

미래의 해상풍력발전 개발 및 전략

손 총 렬*

1. 서 론

세계는 지금 미래의 에너지원으로써 신재생에너지원에 대해 과거보다 더 급속한 급류를 타고 개발 및 보급 확대에 심혈을 기울이고 있다. 특히 우리나라는 97%이상을 에너지 수입에 의존하고 있고 국제유가의 폭등에 준하여 가격변동은 우리의 입지를 변화하게 하고 있다.

고로 정부는 2004년을 신재생에너지 원년으로 하여 보급지원 정책과 산업현황을 고려한 보급 확대 정책을 추진 중에 있다. 유럽과 같은 선진국에서는 기후 변화 협약(교토 의정서)등의 국제 협약은 물론, 석유 공급능력의 한계 등으로 더욱 더 급속한 속도로 풍력발전 육성과 보급 확대를 위하여 정부차원에서 지원을 하고 있으며, 풍력발전 선도 국가에서는 도입의무화와 투자에 대한 안정된 수익보장 및 전력시장의 장애요인 제거등 정책적인 지원으로 보급 확대에 적극적으로 대처해 나가고 있는 상황이다.

더구나 풍력발전은 원자력 발전에 비해 대단히 안정성 있는 에너지이며 기후 변화에 대응 할 수 있는 원천적인 에너지원이 된다. 그러므로 이러한 풍력 에너지를 단지화 하여 운용함으로써 단지 주변지역에 고용창출의 효과를 높이기로 하며, 원유의 수입대체 효과를 이룰 뿐만 아니라 단지 내에 설치될 풍력 발전기 제작, 부품 생산과 수리 등에 의해 지방자치 단체의 수입을 올려 줄 뿐만 아니라 지역의 풍물로써 관광효과를 줄 수도 있다.

특히 독일, 스페인과 같이 신재생 에너지 구매법이 결정되어, 풍력 단지화에 의한 전력사업이 활성화 되어 질 수 있었다. 우리나라도 차세대를 위한 풍력 단지화 및 전력사업을 위한 infra가 구축되어 질 수 있는 가능성이 존재 할 수 있겠다. 풍력단지에 의해서

단지에 대한 토지의 임차사업, 단지에 의한 경제성장, 단지주변 주민들의 참여에 의한 일, 지역 중소기업의 사업성 부담 및 배상조치 등이 취해질 것이며, 이러한 것들을 바탕으로, 지역 자치단체에 기여 할 수 있는 것으로 세금 수입의 성장과 지역 경제를 활성화 시켜 질 수 있는 시장 형성과 일자리의 고용창출 효과와 이로 인한 생태 및 사회사업 등이 있다.

풍력 발전 단지는 크게 내륙지방의 육상 풍력 발전 단지와 해안 또는 해상에 설치되어 있는 해상 풍력 발전 단지로 구분 될 수 있다. 유럽에서 최고로 많은 풍력 발전기가 설치되어 있는 나라는 독일로서 대략 16,628 MW (2004년 12월말 현재)용량에 도달하고 있으며 16,543개의 풍력발전기가 돌고 있다. 독일의 경우 현재 60 여 곳의 풍력 발전 단지가 형성되어 있고, 단지의 규모로 보면 작게는 3.6 MW 용량에서 크게는 100 MW 용량의 단지로 구성되어 있다. 이 단지들에서 생산되는 전력량은 독일 전력 소비의 6.5%를 담당하고 있다.

풍력발전기의 보급 추세로 내륙지방의 설치가 점점 포화 상태로 되어 감에 따라, 해상 풍력 발전 단지화로 개발되어 가는 추세이고, 가능하면 대형화에 따른 개발로 1기 용량의 크기가 2 MW에서 5 MW급으로 까지 개발되고 있는 현실이다.

신재생 에너지로서 풍력발전은 청정에너지로서, 다른 에너지보다 효율적으로나 경제적으로 에너지를 쉽게 얻어 낼 수 있는 장점이 있으므로, 유럽 공동체에서는 2010년까지 100,000 MW 정도 설치 계획을 갖고 있다. (전 세계 보급은 230,000 MW로 추정)

2. 해상풍력 발전기의 개발과정

육상용으로 주로 설치되었던 450 kW급에서 600 kW 급까지의 풍력발전기들이 해안 쪽에 1991년부터 시작해서 10년간 설치되고 운용 되어왔다. 독일, 덴마크, 스페인 등 풍력에너지에 대한 국가적인 정책 및

* 인하대학교 기계공학부
E-mail: soncy@mail.inha.ac.kr

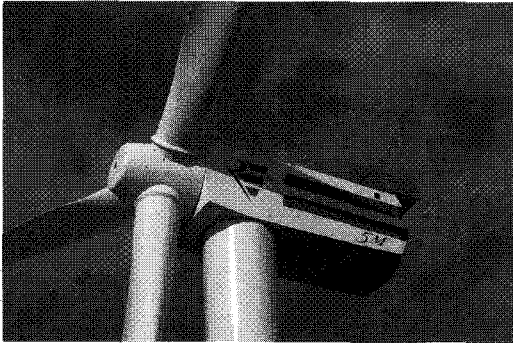


Fig. 1 Repower 5 MW

국민들의 청정에너지에 대한 적극적인 인식으로 시장이 형성되고, 제작사들의 자책적인 개발 의욕이 형성되어, 서서히 대형화 개발로 유도 되어왔다. 이러한 추세로 최근까지 설치되어 상용화에 투입된 기종들은 GE사의 1.5 MW급 VESTAS, An Bonus, De-Wind, Nordex, Repower의 2 MW급이 주종을 이루고 있다.

더욱이 유럽공동체에 기후변화 협약에 대한 대응이 풍력에너지 시장의 활성화를 더욱 촉진시키고, 동시에 해상용풍력발전기의 대형화 연구 개발이 앞당겨 수행 되어왔다. 현재 유럽에서 개발되고 있거나, 실증시험 단계에 있는 대형 해상용 풍력발전기들은 5 MW급은, Nordex, MULTIBRID, Repower 등의 회사제품이 있고, 4.5 MW급은 Enercon, 4 MW급은 Vestas, 3.6 MW급은 GE사제품들이 있다.

이들 제품들은 회전자 직경이 90~114 m나 되고, 회전속도는 분당 8~19 회전 정도되며, 타워 높이는 90~124 m가 된다. 예를들면 Enercon사의 4.5 MW급 발전기 최장길이는 타워 기초부에서 날개까지의 길이가 약 181 m나 된다.

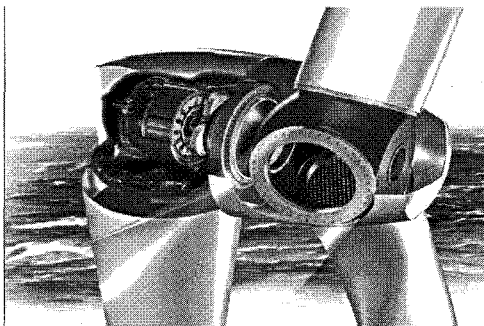


Fig. 2 MULTIBRID 5 MW

3. 유럽의 해상풍력 단지

현재 진행되고 있는 전 세계의 해상 풍력 발전 단지 사업은 9개소에 이르고 있다.

해상풍력 발전 단지의 개발 시작은 초기 1990년대에 이르러 덴마크 해안 발틱에 2개의 단지가 형성되면서 붐이 형성되어갔다. 롤란드 (Lolland) 섬 북쪽에 있는 Vindeby 풍력 발전단지 내 11기의 450 kW급 (Bonus)이 1991년에 설치되었으며 1995년에는 Samsø섬과 Jutland 반도의 동쪽 해안사이에 있는 Tuno Knob에 10기의 500 kW급 (Vesta)이 설치되었다. 이러한추세는 1997년에 Gotland 스웨덴 섬 해안 근처인 Bockstigen 풍력발전단지에 5기의 550 kW급 (구 NEG Micon)이 설치되었다.

두 개의 프로젝트가 네덜란드에서도 진행되었으며 지난 2년 동안에는 해상 풍력 발전단지 건설이 영국의 뉴캐슬근처에 Blyth 풍력단지와 스웨덴에 2단지가 시행되었고, 덴마크의 Middlegrund (40 MW), Horns Rev (160 MW)와 Nysted (165.6 MW) 같은 해상풍력단지는 세계에서 제일 큰 해상 풍력 발전 단지로 건설되었다.

4. 미래의 해상풍력발전단지 계획

4.1 독일의 해상 풍력 단지화 계획

독일 풍력 연구소 (DEWI)의 연구보고서에 의하면 2030년까지 독일의 북해와 동해 해상 쪽에 20,000 MW에서 25,000 MW정도의 설치 용량을 추진하고 있다.

여기서 생산될 수 있는 전기생산량을 연간 8천만에

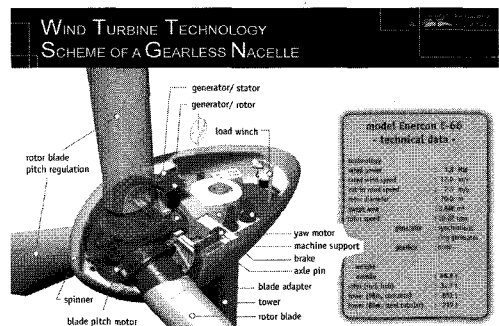


Fig. 3 Enercon 4.5 MW

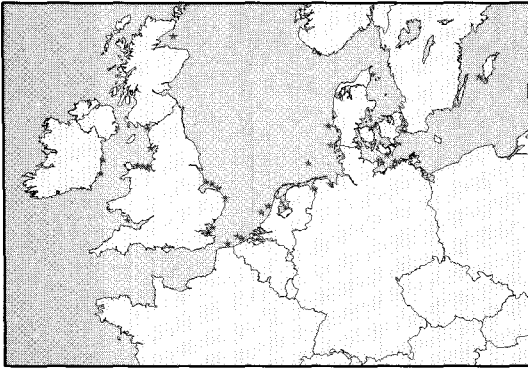


Fig. 4 유럽의 해상풍력 단지

Table 1 유럽의 해상풍력발전단지 현황

단 지(국가)	발전기 용량	설치용량 (MW)	Tower Foundation	년도
Norgersund (스웨덴)	1x200kW (Wind World)	2,2	Monopile	1990
Vindeby (덴마크)	11x450kW (Bonus)	4,95	Gravity	1991
Lely (노르웨이)	4x500kW (NedWind)	2,0	Monopile	1994
Tuno Knob (덴마크)	10x500kW (Nordtank)	5,0	Gravity	1995
Dronten Isselmeer (노르웨이)	28x600kW (Wind World)	16,8	Monopile	1996
Bockstigen (스웨덴)	5x550kW (Wind World)	2,75	Monopile	1997
Utgrunden (스웨덴)	7x1,5MW (Enron)	10,5	Monopile	2000
Blyth (영국)	2x2MW (Vestas)	4,0	Monopile	2000
Middelgrunden (덴마크)	20x2MW (Bonus)	40,0	Gravity	2000
Yttre Stengrund (스웨덴)	5x2MW (NEG Micon)	10,0	Monopile	2001
Horns Rev (덴마크)	80x2 MW (Bonus)	160,0	Monopile	2002
Samsø (덴마크)	10x2,3MW (Bonus)	23,0	Monopile	2002
Nysted Havmøllepark (덴마크)	72x2,3MW (Bouns)	165,6	Gravity	2003
Arklow Bank Phase I (아일랜드)	7x3,6MW (GE wind)	25,2	Monopile	2003
North Hoyle (영국)	30x2MW (Vestas)	60,0	Monopile	2003
Frederikshavn (덴마크)	N-90/2,3MW V-90/3 MW	5,3	Gravity	2003

서 1억 kWh 정도 될 것이고, 향후 30년간 전기 사용량의 변화가 크게 없다면, 이는 독일의 전기 생산량의 15%에서 20%정도 감당할 수 있을 것으로 본다. 독일은 2001년 11월에 처음으로 해상 풍력 발전단지 공사 허가를 내주었다. 초기 단지화의 의미는 실험적으로 단지를 꾸미는 의미도 있어서 우선 12기의 5 MW급 발전기를 Borkum 섬 북쪽 45 km지점에 설치하게 되고 이 프로젝트는 Leer에 있는 Prokon Nord회사가 시행하게 되었다. 총건설비용은 대략 1억 2천 5백만 유로 (Euro)화에서 1억 4천 5백만 유로화 정도 들 것으로 보고 있다. 더욱이 12마일 해상을 벗어난 지역에 설치되는 단지로서는 세계 최초가 될 것이고, 이러한 단지화 계획은 기후 변화 협약에 대응해서 신 재생에너지 이용에 박차를 가할 수 있는 계기가 독일 내에서 이루어질 것이며, 사회적, 정치적 측면에서 보면 지역 경제 활성화와 고용 창출이라는 큰 의미가 있다고 강조되고 있다.

이 단지가 최종적 목표인 208기의 발전기들이 설치되면 15억 유로화가 투자되어질 것이고 이는 해상 풍력 발전단지화 계획의 원동력이 될 것으로 보고 있다. 이러한 추세로 본다면 2030년까지 투자되어질 비용 400억 유로화가 될 것으로 추정하고 있다. 지금까지 신청된 해상 풍력 발전단지 프로젝트들은 독일의 북해와 동해 지역으로서, 북해 쪽에는 22개 프로젝트가 신청되고 동해 쪽에는 7개의 프로젝트가 신청되었다. 이 프로젝트들은 대개 중소기업들에 의해 제출되었고 전체 설치 계획된 용량은 50,000 MW정도나 된다. (Tables 2와 3참조) 12마일 해안 범위 안에 설치하려고 계획하고 있는 풍력 단지들은 특히 Schleswig-Holstein과 Mecklenburg-Vorpommern 해안 지역이 되고 있다. 이 지역 지방 정부의 강력한 지원 아래 "Sky 2000" 프로젝트가 검토되어지고 있는데, 위치는 Fehmarn의 남동쪽에서 15~20 km 떨어진 지점으로서 설치 용량은 100 MW 정도 계획하고 있다. 현재 환경 영향평가를 어업, 철새이동, 관광 등에 대하여 실시하고 있고, 해안지역에 접해있기 때문에 배의 항해에 미치는 위험성 등에 대해 조사를 하고 있다. 이러한 계획들은 주민들에게 또한 관광객들에게도 알려주기 위해 자주 전시회를 열어 홍보를 하게 될 것이다. 이 계획을 추진하고 있는 팀들은 연안 지역의 장점을 살리기 위해 풍향조사를 하기 위한 측정 platform를 제작하여 설치 예정지에서 측정 실시할 것으로 되어 있다.

Table 2 해안지역 (독일)

Project	설치장소	수심	설치용량	설치기종
1. Butendiek	북해, Sylt 서쪽 30 km	16~20 m	240 MW	80 * 3
2. Dan Tysk	북해, Sylt 서쪽 45 km	20~35 m	1,500 MW (400 MW)	300 * 5
3. Sandbank 24	북해, Sylt 서쪽 120 km		2,600 MW	120 * 3 (1단계)
4. Amrumbank	북해, Helgoland 북서쪽 30 km	19~24 m	1,250 Mw	250 * 5
5. Welsse Bank	북해, Sylt 서쪽 60 km		600 MW	120 - 170 * 3.5 - 5
6. Amrumbank	북해, Amrum 남서쪽 36km	20~26 m	288 Mw	72 * 3 - 4
7. Meerwind	북해, Amrum 남동쪽 45km	22~32 m	819 MW (105)	234 * 3.5 (30 * 3.5)
8. Borkum Riffgrundwest	북해, Borkum 앞 38 km	23~29 m	840 MW (90)	180 * 3 - 5 (30 * 3)

Table 3 해상 12마일을 벗어난 예정단지 (독일)

Project	설치장소	수심	설치용량	설치기종
9. Borkum Riffgrundwest	북해, Borkum 북서쪽 45km	30~35 m	1,800MW (200)	458*2.5-5 (80*2.5)
10. Borkum west	북해, Borkum 북서쪽 45km	30m	60MW (1000)	12*3.5-5
11. Borkum IV	북해, Borkum 북쪽		400MW	90-165*2.5-4
12. Juist	북해, Juist 북쪽 30km		1,400MW	280*5
13. KriegersFlank	동해, Rugen 북서쪽	20~35 m	315MW	75*3-5
14. Beltsee	동해, Rostock 북서쪽	25~26 m	415MW(75)	83*3-5 (25*3)
15. Pommershe Bucht	동해, Rugen 북동쪽 42km	13~20 m	1,000MW (350)	200*5(70*5)
16. Arkona-BeckenSudost	동해, Rugen 북동쪽 32km	23~36 m	945MW (195)	189*4-5 (39*-5)
17. Adlergrund	동해, Rugen 북동쪽 40km	7~20m	790MW (288)	158*-5 (80*3.5)

Table 4 해상 12마일 지역 내에 설치 계획 단지 (독일)

Project 명	설치 예정지	설치 용량	설치 기종
Nordergrunde	북해, Cuxhaven과 Wangerooge사이	200 MW 이상	76*2.5-5
Offshore Helgoland	북해, Helgoland 북서쪽 12km	200 MW (700?)	100*2
Schlesiwg-Holsteinsche	북해, Helgoland 북동쪽 15km	800~1000 MW	200*4-5
Riffgat	북해, Borkum 북서쪽 15km	135 MW	30*4.5
Dollart	북해, Emden 공단 항구쪽	9 MW	5*1.8
Wilhelmshaven	북해, Jadebusen 쪽	4.5 MW	1*4.5
Pilot Mecklenbur-Vorpommern	동해, Darss 반도 북쪽 20~25km	40 MW	21*1
Sky 2000	동해, Fehman 남동쪽 15~20km	100 MW	50*2

4.2 영국의 해상 풍력 단지화 계획

영국의 해상풍력발전단지 개발계획을 1단계와 2단계 사업으로 구분 되어있다. 1단계 사업을 2001년 4월에 공표되고, 13개 예정지역에 18개의 발전단지가 선정지로 예정되어있다. 그 중 North Hoyle 해상풍력단지가 2003년 12월에 가동 되어지고, Scroby Sands 단지는 2004년말에 건설이 끝내기로 되어있다. 2단계 사업은 영국의 해상풍력회사들을 위한 미래 해상풍력 정책적 발의에 의해 진행되어 2003년 12월에 최종적으로 15개 지역단지 개발이 결정되었고 이 단지들에 설치될 총 용량은 5.7~7.2 GW 정도 되면서 사업은 10개 이상의 회사들과 컨소시엄 형태로 진행될 것이다. 2단계 사업에서는 1단계에서 12 mile내 지역만 허가되었던 것을 12 mile 벗어난 지역까지 확대 계획이 수립되기도 했다. 이 계획대로 진행된다면 2010년경엔 영국내의 6가구 중 1가구는 해상풍력발전에서 생산되는 전기 혜택을 받을 수 있게 된다.

4.3 기타 유럽국가의 해상풍력 발전단지 계획

덴마크는 "에너지 계획 2030" 보고서에서 풍력발전 단지에서의 생산 발전량은 전체의 20% 정도 되지 만 2030년엔 50%에 달할 것이라고 하였다. 5개의 프로젝트가 추진되고 있으며 160 MW 단지화는 이미 건설되어 운전되고 있으며 2007년까지는 모든 계획들이 현실화 될 것이다.

미래의 해상풍력발전 개발 및 전략

Table 5 영국 해상풍력 발전단지 현황

Location	Status	Capacity	Developer/Turbines
Noth Hoyle	Operation	50 MW	npower renewables (Vestas 2 MW)
Scroby Sands	Operation	60 MW	E. ON UK Renewables (Vestas 2 MW)
Kentish Flats	Construction	90 MW	Elsam (Vestas 3 MW)
Gunfleet Sands	Agreed	30 turbines	GE Wind
Lynn/Ineer Dowding	Agreed	60 turbines	Centrica
Cromer	Agreed	30 turbines	Norfolk Offshore Wind
Scarweather Sands	Agreed	30 turbines	United Utilities/Energi E2
Rhyl Flats	Agreed	30 turbines	Npower Renewables
Burbo Bank	Agreed	30 turbines	Seascape Energy
Barrow	Agreed	30 turbines	Centrica/DONG
Solway Firth	Agreed	60 turbines	E.ON UK Renewables
Shell Flat	Pending	90 turbines	ScottishPower/Tomen/Shell/Elsam
Teeside	Pending	30 turbines	Northern Offshore Wind
Tunes Plateau	Pending	30 turbines	RES/B9 Energy

스웨덴의 Gotland 서쪽 해안 앞에 있는 Klarsarden 단지에는 NEG Micon 사의 2MW급 발전기 21기를 설치할 계획을 갖고 있다. 또한 스웨덴과 덴마크 사이에 있는 Oresundbruke (대교) 기술에 "Lillegrund" 단지가 72 MW 설치 용량으로 계획되고 독일의 Enercon사 제품 40기가 설치 될 것이다. 스웨덴도 총 100 MW의 해상 풍력 발전 단지를 계획하고 있다. 노르웨이는 수력발전이 풍부하나, 부족한 전력을 덴마크의 화력발전에서 생산된 전력을 수입 계획하였으나, 이를 풍력으로 대체하려고 계획하여, Trondheim 근처 Valsneset Fjord에 Nordex사 제품 2.5 MW급 1기를 설치하기로 했다. 반면 핀란드에선 수력 발전이라면 영국에선 풍력이 수력 발전 역할을 하게 될 것이다. 향후 영국은 13개 예정지역에 18개의 해상 풍력 발전단지를 계획하고 있다. 이

Table 6 영국의 미래 해상풍력 발전단지

Location	Maximum capacity (MW)	Developer
Docking Shoal	500	Centrica
Race Bank	500	Centrica
Sheringham	315	Ecoventures
Humber	300	Humber Wind
Triton Knoll	1,200	Npower Renewables
Lincs	250	Centrica
Westermost Rough	240	Total
Dudgeon East	300	Warwick Energy
Greater Gabbard	500	Airtricity/Fluor
Gunfleet Sands II	64	Delatic
London Array	1,000	Energi E2-Farm Energy/shell/ E. ON UK Renewables
Thanet	300	Warwick Energy
Walney	450	DONG/Statkraft
Gwynt y Mor	750	Npower Renewables
West Duddon	500	ScottishPower
ToTal	7,169	-

렇듯 유럽대륙의 나라들은 (스웨덴, 프랑스, 벨기에, 네덜란드) 나름대로 해상풍력 발전 단지화를 꿈꾸고 있으며, 대단위 단지는 아니지만 중소규모의 단지화 계획을 추진하고 있는 실정이다.

5. 맺음말

유럽은 전세계의 해상풍력 발전개발 및 대형 단지화에 범 국가적인 사업으로 추진하고 있다. 독일과 같이 90년대 차액보상 정책에서, 2000년 범국민적인 의무할당제 해당하는 신재생에너지 법은 기후 협약 등 국제적 환경정책에 부응하고 독일의 산업체에 활력을 엄청나게 넣어주고 있다.

또한 스페인, 영국등 이와 같은 국가적인 정책은 전세계 해상풍력 발전의 거두보를 확보하게 하고 있다.

해상 풍력 발전 사업은 밝은 미래에 대해 무한한 가능성을 갖고 있으며 새로운 기업 분야로 확립되어야 한다. 해상 풍력 사업의 활력은 점점 더 커지고, 새로운 개발 역할 분담과 경험을 통한 성장이 이루어질 것이고, 이 분야에 대한 기술들은 더욱 개척되고

진보되어 질 것이다. 국가적인 정책이나 정치적인 지원만이 무한한 해상 풍력의 청정 자원을 우리에게 갖다 줄 것이다. 특히 우리나라가 갖고 있는 지리적 여건을 본다면 해상 풍력이야말로 기후 협약에 대처해 나갈 수 있는 절호의 청정 신재생에너지이다.

참고문헌

- (1) 손충렬, 2003, "해상 풍력에너지 개발 현황 및 미래", 한국 풍력기술 연구회, 한국풍력기술 및 정책 Workshop.
- (2) 2003, "OFFshore Wind Energy", "RE-FOCUS", May/June.
- (3) 손충렬, 2002, "미래의 북해 해상 풍력발전 단지 개발 및 계획 현황", 제14회 신재생에너지 Workshop.
- (4) 손충렬, 2005, "유럽의 해상풍력 발전 개발 및 단지화 현황", 신재생에너지 저널.