

## 풍력발전 국내외 현황 및 풍력용 초전도발전기 기술 전망

김 호 민  
제주대학교

### 1. 서 론

바람을 인류가 최초로 이용한 것은 기원전 200년 경 페르시아(지금의 이란 접경)에서 시작되었다. 풍력을 이용하는 풍차는 12세기 유럽에서부터 시작되었고, 초창기 풍력에너지의 이용범위는 곡식을 찧거나 물을 길러 올리는 용도로 사용되었다. 화석연료 사용의 급증으로 인해 인류는 엄청난 자연재해에 맞서고 있다. 하지만 에너지 소비증가로 인해 피해의 규모와 빈도수는 급격히 증가하고 있다. 이제 인간은 자연의 일부로서 공존하는 방법을 고민해야 할 때다. 이에 대한 근사한 해답을 찾기 위해 자연을 활용한 에너지원인 풍력을 활용하고자 한다.

이 글에서는 풍력발전기술과 국내·외 현황, 초전도기술을 활용한 풍력발전기 기술의 국내외 연구개발 동향, 그리고 전망에 관하여 기술하고자 한다.

### 2. 풍력발전과 국내·외 현황

#### 2.1 풍력발전

풍력발전은 바람에 의하여 발생하는 에너지를 전기에너지로 변환하는 에너지 변환기술이며, 바람이 가지는 운동에너지에서 로터 블레이드가 기계적 에너지를 추출하고 이 회전력으로 발전기의 로터를 회전시켜 전력을 생산한다.

풍력발전 시스템은 그림 1에서와 같이 블레이드(blade), 허브(hub), 주축(main shaft), 증속기(gear box), 발전기(generator), 전력변환장치(power converter), 나셀(nacelle), 타워(tower) 등의 주요 부품으로 구성된다.

- 블레이드는 바람의 에너지를 기계적 에너지로 변환시키는 역할을 하며, 중대형 풍력터빈에서는 블레이드가 대형화됨에 따라 비강도와 비강성이 우수한 섬유강화복

합재료가 사용되고 있다.

- 주축은 블레이드로부터 전달되는 고토크, 저속의 회전력을 증속기 또는 발전기에 전달하는 기계 구성품이며, 주축 베어링은 원활한 회전을 유지하면서 축을 지지하는 요소이다.
- 증속기는 주축과 발전기사이에서 로터에 연결된 주축의 저속 회전을 발전기의 구동에 적합한 회전속도로 증속시키는 역할을 한다.
- 발전기는 로터의 회전운동을 전기에너지로 변환하여 전력을 생산하며, 발전기의 종류는 크게 유도발전기와 동기발전기로 구분되며, 현재의 중대형 풍력발전 시스템에는 이중여자 유도발전기(DFIG)와 영구자석 동기발전기(PMSG)가 채택되고 있다.
- 전력변환장치는 동기발전기에서 생산된 전력을 계통 주파수와 일치시키기 위하여 교류/직류/교류의 전력변환을 한다.
- 타워는 블레이드를 통하여 전달되는 풍하중과 나셀 및 블레이드의 무게에 의한 자중, 타워가 바람에 의해 받는 하중을 지지하는 역할을 하며, 현재의 중대형 풍력터빈은 대부분 강재 원통형(steel tubular) 구조를 가진다.

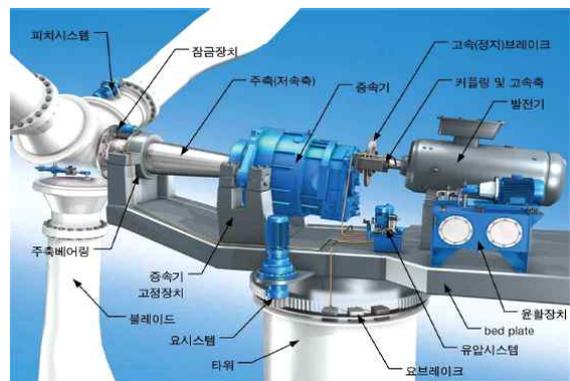


그림 1. 풍력터빈의 구조 및 구성품.

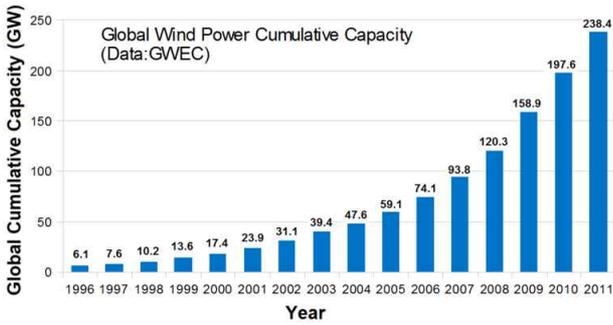


그림 2. 전 세계 풍력발전기 설치 현황.

## 2.2 국내·외 풍력발전 현황

### □ 국외현황

1996년 이후부터 현재까지의 풍력발전기 설치현황은 그림 2에서 보여지는 바와 같이 매년 지속적인 증가를 보여왔으며 2005년 이후 연간 30%를 상회하는 높은 성장세를 지속해 오고 있으며 2011년에는 238.4 GW가 신규 건설되었다. 풍력발전은 신재생에너지원 중 가장 뚜렷한 확대기조를 보이고 있다.

그림 3은 2010년과 2011년 전 세계 풍력발전기 건설 상위 10위 국가와 전력량을 나타내고 있다. 2010년 세계 육상풍력 시장은 36.5GW가 신규 설치되어 2009년대비 4% 감소하였지만 2010년 1사분기부터 신규투자가 상승세로 돌아섰으며 3사분기 이후 중국 지역이 빠른 회복세를 보여 2011년 풍력발전기 설치량은 미국을 제치고 전 세계 1위를 차지하였다. 2010년 중국시장은 17.6GW가 설치되어 세계 신규 풍력 설치량의 48%를 차지했고 풍력발전의 최대 수요처로 부상하였다.

Country	Windpower capacity (MW) *provisional	% world total	Country	Windpower production (TWh)	% world total
China	62,733*	26.3	United States	95.2	27.6
United States	46,919	19.7	China	55.5	15.9
Germany	29,060	12.2	Spain	43.7	12.7
Spain	21,674	9.1	Germany	36.5	10.6
India	16,084	6.7	India	20.6	6.0
France	6,800*	2.8	United Kingdom	10.2	3.0
Italy	6,747	2.8	France	9.7	2.8
United Kingdom	6,540	2.7	Portugal	9.1	2.6
Canada	5,265	2.2	Italy	8.4	2.5
Portugal	4,083	1.7	Canada	8.0	2.3
(rest of world)	32,446	13.8	(rest of world)	48.5	14.1
<b>World total</b>	<b>238,351 MW</b>	<b>100%</b>	<b>World total</b>	<b>344.8 TWh</b>	<b>100%</b>

그림 3. 세계 10위권 풍력발전 설치국: (1)2011년도(좌), (2) 2010년도(우).

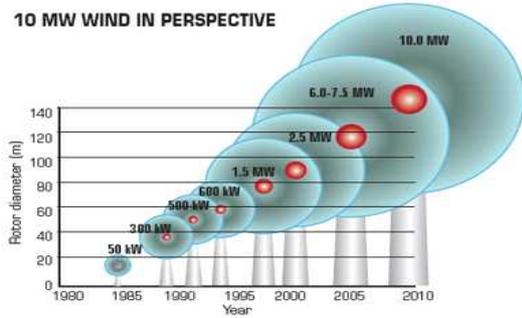


그림 4. 세계 풍력터빈 연구개발 동향.

그림 4는 전 세계 풍력터빈시스템의 연구개발 동향을 보여주고 있다. 1985년 농사와 조명산업 응용을 위해 50 kW급 풍력터빈이 개발되어 산업에 활용되었으며 이 때의 블레이드 길이는 약 15 m에 불과하였다. 풍력터빈기술개발은 단위 터빈의 용량증가로 이어졌으며 그로인해 로터직경의 크기도 함께 커져 2009년 이후 6~7 MW급 풍력터빈 개발이 시작되어 Vestas, Siemens, Enercon 등 주요 풍력터빈제조사들은 이미 로터 직경이 120 m가 넘는 터빈을 개발하여 시험 가동 중이다.

해상 풍력발전시스템 선진업체의 개발동향으로는 Nordex N150/6MW, Enercon E126/7.5MW, Siemens 6MW, Alstom 6MW, GE Energy 4.1MW를 적용한 직접 구동형 기술과 Vestas 7MW(medium speed), REpower 6MW, Bard 6.5MW, Areva Multibrid 5MW(medium speed), Gamesa 5MW(medium speed)를 적용한 기어박스형 기술로 양분되고 있다.

이러한 풍력터빈의 대용량화는 더 좋은 경제성 확보를 위해 풍력발전단지의 규모를 대규모화하고 해상풍력발전단지 건설에 활용하기 위해 연구개발이 진행되고 있다.

해상풍력 시장은 그 초기 시장단계로 상대적으로 높은 기술력을 보유한 선진 업체(해상풍력 시장의 70%를 Siemens사와 Vestas사가 과점)가 독점하고 있으며, 높은 진입장벽으로 인해 현재의 과점현상이 2015년까지 지속될 전망이다.

그림 5는 2030년까지 세계 풍력발전기 설치전망을 보여주고 있다. 세계 경제전망과 전력수요 예측을 기준으로 2030년 최소 600 GW, 최대 2300 GW의 누적설치량이 전망되고 있다.

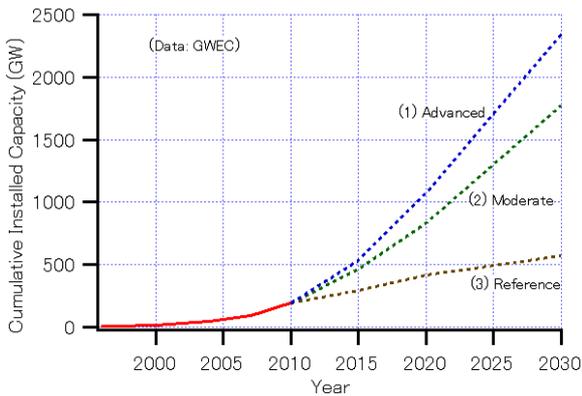


그림 5. 세계 풍력발전기 설치전망(2030년).

□ 국내현황

국내 풍력발전기 현황은 1970년대의 오일 쇼크 이후 풍력발전 연구가 시작되었으며 1975년도에 한국과학원(KAIS)에서 경기도 화성군 엇섬에 설치한 2 kW급 풍력발전기를 시작으로, 1990년대 이전까지 약 20여대의 1~14 kW의 소형 풍력발전기가 단위전원 공급용으로 연구개발의 시제품 또는 외국으로부터 도입 및 설치되어 운전되었다.

90년대 들어 한국에너지기술연구원이 제주 중문에 설치한 250 kW급과 제주 월령에 설치된 100 kW급, 30 kW급 풍력발전기의 운전을 통하여 계통연계용 풍력발전기의 운전특성에 대한 연구를 수행하는 등 기술개발과 병행하여 이미 신뢰성이 확보된 선진외국의 풍력시스템을 도입하여 운전 연구를 수행하였다.

1998년도 및 1999년에 제주도청이 정부의 지역에너지 사업의 일환으로 덴마크 VESTAS사의 600 kW 및 660 kW 풍력발전시스템 5기를 설치하여 정상운전 되면서 국내의 풍력발전 가능성을 확인하는 계기가 되었다.

한국에너지기술연구원에서 예측한 풍력발전으로 공급 가능한 잠재량은 육상풍력발전이 3.6 GW, 해상풍력발전이 8.8 GW이며, 설치 운영되고 있는 풍력발전시스템 가운데 국가전력망에 연계되어 있는 상업용 누적설비용량은 약 342 MW이며 2011년 까지의 총 설치용량은 400 MW에 이른다.

최근 5년간 국내에 설치된 풍력발전기의 신설용량은 2007년에 18.4 MW, 2008년에 108 MW, 2009년에 44.3 MW, 2010년에 30.9 MW 그리고 2011년에 14.5 MW이

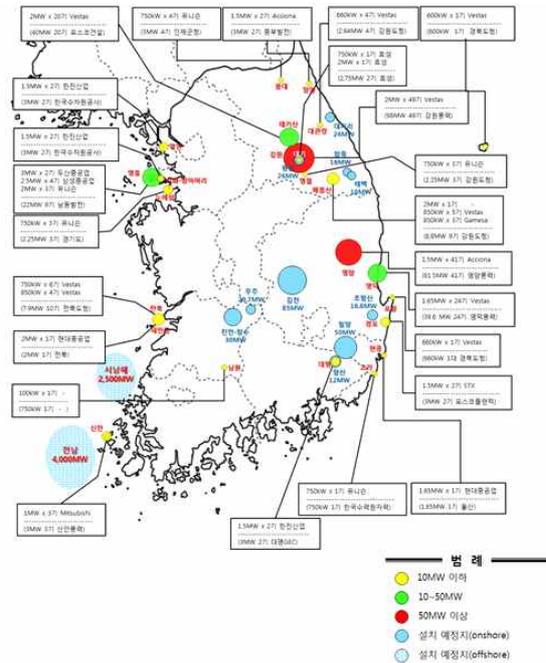


그림 6. 국내 풍력발전 설치량.

며, 유럽 제정위기의 영향으로 인해 2011년의 신규설비 용량은 2010년에 비해 감소치를 나타냈지만 정부의 신재생에너지 의무비율 할당제(RPS)와 국내 대형 기업들의 풍력발전 사업 참여로 인해 2012년부터는 신규 설비량이 증가할 것으로 예측된다.

국내에 설치된 풍력발전기의 모델은 덴마크의 Vestas 사의 제품이 229.845 MW(126기), 덴마크의 NEG-Micon(현 Vestas)사의 제품이 53.85 MW(39기)로 전체 보급용량의 약 63% 이상을 차지하고 있으며, 스페인의 Acciona 제품이 64.5 MW(43기)로써 두 국가의 제품이 국내 보급 총용량의 약 79%를 차지하고 있다.

국내의 해상풍력단지 개발은 정부(지식경제부)가 주도하고 있으며 현재 한국전력과 발전자회사를 단지개발자로하여 2019년까지 호남 서해안에 2.5 GW규모의 해상 풍력단지 개발을 위해 2010년 11월 해상풍력추진협의 SPC를 설립하고 해상풍력추진계획을 발표하였다. 80 MW급 실증단지 조성을 2014년까지, 420 MW급 시범 단지를 2016년까지, 그리고 2,000 MW의 대규모 확산단지의 건설을 추진 중이다.

실증단지 조성사업에 설치 예정인 풍력터빈은 다음과 같다.

- 현대중: 2011년 5.5 MW
- 삼성중: 2012년 7 MW
- 효성중: 2012년 5 MW
- 두산중: 2012년 3 MW
- 대우해양조선중: 2012년 7 MW

### 3. 초전도발전기 기술동향

풍력발전기는 시변자계를 전기자코일에 쇠교시켜 전기에너지를 발생하는 산업기기이다. 쇠교자속의 크기와 빈도수가 높을 수록 발전기로부터 발생하는 전력을 높일 수 있다. 쇠교자속의 크기는 계자에서 발생하는 자속밀도와 전기자코일과 계자코일의 간격인 공극의 크기에 비례한다. 현재 사용 중인 발전기는 영구자석이나 구리코일을 이용하여 계자자속을 발생하는 방식을 이용한다. 이러한 기술은 최대자속밀도 발생이 한계에 이르렀기 때문에 더 이상 발전기의 효율향상과 성능증가가 어렵다.

이러한 기술의 한계를 극복하기위해 1990년대부터 해외 선진사에서는 초전도체를 사용하여 쇠교자속밀도를 획기적으로 증가시켜 성능을 높일 수 있는 초전도발전기 개발을 시도하였다.

초전도발전기는 영구자석형 동기발전기에 비해 전기자코일과 쇠교하는 자속을 5배 이상 크게 발생시킬 수 있는 초전도선재로 권선되는 초전도계자코일을 사용한다. 전기자코일 주변 자속밀도가 10 MW급 초전도발전기를 기준으로 4.5 T 이상이 형성되어 자성체인 실리콘강을 사용하지 않고 고강도의 복합화합물을 사용하여 히스테리시스손실을 없애고 무게를 50% 이하로 낮출 수 있다는 장점이 있다. 또한 전력생산에 직접적인 영향을 미치는 전기자와 계자 간의 쇠교자속 밀도가 기존 발전기 대비 5~10배 이상 높기 때문에 발전기 부피를 50% 이상 줄일 수 있다.

초전도발전기는 그림 7과 같이 구성되어 있으며 회전자 내부에 고자기장을 발생시키는 초전도계자코일이 위치하게 되며 기존 발전기에 없는 냉각장치를 이용하여 초전도코일을 운전온도까지 냉각한다.

냉각장치는 일반 풍력발전기에는 없는 초전도회전기의 추가 핵심장치로서 AMSC사의 10 MW급 초전도발전기용 냉각장치인 경우 냉각장치의 전력소비량은 100 kW 이하로 효율에 미치는 영향이 1% 미만 이다.

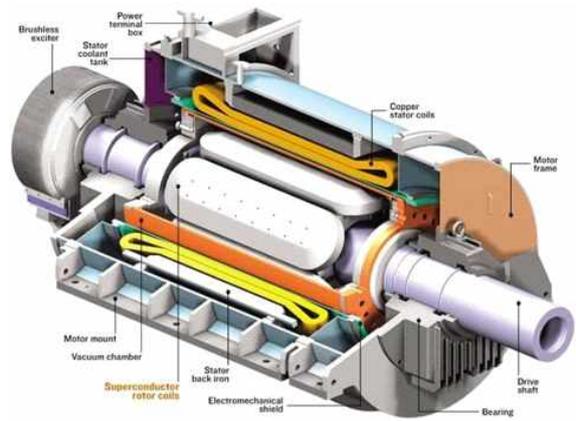


그림 7. 초전도발전기 구조 및 핵심부품.

10 MW 이상급 대용량 풍력용 초전도발전기 개발을 위해서는 초전도체, 극저온 핵심부품 및 시스템 설계와 해석기술을 개발하고, 동시에 고정밀 부품가공 및 시스템 조립기술과 신뢰성평가 기술개발이 선행되어야 한다.

### 4. 풍력용 초전도발전기기술의 전망

지경부는 풍력발전을 신재생에너지 중점연구개발분야로 선정하고 '88~'09년 동안 2,004억원(정부 1,250억원)을 투입하였으나, 국내기술로 풍력발전기를 보급한 사례는 총 14기 16.2MW로 국내 총 풍력발전 보급량 대비 4.5%, 보급기수 대비 6.25%에 불과하며, 그나마 77.2%는 실증연구용으로 쓰이고 있어 실질적으로 상용화급의 보급사례는 750kW급 5기에 불과함

국내 풍력시스템사의 해외시장 진출은 2012년 현재 일부 태동되고 있는 수준으로 앞으로도 해외 풍력시장 진출은 위해서는 소재·설계 기술의 혁신 및 국가적으로 전폭적인 지원이 필요한 상황이다.

전 세계의 풍력발전 선진사들은 2020년 이후 대단지의 풍력발전소 건설에 초전도기술을 적용한 10 MW급 이상의 대용량 풍력용 발전기 시장을 준비하고 있으며, 현재 10 MW급 이상의 풍력용 초전도발전기를 개발 중이거나 원천기술 개발 중이다.

풍력전문가들은 향후 10 MW급 이상의 풍력용 발전기는 초전도발전기가 될 것으로 예상하고 있으며 현재 EU는 InWind 사업에서 10MW와 12MW급 초전도발전기 상세설계 및 초전도체 물성특성 연구를 진행 중이며



그림 8. EU에서 진행 중인 해상풍력용 초전도발전기.

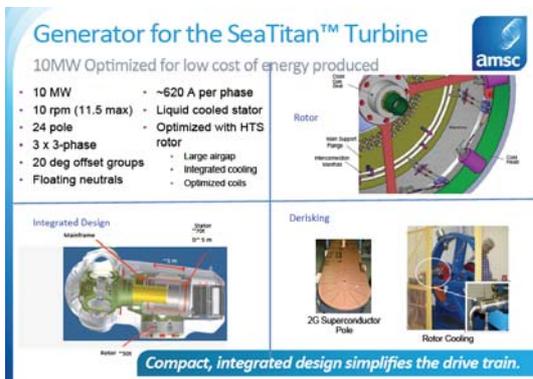


그림 9. 미국 AMSC사에서 진행 중인 풍력용 10 MW급 초전도발전기.

(그림 8), 미국은 AMSC사가 10 MW급 풍력용 초전도발전기(SeaTitan, 그림 9)을 GE사는 10 MW 이상급 풍력용 초전도발전기 개발을 진행 중이다.

초전도발전기는 기존 발전기 대비 전체 풍력터빈 시스템에서 차지하는 비용이 20% 이상으로 평가되며, 고부가가치 제품 산업이 될 수 있고 기존 발전기 생산업체인 중소·중견기업이 부품 Supply chain으로 참여할 수 있어 대용량 초전도발전기 기술개발이 조기에

완료되면 국내 기업의 세계 시장 지배력을 높일 수 있다.

### 참고문헌

- [1] 김호민, “해상풍력용 발전기 기술 및 전망,” 한국초전도저온공학회지:초전도와저온공학, v.13, no.1, pp. 13~21, Jan., (2011).
- [2] 권영길, 김호민, “초전도 풍력 발전기 개발 현황 및 전망,” 한국초전도저온공학회지:초전도와저온공학, v.12, no.2, pp. 20~26, July, (2010).
- [3] 초전도 풍력발전기 개발 기획보고서, 한국초전도·저온공학회, (2009)
- [4] 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030(2007).
- [5] 지식경제부, 신·재생에너지 백서 2010, (2010).
- [6] Bloomberg New Energy Finance/League Table Results Book (2011).

### 저자이력



#### 김호민(金鎬民)

1970년 8월 23일 생, 2002년 연세대학교 전기전자공학과 졸업(박사), 2002년 ~2004년 M.I.T Francis Bitter Magnet Lab. Post-Doctoral Research Associate, 2004년~2006년 LG산전(주) 전력연구소 선임연구원, 2006~2011년 한국전기연구원 초전도 연구센터 선임연구원, 현재 제주대학교 전기공학과 조교수.