

신재생에너지-풍력발전

영남대학교 디스플레이화학공학부 교수 정재학

1. 풍력발전의 원리

풍력 발전이란 자연의 바람으로 풍차(風車)를 돌리고, 이것을 기어기구 등을 이용하여 속도를 높여 발전기를 돌리는 발전 방식을 말한다. 바람의 힘은 오래 전부터 이용되어 왔다. 지금도 드물기는 하지만 바람의 힘은 풍차를 통해 기계적인 힘으로 변형되어서 물을 끌어올리거나 곡식을 가공하는 데 이용되기도 한다. 그러나 현재 전세계적으로 바람의 힘은 풍력발전기를 돌려서 전기에너지를 만드는 데 가장 활발하게 이용되고 있다고 해도 과언이 아니다. 풍력발전은 자연상태의 무공해 에너지원으로 현재 기술로 대체에너지원 중 가장 경제성이 높은 에너지원으로써 바람의 힘을 회전력으로 전환시켜 발생하는 전력을 전력계통이나 수요자에 직접 공급하는 기술이다. 이러한 풍력 발전을 이용한다면 산간이나 해안오지 및 방조제 등 부지를 활용함으로써 국토이용효율을 높일 수 있다. 풍력발전 시스템이란 다양한 형태의 풍차를 이용하여 그림 1과 같이 바람 에너지를 기계적 에너지로 변환하고, 이 기계적 에너지로 발전기를 구동하여 전력을 얻어내는 시스템을 말한다. 이러한 풍력발전 시스템은 무한정의 청정에너지인 바람을 동력원으로 하므로 기존의 화석연료나 우라늄 등을 이용한 발전방식과 달리 발열에 의한 열공해나 대기오염 그리고 방사능 누출 등과 같은 문제가 없는 무공해 발전방식이다.



그림 1. 풍력발전개요도

풍력발전기는 발전용량이 10와트밖에 안되는 마이크로급에서부터 2메가와트에 이르는 대형 발전기까지 아주 다양한 종류가 개발되어 있다. 마이크로급의 발전기는 손으로 들고다닐 수 있을 정도로 작고, 2메가와트급은 날개의 지름만 70-80미터, 지지대의 높이가 100미터 가까이 되는 엄청난 규모의 것이다. 풍력발전기의 발전용량은 급속하게 증가해 왔는데, 얼마 있으면 현재 개발 단계의 3메가와트가 넘는 풍력발전기도 상용화될 것으로 전망된다. 마이크로급의 발전기는 전기가 들어오지 않는 외딴 집에서 사용하기에 적당하고, 대형 풍력발전기는 많은 양의 전기를 생산해서 주위의 주택들에 전기를 공급할 목적으로 세워진다. 유럽과 미국에서는 대형 풍력발전기들이 한곳에 수십개 이상 들어서 있는 풍력발전 단지를 드물지 않게 찾아볼 수 있다. 이들 단지 중에는 전체 발전용량이 100메가와트에 달하는 것도 있다.

2. 풍력발전의 세계적 동향

풍력발전 시스템은 기후 온난화를 일으키는 주범인 CO2 배출도 없고, 방사능을 누출에 관한 어떤 오염도 일으키지 않는다. 이러한 장점 때문에, 풍력발전 시스템은 태양에너지 발전시스템과 함께 가장 유력한 대체 에너지원으로 인정을 받고 있으며 이미 전 세계적으로 약 32,154MW (2002년말 누계기준)의 풍력발전 시스템이 설치 운전되고 있다. 이중, '02년 한해 동안 설치된 풍력발전 시스템의 용량은 7,227MW이며, 이는 그해 건설된 원자력발전소 용량보다도 큰 수치이다. 우리나라도 세계기후변화협약과 같은 국제 환경의 변화와 유가상승, 그리고 국내사용 에너지의 96%를 수입에 의존하고 있는 현실적인 문제에 대응하기 위하여 풍력발전 시스템에 대한 관심이 높다. 뿐만 아니라 풍력발전 시스템은 구조나 설치 등이 간단하여 운영 및 관리가 용이하고 무인화 및 자동화 운전이 가능하기 때문에 최근에 도입이 비약적으로 증가하고 있다.

보급실적은 서구 선진국이 더욱 두드러져 덴마크는 97년도에 풍력발전기 설치용량이 1,135MW로 연간 1,830GWH의 전기를 생산하여 총 전기 생산량의 6.4%에 달하였다. 유럽국가들이 풍력발전기 설치보급을 급속히 확대 시킴에 따라 유럽풍력발전협회(EWEA)는 보고서를 통해 풍력발전기가 2020년에 100,000MW가 설치되어 전 유럽국가 전력수요의 10%에 도달 될 것이며 이러한 설치용량의 증가율은 년40%로 풍력발전기가 타 어느 에너지보다 성장률이 빠름을 발표하였다.

전세계의 육지에서의 풍력발전 잠재량 - 기술적으로 개발가능한 - 은 연간 2만-5만 테라와트시에 달하는 것으로 추정된다. 그러나 1999년 현재 풍력발전기의 전체 용량은 13600메가와트였고, 발전량은 24테라와트시에 지나지 않았다. 잠재량의 1000분의 1도 이용하지 못한 셈이다. 이와 같이 엄청난 풍력발전 잠재량이 존재하고 생산비용도 시간이 갈수록 내려가고 있기 때문에, 전세계의 풍력발전기 시장은 급속하게 확대되고 있다. 1994년부터 1999년까지의 연간 증가율은 약 30%였는데, 이러한 증가추세는 앞으로도 상당 기간 계속될 것으로 전망된다. 현재와 같은 추세대로 풍력발전 시장이 확대되면 20여년 후면 전세계 전기수요의 10%가 풍력발전으로 충당될 것이 예상된다. 풍력발전 산업계에서는 2004년까지 전세계의 풍력발전기 시장이 2000년의 3배로 성장할 것으로 보고 있고, 2010년까지 10년 동안의 새로운 풍력발전기의 수요가 10만 메가와트(1000메가와트급 원자로 10기에 해당)에 달할 것으로 예측한다.

세계의 풍력발전 설치 현황은 다음 표들에 나타내었다.

표-1에서는 그동안 풍력 발전을 수행한 세계 각국의 발전량 누적치를 나타내었다. 현재까지의 풍력 발전량 누적계는 59,322MW로 나타났습니다.

표-1. 세계 각국의 풍력 발전 누적 량

나라명	Germany	Spain	US	India	Denmark	Italy	UK	China	Japan	NL	기타	total
총용량(MW)	18,428	10,027	9,149	4,430	3,122	1,717	1,353	1,260	1,231	1,219	7,386	59,322
발전율(%)	31.1	19.6	15.4	7.5	5.3	2.9	2.3	2.1	2.1	2.1	12.5	100

표-1에서 보듯 세계 풍력 발전의 3분의1 이상은 독일이 수행하고 있다. 또 약 3분의 1 이상은 스페인과 미국이 수행하고 있으며, 그 나머지 3분의 1 미만은 다른 여러나라가 수행하고 있다.

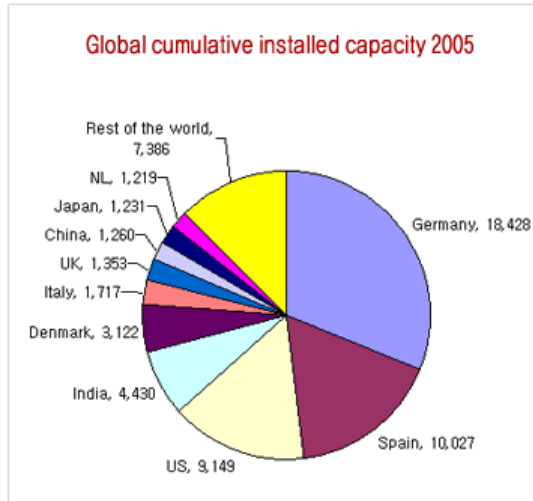


그림 2. 세계의 풍력 발전 누적계 현황

또한 2005년 풍력 신규 설치현황은 다음 표-2에 나타내었다.

표-2. 2005년 신규 풍력발전 설치 현황

나라명	US	Germany	Spain	India	Portugal	China	Italy	UK	France	Australia	기타	total
총용량(MW)	2,431	1,808	1,764	1,430	500	498	452	446	367	328	1,745	
발전율(%)	20.7	15.4	15	12.2	4.2	4.2	3.8	3.8	3.1	2.8	14.8	100

2005년 신규 풍력 발전 설치현황은 미국이 약 20%로 가장 많고, 그 뒤를 독일, 스페인, 인도등이 뒤따른다.

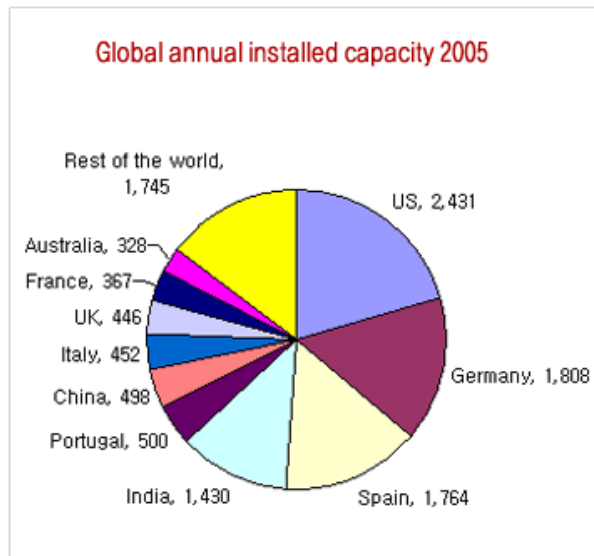


그림-3. 2005년 세계 풍력발전 설치 현황

세계의 풍력 발전에 의한 전력 생산을 다음 표-3에 나타내었다.

표-3. 세계 풍력에너지 발전 량

Year	1995년	1996년	1997년	1998년	1999년	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년
MW	4,800	6,100	7,600	10,200	13,600	17,400	23,900	31,100	39,431	47,620	59,322

표-3에서 보듯 세계의 풍력발전 량은 기하급수적으로 증가하고 있고 고유가 시대를 맞아 그 발전 량의 증가 패턴은 당분간 지속될 전망이다. 이 발전 량을 지역별로 살펴보면 다음 표-4와 같다.

표-4. 2005년 풍력 발전의 지역별 분포

지역	유럽	북미	아시아	중동,아프리카	태평양	남미	총 계
발전량(MW)	40,904	9,832	7,135	349	889	213	59,322

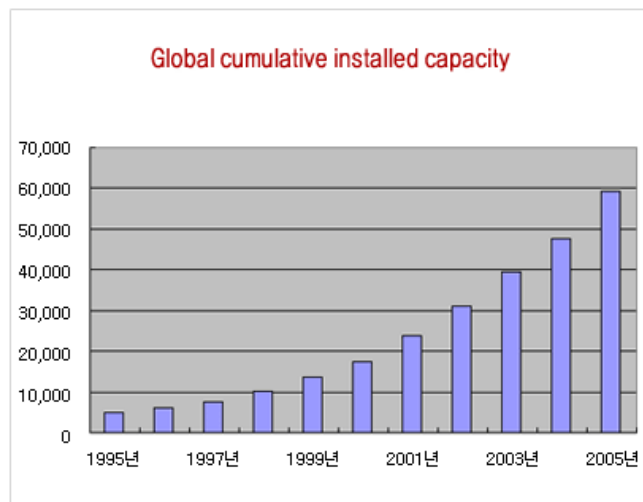


그림-4. 연도별 세계 풍력발전 누적량(단위 MW)

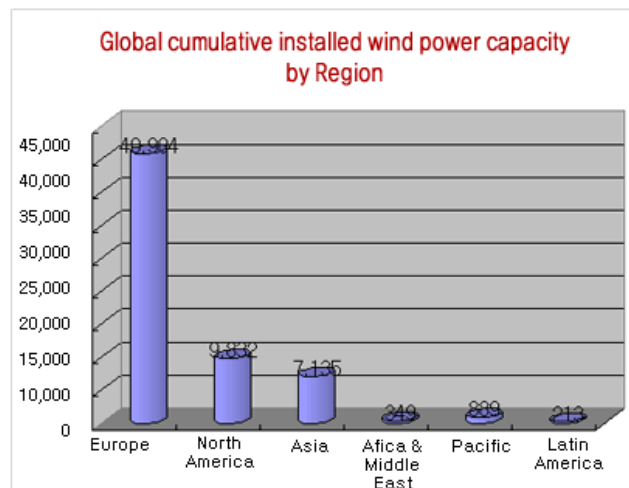


그림-5. 2005년 세계 지역별 풍력발전량(단위 MW)

3. 풍력발전 기술과 종류

풍력발전은 바람에너지를 날개를 이용해서 전기에너지로 바꾸게 되는데 이때 날개의 이론상 바람에너지중 59.3%만이 전기에너지로 바뀔 수 있다고 한다. 이것도 날개의 형상에 따른 효율, 기계적인 마찰, 발전기의 효율 등을 고려하면 실제적으로 20 ~ 40%만이 전기에너지로 이용될 수 있다. 덴마크 태생인 PAUL LA COUR는 1891년에 세계 최초로 풍력 터빈으로부터 전기를 발생 시켰고 회전자의 공력 특성에 관한 연구도 동시에 수행하였다. 그후 100년이 지난 지금 풍력 시스템은 전 세계적으로 그 보급이 확대되어 97년도에는 7,700MW가 설치되었고 그 발전량은 19TWH/년으로 전세계 발전량의 0.11%에 이르렀다. 풍력발전기는 최근 풍차 크기가 커지고, 폭풍 때의 대책 등에 어려운 문제가 따르는데, 미국에서는 1,000kW를 넘는 것도 있다. 또 발전기를 풍속에 관계없이 일정한 속도로 회전시킬 필요가 있으므로, 풍속에 따라 풍차날개의 기울기를 바꾸는 등의 제어를 해야 한다. 바람이 없을 때는 발전할 수 없으므로, 정전되는 것을 피하기 위해 축전지나 디젤 발전기도 같이 설치해 두는 경우가 많다. 다만 이 경우는 직류발전이 되는데, 그 용량은 수십 W에서 수십 kW 정도이다.

풍력발전기는 날개의 회전축이 놓인 방향에 따라 수평축 발전기와 수직축 발전기로 나뉜다. 수직축 발전기는 땅 위에 세워진 기둥 주위에 볼록한 형태의 큰 날개가 붙어서 서서히 도는 형태를 하고 있다. 그러나 수직축 발전기는 수평축에 비해 효율이 떨어지기 때문에, 현재 풍력발전기 시장에서 판매되는 것은 거의 모두 수평축 발전기이다. 수평축 풍력발전기도 날개의 수가 세 개인 것과 두 개인 것 그리고 하나인 것으로 나눌 수 있다. 날개가 두 개인 형태는 주로 바다에 세우는 초대형 발전기(예상 발전용량 3-6메가와트)에 많고, 지상에 세워지는 풍력발전기는 대부분 세 개의 날개를 가지고 있다. 또한 풍력으로부터 오는 힘이 발전기에 전달될 때 기어라는 증개장치를 이용하는지 그 힘이 날개 이외의 아무런 매개체도 거치지 않고 직접 전달되는지에 따라 형태가 달라진다.

풍력발전기는 세우는 대상 지역의 바람의 세기와 성질에 의해 크게 좌우된다. 바람의 세기가 약 4m/s 이상인 곳에는 풍력발전기를 세울 수 있는데, 바람은 공중으로 올라갈수록 강하게 불기 때문에 바람이 약한 곳에도 풍력발전기를 높게 세우면 전기를 생산하기에 충분한 바람을 얻을 수 있다. 풍력발전의 최적 바람의세기는 약 10m/s로 알려져 있으나 그 규모에따라 다를 수 있다. 참고로 태풍의 바람세기가 보통 17m/s 로 알려져 있다.

3-1. 수직축 풍력 발전기(VAWT ; Vertical-Axis Wind Turbine)

수직축 풍력 발전기는 회전축이 바람의 방향에 대해 수직인 풍력발전 시스템으로 아직 실용화(상용화)된 대형 시스템 없다. 이 시스템의 장점은 바람의 방향에 관계없이 운전가능하며(요잉 시스템 불필요) 증속기 및 발전기가 지상에 설치되어 그 하중이 비교적 적어 설치시 건설비용이 작다는 것이다. 단점은 시스템 종합 효율이 낮고, 자기동(self-starting)이 불가능하며 시동토크가 필요하다는 것이다. 또 주 베어링의 분해시 시스템 전체를 분해해야하며 넓은 전용면적 필요하다는 것이다.

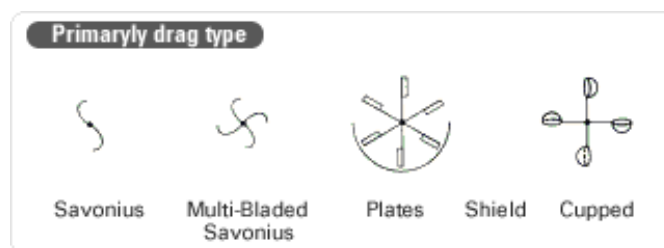


그림-6. 수직축 풍력 발전기의 축회전 유형

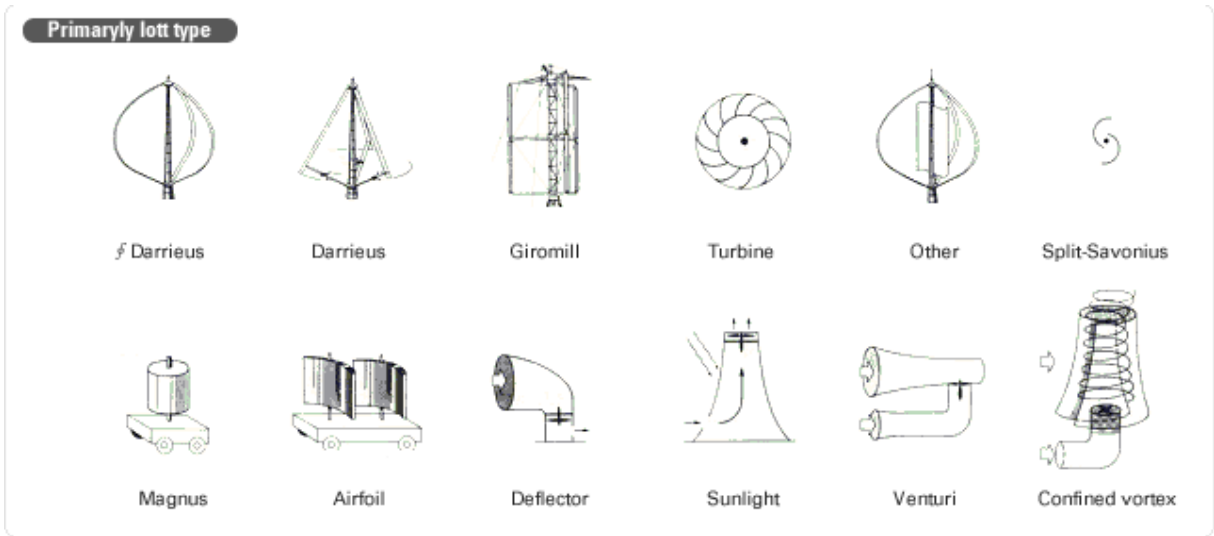


그림-7. 수직축 풍력발전기의 종류

3-2. 수평축 풍력 발전기(HAWT ; Horizontal-Axis Wind Turbine)

수평축 풍력 발전기는 회전축이 바람이 불어오는 방향에 수평인 풍력 발전 시스템으로 현재 가장 안정적인 고효율 풍력발전 시스템으로 인정되는 시스템이다. 현재 가장 일반적인 형태로, 중형급 이상의 풍력발전기에서는 대부분 Upwind Type 3-Blade HAWT을 사용하고 있다.

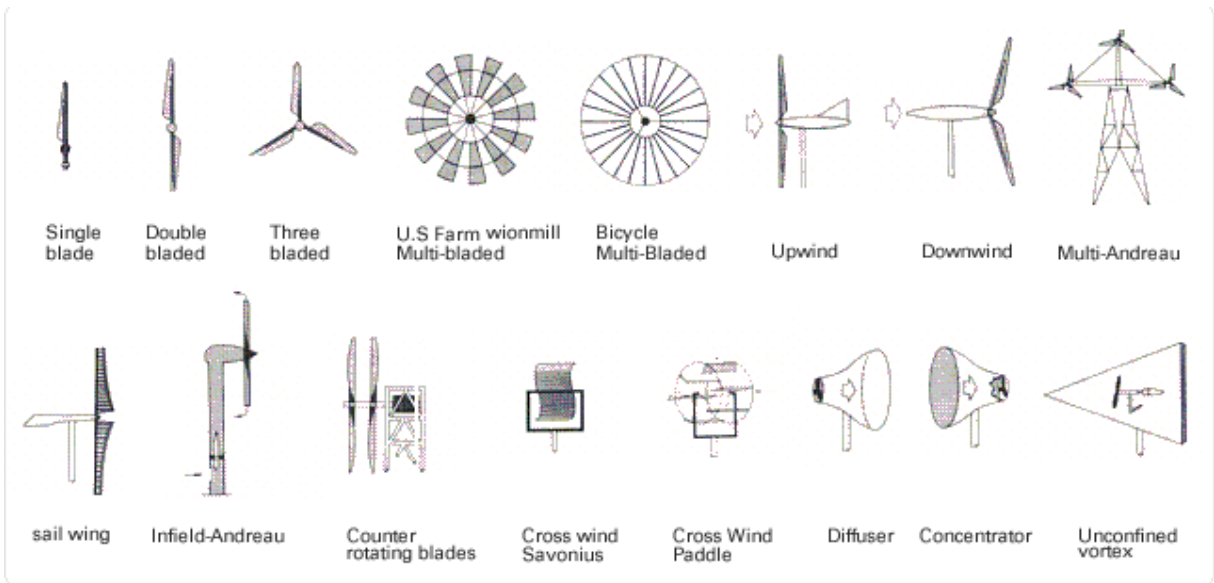


그림-8. 수평축 풍력발전기의 종류

수평축 풍력 발전기에는 맞바람 형식(Upwind Type)과 뒷바람 형식(Downwind Type)이 있는데 맞바람 형식의 장점은 타워에 의한 풍속의 손실 없고 풍속 변동에 의한 피로하중/ 소음 적다는 것이다. 단점은 요잉 시스템 필요 (시스템 구성 복잡해짐)하고 회전 날개부분인 로터와 타워의 충돌이 고려된 설계를 하여야 한다는 것이다. 뒷바람 형식의 장점은 요잉 시스템 불필요하고

별도의 설계없이 타워와 로터의 충돌 피할 수 있으며 그로 인해 타워의 하중 감소되어 가격이 저렴하여 주로 소형 풍력발전기에서 많이 사용한다. 단점은 타워에 의한 풍속의 손실 발생으로 풍속의 변동 크고 터빈의 피로하중 및 소음이 증가하며 전력선이 꼬일 수 있다는 것이다.

3-3. 풍력발전기의 주요 부분

< 회전체 : ROTOR >

바람이 가진 에너지를 회전력으로 변환시켜 주는 장치이며, 풍력발전기의 성능에 큰 영향을 미친다. 효과적인 풍력발전을 위해서는 이러한 로터의 설계가 매우 중요하며, 특히 각각의 날개(Blade)의 설계가 아주 중요한 요소로 작용한다.

< 날개 : BLADE >

구조적 하중 특성, 재료성능, 블레이드 디자인 및 수명을 고려한 재료를 사용한다. glass fiber reinforced plastics (GRP)을 많이 사용하는데 이는 가장 대표적인 내식성, 내약품성재료로서 높은 강도를 가지기 때문이다. 현재 대부분의 대형 터빈에 사용한다. 또 날개(Blade)가 1개, 2개, 그리고 3개를 사용하는데 1-blade는 소음과 외관상의 문제를 발생시키며 큰 요잉 모멘트가 작용하며 불규칙한 토크발생시키므로 잘 사용되지 않는다. 2-blade은 티터링 모션이 크며(힌지 필요) 소음과 외관상 문제를 다소 발생시킨다. 3-blade날개는 티터링 블레이드라고도 하는데 대부분의 대형 풍력발전기에 채택되고 있으며 현재 가장 안정적인 시스템이다.

<공력블레이드 시스템>

풍력발전기의 주된 브레이크 시스템으로 스톱제어 터빈에 사용되는 전형적인 브레이크 시스템이다. 터빈 및 기계 브레이크 시스템에 과부하를 방지하기위한 장치로 블레이드 주 코드 방향이 회전면과 수직이 되도록 피치각을 90도로 회전시켜 최대의 공력저항을 발생시켜 로터를 제동시키는 원리로 작동된다.

<운전 시스템>

풍력 발전기는 무엇보다 운전시스템이 중요하다. 바람의 세기에 관계없이 일정한 전력의생산이 효율에 큰 영향을 주므로 운전시스템은 매우 중요한 부분이 된다. 운전 시스템은 날개의 회전수와 그 패턴에 따른 구분된다. 정속회전 시스템은 바람속도가 변하더라도 날개의 바람 받는 각을 조절하여 정속회전을 유도하는 경우를 말하며 비정속 회전 시스템은 바람의 세기에 따라 날개의 속도가 가변적인 시스템을 말한다. 정속회전 시스템은 유도발전기와 증속기어를 사용하며 발전기의 회전수 제어가 불필요하다. 또 발전기가 견고하고 저렴하며 설계풍속 이탈 시 에너지 변환효율이 감소한다는 단점이 있다. 비정속 회전 (가변속 회전)시스템은 풍속증가에 맞춰 로터 회전수를 증가시킴으로서 로터의 공력 토크와 발전기의 부하토크 일정하게 유지한다. 일단 속도비를 일정하도록 제어하므로 설계풍속 이탈 시 출력 제어로 일정회전수 유지할 수 있다. 운전시스템의 제어 방식은 능동제어(Active S.C.)방식과 수동제어(Passive S.C.)방식이 있는데, 능동제어방식은 가변 피치를 사용하며 정확한 제어가 가능하나 구조적으로 복잡구조를 이루며 강도가 떨어지는 문제점이 있다. 수동제어방식은 고정피치를 사용하고 구조가 간단하여 견고하다.

4. 한국의 풍력발전 현황

제주도 전체의 풍력자원 부존량은 1995년에 제주도에서 소비한 전체 전력의 5.5배에 달하고,

기술적으로 이용가능한 잠재량은 소비전력을 모두 충당할 수 있는 것으로 조사되었다. 생산단가도 육지와 제주도를 잇는 해저 송전케이블을 통해 제주도로 송전되는 화력이나 원자력전기 단가보다 높지않기 때문에, 제주도 같은 섬 지역에서는 풍력을 적극적으로 개발하는 것이 환경적, 산업적 측면에서 매우 유리하다.

한국에 설치되어 있는 풍력발전 단지는 2005년 6월 기준으로 대관령(3,390kW), 태백(4,250 kW), 울릉도(600kW), 새만금(4,500kW), 무안(1,450kW), 밀양(750kW)과 제주의 월령(150kW), 한경(6,000kW), 중문(250kW), 행월(9,757kW) 등에 소규모의 발전단지가 조성되었다.

또 2005년 4월 유니슨(주)이 경상북도 영덕군 영덕읍 창포리에 준공한 한국 최대의 상업용 풍력발전단지에는 24개의 바람개비와 높이 120m의 풍력발전기가 설치되어 있다. 이곳에서 생산하는 연간 발전량은 9만 7000MW로 영덕의 2만 가구가 한 해 동안 사용할 수 있는 양이다. 유니슨(주)은 강원도와 제주도 남제주군 성산읍 난산리 일대에도 14.7MW급 풍력발전기 7기를 설치하여 풍력발전단지를 조성할 예정이다. 또한 인천광역시 강화도와 대부도, 충청남도 당진군, 전라북도 부안군 새만금, 전라남도 신안군, 해남군, 경상남도 밀양시, 양산군, 육지도 강원도 대관령, 태백시, 부산광역시 가덕도, 제주도 난산리 등에 총 13만 8883MW의 전기를 생산하는 풍력발전단지가 추가로 조성될 예정이다.



그림-9. 영덕 풍력 발전 단지 전경

풍력발전은 환경적인 측면에서 소음이나 경관의 손상 등의 문제를 유발할 가능성도 있다. 그러나 풍력발전기의 소음은 기술의 발달로 이제는 크게 개선되고 있다. 또 최근 생산되어 설치되는 발전기는 날개 지름이 수십미터에다 높이도 백미터에 달하는 것들로서, 주택가로부터 멀리 떨어져 세워지고 게다가 날개가 커지면 돌아가는 속도가 느려지고 이에 따라 소음도 크게 줄어들기 때문에, 풍력발전기에 가까이 다가가도 시끄럽게 돌아가는 소리는 전혀 들리지 않는다. 풍력발전기가 자연경관을 변형하고 환경도 파괴하는 것은 사실이지만, 화력발전소나 원자력발전소의 건설로 파괴되는 자연경관과 비교하면 파괴의 정도가 더 심한 것은 결코 아니다.