3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지반조건 비교적 양호</li> <li>• 수심 10m 내외로 적당</li> <li>• 품질 우수</li> </ul>
동해	5.0~ 7.0	260~ 320	5.0~ 9.0	440~ 550	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항계내 수면적 협소확장성 결여</li> <li>• 품질우수</li> <li>• 고파랑</li> </ul>
제주 도	5.0	230~ 260	7.0	380~ 400	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항주변 타지역에 비해 품질불량</li> <li>• 대수심, 고파랑</li> <li>• 자체 사업 활성화</li> </ul>

자료 : 기상청 통계자료

전남서남해안 600mW 포스코건설(2,015년) 등이 있다. 또한 2009년 5월 현재 설치되어있는 풍력발전용량은 296mW이며, 강원 경북 및 제주연안에 다수 설치되어 있는 추세이고 2,012년까지 그린에너지 산업 전략(2008.09) 목표인 2,250mW까지 보급될 계획이다 [5,6,7].

## 7. 해상풍력발전 입지 검토

해상풍력발전 시설 입지검토의 기본적 고려사항은 항계내 어업권을 고려하며, 지자체의 풍력 관련 시조례를 검토한다. 문화재보호에 대하여 검토하고 인허가 및 민원문제에 대해 검토한다. 여기서 주요 고려사항으로는 외곽시설을 적극 활용하고, 국가 바람지도 및 기상대 자료를 활용 한다. 파랑 등의 해상조건을 검토하고, 중요시설 및 항로인근을 배제한다. 전파장애 및 고도제한에 대하여 검토 한다. 수심 및 지반조건 등 지형조건을 검토하며, 추후 확장성을 고려하여 준비한다. 설치예상 인근지역에 기상자료 분석용 장치설치는 반드시 필요하다[8].

## 8. 결 론

본 논문에서는 해상풍력발전 시설 입지선정에 관하여 조사 및 분석결과가 논의되었다. 정확한 자료분석을 위하여 해상풍력발전시설 설치 예상지역 인근에 자료를 수집할 수 있도록 기상자료 분석용 장치를 설치하여 최소 1년 이상의 기상자료 확보 및 분석이 필수적이다. 자료조사 및 분석결과 제주도 연안이 국내에서는 해상풍력발전시설 조성지로 가장 적정하다고 분석되며, 상징적으로 독도, 마라도 및 백령도 등 국토 끝단에서의 설치계획도 향후 후보지로서 다양한 관점에서 보다 면밀한 검토가 필요하다.

- (1) 신·재생에너지 R&D 전략 2030 시리즈 12 - 풍력, 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 2008.
- (2) 기우봉, "해상풍력발전단지를 위한 가공송전선 적용 타당성연구" 강원대학교 박사학위논문, 2007.
- (3) 한국신재생에너지협회 교육자료, 2009.
- (4) 고경남·허종철 공역, "풍력공학입문" 문운당, 2008.
- (5) 풍력핵심기술연구센터 교육자료, 풍력터빈 전기공학응용, 2009.
- (6) 국내 풍력발전산업의 전망과 경쟁력 분석, 하나금융연구소, 2009.
- (7) 풍력산업 현황과 개선과제, 전국경제인연합회, 2009
- (8) 녹색성장을 위한 풍력산업 실태와 전망, 데이코산업연구소, 진한엠엔비, 2009.